



PROSIDING

KONFERENSI NASIONAL INOVASI LINGKUNGAN TERBANGUN

Volume 6, Nomor 1, November 2022



2022

PROSIDING

Konferensi Nasional Inovasi Lingkungan Terbangun

Volume 6, Nomor 1, November 2022

Konferensi Nasional Inovasi Lingkungan Terbangun 2022 (KN-ILT 2022)

**“Challenges and Strategies to Prepare for The Future
Sustainable and Resilient Development”**

Yogyakarta, 15 November 2022

Penerbit:



**UNIVERSITAS
ISLAM
INDONESIA**

Kampus Terpadu UII

Jl. Kaliurang Km 14,5 Yogyakarta 55584

Tel. (0274) 898 444 Ext. 2301; Fax. (0274) 898 444 psw 2091

e-mail: penerbit@uii.ac.id

Tentang KN-ILT

Konferensi Nasional Inovasi Lingkungan Terbangun (KN-ILT) adalah konferensi nasional yang diselenggarakan oleh Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan (FTSP), Universitas Islam Indonesia (UII) setiap 2 tahun sekali. Saat pertama kali diselenggarakan pada tahun 2009, konferensi ini bernama Innovation on Built Environment (IBE). Dalam perjalanannya, konferensi ini berganti nama menjadi Konferensi Nasional Inovasi Lingkungan Terbangun (KN-ILT).

Lingkungan terbangun ditandai dengan adanya dominasi struktur buatan manusia guna mendukung adanya aktivitas penduduk di atasnya. Kebutuhan masyarakat akan fasilitas kehidupan turut mengakibatkan peningkatan luas lahan terbangun di suatu kawasan. Fungsi infrastruktur yang berdiri di lingkungan terbangun antara lain untuk fungsi kesehatan, perkantoran, peribadatan, pendidikan, permukiman, serta perdagangan barang dan jasa. Harmonisasi antara aspek sosial, lingkungan, dan ekonomi dengan infrastruktur dalam lingkungan terbangun yang cerdas perlu ada agar tercipta nilai tambah terhadap lingkungan terbangun serta bersifat lestari.

Tahun ini, KN-ILT hadir kembali dengan mengusung tema ***“Challenges and Strategies to Prepare for The Future Sustainable and Resilient Development”***. KN-ILT 2022 dilaksanakan bersama dengan The International Conference on Sustainable Built Environment (ICSBE) di mana FTSP UII juga menjadi tuan rumah penyelenggaranya.

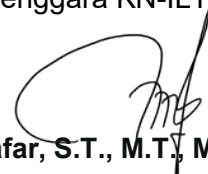
Sambutan Ketua Panitia

Alhamdulillah robbil ‘alamin. Segala puji bagi Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan karunia-Nya sehingga acara Konferensi Nasional Inovasi Lingkungan Terbangun (KN-ILT) 2022 dapat terselenggara dengan baik. Tak lupa pula, sholawat serta salam selalu tercurah kepada Rasulullah SAW., beserta para sahabat dan pengikutnya hingga akhir zaman.

Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan (FTSP), Universitas Islam Indonesia membentuk sebuah konferensi yang diberi nama Konferensi Nasional Inovasi Lingkungan Terbangun (KN-ILT) pada tahun 2009 dan secara rutin diselenggarakan setiap tahun ganjil. Sebagaimana namanya, KN-ILT dimaksudkan menjadi suatu forum bagi para insan dari berbagai bidang untuk mendiskusikan hasil penelitian terkini yang berkaitan dengan lingkungan terbangun. Konferensi ini diharapkan dapat menjadi wadah diseminasi hasil penelitian bagi dosen dan mahasiswa baik dari perguruan tinggi swasta maupun negeri, pusat studi, serta instansi pemerintah maupun swasta. Selain itu, konferensi ini dimaksudkan secara khusus dapat menjadi wadah publikasi hasil penelitian secara periodik.

Mengusung tema “**Challenges and strategies to prepare for the future sustainable and resilient development**”, KN-ILT diharapkan mampu memberi kesempatan para peserta untuk dapat saling berbagi hasil penelitian melalui presentasi dan tulisan yang baik, dan selanjutnya dapat dipublikasikan melalui prosiding ber-ISBN. Semoga forum ini dapat memberikan informasi bagi masyarakat dan bermanfaat untuk pengembangan ilmu pengetahuan khususnya yang berkaitan dengan inovasi lingkungan terbangun. Atas kerjasama yang baik, dedikasi serta bantuan semua pihak dalam mensukseskan KN-ILT 2022, mewakili segenap civitas akademik Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia selaku tuan rumah kami ucapkan terima kasih.

Yogyakarta, 15 November 2022
Ketua Penyelenggara KN-ILT 2022


Jafar, S.T., M.T., MURP.

PROSIDING

Konferensi Nasional Inovasi Lingkungan Terbangun

Volume 6, Nomor 1, November 2022

Konferensi Nasional Inovasi Lingkungan Terbangun 2022 (KN-ILT 2022)

“Challenges and Strategies to Prepare for The Future Sustainable and Resilient Development”

Daftar Isi

Halaman Sampul	1
Tentang KN-ILT	ii
Sambutan Ketua Panitia	iv
Daftar Isi	v
Susunan Panitia.....	ix
Reviewer.....	xi
Editor	xi
Pembicara	xii
[A] Lingkungan Hidup Layak Huni.....	1
KAJIAN PEMBELAJARAN PERILAKU MERUANG Dari PERILAKU MANUSIA ke RANCANGAN ARSITEKTURAL	2
(Hastuti Saptorini)	
[B] Infrastruktur Ramah Lingkungan.....	18
IMPLEMENTASI KONSEP <i>BUILDING INFORMATION MODELLING</i> (BIM) DALAM melakukan ESTIMASI BIAYA DAN PENJADWALAN PEKERJAAN STRUKTURAL ...	19
(Hardian Wibisono Subarto dan Fitri Nugraheni)	
IMPLEMENTASI KONSEP BIM 4D TAHAP PERENCANAAN DALAM PERCEPATAN WAKTU PADA PEKERJAAN STRUKTURAL GEDUNG 3 LANTAI.....	31
(Arnya Rifqi Pratama dan Vendie Abma)	
PENENTUAN STATUS TROFIK DENGAN MENGGUNAKAN <i>TROPHIC STATE INDEX</i> (TSI) DI SITU CIBUNTU, KABUPATEN BOGOR, JAWA BARAT.....	44
(Saraswati Yola Nur Aisyah dan Nelly Marlina)	

PENGOLAHAN LIMBAH B3 LOGAM BERAT KROMIUM (CR) DAN KADMIUM (CD) DI LABORATORIUM KUALITAS LINGKUNGAN TL FTSP UII MENGGUNAKAN METODE STABILISASI/SOLIDIFIKASI	53
(Andifa Khalida Azzara, Ega Elita Mahardika Rusli, Yebi Yuriandala, and Kasam)	
PENGARUH PENAMBAHAN SERAT <i>FIBERGLASS</i> DAN <i>SUPERPLASTICIZER</i> TERHADAP KUAT TEKAN, MODULUS ELASTISITAS DAN KUAT TARIK BETON... 66	
(Irfan Fadhlurrohman dan Jafar)	
TINJAUAN PENERAPAN CONTRACTOR SAFETY MANAGEMENT SYSTEM (CSMS) PADA PROYEK KONSTRUKSI GEDUNG(STUDI KASUS : PEMBANGUNAN GEDUNG UNIVERSITAS NAHDLATUL ULAMA YOGYAKARTA) .	76
(Vendie Abma dan Isadilla Dyatma Tiaradini)	
PENGARUH KETINGGIAN LANTAI GEDUNG TERHADAP TINGKAT RISIKO KECELAKAAN KONSTRUKSI PADA PEKERJAAN BEKISTING ALUMINIUM (Studi kasus: Proyek Rumah Susun TOD Rawa Buntu, Serpong).....	87
(Sigit Santoso, Achmad Djunaedi, Fitri Nugraheni, Vendie Abma, dan Wahyu Kuntoro)	
ANALISIS PENGARUH AKTIVITAS INDUSTRI BATIK TERHADAP KANDUNGAN LOGAM BERAT PADA TOPSOIL di KOTA YOGYAKARTA	98
(Junio Gestimades, Suphia Rahmawati, Noviani Ima Wantoputri, dan Any Juliani)	
PENGARUH PEMANFAATAN CAMPURAN SERABUT KELAPA TERHADAP KUAT TEKAN DAN KUAT LENTUR PADA BETON NORMAL.....	108
(Adhi Sulaeman dan Malik Mushthofa)	
PENERAPAN PRODUKSI BERSIH DENGAN METODE <i>LIFE CYCLE ASSESSMENT</i> (LCA) DI PABRIK GULA YOGYAKARTA.....	120
(Khusnul Khotimah Ayuningtiyas, Nanda Henik Pratiwi, dan Aulia Ulfah Farahdiba)	
MANAJEMEN PEMANFAATAN BAHAN ALAMIAH DAN MATERIAL BEKAS UNTUK BANGUNAN MENUJU PEMBANGUNAN BERKELANJUTAN	131
(Supriyanta)	
PENGARUH PENAMBAHAN SERBUK LIMBAH KERAMIK DAN SEMEN PADA TANAH LEMPUNG TERHADAP PARAMETER KUAT GESER DAN DAYA DUKUNG TANAH PADA UJI KUAT TEKAN BEBAS.....	145
(Aji Fauzan dan Muhammad Rifqi Abdurrozak)	
ANALISIS DEAGREGASI <i>HAZARD</i> GEMPA BUMI : STUDI KASUS WILAYAH SENDOWO, SINDUADI, KAB. SLEMAN, KOTA YOGYAKARTA.....	162
(Atika Ulfah Jamal dan Bambang Suryo Aribowo)	
PEMANFAATAN <i>FLY ASH</i> DAN KAPUR ALAM SEBAGAI BAHAN PENGGANTI SEMEN TERHADAP KARAKTERISTIK BATA RINGAN <i>CELLULAR LIGHTWEIGHT CONCRETE</i> (CLC).....	176

(Wiku Ananda Sugianto dan Jafar)	
KAJIAN REKAYASA NILAI PADA PEKERJAAN STRUKTUR ATAS GEDUNG (Studi Kasus: Proyek Pembangunan Gedung DRC PT Bank BPD DIY).....	185
(Dwi Fajar Nugroho dan Fitri Nugraheni)	
ANALISIS INVESTASI ALAT BERAT PADA PROYEK SWAKELOLA YAYASAN BADAN WAKAF UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA	197
(Pratama Hajar Nur Rasid, Fitri Nugraheni, Faisol A M, dan Tri Nugroho Sulistyantoro)	
[C] Manajemen Sumber Daya Berkelanjutan	209
EVALUASI TINGKAT KEBERLANJUTAN (<i>Sustainability</i>) INTALASI PENGOLAHAN AIR LIMBAH (IPAL) BALIKPAPAN MENGGUNAKAN INDEKS KEBERLANJUTAN ..	210
(Bagas Hadi Pratomo, Awaluddin Nurmiyanto, dan Adelia Anju Asmara)	
IDENTIFIKASI KANDUNGAN MIKROPLASTIK PADA IKAN DI SUNGAI GAJAH WONG	223
(Muhammad Ardimas Raharjo, Suphia Rahmawati, dan Elita Nurfitriyani Sulistyo)	
KAJIAN KAPASITAS SUMUR RESAPAN MENGGUNAKAN METODE SK SNI T-06-1990-F, SNI 8456:2017 DAN SUNJOTO (1988)	233
(Nita Kurnita Sari, Sri Puji Saraswati, dan Nizam)	
OPTIMALISASI PENYIMPANAN ISOLAT-ISOLAT BAKTERI UNTUK TERCAPAINYA LABORATORIUM BIOTEKNOLOGI YANG ADAPTIF, TANGGUH, DAN BERKELANJUTAN.....	245
(Annisa Nur Lathifah, Rina Isnika, Joni Aldila Fajri, Awaluddin Nurmiyanto, dan Dewi Wulandari)	
ANALISIS PENGARUH PERUBAHAN PENGGUNAAN LAHAN TERHADAP KARAKTERISTIK BANJIR PADA DAS MASAMBA DI KABUPATEN LUWU UTARA	253
(Raelly Harza Wiltianza, Karlina, dan Joko Sujono)	
ANALISIS KADAR PB DALAM DEBU DAN <i>PARTICULATE MATTER</i> (PM ₁₀ , PM _{2.5}) DI AREA KERJA BENGKEL	267
(Husna Zahirotul Hikmah, Fina Binazir Maziya, Elita Nurfitriyani Sulistyo, Eko Siswoyo and Hudori)	
EVALUASI PEMANTAUAN PERALATAN PADA IPAL RUMAH SAKIT	278
(Felicia Isfandyari, Sri Puji Saraswati, Johan Syafri Mahathir Ahmad)	
STUDI PERBANDINGAN PROFIL MUKA AIR DI HULU DAN HILIR BENDUNG DENGAN EKSPERIMEN DAN ANALISIS NUMERIK.....	286
(Muaji Amirul Madani, Dinia Anggraheni)	
PENGARUH PERUBAHAN TATA GUNA LAHAN TERHADAP DEBIT DRAINASE DI KAWASAN STRATEGIS PARIWISATANASIONAL BOROBUDUR.....	298

(Assyfa Widy Kurnia and Pradipta Nandi Wardhana)

[D] Perkotaan yang Berkelanjutan..... 312

ANALISIS DEBIT BANJIR AKIBAT PERUBAHAN TATA GUNA LAHAN KOTA
MAGELANG WILAYAH BARAT SALURAN IRIGASI PROGO MANGGIS 313

(Gita Dwi Marsha dan Pradipta Nandi Wardhana)

EVALUASI KINERJA RUAS JALAN KARANGNONGKO – TOYAN TERHADAP
DAMPAK PEMBANGUNAN BANDARA YOGYAKARTA *INTERNATIONAL AIRPORT*
(YIA) 325

(Nandang Sungkono, Miftahul Fauziah, Rizki Budi Utomo, dan Muhamad Abdul
Hadi)

STUDI ANALISIS SENSITIVITAS KINERJA STRUKTUR PERKERASAN JALAN
TERHADAP PENGARUH PERUBAHAN TEMPERATUR 332

(Muhamad Abdul Hadi dan Laziqoh Zahatul Tolab)

PENGARUH PERFORATED CEILING SEBAGAI MEKANISME PELEPASAN
UDARA PANAS (STUDI KASUS: SALATIGA) 342

(Bryan Putra Parsada Sinaga)

SISTEM NILAI DALAM MENGHADAPI TANTANGAN PERADABAN ISLAM
MODERN KETELADANAN TOKOH PENDIRI UII : ABDUL KAHAR MUDZAKKIR... 352

(Maffyra Binar Firstya Mutiara, Revianto Budi Santosa, dan Putu Ayu Pramanasari
Agustiananda)

EVALUASI KINERJA SIMPANG SERAYU KOTA MADIUN BERDASARKAN STUDI
MANUAL KAPASITAS DAN MIKROSIMULASI LALU LINTAS 362

(Galang Rahman Wahid dan Berlian Kushari)

[E] Manajemen Risiko Bencana 375

KOMPARASI RESPON STRUKTUR GEDUNG DI PROVINSI BENGKULU AKIBAT
PERUBAHAN PERATURAN GEMPA 376

(Ria Rahmawati dan Elvis Saputra)

ANALISIS STABILITAS LERENG DENGAN PERKUATAN DINDING PENAHAN
TANAH BETON BERTULANG KANTILEVER PADA PROYEK JEMBATAN KENET 387

(Bachtiar Effendi dan Hanindya Kusuma Artati)

PROSIDING

Konferensi Nasional Inovasi Lingkungan Terbangun

Volume 6, Nomor 1, November 2022

Konferensi Nasional Inovasi Lingkungan Terbangun 2022 (KN-ILT 2022)

“Challenges and Strategies to Prepare for The Future Sustainable and Resilient Development”

Susunan Panitia

Steering Committee:

Dr. Ing. Ir. Ilya Fadjat Maharika, MA., IAI.

Dr. Ir. Kasam, M.T.

Ir. Fitri Nugraheni, S.T., M.T., Ph.D. IPM.

Organizing Committee

Chairperson : Jafar, S.T., M.T., MURP.

Vice-Chairperson : Dr. Suphia Rahmawati, S.T., M.T.

: Ir. Yunalia Muntafi, S.T., M.T., Ph.D. (Eng).

Secretary:

Annisa Nur Lathifah, S.Si., M.Biotech., Ph.D.

Shofwatul Fadilah, S.T.P., M.Eng.

Arie Indah R., S.S.

Fandi Ahmad W.

Committee Members:

Malik Mushthofa, S.T., M.Eng.

Aryo Akbar Aldiansyah, S.T., M. Arch.

Elvis Saputra, S.T., M.T.

Anisa Nur Amalina, S.T., M.Eng.

Muhamad Abdul Hadi, S.T., M.T.

Agus Setiawan, S.T., M.Arch., IAI. GP.



Treasurer:

Adelia Anju Asmara, S.T., M.Eng.

Uswatun Khasanah, S.E.

Lilies Handayani, S.E.

Supporting Staff:

Ratna Kumala Dewi, A.Md.

Rizka Ariyanto, S.Kom

M. Hidayatullah, S.Kom.

Muhammad Arief Noor Rokhim, S.Tr.I.Kom.

Dimas Sapri Nugroho, S.T.



Reviewer

Prof. Ir. Widodo, MSCE., Ph.D.	Dr. Ir. Lalu Makrup, M.T.
Prof. Ir. Mochamad Teguh, MSCE., Ph.D.	Aryo Akbar Aldiansyah, S.T., M. Arch.
Prof. Dr.-Ing. Ir. Widodo Brontowiyono, M.Sc.	Agus Setiawan, S.T., M.Arch., IAI. GP.
Adam Rus Nugroho, S.T., M.T.	Jafar, S.T., M.T., MURP.
Dr. Andik Yulianto, S.T., M.T.	Johanita Anggia Rini, S.T., M.T., Ph.D.
Any Juliani, S.T., M.Sc (Res.Eng.), Ph.D.	Joni Aldilla Fajri, Dr.,S.T.,M.Eng.
Arif Budi Sholihah, S.T., M.Sc., Ph.D.	Shofwatul Fadilah, S.T.P., M.Eng.
Dr. Eng. Awaluddin Nurmiyanto, S.T., M.Eng.	Luqman Hakim, S.T., M.Si.
Berlian Kushari, S.T., M.Eng.	Malik Mushthofa, S.T., M.Eng.
Dyah Hendrawati, S.T., M.Sc.	Miftahul Fauziah, S.T., M.T., Ph.D.
Dwi Astuti Wahyu Wulan P, S.T., M.T.	Muhammad Rifqi Abdurrozak, S.T., M.Eng.
Dr. Ir. Edy Purwanto, CES., DEA.	Dr. Ing. Nensi Golda Yuli, S.T., M.T.
Ir. Fitri Nugraheni, S.T., M.T., Ph.D., IPM.	Pradipta Nandi Wardhana, S.T., M.Eng.
Ir. Hastuti Saptorini, M.A.	Muhammad Abdul Hadi, S.T., M.T.
Setya Winarno, ST., MT., Ph.D.	Prayogo Afang Prayitno, S.T., M.Eng.
Dr. Suphia Rahmawati, S.T., M.T.	Annisa Nur Amalina, S.T., M.Eng.
Aisyah Nur Jannah, S.T., M.Eng.	Dr. Eng. Mahmud Kori Effendi, S.T., M.T.
Ir. Yunalia Muntafi, S.T., M.T., Ph.D. (Eng).	Tri Nugroho Sulistyantoro, S.T., M.T.

Editor

Prof. Ir. Mochamad Teguh, MSCE., Ph.D.
Annisa Nur Lathifah, S.Si, M.Biotech, Ph.D
Jafar, ST., M.T., MURP.
Shofwatul Fadilah, S.T.P., M.Eng.
Annisa Nur Amalina, S.T., M.Eng.
Malik Mushthofa, S.T., M.Eng.

Pembicara



Prof. Hiroyuki Sakakibara adalah seorang profesor Pascasarjana Sains dan Teknologi di Universitas Yamaguchi, Jepang. Beliau memperoleh gelar B.S dibidang teknik sipil pada tahun 1995, memperoleh gelar M.S dibidang Ilmu Sistem Terapan pada tahun 1997 dan memperoleh gelar Ph.D dibidang teknik sipil pada tahun 2001. Seluruh gelar tersebut diperoleh dari pendidikan di Universitas Kyoto, Jepang. Beliau merupakan anggota dari Japan Society Civil Engineering (JSCE) dan memperoleh penghargaan insentif untuk riset dari asosiasi Jepang. Minat penelitian beliau adalah perencanaan infrastruktur yang mencakup infrastruktur sosial (teknik sipil, arsitektur, pencegahan bencana), teknik sipil (perencanaan dan transportasi), evaluasi struktur perkotaan dan pengambilan keputusan dalam manajemen resiko bencana. Email: sakaki@yamaguchi-u.ac.jp



Dr. Alidost Ertugrul menyelesaikan gelar sarjananya di Fakultas Arsitektur Yıldız Technical University. Beliau menyelesaikan pendidikan Magisternya dalam bidang Sejarah Arsitektur dan Pendidikan Doktornya di Departemen Konservasi dan Restorasi, Fakultas Arsitektur, Istanbul Technical University. Beliau berpartisipasi dalam banyak proyek konservasi dan praktek-praktek baik pada institusi negeri maupun swasta. Selain merancang dan melaksanakan proyek restorasi untuk pelestarian bangunan, Dr. Alidost Ertugrul bekerja sebagai anggota Dewan Perlindungan Kekayaan Budaya, Kementerian Kebudayaan dan Pariwisata Turki dan mengambil bagian dalam penerapan restorasi sebagai konsultan dan anggota komite ilmiah. Setelah menyelesaikan pendidikan Doktornya, ia melanjutkan pendidikan akademisnya pada universitas negeri dan yayasan yang berbeda, dimana selain mengajar program sarjana dan pascasarjana, ia juga mengambil bagian dalam berbagai proyek riset yang berbeda dan proyek publikasi, juga bekerja sebagai Wakil Dekan dan Kepala Departemen. Bidang keahliannya meliputi, dalam konteks umum: Sejarah Perkotaan, Konservasi Perkotaan, Manajemen Warisan, Teknik dan Material Konstruksi Traditional. Dr. Ertugrul menjadi kepala Departemen Warisan

Arsitektur IRCICA pada Agustus 2021. Beliau dan tim nya bekerja pada proyek pelestarian dari warisan budaya dalam dunia keislaman.



Prof. Karl Kim menyelesaikan pendidikan sarjananya di Universitas Brown dan pendidikan Doktornya mengenai Studi dan Perencanaan Perkotaan di Massachusetts Institute of Technology. Beliau merupakan Pemimpin Redaksi Penelitian Transportasi: Perspektif Interdisipliner; Editor Rekanan pada Penelitian Transportasi, Bagian D, Transportasi dan Lingkungan; dan sebelumnya Pemimpin Redaksi Analisis dan Pencegahan Kecelakaan, serta Editor Studi Korea. Beliau telah menerima lebih dari \$67 juta dalam bentuk hibah penelitian dan pelatihan dari lembaga dan organisasi federal, negara bagian, dan internasional. Menjabat sebagai Ketua Konsorsium Kesiapsiagaan Domestik Nasional (ndpc.us). Sebelumnya menjabat sebagai Wakil Rektor Bidang Akademik (Kepala Bagian Akademik) Universitas Hawaii di Manoa, membawahi perencanaan strategis, akreditasi, masa jabatan dan promosi, serta program internasional. Melaksanakan janji temu fakultas di Pusat Studi Korea, dan Sekolah Arsitektur dan melayani di beberapa komite Dewan Riset Transportasi. Menjabat sebagai Ketua Manajemen Risiko Pasifik Ohana dan terpilih menjadi Dewan Lembaga Penelitian Bahaya dan Bencana Amerika Utara (NAAHDRI).



Prof. Widodo Brontowiyono adalah guru besar di Departemen Teknik Lingkungan Universitas Islam Indonesia. Beliau mendapatkan gelar Sarjananya dari Universitas Gadjahmada. Sedangkan gelar masternya dari University of Texas - San Antonio, AS. Prof.Widodo mendapatkan gelar Dr.-Ing. dari Institut Teknologi Karlsruhe (KIT), Jerman. Minat penelitiannya terkait dengan isu lingkungan dan sumber daya air. Publikasinya dapat dicari di jurnal-jurnal seperti: *Water*, *Sustainability*, *F1000Research*, dll. Prof. Widodo aktif terlibat dalam organisasi sosial - profesi, misalnya Intakindo, ICMI, IWA, dll. Beliau juga anggota asesor nasional untuk lembaga jasa konstruksi / LPJK (Lembaga Pengembangan Jasa Konstruksi), LAM Teknik (akreditasi nasional untuk program studi teknik), dan IABEE (Badan Akreditasi Indonesia untuk Pendidikan Teknik). Emailnya adalah: widodo.brnto@uii.ac.id



Prof. Ir. Dr. Siti Rozaimah Sheikh Abdullah adalah profesor di Departemen Teknik Kimia dan Proses, Fakultas Teknik dan Lingkungan Buatan, Universiti Kebangsaan Malaysia. Beliau meraih gelar M.Eng nya dari University of Nottingham dan Ph.D dari Universiti Kebangsaan Malaysia. Spesialisasi penelitiannya adalah sistem pengolahan air dan air limbah, fitoremediasi, audit dan pengelolaan limbah, serta kontrol berbasis kecerdasan buatan dalam pengolahan air limbah. Ia merupakan peneliti yang sangat produktif yang telah ikut menulis ratusan artikel penelitian dan telah diterbitkan dalam jurnal ilmiah bereputasi tinggi, termasuk *Bioresource Technology*, *Energy*, *Journal of Cleaner Production*, *Journal of Environmental Chemical Engineering*, dan *Journal of Water Process Engineering*. Scopus h-index-nya saat ini adalah 32. Dia telah menjadi Pemimpin Proyek dalam proyek konsultasi dengan perusahaan di Malaysia, termasuk Petronas dan Malaysia Newsprint Industry. Atas kontribusinya yang luar biasa dalam penelitian dan pengajaran, Ia telah memenangkan berbagai penghargaan, termasuk Anugerah Individu Cemerlang Keseluruhan (Sijil Penghargaan) 2021, UKM Excellence Service Award 2017, Penghargaan Medali Emas dalam Praktik Inovatif di Expo Pendidikan Tinggi 2014 (bersama rekan-rekannya di UKM) , Medali Perunggu dalam Pameran Internasional 32 Inventions of Geneva 2004, UKM Excellent Service Award 2004, 2008 & 2011, dan UKM Excellent Lecturer Awards 2006, 2007 & 2011. Email: rozaimah@ukm.edu.my



Profesor Dr. Nicole Uhrig mempelajari perencanaan lanskap di BU Berlin serta arsitektur lanskap dan perencanaan kota di Escola Superior d'Arquitectura di Barcelona. Beliau telah mempraktekkan ilmunya dari tahun 1992 hingga 2003, termasuk di kantor perencanaan Gabriele Kiefer dan di STrauma di Berlin sebagai manajer proyek. Dari 2004-2008 dia bekerja sebagai asisten peneliti bersama dengan Prof. Dr. Udo Weilacher di Ketua Arsitektur Lansekap dan Desain Leibniz Universität Hannover. Pada tahun 2011 ia menyelesaikan gelar doktornya di Technical University of Munich (penguji pertama Arsitektur Lansekap: Prof. Dr. Udo Weilacher/ Penguji Kedua Komunikasi Bisnis: Prof. Dr. Holger Hase). Dia adalah arsitek lanskap lepas (bekerja sama dengan arsitek lanskap LA.BAR, www.la-bar.de), penulis dan editor

spesialis dan bekerja di berbagai universitas dan kolase dalam pengajaran dan penelitian. Sejak Mei 2016, beliau merupakan Profesor Arsitektur Lansekap Program Magister Internasional di Anhalt University of Applied Sciences. Email: nicole.uhrig@hs-anhalt.de



Ajeng Arum Sari adalah Direktur Pendanaan Riset dan Inovasi Badan Riset dan Inovasi Nasional. Beliau memperoleh gelar sarjana dari Jurusan Teknik Lingkungan Universitas Diponegoro. Beliau menyelesaikan gelar Master dan Doktornya di Ehime University, Jepang. Lalu ia memulai karir profesionalnya sebagai peneliti di Pusat Penelitian Kimia – Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (LIPI) sejak tahun 2006. Fokus penelitiannya adalah pada bioremediasi polutan oleh jamur dan pengolahan air limbah. Direktoratya mengelola dana penelitian yang dapat diakses oleh semua pihak. Skema pendanaan penelitian dapat diakses di <https://pendanaan-risnov.brin.go.id/>. Untuk informasi lebih lanjut tentang profilnya, silakan kunjungi <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=55212494400> dan email ajen001@brin.go.id

Penerbit:



UNIVERSITAS
ISLAM
INDONESIA

Kampus Terpadu UII
Jl. Kaliurang Km 14,5 Yogyakarta 55584
Tel. (0274) 898 444 Ext. 2301; Fax. (0274) 898 444 psw 2091
e-mail: penerbit@uii.ac.id





[A] Lingkungan Hidup Layak Huni



KAJIAN PEMBELAJARAN PERILAKU MERUANG Dari PERILAKU MANUSIA ke RANCANGAN ARSITEKTURAL

Hastuti Saptorini ¹

¹ Jurusan Arsitektur, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam
Indonesia

885120102@uii.ac.id

ABSTRAK

Isu global pandemi covid 19 telah mengubah perilaku manusia dalam berkehidupan, sehingga proses perubahan perilaku menjadi sebuah keniscayaan. Hal ini juga berkonsekuensi pada peruangannya. Fenomena ini mengindikasikan betapa urgen perilaku manusia dipelajari, karena akan beresiko terhadap adaptasi rancang ruangnya sebagai wadah perubahan perilaku yang terjadi, baik di ranah mikro (ruang), meso (bangunan), maupun makro (kawasan). Proses mengadaptasinya membutuhkan kemampuan kritis dan sistematis sesuai sekuens bagaimana alur merancang arsitektur. Paper ini bertujuan mengkaji hasil pembelajaran Mata Kuliah Perilaku Meruang yang Penulis ampu di Program Studi Sarjana Arsitektur, FTSP UII berdasarkan Kurikulum 2020, yang mungkin dapat dijadikan rujukan dan dasar pengembangan proses pembelajaran di masa berikutnya. Kajiannya berbasis pada proses pembelajaran Mata Kuliah ini yang disederhanakan dalam 3 poin bahasan yaitu a. peta konsep yang diformulasikan, b. dasar teori perilaku meruang yang diberikan, dan c. hasil rancang ruangnya. Dengan demikian data dalam kajian ini diambil dari pengalaman proses mengajar selama 2 semester dalam 2 tahun ajaran, termasuk materi yang relevan dan hasil rancangannya. Metode analisis dalam paper ini difokuskan pada bagaimana memformulasikan hasil rancangan berbasis isu perilaku yang terindikasi, sebagai produk penugasan mata kuliah yang berbobot 4 SKS. Formulasi analitis dituangkan ke dalam 4 tahap. Pertama adalah timbulnya perilaku meruang didorong oleh adanya isu/problem berkehidupan yang senantiasa tumbuh dinamis setiap saat. Kedua adalah, timbulnya motivasi ini mendorong terjadinya perubahan yang membutuhkan adaptasi. Ketiga adalah adaptasi perubahan tersebut membutuhkan pemetaan perilaku untuk mencatat kebutuhan dan potensi Pelaku perubahan. Keempat, adalah kebutuhan adaptasi yang telah dipetakan perilakunya membutuhkan solusi rancangan walaupun hanya sebatas guideline rancangan, yang ke depannya dapat dikembangkan menjadi rancangan yang lebih detail, teknis, kondisional, dan kontekstual. Hasil kajian menunjukkan 3 poin temuan. Pertama adalah problem perilaku yang ditemukan termotivasi oleh kebutuhan fisiologis dan keamanan/kenyamanan. Kedua, adaptasi perubahan yang terjadi di 3 ranah kasus menunjukkan variasi yang berbeda sesuai konteks dan keragaman tuntutan Pelaku. Ketiga adalah guideline rancangan sebagai solusi perubahan di 3 ranah kasus bersifat spesifik dan unik karena disesuaikan dengan kondisi dan konteks kasus.

Kata kunci: Pembelajaran perilaku meruang, pemetaan perilaku, rancangan arsitektural

PENDAHULUAN

Fenomena pandemi covid 19 menimbulkan dampak signifikan bagi masyarakat dunia, baik dari sisi ekonomi, sosial, budaya, ekologis, politik, tak terkecuali perilaku manusia dalam berkehidupan. Perubahan manusia atas terjadinya fenomena ini berkonsekuensi pada proses adaptasi khususnya dalam hal berkegiatan dan berperilaku. Wujudnya bervariasi, baik yang kasat mata/tampak maupun tidak, baik yang dapat dirasakan maupun yang tidak dirasakan. Hal ini bergantung kepada siapa, mengapa, dimana, dan kapan mereka berperilaku.

Perubahan perilaku ini berkonsekuensi terhadap wadah peruangannya, yang dalam ilmu arsitektur di FTSP UII dikemas dalam mata kuliah Perilaku Meruang berSKS 4 kredit. Mata kuliah ini disampaikan dalam bentuk materi teori dan penugasan. Penyampaian materi teori diberikan dengan model ceramah sebagaimana layaknya pengetahuan disampaikan, sedangkan materi penugasan diberikan dalam bentuk studi kasus yang dikerjakan secara individual. Penugasannya adalah mahasiswa melakukan transformasi guideline rancangan berdasarkan problem perilaku yang diindikasikan di sekitar tempat tinggal masing-masing. Hasilnya mesti linier dan sistematis sesuai dengan persoalan behavioral yang ditemukan, yaitu mulai dari identifikasi problem, proses adaptasi, peta perilaku, sampai dengan guideline rancangan sebagai solusi atas perubahan perilakunya.

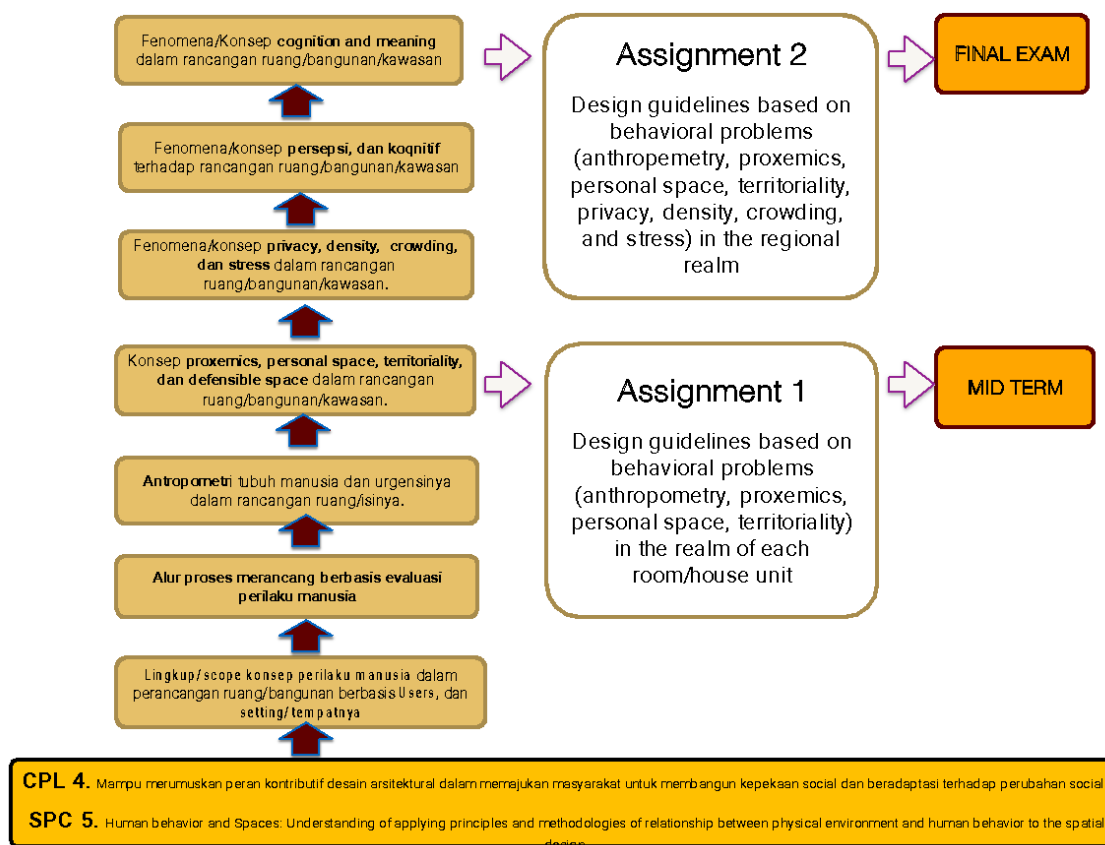
Atas dasar catatan tersebut, pengetahuan teoritik dibekalkan. Moore dalam Snyder (1979) mengurai perilaku manusia dipelajari berdasarkan taksonomi merancang arsitektur, yaitu mulai dari fisiologis tubuh kita sampai kepada kognisi mengapa dan atas dasar apa kita berperilaku, serta konsekuensi atas perilaku tersebut. Teori-teori terkait antropometrik tubuh manusia, persepsi, privasi, teritori, kesesakan, evaluasi purna huni, dsb merupakan taksonomi teori perilaku manusia yang pada ujungnya sampai pada konsekuensi rancangan arsitektur (Saptorini, 2021).

Arifin (2017) juga menekankan bahwa mengantisipasi perubahan perilaku manusia tidak lain adalah untuk mengeksplorasi, memilih, dan menetapkan keputusan-keputusan penting dalam kehidupannya. Selanjutnya, Zainudin et al (2021) menambahkan bahwa manusia mampu mengantisipasi konsekuensi perubahan perilaku berdasarkan apa yang mereka pelajari (pengetahuan) dan pengalamannya. Pengetahuan dan pengalaman inilah yang mewarnai proses perubahan tingkah laku bagi manusia yang membentuk serangkaian aktivitas jiwa raga (fisik-non fisik) menuju perkembangan pribadi manusia seutuhnya. Atas dasar itulah pengetahuan arsitektur mengakomodasinya dalam teori adaptasi dan transformasi rancangan arsitektur untuk mewartakan serangkaian aktivitas sebagai konsekuensi perubahan perilaku manusia. Dalam hal ini, strategi merancang yang bagaimanakah merupakan konsekuensi berikutnya agar perubahan perilaku manusia terakomodasi secara optimal menuju pembentukan jiwa raga yang utuh dalam berkehidupan, baik secara individual maupun komunal (Saptorini, 2021). Berbasis pertanyaan tersebut, paper ini ditulis untuk mengkaji bagaimana alur pikir merancang arsitektur sebagai konsekuensi akhir atas respons perubahan perilaku dalam berkehidupan.

KAJIAN PUSTAKA

Peta Konsep Pembelajaran Perilaku Meruang

Mata kuliah Perilaku Meruang diformulasikan berdasarkan konsep map sebagaimana terdiagramkan dalam Gambar 1. Konsep map ini berangkat dari Capaian Pembelajaran Lulusan (CPL) 4 yang mengarah pada “mampu merumuskan peran kontributif disain arsitektural dalam memajukan masyarakat untuk membangun kepekaan sosial, dan beradaptasi terhadap perubahan sosial. Capaian ini senada dan disepesifikan oleh Student Performance Criteria (SPC) 5 KAAB, board arsitektur internasional, yang mengakreditasi Jurusan Arsitektur FTSP UII selama 6 tahun ini. SPC tersebut berbunyi “*human behavior and spaces understanding of applying principles and methodology of relationship between physical environment and human behavior to the spatial*”. Dari CPL 4 dan SPC 5 tersebut dijawantahkan dalam bentuk teori dan penugasan, yang diberikan dalam 14 kali pertemuan kelas dan 2 kali evaluasi: tengah dan akhir.



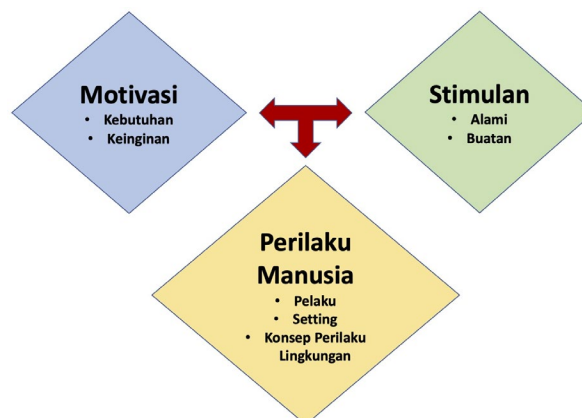
Gambar 1. *Concept Map* MK Perilaku Meruang
(Sumber: Tim Pengajar MK Perilaku Meruang, 2022)

Perilaku Meruang dan Teori Yang Mendasarinya

Teori perilaku meruang merupakan teori yang mempelajari proses merancang ruang arsitektur, baik skala ruang, bangunan, maupun kawasan. Teori ini dilandasi oleh teori perilaku manusia yang dimaknai sebagai kegiatan atau aktivitas manusia, yang dapat

diamati langsung atau tidak langsung (diamati dari luar). Menurut Skinner (1974) perilaku adalah respon atau reaksi seseorang terhadap suatu rangsangan dari luar. Berdasarkan bentuk respons terhadap stimulus, perilaku dapat dibagi menjadi dua yakni perilaku tertutup dan perilaku terbuka. Perilaku tertutup terjadi apabila respon terhadap stimulus masih terbatas pada perhatian, perasaan, persepsi, pengetahuan dan sikap terhadap stimulus tersebut. Perilaku terbuka apabila respon terhadap stimulus dapat diamati oleh orang lain yaitu dalam bentuk tindakan atau praktik yang dapat diamati oleh orang lain.

Sebaliknya, perilaku manusia juga dapat terbangun oleh motivasi tertentu untuk melakukan sesuatu pada setting lingkungan. Motivasi secara umum sering diartikan sebagai sesuatu yang ada pada diri seseorang yang dapat mendorong, mengaktifkan, menggerakkan dan mengarahkan perilaku seseorang (Marcella, 2004). Dengan demikian antara stimulan dan motivasi merupakan dua faktor yang saling mempengaruhi untuk menghasilkan perilaku manusia. Selanjutnya, Moore dalam Snyder (1979) menambahkan bahwa fenomena perilaku manusia secara hakiki melibatkan 3 unsur utama, yaitu Pelaku, setting/tempat, dan konsep perilaku lingkungan. Ketiga faktor ini (motivasi, stimuli, dan perilaku manusia) merupakan mekanisme perilaku meru yang terjalin dan terhubung secara sistemik dan sikikal. Konfigurasi hubungan antara motivasi, stimulan, dan perilaku beserta unsurnya diilustrasikan dalam Gambar 2.



Gambar 2. Hubungan Motivasi, Stimulan, dan Perilaku Manusia

Sumber: Penulis, 2022

Sehubungan perilaku manusia, Saptorini (2021) membedakan Pelaku sebagai manusia yang beraktivitas dalam 3 kemungkinan skala: individual, kelompok tertentu, maupun komunal. Setiap pelaku menciptakan perilaku yang unik dan berbeda, bergantung kepada motivasi, budaya, dan pengalaman pengetahuan yang dimilikinya. Setting merupakan tempat/area/lingkungan dimana Pelaku melakukan aktivitasnya dan memiliki ranah yang luas, mulai dari furniture, ruang, bangunan, kawasan, kota, sampai pada skala dunia. Seringkali, setting menjadi stimuli/perangsang timbulnya perilaku manusia. Kapan setting menjadi stimuli? Stimuli terbangun ketika setting memberi “peluang” yang mengundang pemenuhan kebutuhan atau keinginan untuk “memenuhi” motivasi Pelaku dalam berperilaku.

Konsep perilaku lingkungan merupakan sebuah teori yang mendasari analisis mengapa Pelaku berperilaku. Dasar teoritik manusia berperilaku diawali oleh bagaimana pola dan ukuran tubuh manusia berperilaku menghadapi elemen ruang sampai dengan

bagaimana reaksi manusia (individual maupun komunal) berperilaku menghadapi kondisi kawasan. Dengan kata lain, teori perilaku manusia yang dijadikan dasar analisis perilaku meruang adalah berawal dari antropometric (standar fisik) sampai semiotik (tanda/symbol/non fisik). Antropometric mengarah pada informasi ukuran tubuh manusia. Moore dalam Snyder (1979) menekankan bahwa semiotik mengarah pada informasi simbolik yang laten, sangat fana, dan terselubung. Secara menyeluruh, konsep perilaku lingkungan ini mencakup antropometrik, personal space, proksemika, teritorialitas, *affordance*, privasi, persepsi, kognisi, kesesakan, *defensible space*, dan makna. Berbasis teori ini, dapat difahami bahwa manusia memiliki kemampuan beradaptasi secara spasial yang unik dan berbeda. Asharhani et al (2021) menegaskan secara eksplisit, bahwa minimal ada 2 poin manfaat adaptasi spasial bagi Arsitektur. Pertama adalah meningkatkan kualitas kinerja ruang berdasarkan perilaku manusia yang terbangun. Kedua adalahantisipasi perubahan budaya.

Proses Adaptasi

Adaptasi spasial berasal dari kata adaptasi yang berarti penyesuaian, dan spasial yang berhubungan dengan ruang. Istilah ini sering diterapkan dalam ilmu arsitektur yang bermakna proses penyesuaian dan berdampak pada masalah keruangan, baik bentuk, dimensi, maupun kualitas ruang. Nugroho (2008) mendefinisikan adaptasi spasial sebagai penyesuaian antara individu dengan lingkungan, sehingga adaptasi merupakan suatu respons penyesuaian terhadap stimulus. Ada tiga kategori stimulus yang dijadikan tolak ukur dalam hubungan lingkungan dan tingkah laku, yaitu stimulus fisik yang merangsang indera (suara, cahaya, suhu, udara), stimulus social, dan gerakan. Pengalaman Dheany (2020) ketika mengkaji adaptasi spasial terhadap perumahan menemukan bahwa variable usia penghuni rumah sangat menentukan dalam melakukan adaptasi spasial. Pada umumnya seiring bertambahnya usia, mereka mengalami penurunan kemampuan untuk melakukan kegiatan. Kapasitas fungsional mereka terlalu rendah untuk mengatasi kendala atau hambatan di rumah mereka sendiri, sehingga mereka menjadi tergantung dengan orang lain. Pengalaman beradaptasi tersebut mengindikasikan bahwa dalam proses adaptasi dibutuhkan sejumlah variable yang dapat menentukan konsep perilaku terhadap lingkungan. Karenanya, variable yang beradaptasi perlu diidentifikasi dan dipetakan sebagai dasar analisis dan sintesis dalam mencari solusi atas perubahan yang terjadi.

Pemetaan Perilaku dan Rancangan Arsitektural

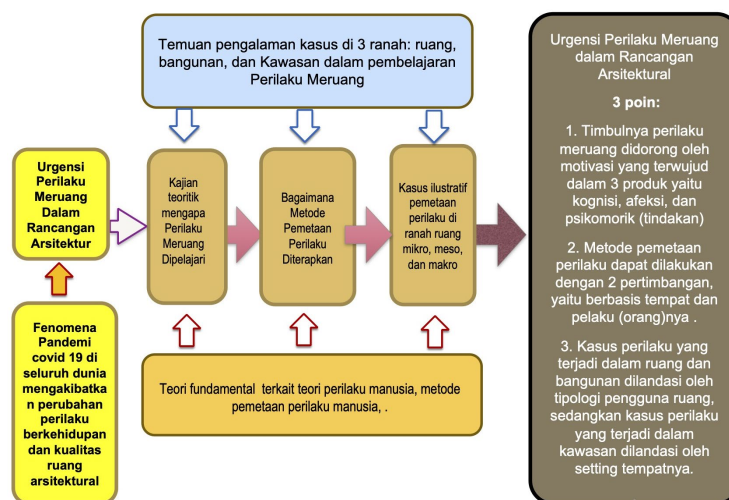
Pemetaan perilaku merupakan salah satu metode identifikasi atas terjadinya perubahan. Metode ini menjadi teknik yang sangat populer dan banyak digunakan oleh para behaviorist untuk menunjukkan siapa, melakukan apa, dan dimana perilaku terjadi. Pada umumnya pemetaan perilaku digambarkan dalam bentuk sketsa atau diagram dimana manusia melakukan berbagai kegiatan pada suatu area (Haryadi, 2010). Tujuannya adalah untuk mengidentifikasi pelaku, jenis dan frekuensi perilaku pada suatu setting. Pemetaan perilaku ini dapat dilakukan dengan dua cara yaitu pemetaan berdasarkan tempat (Place-centered Mapping), dan pemetaan berdasarkan pelaku (Person-centered Mapping). Apapun metode yang dipilih untuk memetakan perilaku dan proses adaptasi terhadap ruang, membutuhkan kejelasan arah rancangan untuk mensolusi perubahan. Rancangan arsitektural merupakan produk yang bersifat solutif (problem solving) yang dapat ditemui dalam 3 ranah, yaitu mikro (ruang), meso (bangunan), dan makro

(kawasan). Rancangan ini penuh tanggungjawab dan memiliki nilai yang tidak hanya teknis, fisik, seni/estetik, sosial, budaya, ekonomis, melainkan juga mental (Spaan, M.).

METODA

Kajian paper ini secara umum dilakukan dengan cara diskriptif kualitatif. Teori dikumpulkan dari rujukan sejumlah materi perkuliahan Perilaku Meruang beserta produk kasus penugasannya yang bersifat individual. Kasus penugasan yang dijadikan sampel kajian dikumpulkan dengan teknik *quota purposive cluster random sampling*. Purposive sampling adalah dipilih tugas mahasiswa yang menghasilkan produk lengkap, sedangkan cluster sampling adalah diambil kasus yang beranah mikro (2 kasus), meso (2 kasus), dan makro (3 kasus), sehingga total berjumlah 7 studi kasus.

Analisis dilakukan dengan cara mengurai setiap ranah kasus berdasarkan 4 hal, yaitu: (a) identifikasi problem/isu/motivasi, (b) bagaimana adaptasi/perubahan yang terjadi, (c) bagaimana peta perilaku yang dihasilkan, dan terakhir (d) adalah bagaimana arah strategis yang direkomendasikan/dijadikan guideline ke dalam/menjadi rancangan. Gambar 3 merupakan alur kajian paper ini yang ditunjukkan secara diagramatis.



Gambar 3. Alur metode kajian urgensi perilaku meruang dalam rancangan arsitektural.

Sumber: Penulis, 2022

DATA DAN PEMBAHASAN

Bagian ini adalah uraian untuk menjawab urgensi perilaku meruang ke dalam rancangan berbasis kasus ruang, bangunan, dan kawasan. Uraian kasus ini ditunjukkan melalui proses transformasi pentingnya perilaku meruang menjadi guideline rancangan sebagai salah satu alternatif solusi. Proses ini dijabarkan melalui alur 4 langkah, yaitu a. identifikasi problem/isu/motivasi, b. bagaimana adaptasi/perubahan yang terjadi, c. bagaimana peta perilaku yang dihasilkan, dan terakhir (d) adalah bagaimana arah strategis yang direkomendasikan/dijadikan guideline ke dalam/menjadi rancangan.

Kasus Perilaku Meruang di Ranah “Ruang”

Proses transformasi dari perilaku meruang menjadi guideline rancangan di ranah ruang digambarkan melalui 2 kasus ruang dari salah satu rumah di 2 kota yaitu Banjarbaru dan Balikpapan. Kedua kasus ini berangkat dari isu pandemi covid 19 yang mengkondisikan kita belajar dari rumah (*learning from home*) masing masing. Mereka memilih tempat belajar dan sekaligus kuliah (via zoom) di ruang tidur masing masing untuk mendapatkan ruang belajar yang kondusif. Konsekuensinya, mereka harus mengadaptasi/mengubah kondisi eksisting berdasarkan isu/problem yang diindikasi.

Sebagai contoh ilustratif, dari isu/problem Kasus 1 pada Tabel 2, adaptasi yang harus dilakukan adalah relay layout ruang tidur yang nyaman untuk belajar dan kuliah. Metode analisis solusinya adalah dengan pemetaan perilaku. Kasus 1 adalah pencarian layout tempat belajar yang nyaman. Melalui pemetaan perilaku diperoleh kemungkinan kemungkinan layout yang paling optimal untuk belajar secara nyaman. Sedangkan Kasus 2, isunya tidak hanya ketidaknyamanan visual, namun juga termal (Tabel 2). Melalui metode yang sama, pemetaan perilaku diterapkan untuk mencari kemungkinan relay layout meja belajar yang tidak silau dan tidak menimbulkan panas termal yang berlebihan.

Hasil pemetaan perilaku yang mengindikasikan paling minim resikonya, dibutuhkan eksekusi yang bersifat guideline rancangan. Merujuk Wignjosoebroto, S. (2000), dan pengalaman Pane (2021) makna paling minim resiko untuk kasus ini adalah kondisi paling optimal yang menemukan kejelasan tindakan lanjutan sebagai konsekuensi atas perubahan yang terjadi. Pada Kasus 2, kenyamanan termal dibutuhkan untuk mengkondisikan ruang dalam secara arsitektural. Berbasis pada teori Maier (2009) guideline rancangan yang ditetapkan adalah merancang ulang landscaping vertikal yang dapat mengurangi panas secara berlebihan.

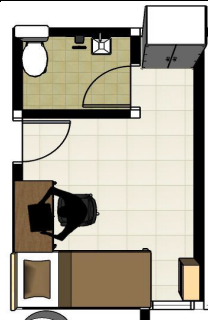
Tabel 2. Proses Aplikasi Perilaku Meruang ke Guideline Rancangan Ranah Ruang

	Kasus 1	Kasus 2
Parameter	Ruang belajar saat <i>learning from home</i> di rumah Banjarbaru	Ruang belajar di rumah berlantai 2, kamar tidur 4 yang dihuni 4 orang, di Balikpapan
a identifikasi problem/isu/motivasi	Ketidaknyamanan visual ruang belajar akibat posisi jendela	Ketidaknyamanan termal dan visual orientasi ruang belajar di lantai dua.
b adaptasi/perubahan yang terjadi	3 kali relay layout ruang tidur dan ruang belajar	Perpindahan posisi meja belajar untuk menghindari silau dan panas yang tidak nyaman

c peta perilaku yang dihasilkan



d guideline ke dalam rancangan



Merelayout ruang tidur dan belajar yang paling optimal setelah berpindah 3 kali.

Kontributor kasus	Meinora Dewi Nurhaliza 20512075	Fitri Amalia Rafi 20512146
-------------------	------------------------------------	-------------------------------

Kasus Perilaku Meruang di Ranah “Bangunan”

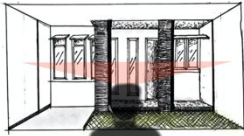
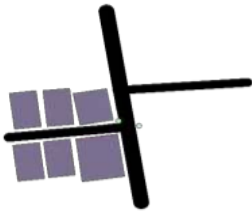


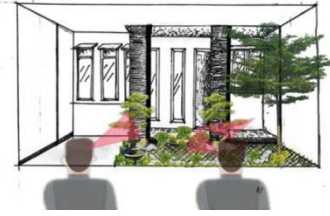
Proses transformasi dari perilaku meruang menjadi guideline rancangan di ranah bangunan digambarkan melalui 2 kasus bangunan rumah. Kedua kasus ini berangkat dari isu pagar (Kasus 1) dan wajah rumah tinggal (Kasus 2). Problem Kasus Bangunan 1 pada Tabel 3, pagar masif di sudut jalan, menimbulkan gangguan/hambatan visual Pelaku kendaraan yang melintas pertigaan, sehingga potensi tidak aman. Adaptasi yang harus dilakukan adalah redesign sudut pagar. Metode analisis solusinya adalah dengan pemetaan perilaku. Melalui metode ini diperoleh kemungkinan rancangan sudut pagar yang paling aman secara visual untuk melihat lawan pengendara dari arah jalan yang berbeda. Sedangkan Kasus 2, isunya terletak pada wajah bangunan yang terlalu transparan sehingga mengurangi privasi Penghuninya (Tabel 2). Melalui metode yang sama, pemetaan perilaku diterapkan untuk mencari kemungkinan dalam mengurangi “kesan transparan”

Hasil pemetaan perilaku diharapkan memperoleh resiko paling minim. Minimalisasi resiko di antara dua kasus ini tentu berbeda. Minimalisasi resiko Kasus Bangunan 1 adalah bagaimana perilaku pengguna jalan yang paling aman dan dapat melihat

gerak lawan pengendara dari arah yang berbeda. Pada Kasus 2 adalah bagaimana gerak gerik Penghuni tidak menimbulkan perilaku yang membatasi privasi.

Dari pemetaan perilaku ke dua kasus bangunan ini tentu menghasilkan guideline rancangan yang berbeda. Berbasis teori Carrol (2000), kasus rumah tinggal di Bogor (Kasus 1) ditemukan arah rancangan pagar yang transparan, berkisi, berongga, dan tidak terlalu tinggi. Kasus bangunan 2 ditemukan guideline rancangan terhadap landscape halaman rumah depan yang secara prinsip dapat mengurangi peleburan visual ke dalam rumah. Dengan demikian privasi Penghuni dalam melakukan aktivitas di dalam ruang lebih tinggi dari pada sebelumnya.

Tabel 3. Proses Aplikasi Perilaku Meruang ke Guideline Rancangan Ranah Bangunan

Parameter	Kasus 1	Kasus 2
	Rumah tinggal di Bogor	Rumah Tinggal di Paradise Housing
a identifikasi a problem/isu/motivasi	Bangunan di sudut jalan yang berpagar masif, menimbulkan ketidakamanan pergerakan.	Privasi wajah/ facade bangunan berkurang akibat pelobangan wajah bangunan terlalu banyak/luas
b adaptasi/perubahan b an yang terjadi	Di pertigaan jalan dipasang cermin cembung untuk memperluas visual mobilitas pengguna jalan. Pelaku pergerakan harus waspada ketika melewati sudut rumah di pertigaan jalan	 Pembatasan aktivitas di teras dan di dalam ruang tamu karena merasa dilihat oleh orang luar yang berlalu lalang
c peta perilaku c yang dihasilkan	 Pemasangan cermin cembung di sudut pertigaan untuk memperluas visual mobilitas pengguna jalan. Solusi bersifat sementara, belum arsitektural.	
d guideline d dalam rancangan ke	 Pagar sudut rumah dirancang transparant/berongga dan diturunkan	

	ketinggiannya sehingga Pengendara dapat melihat secara visual dari arah simpang jalan.	Taman depan rumah dirancang landscape yang menggunakan vegetasi rimbun sehingga mengurangi/menutup arah visual ke dalam rumah
Kontributor kasus	Zabrina Kartikaning Palupi 20512031	Mutiara Alya Adifa 20512002

Kasus Perilaku Meruang di Ranah “Kawasan”

Proses transformasi dari perilaku meruang menjadi guideline rancangan di ranah kawasan digambarkan melalui 3 kasus kawasan yang terjadi di Perumahan Aulia Raya Housing, Banjarbaru, Pasar tradisional di kawasan Cimindi Bandung, dan Pangkalan Pendaratan Ikan di Tanah Lemo, Bontobahari, Bulukumba. Ketiga kasus ini memiliki isu yang berbeda. Sebagaimana Tabel 4, Kasus Kawasan 1 deretan sejumlah rumah tinggal yang menempati jalan cul de sac (mengantung) mengalami ancaman kriminalitas akibat mandeknya pergerakan manusia yang melewati kawasan rumah tersebut. Jalan terkesan mati dan sepi. Walaupun terdapat 3 ruang terbuka alami yang belum dibangun dan dalam kondisi terlantar. Keterlantaran ini menimbulkan peluang bagi Pelaku kriminalitas untuk sembunyi.

Adaptasi yang dilakukan adalah Penghuni justru terfokus pada penjagaan keamanan rumah mereka masing masing. Mereka takut keluar untuk berinteraksi. Konsekuensinya, ruang sosial yang hidup sangat dibutuhkan. Atas dasar itu pemetaan perilaku yang terjadi menjadi landasan pertimbangan untuk mencari solusi. Bagaimana merespons perilaku tersebut melalui perubahan atas ruang ruang terlantar di koridor jalan. Melalui pemetaan perilaku diperoleh kemungkinan kemungkinan menghidupkan ruang ruang terlantar tersebut menjadi ruang interaktif yang paling optimal untuk berinteraksi.

Berikutnya adalah bagaimana guideline rancangan yang sesuai untuk menghidupkan ruang terlantar tersebut. Menggunakan konsep Crowe (1991), mengatasi ruang mati yang rawan kriminalitas dapat dimulai dengan memfungsikan ruang agar menjadi hidup dan interaktif. Pemfungsian ruang mati tersebut tentu perlu kesepakatan dan diterima oleh seluruh Warga. Sangat potensiil fungsi ruang digunakan untuk aktivitas yang sifatnya “bersama/komunal” yaitu untuk olah raga, taman bermain, tempat pertemuan Warga, dsb. Dari sinilah diharapkan terbangun rasa “sense of belonging”. Penghuni merasa memiliki, membutuhkannya untuk beraktivitas, ikut merawat, dan memonitornya. Orang luar merasa “asing” bila menggunakannya, sehingga kawasan menjadi aman.

Kasus kawasan 2, isunya terletak pada kondisi pasar tradisional yang overloaded Pedagang (Tabel 4). Mereka meluber keluar pasar termasuk menggunakan area parkir Pengunjung. Dampak faktualnya adalah parkir kendaraan Pengunjung pasar terlempar ke badan jalan. Terjadilah kemacetan lalu lintas di jalan jalan di sekitar pasar. Melalui metode yang sama, pemetaan perilaku diterapkan untuk mencari kemungkinan relayout dan pembangunan lapak baru untuk menampung luberan Pedagang, sehingga ruang parkir yang disediakan pasar kembali menempati ruang parkir sebagaimana mestinya.

Pemetaan perilaku luberan pedagang sangat dibutuhkan untuk mengindikasikan kebutuhan pengembangan lapak dan ruang pasar. Pemetaan pedagang juga perlu

diidentifikasi untuk mengeksekusi kualitas dan kuantitas rancangan sebagai konsekuensi atas adaptasi yang terjadi. Guideline rancangan penampungan luberan pedagang pasar sangatlah dibutuhkan untuk mensolusi problem faktual yang berupa kepadatan lalu lintas di sekitar pasar.

Tabel 4. Proses Aplikasi Perilaku Meruang ke Guideline Rancangan Ranah Kawasan


Parameter	Kasus 1	Kasus 2
	Perumahan Aulia Raya Housing, Banjarbaru	Pasar tradisional di kawasan Cimindi Bandung
a identifikasi problem/isu/motivasi	 Sepinya lingkungan perumahan mengakibatkan ketidakamanan dan sering terjadi kriminalitas	Kesesakan lalu lintas di sekitar jalan Pasar akibat parkir kendaraan yang tergeser oleh Pedagang yang meluber di Pasar tradisional Cimindi Bandung
b adaptasi/perubahan yang terjadi	Penghuni perumahan jarang berkomunikasi (berinteraksi sosial) dan hanya merasa aman beraktivitas di dalam rumah.	Pelaku parkir menggunakan badan jalan, Pelaku mobilitas bergerak pelan
c peta perilaku yang dihasilkan	 Konfigurasi posisi jalan buntu dan sebaran ruang kosong yang sering digunakan untuk persembunyian tindakan kriminalitas	 Situasi jalan yang sesak akibat reposisi parkir di jalan raya akibat luberan Pedagang yang menempati area Parkir yang telah direncanakan.
d guideline ke dalam rancangan	 Pembangunan ruang ruang bermain di area kosong untuk berinteraksi Penghuni perumahan sehingga jalan menjadi hidup.	 Penambahan lapak lapak pedagang di area yang masih kosong

Kontributor kasus	Meinora Dewi Nurhaliza 20512075	Muhammad Dzulfikar Fajri - 20512168
-------------------	------------------------------------	--

Kasus kawasan 3, isunya terletak pada kondisi Penangkapan Pangkalan Ikan yang belum siap/layak untuk bertransaksi hasil tangkapan (Tabel 5). Pelaku transaksi, baik Pengunjung, Pedagang, Nelayan, maupun Manajemen melakukan proses transaksi di area pantai (terbuka, tanpa naungan) secara spontan. Adaptasinya adalah Pedagang memilih area pantai yang kering, permukaan pasir yang relatif datar dan keras, mudah dilihat, sedangkan Pengunjung memilih area parkir dan Pedagang yang mudah diakses. Manajemen bekerja sambil berdiri dan berkeliling memonitor proses transaksi ikan yang terjadi. Juru mudi kapal merapatkan kapal tangkapan ikannya di area yang relatif ramai.

Melalui metode pemetaan perilaku stakeholders ini, diterapkan analisis untuk mencari kemungkinan rancangan layoutnya. Berbasis perilaku yang dipetakan dalam Pangkalan ini, pengalaman Putri (2017), serta harapan permintaan Pemerintah setempat dalam memajukan area pantai sebagai potensi lokal di masa depan, Pantai ini diarahkan dalam bentuk guideline rancangan menjadi area Pasar Ikan yang dilandasi budaya lokal Bulukumba. Dalam hal ini, ketersediaan 4 zone Pasar ikan tepi pantai menjadi konsep strategis rancangan. Zone yang dimaksud terdiri atas kelompok bangunan pasar, kelompok bangunan pertunjukan budaya lokal, kelompok bangunan penunjang, dan kelompok bangunan servis dengan guideline perspektif rancangan sebagaimana terlihat pada Tabel 5 baris terakhir.

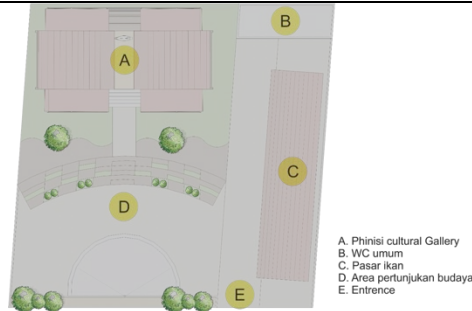
Tabel 5. Proses Aplikasi Perilaku Meruang ke Guideline Rancangan Ranah Kawasan

Kasus 3		
Parameter	Pangkalan Pendaratan Ikan di Tanah Lemo, Bontobahari, Bulukumba	
<p>identifikasi</p> <p>a problem/isu/motivasi</p>		<p>Ketidaknyamanan bergerak dan ketidaksehatan lingkungan di Kawasan Pantai Bontobahari.</p> <p>Problem ini diakibatkan bercampurnya beragam aktivitas di antara stakeholders (Pembeli, Pedagang, Nelayan, Manajemen) yang belum terwadahi secara jelas dalam perilaku transaksi jual beli hasil tangkapan ikan. Area terkesan kumuh akibat drainasi air cucian ikan yang belum mengalir secara sistemik</p>
<p>adaptasi/perubahan yang terjadi</p> <p>b</p>	<p>Pegunjung dan Pedagang ikan memilih tempat yang kering, datar,</p>	<p>Manajemen bekerja sambil berdiri. Kapal ikan merapat di seputar pantai</p>

dan mudah diakses untuk
 melakukan transaksi.

yang relatif ramai dikunjungi
 Pelanggan.

c **peta perilaku** yang
 dihasilkan

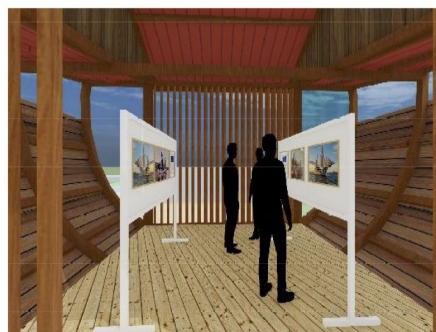


Pelaku stakeholder Pangkalan
 Penangkapan Ikan menunjukkan 4
 peta perilaku, yaitu transaksional
 (pasar), permintaan pertunjukan
 budaya lokal, kebutuhan
 penunjang pasar (manajemen,
 olahan, dsb), dan kebutuhan
 aktivitas servis (kamar mandi,
 dsb).

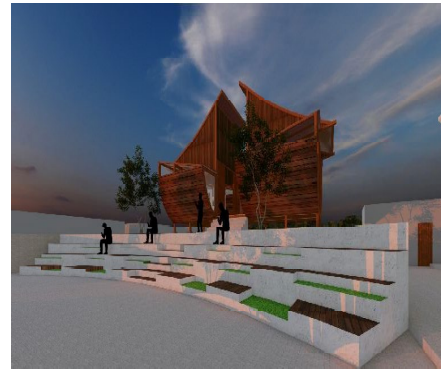
d **guideline** ke
 dalam rancangan



Guideline rancangan pasar untuk
 transaksi hasil tangkapan ikan



Guideline rancangan ruang pertunjukan budaya lokal (kanan) dan galeri (atas), untuk mendukung eksistensi/daya tarik budaya Bulukumba selain produksinya.



Kontributor kasus

Pahrul Islami 20512165

KESIMPULAN

Memasuki era post milenial, perubahan perilaku manusia berkembang sangat dinamis sehingga menjadi sebuah keniscayaan yang selalu dipertimbangkan. Apalagi dipicu pandemi covid 19 yang melanda secara global, dan masih menggejala sampai saat ini, perubahan berkehidupan masih bergerak secara dinamis. Atas dasar itu perubahan perilaku manusia yang mengarah kepada perilaku meruang, dibutuhkan proses adaptasi dan penyesuaian ruang arsitektural baik dalam skala mikro, meso, maupun makro. Pemetaan perilaku yang mengindikasikan kebutuhan Pelaku ruang arsitektural atas resiko perubahan yang terjadi, sangat diperlukan untuk mengantisipasi perubahan kebutuhan yang terindikasi. Antisipasi perubahan kebutuhan inilah yang perlu direspons Perancang walaupun masih dalam bentuk guideline rancangan. Tahap ini memberi peluang bagi Pelaku perubahan untuk mengembangkan rancangan yang lebih kondisional dan kontekstual.

Berbasis pengalaman kajian atas tujuh kasus yang diangkat dalam paper ini menemukan 3 hal. Pertama adalah problem perilaku yang ditemukan termotivasi oleh kebutuhan dasar manusia. Dalam kasus ini masih sebatas fisiologis, keamanan/kenyamanan, dan privasi. Sangat mungkin, dalam kasus yang berbeda, problem perilaku disebabkan oleh kebutuhan dasar manusia yang lain, baik yang bersifat sosiologis, ekonomis, kultural, *self esteem*, maupun aktualisasi diri. Kedua, bahwa adaptasi perubahan yang terjadi di 3 ranah kasus menunjukkan variasi yang berbeda sesuai konteks dan keragaman tuntutan/kebutuhan Pelaku. Ketiga adalah guideline rancangan sebagai solusi di 3 ranah kasus bersifat spesifik dan unik karena disesuaikan dengan kondisi dan konteks kasus.

Ucapan Terimakasih

Penulis mengucapkan terimakasih kepada tujuh kontributor yang kasusnya dijadikan bahan ilustrasi paper ini, yaitu berupa gambar gambar skematik yang telah diselesaikan sebagai produk output pembelajaran. Mereka adalah mahasiswa peserta Perilaku Meruang Semester Ganjil 2021/2022 yang bernama: Fitri Amalia Rafi, 20512146; Meinora Dewi Nurhaliza, 20512075; Mutiara Alya Adifa, 20512002; Muhammad Dzulfiqar Fajri, 20512168; Zabrina Kartikaning Palupi 20512031, dan Pahrul Islami 20512165.

Ucapan terimakasih juga Penulis sampaikan kepada Jurusan Arsitektur FTSP UII, dan seluruh Panitia Konferensi Nasional Inovasi Lingkungan Terbangun FTSP UII 2022 yang telah memfasilitasi dan mempublikasi paper ini. Semoga kajian sederhana dan sharing pembelajaran ini bermanfaat bagi Pembaca pada umumnya dan Pengampu Mata Kuliah Perilaku Meruang pada khususnya. Jazakumullah khairan katsiro.....

DAFTAR PUSTAKA

- Arifin, Zaenal. (2017). Perubahan Perkembangan Perilaku Manusia Karena Belajar. Sabilarrasyad Volume II Nomor 01 Januari – Juni 2017.
- Asharhani, Imaniar Sofia, Marchelia Gupita Sari. (2021). Perilaku Adaptasi dan Perubahan Penataan Hunian di Masa Pandemi Covid-19. Jurnal MODUL vol 21 no 2, issues period 2021. (P)0853-2877 (E) 2598-327X. <http://ejournal.undip.ac.id/index.php/modul>.

Carroll, S., et al. (2020). Going along with older people: exploring age- friendly neighbourhood design through their lens. *Journal of Housing and the Built Environment*, 35(2), 555-572. <https://doi.org/10.1007/s10901-019-09700-z>

Crowe, T. D. (1991). *Crime Prevention through Environmental Design: applications of architectural design and space management concepts*. Boston, Butterworth-Heinemann.

Dheany AO. et al., (2019). Adaptasi Spasial Berupa Hirarki Ruang Pada Perumahan Tipe 21 Di Magelang Dengan Skema Flexible Housing. *Artikel UKDW. Prosiding Seminar Nasional Desain Tepat Guna: Desain Ramah Lingkungan, Mitigasi Bencana, Desain Inklusif, Desain Kontekstual*.

Haryadi, & Setiawan, B. (2010). *Arsitektur Lingkungan dan Perilaku*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.

Maier, JRA et al (2009). *A. Design Studies*, 30(4), 393-414. <https://doi.org/10.1016/j.destud.2009.01.002>

Marcella, L.J., (2004). *Perilaku Manusia dalam Arsitektur*. Jakarta: Grasindo

Moore, GT dalam Snyder, James C et al (1979), *Introduction to Architecture*, Mc Graw Hill Comp, p.46-71.

Nugroho, Martino Dwi. (2008). Adaptasi Spasial pada Interior Rumah Tinggal Paska Gempa di Kasongan Bantul. *Jurnal Lintas RUANG*. hal 85 - 97 VOL.2, EDISI 3, 2008, ISSN 1978-0702.

Pane, SF, (2021). Dampak Pandemi Covid 19 Mengubah Konsep Letak Furniture Disain Interior Ruang Belajar Perguruan Tinggi. *Jurnal SeniRupa Warna (JSRW)*, Vol 9 No.2, Juli 2021, DOI: 10.36806/jsrw.v9i2.120. pp 95.

Putri AS, Solihin I, Wiyono ES, (2017). Strategi Optimalisasi Fungsi Pelabuhan Perikanan dalam Pemasaran Hasil Tangkapan di PPP Lempasing. *Jurnal Teknologi dan Manajemen Perikanan Laut*. 1(2): 171-183.

Skinner, BF. (1974), *Science and Human Behavior* (New York: Free Press, 1953).

Spaan, Machiel. Music, Space and Architecture `When I see architecture that moves me, I hear music in my inner ear`, Amsterdam: Academy of Architecture – Architecture Urbanism – Landscape Architecture. Hal 30-34. <https://issuu.com/bouwkunst/docs/musicspacearchitecture>

Saptorini, H., (2021). *Placemaking Sebagai Ruang Produksi. Teori, Kasus, dan Manfaat*. Yogyakarta: Universitas Islam Indonesia. ISBN P:978-602-450-704-6; E-ISBN: 978-602-450-679-7.

Wignjosoebroto, S. (2000). *Ergonomi, Studi Gerak dan Waktu Teknik Analisis untuk Meningkatkan Produktivitas Kerja*. PT. Gunawidya.

Zaenudiin et al (2021), *Perubahan Perilaku Masyarakat Jawa Barat Dalam Melaksanakan Adaptasi Kebiasaan Baru Di Masa Pandemi Covid-19*, *Social Work Journal* Vol 11, No.1.

[B]

Infrastruktur Ramah Lingkungan



IMPLEMENTASI KONSEP *BUILDING INFORMATION MODELLING* (BIM) DALAM melakukan ESTIMASI BIAYA DAN PENJADWALAN PEKERJAAN STRUKTURAL

Hardian Wibisono Subarto¹, Fitri Nugraheni²

¹ Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta

18511093@students.uii.ac.id

² Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta

fitri.nugraheni@uui.ac.id

ABSTRAK

Kemajuan teknologi yang sangat pesat ini mulai merambah ke bidang konstruksi, di Indonesia pemerintah baru saja mewajibkan menggunakan BIM yang dapat dilihat pada Peraturan Pemerintah (PP) Nomor 16 tahun 2021 mengenai pelaksanaan dan pengawasan bangunan gedung, dengan diwajibkan penggunaannya maka perusahaan-perusahaan konstruksi di Indonesia mulai melatih pegawainya untuk belajar mengenai implementasi konsep Building Information Modelling (BIM) dengan beberapa perangkat lunak yang berbasis Open BIM. Pada penelitian ini akan membahas implementasi konsep BIM dalam mendukung estimasi biaya atau BIM 5D dan penjadwalan BIM 4D pada pekerjaan struktural. Penelitian ini menggunakan perangkat lunak Autodesk Revit untuk estimasi biaya dengan cara bantuan informasi Quantity Take Off (QTO) untuk pekerjaan struktural, kemudian membandingkan dengan volume existing. Untuk penjadwalan penelitian ini menggunakan perangkat lunak Autodesk Navisworks untuk menjalankan Simulation Scheduling yang dibuat berdasarkan volume permodelan yang didapat dari Autodesk Revit. Hasil analisis BIM 5D mengatakan terjadi selisih antara volume existing dengan volume permodelan jika dilihat dari total biaya, untuk total biaya existing sebesar Rp5.570.066.588 sedangkan untuk total biaya dengan volume permodelan sebesar Rp5.381.709.371. Maka dari itu permodelan dengan Autodesk Revit mendapatkan biaya lebih murah yaitu Rp188.357.217 atau 3,382 % lebih hemat. Untuk analisis 4D mendapat durasi total pengerjaan pekerjaan struktural menjadi 25 minggu yang pada awalnya penjadwalan existing hanya 12 minggu dari hasil tersebut terlihat signifikan perbedaannya yaitu memiliki selisih 13 minggu, hal itu terjadi dikarenakan beberapa pekerjaan pada volume permodelan melebihi existing.

Kata kunci: BIM, QTO, 4D, 5D, Autodesk Revit, Autodesk Navisworks

PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi dewasa ini semakin berkembang, hampir di semua bidang industri termasuk industri konstruksi sekarang yang sangat canggih, banyak sekali penemuan-penemuan baru yang menunjang efektivitas pekerjaan. Ilmu ketekniksipilan sangat melekat dengan perkembangan pembangunan mulai dari perencanaan hingga pemeliharaan bangunan. Dilihat dari pembangunan yang terjadi sekarang, mayoritas adalah bangunan gedung.

Dalam membangun suatu proyek gedung, apalagi high rise building harus memiliki manajemen proyek yang baik jika tidak akan merugikan semua pihak, seperti *owner*, kontraktor dan konsultan pengawas. Untuk menunjang peningkatan efisiensi dalam pembangunan gedung, pemerintah telah menetapkan peraturan yang mengatur bangunan dengan kriteria tertentu wajib menggunakan *Building Information Modelling* (BIM). BIM adalah pendekatan baru yang diperkenalkan dalam proyek konstruksi untuk mengelola desain bangunan dan data proyek dalam bentuk digital di seluruh siklus hidup bangunan. Menurut Peraturan Pemerintah (PP) Nomor 16 tahun 2021 tentang standar pelaksanaan dan pengawasan bangunan gedung, "Untuk bangunan padat karya tidak diwajibkan untuk menggunakan BIM, untuk bangunan padat teknologi wajib menggunakan BIM hingga dimensi kelima dan untuk bangunan padat modal wajib menggunakan BIM hingga dimensi kedelapan".

Pada penelitian ini akan membahas mengenai implementasi konsep *Building Information Modelling* (BIM) dalam melakukan estimasi biaya dan penjadwalan pekerjaan struktural dengan studi kasus gedung *Disaster Recovery Center* (DRC) BPD Wates DIY karena pada proyek tersebut dalam pembuatan *Bill of Quantity* (BOQ) masih menggunakan metode konvensional dengan cara dihitung manual dengan bantuan *Microsoft Excel* jika menggunakan *Autodesk Revit* diharapkan mengurangi *human error* pada saat perhitungan yang berakibat pada *waste* dan juga pada proyek tersebut untuk penjadwalan masih menggunakan *material Microsoft Excel*. Untuk mempermudah *owner* atau orang umum yang ingin melihat progress proyek maka dari itu mempermudah dengan cara melakukan *Simulation Scheduling* dengan bantuan perangkat lunak *Autodesk Navisworks* dan untuk membuat jadwalnya menggunakan *Microsoft Project*.

Landasan teori

Manajemen Proyek

Menurut Dimiyati dan Nurjaman (2014), manajemen proyek adalah proses merencanakan, mengorganisasi, memimpin dan mengendalikan suatu kegiatan organisasi dan sumber daya lainnya yang kemudian bisa mencapai tujuan organisasi yang telah ditentukan. Pada bahan ajar Rayendra (2020) menjelaskan manajemen adalah suatu metode/teknik atau proses untuk mencapai suatu tujuan tertentu secara sistematis dan efektif, melalui tindakan perencanaan (*planning*), pengorganisasian (*organizing*), pelaksanaan (*controlling*) dengan mengelola dan menggunakan sumber daya yang ada secara efisien. Fungsi dari manajemen proyek dijelaskan oleh beberapa ahli manajemen, salah satunya Dimiyati dan Nurjaman (2014) yang mengemukakan fungsi manajemen terbagi menjadi *Planning*, *Organizing*, *Actuating*, dan *Controlling*.

Fungsi Perencanaan (*Planning*)

Perencanaan bertujuan untuk mengambil suatu keputusan berupa pengolahan data dan informasi yang dipilih untuk direalisasikan, seperti membuat DED dan RAB.

Fungsi Organisasi (*Organizing*)

Fungsi ini untuk mempersatukan kumpulan kegiatan yang memiliki tujuan berbeda-beda namun saling berhubungan dan berinteraksi untuk mencapai tujuan organisasi, seperti menyusun penjadwalan proyek.

Fungsi Pelaksanaan (*Actuating*)

Fungsi pelaksanaan untuk menyelaraskan semua pelaku organisasi yang terkait di organisasi untuk melaksanakan kegiatan atau proyek, seperti pengarahan tugas dan lain-lain.

Fungsi Pengendalian (*Controlling*)

Fungsi ini bertujuan untuk mengukur kualitas dan menganalisa serta mengevaluasi kegiatan, seperti memberi saran.

Building Information Modelling (BIM)

Building Information Modelling (BIM) menurut Eastman & Tim (2011) ialah salah satu perkembangan teknologi di bidang architecture, engineering, dan construction (AEC). Dengan BIM, permodelan dilakukan secara digital sehingga memiliki akurasi yang tinggi dibandingkan dengan cara manual. Setelah permodelan selesai, hasilnya dapat mendukung kegiatan pengadaan fabrikasi dan konstruksi. Jika diimplementasikan dengan baik, BIM dapat memfasilitasi proses perencanaan dan konstruksi secara terintegrasi yang dapat menghasilkan bangunan berkualitas dengan biaya yang lebih rendah dan mengurangi durasi proyek.

Implementasi konsep BIM memiliki tahapan-tahapan dalam merealisasikan sebuah bangunan, menurut Czmocha & Tim (2014) pada umum dibagi menjadi lima dimensi. Penerapan konsep BIM tidak hanya memudahkan visualisasi dari 2D ke 3D namun ada beberapa keluaran lainnya yaitu 4D,5D,6D hingga 7D.

1. Implementasi BIM 3D

Keluaran BIM 3D yaitu berbasis objek permodelan parametric, saat ini diterima sebagai perpanjangan dari desain 2D.

2. Implementasi BIM 4D

BIM 4D menciptakan peluang yang baru untuk permodelan informasi, pembagian proyek ke dalam fase, visualisasi fase, simulasi jadwal kerja dan perencanaan yang akurat untuk pengiriman produk dan bahan. Keluaran BIM 4D yaitu urutan pekerjaan atau penjadwalan proyek seperti material, waktu, pekerja, dll.

3. Implementasi BIM 5D

Untuk BIM 5D keluarannya yaitu estimasi biaya, ini adalah perpanjangan dari BIM 4D dengan variable lain. Dengan bantuan BIM 5D dapat dengan mudah membanding total

biaya dari berbagai alternatif. Pada umumnya implementasi BIM di Indonesia sampai dimensi ke-lima.

4. Implementasi BIM 6D

Untuk BIM 6D yaitu pembangunan berkelanjutan maka dari itu mempertimbangkan dampak lingkungan termasuk deteksi konflik dan analisis energi.

5. Implementasi BIM 7D

BIM 7D adalah fasilitas manajemen, Basis data harus diperluas dengan informasi terperinci untuk setiap elemen seperti bangunan (struktur), finishing (misalnya jenis keramik) dan semua peralatan (lampu, pemanas, dll). Masa garansi dan konsumsi waktu peralatan juga masuk di dalamnya, ini memungkinkan pemeliharaan Gedung yang nyaman dan Ketika terjadi kegagalan akan dapat dengan cepat menemukan item dan diperbaiki.

Autodesk Revit

Menurut Revit Architecture (2010) platform Autodesk Revit untuk BIM adalah sistem desain dan dokumentasi yang mendukung desain, gambar, dan jadwal yang diperlukan untuk proyek bangunan. BIM memberikan informasi tentang desain, ruang lingkup, jumlah dan fase ketika dibutuhkan.

Pada model Autodesk Revit, setiap lembar gambar, tampilan 2D dan 3D, dan schedule adalah penyajian informasi dari database model bangunan dasar yang sama. Saat dalam menggambarkan dan tampilan schedule, Revit Architecture mengumpulkan informasi tentang proyek pembangunan dan mengoordinasikan informasi ini di semua representasi lain dari proyek. Autodesk Revit menginformasikan mengenai bangunan yang diintegrasikan langsung kepada model dengan demikian bisa mendapatkan output estimasi quantity take off material pada setiap pekerjaan contohnya pekerjaan struktural. Namun, jika permodelan tidak lengkap atau salah, jumlah output bisa tidak mencukupi atau tidak akurat. Untuk mendapatkan jumlah yang akurat, harus dibuat permodelan yang mendekati konstruksi yang sebenarnya.

Kebanyakan istilah pada Autodesk Revit masih umum apalagi untuk kebanyakan para arsitek, namun untuk mempelajari sebuah software harus mengetahui istilah - istilah yang ada di dalamnya. Berikut adalah istilah-istilah yang ada pada Autodesk Revit sesuai yang telah dijelaskan pada Revit Architecture (2010).

Rencana Anggaran Biaya

Menurut Nugroho & Tim (2009) RAB proyek ialah perhitungan biaya yang dibutuhkan oleh suatu proyek konstruksi seperti biaya bahan, upah tenaga dan biaya lain yang masih berhubungan dengan proyek berdasarkan perhitungan volume pekerjaan. Penyusunan RAB adalah hal yang sangat penting dilakukan dalam merencanakan suatu proyek karena jika tidak proyek tersebut tidak dapat diperkirakan biayanya karena RAB tidak hanya biaya langsung namun juga mempertimbangkan biaya tidak langsung. Anggaran biaya proyek setiap daerah dengan pembangunan yang sama akan berbeda karena setiap daerah memiliki harga satuan yang berbeda seperti harga bahan dan upah pekerja. Perhitungan RAB dapat dilihat pada persamaan berikut.

Rencana Anggaran Biaya (RAB) = Σ Volume x Harga Satuan Pekerjaan

Rencana Penjadwalan

Menurut Napsiyana (2007) pada Mulyadi (2016) penjadwalan adalah mengalokasikan waktu yang tersedia untuk melakukan aktivitas pekerjaan untuk menyelesaikan proyek agar mendapatkan hasil yang maksimum dengan pertimbangan keterbatasan yang ada. Penjadwalan proyek ialah runtutan aktivitas tugas atau jenis pekerjaan berdasarkan waktu kegiatan proyek yang digunakan sebagai garis pedoman pelaksanaan proyek. Penjadwalan proyek juga menentukan waktu aktivitas di mulai dan selesai, maka dari itu biaya dan sumber daya manusia atau pekerja dapat disesuaikan berdasarkan kebutuhan waktu yang ditentukan.

Work Breakdown Structure

Menurut Marchewka (2015) pada Akbar (2021) cara kerja WBS adalah mengurangi atau membagi pekerjaan-pekerjaan pada proyek menjadi komponen-komponen yang lebih kecil atau detail agar mudah mengatur/menggunakan sumber daya yang ada.

Dalam membuat WBS ada beberapa hal yang harus di perhatikan, sebagai berikut.

1. WBS mencakup keseluruhan tugas/kegiatan yang dilaksanakan pada proyek.
2. Proyek harus berfokus untuk menghasilkan sesuatu tidak hanya berfokus pada kegiatan tertentu.
3. WBS membantu dalam pembuatan penjadwalan dan penganggaran proyek saat tahap perencanaan.
4. Memastikan pekerja yang sudah diberi tugas atau pekerjaan sesuai WBS yang memiliki tingkat kerincian yang diinginkan telah terlibat dalam pekerjaan proyek tersebut.

Hubungan atau Keterikatan Tiap Pekerjaan

Menurut Hamilton (1997) pada Widjaya & Tim (2007) terdapat tiga hal yang harus diperhatikan pada saat menyusun urutan pekerjaan seperti berikut.

1. Predecessor adalah pekerjaan sebelum atau pekerjaan yang mendahului pekerjaan yang bersangkutan.
2. Successor adalah seluruh pekerjaan yang terjadi sesudah pekerjaan yang bersangkutan.
3. Concurrent adalah pekerjaan-pekerjaan yang bisa terjadi atau berlangsung bersama-sama dengan pekerjaan yang bersangkutan.

Setiap tugas atau pekerjaan harus memiliki hubungan atau keterikatan, cara untuk membuat urutan antar pekerjaan adalah dengan menggambar hubungan pekerjaan seperti sebagai berikut sesuai dengan Sulistyantoro (2020).

1. *Finish to start* yaitu hubungan yang menunjukkan bahwa mulainya kegiatan berikutnya tergantung pada selesainya kegiatan sebelumnya.
2. *Finish to Finish* yaitu hubungan yang menunjukkan bahwa selesainya kegiatan berikutnya tergantung pada selesainya kegiatan sebelumnya.

3. Start to Start yaitu hubungan yang menunjukkan bahwa mulainya kegiatan berikutnya tergantung pada mulainya kegiatan sebelumnya.
4. Start to Finish yaitu hubungan yang menunjukkan bahwa selesainya kegiatan berikutnya tergantung pada mulainya kegiatan sebelumnya.

Estimasi Durasi Pekerjaan

Pada penelitian ini untuk mendapatkan lama pekerjaan atau total durasi pekerjaan sebelumnya harus menghitung produktifitas pekerjaan. Produktifitas pekerjaan dapat dihitung menggunakan persamaan 3.3 sebagai berikut.

$$\text{Produktifitas pekerjaan} = \frac{\text{Volume Existing}}{\text{Durasi Pekerjaan Existing}} \quad (1)$$

Dari persamaan tersebut di dapatkan produktifitas pekerjaan yang memiliki satuan kuantitas/minggu. Selanjutnya untuk mendapatkan total durasi baru yang akan dimasukkan ke dalam pada *Microsoft Project* menggunakan persamaan 3.4 sebagai berikut.

$$\text{Durasi} = \frac{\text{Volume Permodelan}}{\text{Produktivitas Pekerjaan}} \quad (2)$$

Untuk membuat penjadwalan sebuah proyek dapat dibantu dengan menggunakan *Gantt Chart*. Menurut Kumar (2005) *Gantt Chart* banyak digunakan dan sangat populer karena sederhana sehingga mudah dimengerti. Pada *Gantt Chart*, setiap tugas membutuhkan satu baris sedangkan tanggal berjalan disepanjang bagian atas dalam penambahan hari, minggu atau bulan, tergantung dengan total waktu pengerjaan proyek. Waktu yang diharapkan setiap tugas diwakili oleh horizontal yang ujung kirinya menandai awal tugas dan ujung kanan menandai penyelesaian tugas.

Autodesk Navisworks

Menurut Profox (2013) Autodesk Navisworks membantu arsitektur dan tim konstruksi meningkatkan control atas hasil proyek. Dengan Navisworks detail-detail desain dapat dikumpulkan dan ditinjau oleh semua pemangku kepentingan pada proyek dan juga membantu mengoptimalkan alur kerja BIM. Pada Autodesk Navisworks pengguna dapat menggabungkan desain yang telah dibuat dalam software seperti Autodesk Revit dengan geometri dan informasi dari alat desain lain dalam berbagai format terlepas dari ukuran file. Hasilnya adalah pandangan keseluruhan proyek yang membantu untuk mengambil keputusan desain yang lebih baik, meningkatkan akurasi dokumentasi konstruksi dan dapat memprediksi kinerja dan perencanaan.

Autodesk Navisworks Manage

Menurut Profox (2013) Autodesk Navisworks Manage adalah solusi tinjauan komprehensif untuk analisis, simulasi, dan koordinasi informasi proyek. Data desain multidisiplin dapat digabungkan menjadi satu terintegrasi untuk manajemen interferensi dan clash detection. Navisworks Manage membantu profesional desain dan konstruksi mengantisipasi dan menghindari potensi masalah konstruksi sebelumnya.

Autodesk Navisworks Simulate

Menurut Profox (2013) Autodesk Navisworks Simulate menyediakan tools untuk meninjau, menganalisis, simulasi, dan koordinasi informasi proyek. Simulasi 4D yang komprehensif, animasi dan kemampuan photorealism memungkinkan demonstrasi maksud desain dan simulasi konstruksi untuk memberikan wawasan dan prediktibilitas yang lebih baik.

Metode Penelitian

Pengumpulan Data

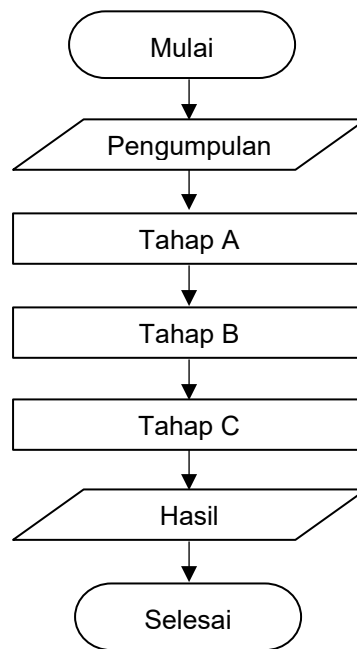
Pada penelitian ini data yang digunakan dua jenis yaitu data primer dan data sekunder.

Data Primer

Data primer didapatkan secara langsung oleh peneliti dari sumber pertama atau dari tempat objek penelitian. Pada penelitian ini yang termasuk dalam data primer yaitu, dokumen *Detail Engineering Design* (DED), dokumen *As Built Drawing*, dokumen *Bill of Quantity* (BOQ), laporan progres mingguan proyek.

Data Sekunder

Data sekunder adalah sumber data yang tidak didapatkan secara langsung memberikan data kepada pengumpul data, misalkan lewat perantara orang lain atau lewat dokumen. Pada penelitian ini yang termasuk dalam data sekunder yaitu, Standar Harga Barang dan Jasa (SHBJ) dari Lampiran PB-26-2019 dari Kulon Progo, Analisa Harga Satuan Pekerjaan (AHSP) dari PERWAL no. 79 tahun 2018 kota Yogyakarta, jurnal yang berkaitan dengan implementasi BIM 4D dan 5D.



Gambar 1 Bagan Alir Penelitian

Analisis data dan pembahasan

Pada penelitian ini output yang diharapkan dari permodelan pada perangkat lunak *Autodesk Revit* adalah *Quantity Take Off Material* dan total harga pekerjaan. *Quantity Take Off Material* yang berupa volume beton (m³), volume bekisting (m²) dan volume pembesian (kg).

Melakukan Permodelan dalam Bentuk 3 Dimensi (Tahap A)

Penelitian ini memodelkan ulang bangunan DRC BPD Wates dari bentuk 2D ke dalam 3D menggunakan bantuan perangkat lunak *Autodesk Revit 2021*. Data pendukung untuk mengerjakan permodelan ini di dapat dari kontraktor dimana data yang digunakan yaitu *as built drawing*.

Implementasi BIM 5D untuk Estimasi Biaya Pekerjaan Struktural (Tahap B)

Untuk mendapatkan beberapa *output* yang telah disebutkan sebelumnya harus membuat permodelan 3 dimensi terdahulu. Pada penelitian ini hanya membahas mengenai pekerjaan struktural maka dari itu AHSP yang akan dibuat hanya pekerjaan pembesian, bekisting dan beton. AHSP yang digunakan untuk pekerjaan struktural Gedung DRC BPD Wates yaitu pemasangan 1 m² bekisting untuk fondasi, pemasangan 1 m² bekisting untuk sloof, pemasangan 1 m² bekisting untuk kolom, pemasangan 1 m² bekisting untuk balok, pemasangan 1 m² bekisting untuk lantai, pembesian 10 kg dengan besi polos atau besi ulir dan 1 m³ beton ready mix mutu $f_c' = 26,4$ Mpa.

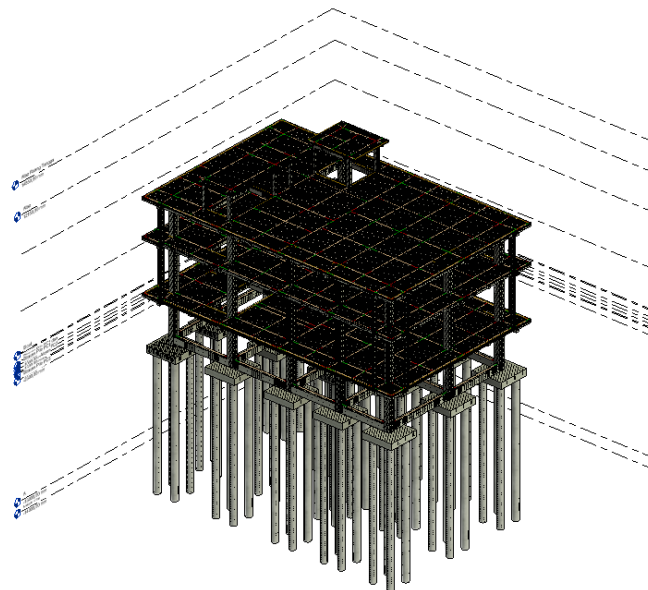
Setelah membuat AHSP kemudian membuat *project parameter* agar memudahkan untuk pembuatan *quantity take off material* menggunakan bantuan *tools schedule* pada

Autodesk Revit. Hasil dari *quantity take off material* diolah menggunakan bantuan *Microsoft Excel*, berikut hasil dari olah data tersebut:

Tabel 1 Rekapitulasi Hasil Analisis

Metode	Total Biaya	Selisih
Konvensional (a)	Rp5.570.066.588	(a)-(a) = 0
Permodelan dengan BIM (b)	Rp5.184.786.595	(b)-(a) =Rp385.279.993

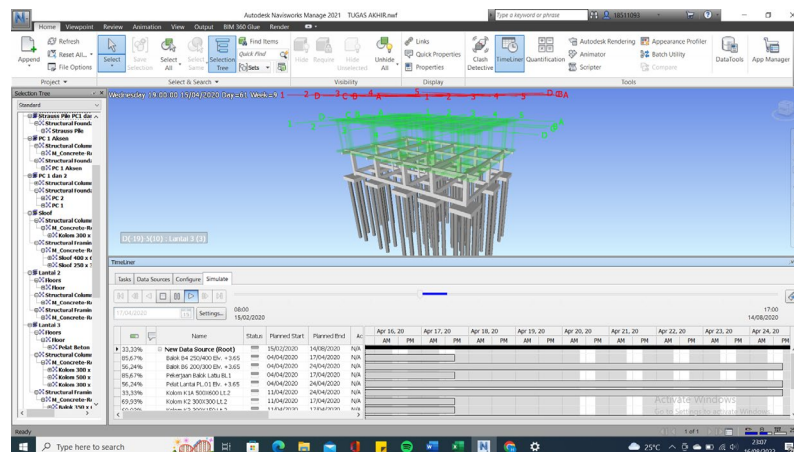
Dari kedua metode tersebut menggunakan AHSP yang sama hanya saja yang membuatnya berbeda pada selisih volume untuk setiap pekerjaan struktural dan pada BOQ *existing* tidak ada kolom K3 lantai 1 dan pekerjaan balok latiu lantai 1 namun pada realisasinya tetap di laksanakan karena proyek ini bersifat *lumpsum*.



Gambar 2 Pemodelan 3D pada *Autodesk Revit*

Implementasi BIM 4D untuk Penjadwalan Pekerjaan Struktural (Tahap C)

Melakukan analisis perhitungan produktifitas pekerjaan struktural yang diambil dari volume *existing*, setelah itu membuat durasi baru untuk setiap pekerjaan struktural. Selanjutnya membuat *Work Breakdown Structure* (WBS) dan juga hubungan keterkaitan antar pekerjaan struktural. Setelah itu membuat penjadwalan pada *Microsoft Project* karena pada *Autodesk Navisworks* untuk membuat penjadwalan salah satu perangkat lunak yang mendukung yaitu *Microsoft Project*.



Gambar 3 Schedule Simulation pada Autodesk Naviswork

Dari hasil permodelan penjadwalan baru menggunakan perangkat lunak *Autodesk Navisworks* didapatkan durasi total pengerjaan pekerjaan struktural yaitu 25 minggu sedangkan untuk penjadwalan *existing* hanya memerlukan durasi 12 minggu. Hal tersebut sangat terlihat terjadi perbedaan yaitu 13 minggu dikarenakan beberapa volume permodelan mempunyai selisih dengan volume *existing* sangat jauh.

Pembahasan

Pada penelitian ini untuk implementasi BIM 5D atau estimasi biaya didapatkan total biaya pekerjaan struktural untuk volume permodelan adalah Rp5.184.786.595, dengan rincian:

1. Volume pekerjaan pembesian 123,22 Ton sebesar Rp2.244.483.556
2. Volume pekerjaan bekisting 2927,898 m² sebesar Rp1.809.264.051
3. Volume pekerjaan pengecoran 662,301 m³ sebesar Rp1.131.038.989

Sedangkan untuk volume existing Rp5.570.066.588 dengan rincian:

1. Volume pekerjaan pembesian 126,26 Ton sebesar Rp2.244.483.556
2. Volume pekerjaan bekisting 3395,51 m² sebesar Rp1.809.264.051
3. Volume pekerjaan pengecoran 665,84 m³ sebesar Rp1.131.038.989

dengan begitu mendapatkan total selisih Rp 385.279.993 atau 6,917 % lebih hemat setelah dilakukan permodelan. Keduanya menggunakan AHSP yang sama hanya saja yang membuatnya berbeda pada selisih volume untuk setiap pekerjaan struktural dan juga pada volume existing tidak ada pekerjaan kolom K3 lantai 1 dan pekerjaan balok latiu lantai 1. Sedangkan untuk implementasi BIM 4D atau simulasi penjadwalan didapatkan durasi total pengerjaan pekerjaan struktural yaitu 25 minggu sedangkan untuk penjadwalan existing hanya memerlukan durasi 12 minggu. Hal tersebut sangat terlihat terjadi perbedaan yaitu 13 minggu dikarenakan beberapa volume permodelan mempunyai selisih dengan volume existing sangat jauh.

Jika dilihat dari hasil tersebut walaupun untuk total biaya pekerjaan struktural mendapatkan selisih Rp 385.279.993 atau 6,917 % lebih hemat, namun untuk durasi pengerjaan proyek menambah 13 minggu. Jika dilihat dari hal tersebut bisa dimungkinkan biaya akan bertambah karena harus membayar upah pekerja selama 13 minggu. Hasil analisa tersebut terjadi karena proyek tersebut bersifat *lumpsum* yang berarti harus mengikuti *Detail Engineering Design (DED)* tidak mengikuti *Bill of Quantity (BOQ)* yang sudah dibuat oleh perencana sedangkan volume pada laporan progress mingguan proyek tidak diubah oleh kontraktor sesuai dengan volume yang direalisasikan.

Kesimpulan dan saran

Kesimpulan

Untuk implementasi BIM dalam estimasi biaya atau BIM 5D dapat disimpulkan bahwa untuk volume pekerjaan terdapat beberapa selisih volume *existing* dengan permodelan, namun jika dilihat dari sisi estimasi biaya pekerjaan struktural dengan volume *existing* sebesar Rp5.570.066.588 sedangkan untuk biaya dengan volume permodelan sebesar Rp5.184.786.595. Maka dari itu permodelan dengan *Autodesk Revit* mendapatkan biaya lebih murah yaitu Rp 385.279.993 atau 6,917 % lebih hemat.

Untuk implementasi BIM dalam penjadwalan atau BIM 4D dapat disimpulkan bahwa durasi total pengerjaan pekerjaan struktural menjadi 25 minggu yang awalnya pada penjadwalan *existing* hanya 12 minggu. Durasi *existing* dan permodelan terlihat signifikan perbedaannya yaitu memiliki selisih 13 minggu, hal tersebut terjadi dikarenakan penambahan volume pada permodelan.

Saran

Berdasarkan kesimpulan yang telah dibuat diperoleh beberapa saran yang perlu diperhatikan agar bermanfaat bagi penelitian selanjutnya.

1. Item pekerjaan struktural yang dimodelkan dapat ditambah seperti struktur atap, tangga dan *shear wall* dan juga ditambah dengan pekerjaan MEP dan arsitektural sehingga permodelan akan lebih kompleks.
2. Pengerjaan permodelan dapat dikerjakan bersamaan agar waktu pengerjaan dapat lebih efisien dengan menggunakan tools kolaborasi.
3. Dapat dikembangkan ke dalam BIM 6D sebagai pekerjaan yang berkelanjutan dan BIM 7D sebagai manajemen lingkungan pada suatu proyek seperti memudahkan koordinasi saat melakukan perawatan.
4. Untuk penelitian selanjutnya dapat melakukan penelitian serupa namun dengan perangkat lunak lain yang mempunyai basis Open BIM.
5. Untuk pelaksana proyek diharapkan jika mendapat BOQ dari perencana proyek yang tidak dikeluarkan dari 3D diharapkan agar menganalisis ulang dengan perangkat lunak yang berbasis Open BIM agar tidak mengalami kerugian.
6. Untuk perencana proyek penjadwalan proyek diharapkan menggunakan perangkat lunak yang berbasis Open BIM agar pemilik proyek atau owner yang tidak dapat membaca kurva S bisa mengerti dengan penjadwalan proyek tersebut.

Ucapan Terimakasih

Saya ucapkan terima kasih kepada pihak -pihak yang terkait dalam penelitian ini khususnya untuk PT. Muara Mitra Mandiri sebagai pelaksana proyek dan PT. Proporsi sebagai perencana proyek.

Daftar Pustaka

Akbar, F. A. 2021. Implementasi Konsep 4D BIM dalam Rencana Penjadwalan pekerjaan Elektrikal dan Plambing. Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.

Eastman, C. M., Eastman, C., Teicholz, P., Sacks, R., & Liston, K. (2011). BIM handbook: A guide to building information modeling for owners, managers, designers, engineers and contractors. John Wiley & Sons.

Huzaini, S. 2021. Penerapan Konsep *Building Information Modelling* (BIM) 3D dalam Mendukung Pengestimasian Biaya Pekerjaan Struktur. Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.

Nugroho, A., & Tim. 2009. Perancangan Aplikasi Rencana Anggaran Biaya (RAB). Universitas Sebelas Maret, Surakarta.

Revit Architecture. 2010. Revit Architecture 2011 User's Guide.

Sylvester, K. E., & Dietrich, C. 2010. Evaluation of building information modeling (BIM) estimating methods in construction education. In *Proceedings of 46th ASC Annual International Conference, April* (p. 7).

Profox. 2013. Autodesk® Navisworks® 2013 Basic Training.

IMPLEMENTASI KONSEP BIM 4D TAHAP PERENCANAAN DALAM PERCEPATAN WAKTU PADA PEKERJAAN STRUKTURAL GEDUNG 3 LANTAI

Ardya Rifqi Pratama¹, Vendie Abma²

¹ Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia

18511097@students.uii.ac.id

² Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia

vendie.abma@uii.ac.id

ABSTRAK

Perencanaan penjadwalan suatu proyek saat ini masih banyak dilakukan dengan metode konvensional. Hal tersebut mengakibatkan banyak kesalahan maupun clash antara pekerjaan satu dengan yang lainnya. Software berbasis BIM merupakan solusi integrasi antara disiplin ilmu untuk memperoleh perencanaan penjadwalan dengan visualisasi 3D yang akan mempermudah pekerjaan. Integrasi konsep BIM dengan percepatan penjadwalan pada tahap perencanaan merupakan salah satu hal yang dapat memberikan solusi untuk mendapatkan waktu optimum tersebut. Percepatan penjadwalan fast track salah satu metode yang efisien untuk mendapatkan waktu optimum penyelesaian suatu proyek. Rencana penjadwalan, item pekerjaan, hubungan antar aktivitas pekerjaan dan alokasi tenaga kerja dapat ditetapkan dengan bantuan software Microsoft Project. Setelah itu mengintegrasikan antara rencana penjadwalan tersebut dengan visualisasi 3D menggunakan software Navisworks. Dari simulasi penjadwalan dihasilkan potensi-potensi pekerjaan mana saja yang dapat dilakukan percepatan penjadwalan. Metode fast track merupakan metode percepatan penjadwalan dengan mengubah atau menggeser aktivitas pekerjaan pada lintasan kritis tanpa menambah tenaga kerja maupun biaya proyek. Sebelum dilakukan percepatan penjadwalan durasi awal proyek sebesar 105 hari. Dari hasil percepatan penjadwalan tersebut diperoleh durasi 93 hari. Percepatan penjadwalan dilakukan pada tahap perencanaan untuk mendapatkan waktu optimum penyelesaian proyek konstruksi.

Kata kunci: BIM, Struktural, Durasi, Penjadwalan, Microsoft Project, Navisworks, Fast Track

PENDAHULUAN

Latar Belakang

Seiring berjalannya perkembangan teknologi, pada tahun 2000-an telah diperkenalkan BIM sebagai proses yang mampu memberikan simulasi dari proyek konstruksi dalam bentuk 3D. BIM bukan hanya sekedar pemodelan 3D namun BIM mampu menghubungkan seluruh penjadwalan proyek dengan daftar kuantitas dari model 3D yang dihasilkan dari metode BIM. Dalam hal tersebut dapat mempermudah mengestimasi penjadwalan suatu proyek serta mampu memvisualisasikan pemodelan 4D dengan urutan konstruksi model 3D. Kemampuan memvisualisasikan pemodelan 3D sekaligus pemodelan 4D akan bermanfaat untuk menghindari masalah konstruksi yang sering terjadi di proyek. Selain menghindari masalah dalam proyek konstruksi, BIM mampu mendeteksi suatu masalah pada proyek seperti keterlambatan proyek dan biaya konstruksi yang tidak sesuai. Jadwal kerja sangat penting untuk efisiensi pemantauan dan pengendalian proyek konstruksi. Biasanya proses ini dilakukan secara manual. Karena pekerjaan secara manual yang memakan waktu, cenderung memberikan data dan informasi yang tidak konsisten, mengakibatkan penundaan dan kenaikan biaya (Tserng, Ho dan Jan, 2014).

Pada proyek konstruksi, perencanaan penjadwalan proyek harus dilakukan secara tepat agar dalam pelaksanaan pekerjaan proyek tersebut lebih terkendali dan tepat waktu. Tujuan penggunaan konsep Building Information Modelling (BIM) sebagai solusi teknologi untuk mengoptimalkan pekerjaan konstruksi agar tepat waktu dalam tiap pekerjaannya. Dalam mempermudah pekerjaan terdapat *software* pendukung BIM yaitu *Autodesk Revit* yang berfungsi untuk mendesain pemodelan struktural, arsitektural, serta mekanikal, elektrik dan plumbing (MEP). Dengan *software* ini pemodelan 3D akan sekaligus di visualisasikan dengan model 4D dengan bantuan *software Naviswork* untuk menghubungkan antara model 3D dengan model 4D. Pekerjaan struktur berupa pekerjaan pondasi, sloof, kolom, balok, plat dan atap merupakan pekerjaan yang dapat dimodelkan dan dianalisis menggunakan konsep Building Information Modelling (BIM) menggunakan *software Autodesk Revit* dan *Naviswork* serta dapat menghubungkan dan menampilkan visualisasi pemodelan 4D dengan urutan konstruksi model 3D (Saini dan Mhaske, 2013).

Penelitian ini merupakan pengembangan perencanaan penjadwalan proyek menggunakan konsep Building Information Modelling (BIM) sekaligus percepatan penjadwalan proyek. Pekerjaan pada penjadwalan proyek dapat dipercepat dengan metode fast track. Percepatan pekerjaan dapat dilakukan dengan menambah tenaga kerja, mengubah metode kerja, atau menggunakan material khusus, dan menggeser/mengubah hubungan aktivitas pekerjaan. Penerapan konsep BIM ini akan didukung dengan *software Autodesk Revit*, *Microsoft Project* dan *Naviswork* untuk menghubungkan antara model 3D dengan penjadwalan proyek. Proyek eksisting dengan penjadwalan proyek akan divisualisasikan menggunakan model 3D, sehingga menghasilkan 4D scheduling simulation untuk dianalisis untuk mendapatkan durasi waktu normal proyek eksisting tersebut. Kemudian analisis percepatan proyek pada penjadwalan proyek eksisting yang akan menghasilkan durasi proyek yang telah dilakukan percepatan penjadwalan proyek. Penelitian ini dilakukan dengan menggeser/mengubah hubungan aktivitas pekerjaan di lintasan kritis *time schedule* pekerjaan struktural. Dari pengembangan tersebut bertujuan untuk memperoleh durasi normal proyek dan durasi percepatan proyek. Kemudian dari penelitian ini diharapkan mampu mengimplementasikan konsep 4D BIM rencana penjadwalan proyek dan percepatan penjadwalan proyek.

LANDASAN TEORI

Manajemen Proyek

Husen (2009) mendefinisikan manajemen proyek sebagai penerapan ilmu pengetahuan, keahlian dan keterampilan, cara teknis yang terbaik dan dengan sumber daya yang terbatas, untuk mencapai sasaran dan tujuan yang telah ditentukan agar mendapatkan hasil yang optimal dalam hal kinerja biaya, mutu dan waktu serta keselamatan kerja.

Building Information Modelling (BIM)

Albab dan Erizal (2021) melakukan penelitian yang dilakukan bertujuan untuk mengaplikasikan Building Information Modelling (BIM) 4D pada proyek apartemen menggunakan software Tekla Structure. Pengaplikasian 4D BIM di proyek tersebut yaitu dengan membandingkan penjadwalan rencana dan penjadwalan realisasi. Terlebih dahulu proyek apartemen tersebut dilakukan pemodelan 3D dengan software Tekla Structure pemodelan 3D yang dimodelkan berupa kolom, pondasi, balok, pelat lantai, pelat atap, tangga, dan shear wall. Lalu, dilakukan pemodelan secara 4D dengan cara pengelompokkan komponen-komponen struktur berdasarkan item pekerjaan sesuai dengan penjadwalan proyek. Berdasarkan penelitian diatas dihasilkan project visualization pembangunan apartemen yang memunculkan hasil perbandingan antara penjadwalan rencana dan penjadwalan realisasi.

4D Building Information Modelling (BIM)

Charlesraj dan Talapeni (2013) dengan judul jurnal "Status of 4D BIM Implementation in Indian Construction". Pada jurnal tersebut dilakukan implementasi konsep 4D BIM sebagai perantara perencana untuk mendesain proyek secara visual sekaligus menjadwalkan proyek dengan menghubungkan penjadwalan proyek ke model 3D. Konsep 4D BIM juga membantu dalam mempercepat proses konstruksi, sehingga mengurangi kemungkinan kesalahan ataupun clashes antara item pekerjaan satu dengan yang lainnya. Implementasi konsep 4D BIM dapat menghasilkan simulasi model 3D sekaligus penjadwalan proyek yang memberikan informasi waktu berlangsungnya proyek serta mendeteksi kesalahan ataupun clashes item pekerjaan yang mungkin terjadi saat fase konstruksi dan kesalahan tersebut dapat dihindari serta diperbaiki di dalam fase desain, sehingga itu dapat menghindari pembengkakan biaya proyek saat fase konstruksi. Dapat disimpulkan bahwa implementasi konsep 4D BIM sangat bermanfaat untuk merencanakan penjadwalan proyek dengan cara memvisualisasikan jadwal sekaligus model 3D-nya.

Penjadwalan

Menurut Husen (2009) penjadwalan merupakan pengalokasian waktu yang tersedia untuk melaksanakan aktivitas pekerjaan dalam rangka menyelesaikan suatu proyek hingga mencapai hasil optimal dengan mempertimbangkan keterbatasan yang ada. Setiap aktivitas harus dilaksanakan agar proyek selesai tepat waktu dengan biaya yang ekonomis. Penjadwalan meliputi tenaga kerja, material, peralatan, keuangan dan waktu. Penjadwalan yang tepat maka kerugian dapat dihindarkan seperti keterlambatan, pembengkakan biaya dan perselisihan atau klaim.

Precedence Diagram Method (PDM)

Metode ini merupakan salah satu teknik penjadwalan *network planning* atau rencana jaringan kerja. Pada PDM menitik beratkan kegiatan node sedangkan anak panah hanya sebagai petunjuk hubungan antara kegiatan. Dalam PDM, aktivitas pekerjaan ditunjukkan dengan node, sehingga dummy tidak diperlukan. PDM menggunakan empat hubungan logis yaitu *Finish to Start*, *Start to Start*, *Finish to Finish*, *Start to Finish*.

Work Breakdown Structure (WBS)

Menurut Burdah dan Erna (2001) Work BreakDown Structure adalah pemecahan, pembagian, penguraian atau penurunan proyek yang utuh secara hirarkis dan sistematis menjadi proyek-proyek kecil atau elemen yang kecil yang dapat dikendalikan dalam bentuk diagram pohon, sehingga ruang lingkup proyek akan lebih sempit dan kompleksitasnya makin berkurang.

Hubungan Antar Aktivitas Pekerjaan

Madcoms (2008) menyatakan bahwa penjadwalan memiliki hubungan saling ketergantungan antar aktivitas dalam suatu pekerjaan yang terdiri dari 4 hubunganyaitu: Start to Start (SS) adalah suatu hubungan ketergantungan di mana suatu pekerjaan (B) tidak boleh dimulai sebelum pekerjaan lain (A) dimulai juga; Start to Finish (SF) adalah suatu hubungan ketergantungan di mana suatu pekerjaan (B) tidak dapat diselesaikan sampai pekerjaan lain (A) dimulai; Finish to Start (FS) adalah suatu hubungan ketergantungan di mana suatu pekerjaan (B) tidak boleh mulai sampai pekerjaan lain (A) selesai dilaksanakan; Finish to Finish (FF) adalah suatu hubungan ketergantungan di mana suatu pekerjaan (B) tidak dapat diselesaikan sampai pekerjaan lain (A) telah diselesaikan.

Rencana Tenaga Kerja

Ibrahim (2008) mendefinisikan rencana tenaga kerja merupakan besarnya jumlah tenaga kerja dibutuhkan untuk menyelesaikan suatu pekerjaan dalam satu kesatuan pekerjaan. Suatu rencana tenaga kerja pada proyek harus meliputi perkiraan keperluan tenaga kerja secara terinci dan menyeluruh.

Estimasi Durasi Pekerjaan

Menurut Manto (2016) dengan menggunakan metode identifikasi menggunakan analisa harga satuan proyek dapat diketahui durasi waktu penyelesaian proyek. Perencanaan durasi pekerjaan dalam proyek dapat dihitung dengan rumus pada persamaan (1) sebagai berikut.

$$Durasi = \frac{Koefisien\ Tenaga\ Kerja \times Volume}{Jumlah\ Tenaga\ Kerja} \quad (1)$$

Dalam menentukan koefisien tenaga kerja dapat ditentukan sesuai indeks tenaga kerja yang dapat dilihat pada pedoman AHSP PUPR maupun dokumen AHS dari proyek yang dilakukan analisis.

Estimasi Durasi Pekerjaan dan Rencana Penjadwalan

Danil (2019) dalam jurnal penelitian pada Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Persada Indonesia yang berjudul “Peningkatan Kinerja Waktu Dan Biaya Dengan Integrasi Metode Penjadwalan Dan Building Information Modelling (BIM) Pada Pekerjaan Struktur Pracetak Bangunan Gedung”. Pada penelitian ini menjelaskan permasalahan dalam proyek yaitu keterlambatan dan meningkatnya biaya pelaksanaan yang menjadi permasalahan utama dalam proyek konstruksi. Dalam keterlambatan rencana penjadwalan dapat membuat efek domino terhadap meningkatnya biaya konstruksi proyek. Dalam penelitian ini menggunakan metode PERT sebagai penentuan durasi proyek. Metode ini didasari oleh 3 kondisi waktu yaitu optimistic, most likely, dan pessimistic. Berbeda dengan metode penjadwalan lain seperti CPM atau PDM berdasarkan pendekatan deterministik, metode penjadwalan PERT mengacu pada pendekatan probabilistik (Arianto, 2010; Lu & Abourizk, 2000). Penelitian ini ditujukan untuk mendapatkan estimasi durasi pekerjaan dan biaya pelaksanaan yang lebih efisien dan optimal. Durasi aktivitas pekerjaan akan dioptimalkan dengan metode PERT, BIM 4D dan 5D. Hasil dari penelitian yang dilakukan dari penerapan metode PERT, 4D dan 5D BIM diperoleh deviasi sebesar 43 hari dari durasi pelaksanaan 329 hari dan durasi rencana 372 hari. Maka kesimpulannya diperoleh efisiensi waktu sebesar 11,56% dalam pelaksanaan pekerjaan struktur precast bangunan gedung tersebut.

Percepatan Proyek

Mahendra, Suardika dan Sujahtra (2018) dalam penelitian yang berjudul “Analisis Percepatan Waktu Penyelesaian Proyek Menggunakan Metode FastTracking Dan Crashing”. Dalam proses konstruksi pembangunan sebuah proyek konstruksi masih kerap terjadi keterlambatan pekerjaan yang berakibat pada keterlambatan waktu penyelesaian proyek. Di dalam penelitian tersebut dilakukan analisis percepatan durasi proyek menggunakan metode fast track dan crashing sebagai alternatif untuk menunjang percepatan penyelesaian proyek. Tujuan analisis tersebut dilakukan untuk mengetahui selisih waktu setelah percepatan dengan masing-masing metode dan menentukan metode mana yang lebih efektif. Durasi normal studi kasus yang dilakukan adalah 150 hari, setelah dilakukan analisis dengan metode crashing didapat durasi total menjadi 134 hari (10,7% lebih cepat dari durasi normal), kemudian untuk metode fast track didapat durasi total 134 hari (16% lebih cepat dari durasi normal). Sehingga dalam penelitian tersebut disimpulkan bahwa metode fast track lebih efisien untuk memperoleh waktu optimal.

Metode Fast Track

Percepatan waktu proyek merupakan usaha untuk menyelesaikan proyek lebih cepat dari time schedule normal. Metode fast track dilakukan percepatan dengan cara menggeser/mengubah hubungan aktivitas pekerjaan tanpa penambahan jumlah tenaga kerja maupun biaya pada jalur kritis. Menurut Tjaturono (2009) metode *fast track* dapat mempersingkat waktu pelaksanaan serta menghemat biaya proyek dibandingkan metode tradisional atau konvensional yang mengandalkan urutan aktivitas-aktivitas secara kaku. Saat ini penerapan metode *fast track* dapat membantu perencanaan sehingga pelaksanaan tepat waktu atau sesuai dengan waktu penyelesaian yang direncanakan. Pada metode *fast track* penerapannya dilakukan pada desain konstruksi

yang dilaksanakan secara tumpang tindih. Untuk mempercepat pelaksanaan proyek dilakukan secara tumpang tindih/paralel pada aktivitas pekerjaan yang berada pada lintasan kritis. Langkah-langkah atau ketentuan dalam penerapan metode *fast track* pada lintasan kritis (Tjaturono, 2004) adalah sebagai berikut:

1. Penjadwalan harus logis antara aktivitas satu dengan aktivitas lainnya, sehingga cukup realistis untuk dilakukan percepatan penjadwalan.
2. Melakukan fast track hanya pada lintasan kritis, terutama pada aktivitas pekerjaan yang mempunyai durasi panjang dari pekerjaan lainnya.
3. Durasi pekerjaan tidak berubah.
4. Waktu terpendek yang dapat dilakukan fast track > 2 hari.
5. Periksa float yang ada pada aktivitas non kritis, apakah masih memenuhi syarat dan tidak kritis setelah dilakukan fast track.
6. Percepatan waktu selayaknya dilakukan setelah pekerjaan sebelumnya telah mencapai lebih dari 50% dari waktu normal.

METODE PENELITIAN

Pengumpulan Data

Data yang dibutuhkan dalam penelitian ini adalah 3D *modelbase* gedung, analisis harga satuan (untuk koefisien pekerja), rencana tenaga kerja dan hubungan antar aktivitas pekerjaan dari proyek yang berkaitan.

Tahapan Penelitian

Pemodelan dan Estimasi Quantity Take Off

Setelah mendapatkan data *detailed engineering drawing* pekerjaan struktural, kemudian dilakukan pemodelan dan estimasi quantity take off dari 3D Modelbase dengan bantuan software Revit 2021.

Estimasi Durasi Tiap Pekerjaan

Setelah melakukan breakdown pekerjaan struktural dan memperoleh data rencana tenaga kerja, koefisien tenaga kerja serta volume tiap pekerjaan struktural dari hasil *quantity take off*, kemudian dilakukan perhitungan durasi pada tiap-tiap pekerjaan struktural dengan persamaan (1) dan menggunakan tenaga kerja yang paling mempengaruhi proses pekerjaan sebagai faktor pembagi.

Perencanaan Penjadwalan

Pada tahapan ini perencanaan penjadwalan pekerjaan struktural dipertimbangkan hubungan aktivitas terhadap pekerjaan struktural yang lainnya. Hal ini akan memberikan hubungan keterkaitan pekerjaan dengan durasi total pada pekerjaan struktural. Setelah itu item pekerjaan, hubungan antar aktivitas dan durasi tiap pekerjaan di-input ke dalam software ms. Project untuk melakukan rencana penjadwalan proyek eksisting. Kemudian akan diperoleh durasi total proyek eksisting.

Penerapan Konsep 4D BIM

Pada tahap ini dilakukan integrasi antara 3D Model dari software Revit dengan rencana penjadwalan eksisting pada software Ms. Project yang akan diolah dengan software Naviswork sehingga menghasilkan 4D *schedule simulation* yang akan menampilkan visualisasi pekerjaan struktural berbasis waktu dan sesuai aktivitas pekerjaan pada proyek yang terkait. Dari penerapan 4D BIM yang telah dilakukan dapat dilihat proses konstruksi dengan visualisasi 4D *scheduling simulation* sebagai dasar apakah proyek eksisting yang akan dilakukan pembangunan terjadi *clash* antar pekerjaan struktural atau tidak.

Percepatan Penjadwalan dengan Metode Fast Track

Pada tahapan ini setelah penerapan konsep 4D BIM yang menghasilkan 4D *scheduling simulation*, maka dapat dianalisis melalui visualisasi konstruksi secara 3D untuk membantu menganalisis pekerjaan struktural apa saja yang berpotensi untuk dilakukan percepatan penjadwalan pada tahap perencanaan. Perencanaan penjadwalan pekerjaan struktural yang telah ditentukan hubungan aktivitas antar pekerjaannya kemudian ditampilkan lintasan kritisnya dengan bantuan *software* Ms. Project. Kemudian dilakukan percepatan waktu dengan mengubah/menggeser hubungan aktivitas pekerjaan pada lintasan kritis pekerjaan yang berpotensi dilakukan percepatan penjadwalan. Bagan alir/*flowchart* percepatan waktu proyek dengan bantuan *software* Ms. Project.

Analisis Data

Proses analisis data yang dilakukan untuk implementasi BIM 4D terhadap penjadwalan eksisting proyek dihasilkan visualisasi 3D dengan urutan pekerjaannya atau 4D *scheduling simulation*. Dari 4D *scheduling simulation* tersebut dilakukan analisis terhadap tiap-tiap pekerjaan struktural untuk mendapatkan pekerjaan yang berpotensi dilakukan percepatan penjadwalan dengan metode fast track. Didapatkan 4 pekerjaan struktural yang berpotensi dilakukan percepatan penjadwalan tanpa terjadi *clash* dengan pekerjaan struktural lainnya. Setelah dilakukan percepatan penjadwalan dengan metode fast track pada ke-empat pekerjaan struktural tersebut maka dihasilkan durasi antara hubungan aktivitas pekerjaan sebelum dan sesudah dilakukan, percepatan penjadwalan dengan metode fast track.

Hasil dan pembahasan

Hasil

Perhitungan Durasi Tiap Pekerjaan Struktural

Contoh perhitungan untuk durasi pada pekerjaan beton Footplat (FP1). Diketahui :

Volume Pekerjaan : 17.82 m³

Tabel 1. Perhitungan Volume Tiap Tenaga Kerja

No	Uraian	Koef.	Jumlah Tenaga Kerja	Produktivitas
1	Tukang Batu	0.275	1 orang	3.6363 m ³
2	Kepala Tukang	0.028	1 Orang	35.714 m ³
3	Pekerja	1.65	6 Orang	3.6363 m ³
4	Mandor	0.083	1 Orang	12.048 m ³

Dari analisis diatas dapat dikatakan jumlah pekerja mempengaruhi proses pekerjaan, maka jumlah pekerja menjadi faktor pembagi untuk mendapatkan durasi.

$$\text{Durasi} = \frac{\text{Koef. Tenaga Kerja} \times \text{Volume}}{\text{Jumlah Tenaga Kerja}}$$

$$\text{Durasi} = \frac{1.65 \times 17.82 \text{ m}^3}{6}$$

$$\text{Durasi} = 4.9 \text{ hari} \approx 5 \text{ hari}$$

Dari perhitungan diatas dapat diketahui untuk pekerjaan beton ready mix dengan volume 17.82 m³ jika dikerjakan dengan 6 pekerja membutuhkan waktu selama 5 hari.

Rekapitulasi Item Pekerjaan Struktural

Pada tahap analisis ini dilakukan perencanaan *WBS*, durasi tiap pekerjaan dan aktivitas hubunganpekerjaan. Perencanaan *WBS* ini dilakukan dengan dasar urutan pekerjaan struktural dari 3D Modelbase pada *software revit*. *WBS* ini dibuat berdasarkan hubungan dan rangkaian pekerjaan yang ada dalam suatu proyek. Dari penyusunan *WBS* maka dapat disusun rencana penjadwalan waktu pelaksanaan tiap-tiap kegiatan yang nantiya dapat disusun menjadi satu jadwal proyek secara keseluruhan. Berikut ini rekapitulasi item pekerjaan struktural.

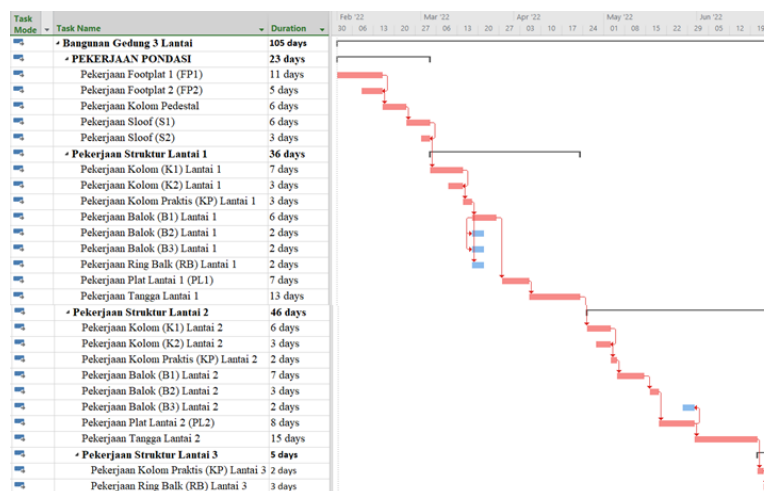
Tabel 2. Rekapitulasi Item Pekerjaan Struktural

No	Pekerjaan	Durasi	Hubungan Aktivitas
I	PEKERJAAN PONDASI		
1	Pekerjaan Footplat 1 (FP1)	11	
2	Pekerjaan Footplat 2 (FP2)	5	1 FF
3	Pekerjaan Kolom Pedestal	6	2 FS
4	Pekerjaan Sloof (S1)	6	3 FS
5	Pekerjaan Sloof (S2)	3	4 FF
II	PEKERJAAN STRUKTUR LT1		
1	Pekerjaan Kolom (K1) Lantai 1	7	I.4 FS
2	Pekerjaan Kolom (K2) Lantai 1	3	II.1 FF
3	Pekerjaan Kolom Praktis (KP) Lantai 1	3	II.8 FS
4	Pekerjaan Balok (B1) Lantai 1	6	II.2 FS
5	Pekerjaan Balok (B2) Lantai 1	2	II.4 SS

6	Pekerjaan Balok (B3) Lantai 1	2	II.4 SS
7	Pekerjaan Ring Balk (RB) Lantai 1	2	II.3 FS
8	Pekerjaan Plat Lantai 1 (PL1)	7	II.4 FS
9	Pekerjaan Tangga Lantai 1	13	II.8 FS
III	PEKERJAAN STRUKTUR LT2		
1	Pekerjaan Kolom (K1) Lantai 2	6	II.9 FS
2	Pekerjaan Kolom (K2) Lantai 2	3	III.1 FF
3	Pekerjaan Kolom Praktis (KP) Lantai 2	2	III.7 FS
4	Pekerjaan Balok (B1) Lantai 2	7	III.2 FS
5	Pekerjaan Balok (B2) Lantai 2	3	III.4 FS
6	Pekerjaan Balok (B3) Lantai 2	2	III.7 FF
7	Pekerjaan Plat Lantai 2 (PL2)	8	III.5 FF
8	Pekerjaan Tangga Lantai 2	15	III.7 FS
IV	PEKERJAAN STRUKTUR LT3		
1	Pekerjaan Kolom Praktis (KP) Lantai 3	2	III.8 FS
2	Pekerjaan Ring Balk (RB) Lantai 3	3	IV.1 FS

Rencana Penjadwalan

Setelah melakukan rekapitulasi item pekerjaan struktural, selanjutnya melakukan input hasil tersebut ke dalam software ms. Project. Setelah melakukan input data didapatkan hasil durasi eksisting proyek selama 105 hari. Setelah melakukan rencana penjadwalan eksisting dengan bantuan Ms. Project, maka diperoleh rencana penjadwalan eksisting dalam bentuk *gant chart* yang dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Tampilan *Gantt Chart* Pekerjaan Struktural

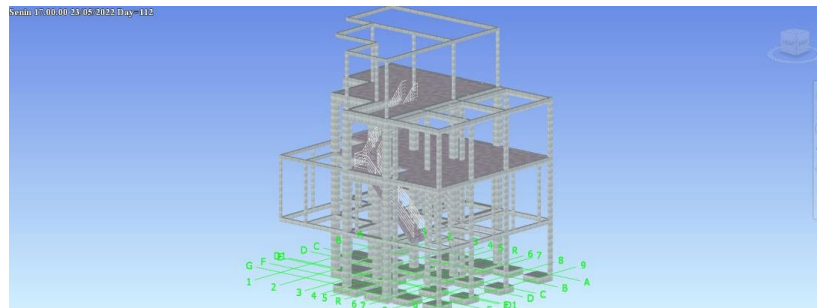
Implementasi 4D BIM

Pada tahapan ini dilakukan *import* data 3D modelbase dan penjadwalan Ms. Project ke Navisworks. Data-data tersebut kemudian disinkronkan antara item pekerjaan pada Ms. Project dengan 3D Modelbase pada software Navisworks seperti pada Gambar 2.

Active	Name	Status	Planned Start	Planned End	Act. U.	Actual End	Task Type	Attached
	New Data Source (Root)		15/06/2022	16/09/2022	N/A	N/A		
	PEKERJAAN PONDASI		15/06/2022	15/06/2022	N/A	N/A		
	Pekerjaan Footpat. 1 (FP 1)		15/06/2022	07/07/2022	N/A	N/A		Seto->PEKERJAAN PONDASI->Pekerjaan F.
	Pekerjaan Footpat. 2 (FP 2)		20/06/2022	23/06/2022	N/A	N/A		Seto->PEKERJAAN PONDASI->Pekerjaan F.
	Pekerjaan Kolom Pedestal		24/06/2022	29/06/2022	N/A	N/A		Seto->PEKERJAAN PONDASI->Pekerjaan K.
	Pekerjaan Sloof (S1)		24/06/2022	07/07/2022	N/A	N/A		Seto->PEKERJAAN PONDASI->Pekerjaan S.
	Pekerjaan Sloof (S2)		15/06/2022	28/06/2022	N/A	N/A		Seto->PEKERJAAN PONDASI->Pekerjaan S.
	Pekerjaan Struktur Lantai 1		23/06/2022	05/09/2022	N/A	N/A		
	Pekerjaan Kolom (K-1) Lantai 1		23/06/2022	06/07/2022	N/A	N/A		Seto->Pekerjaan Struktur Lantai 1->Pekerj.
	Pekerjaan Kolom (K-2) Lantai 1		29/06/2022	06/07/2022	N/A	N/A		Seto->Pekerjaan Struktur Lantai 1->Pekerj.
	Pekerjaan Kolom Praktis (QP) ...		11/07/2022	15/07/2022	N/A	N/A		Seto->Pekerjaan Struktur Lantai 1->Pekerj.
	Pekerjaan Balok (B-1) Lantai 1		11/07/2022	27/07/2022	N/A	N/A		Seto->Pekerjaan Struktur Lantai 1->Pekerj.
	Pekerjaan Balok (B-2) Lantai 1		11/07/2022	19/07/2022	N/A	N/A		Seto->Pekerjaan Struktur Lantai 1->Pekerj.
	Pekerjaan Balok (B-3) Lantai 1		11/07/2022	19/07/2022	N/A	N/A		Seto->Pekerjaan Struktur Lantai 1->Pekerj.
	Pekerjaan Ring Balok (RB) Lant...		18/07/2022	19/07/2022	N/A	N/A		Seto->Pekerjaan Struktur Lantai 1->Pekerj.
	Pekerjaan Plat Lantai 1 (PL1)		22/07/2022	28/07/2022	N/A	N/A		Seto->Pekerjaan Struktur Lantai 1->Pekerj.
	Pekerjaan Tangga Lantai 1		29/07/2022	05/08/2022	N/A	N/A		Seto->Pekerjaan Struktur Lantai 1->Pekerj.
	Pekerjaan Struktur Lantai 2		04/08/2022	16/09/2022	N/A	N/A		
	Pekerjaan Kolom (K-1) Lantai 2		04/08/2022	18/08/2022	N/A	N/A		Seto->Pekerjaan Struktur Lantai 2->Pekerj.
	Pekerjaan Kolom (K-2) Lantai 2		09/08/2022	18/08/2022	N/A	N/A		Seto->Pekerjaan Struktur Lantai 2->Pekerj.
	Pekerjaan Kolom Praktis (QP) ...		31/08/2022	05/09/2022	N/A	N/A		Seto->Pekerjaan Struktur Lantai 2->Pekerj.
	Pekerjaan Balok (B-1) Lantai 2		19/08/2022	07/09/2022	N/A	N/A		Seto->Pekerjaan Struktur Lantai 2->Pekerj.
	Pekerjaan Balok (B-2) Lantai 2		19/08/2022	30/08/2022	N/A	N/A		Seto->Pekerjaan Struktur Lantai 2->Pekerj.

Gambar 2. Sinkronisasi Antara 3D Modelbase dengan Rencana Penjadwalan

Setelah dilakukan penyesuaian antara data-data tersebut maka didapatkan rencana penjadwalan dan simulasi visualisasi secara 3D (4D Scheduling Simulation) pada rencana penjadwalan eksisting seperti Gambar 3. Setelah mendapatkan *4D Scheduling Simulation*, penulis dapat menganalisis seluruh runtutan pembangunan proyek tersebut tiap pekerjaan strukturalnya. Dari hasil analisis tersebut, penulis dapat mengetahui pekerjaan apa saja yang berpotensi dilakukan percepatan penjadwalan proyek tanpa mengganggu pekerjaan lainnya.



Gambar 3. Hasil 4D Scheduling Simulation

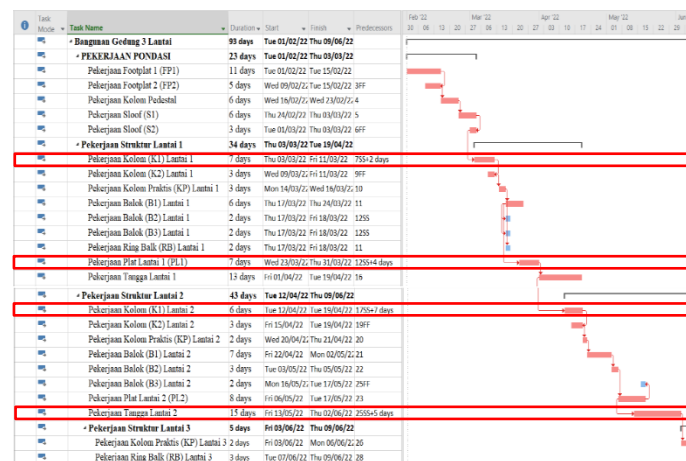
Percepatan Penjadwalan dengan Metode Fast Track

Tahapan ini dapat dilakukan setelah tahapan perencanaan penjadwalan pada pekerjaan struktural telah selesai, diperoleh juga hubungan antar aktivitas pekerjaan, durasi tiap pekerjaan struktural dan total durasi pekerjaan struktural. Maka dapat dilanjutkan dengan melakukan percepatan penjadwalan proyek pada pekerjaan struktural dengan metode *fast track*. Pada ketentuan metode *fast track* disebutkan bahwa pada lintasan kritis dapat dilakukan percepatan untuk memastikan proyek selesai lebih awal dengan waktu yang optimum. Untuk menentukan lintasan kritis pekerjaan dapat dilakukan dengan bantuan software Ms. Project. Setelah memperoleh lintasan kritis pada rencana penjadwalan proyek, setelah itu dilakukan pemilihan pekerjaan struktural berdasarkan analisis yang dilakukan penulis dengan melihat *4D Scheduling Simulation* dan rencana penjadwalan yang akan dilakukan percepatan penjadwalan. Pada tahap pemilihan ini dipilih 4 pekerjaan struktural yang akan dilakukan percepatan penjadwalan proyek. Pekerjaan yang akan dilakukan percepatan proyek adalah sebagai berikut.

1. Pekerjaan Kolom (K1) Lantai 1 terhadap Pekerjaan Sloof (S2)
2. Pekerjaan Plat Lantai 1 (PL1) terhadap Pekerjaan Balok (B1) Lantai 1
3. Pekerjaan Kolom (K1) Lantai 2 terhadap Pekerjaan Tangga Lantai 1
4. Pekerjaan Tangga Lantai 2 terhadap Pekerjaan Plat Lantai 2 (PL2)

Percepatan penjadwalan yang dilakukan sesuai dengan ketentuan metode *fast track*, yaitu durasi yang dapat dipercepat selayaknya hanya >50%. Maka percepatan penjadwalan pada *gantt chart* dapat digeser setelah pekerjaan sebelumnya telah dikerjakan dengan *progress* lebih dari 50%. Mengubah/menggeser hubungan aktivitas pekerjaan dapat dilakukan dengan mengatur *predecessors* sesuai perhitungan percepatan penjadwalan yang dilakukan seperti Gambar 4.

Selanjutnya mengubah/menggeser semua hubungan aktivitas pekerjaan yang telah ditentukan untuk dilakukan percepatan penjadwalan. Seluruh pekerjaan yang akan dipercepat penjadwalannya harus mengikuti ketentuan dari metode *fast track*. Durasi yang didapatkan setelah dilakukan percepatan penjadwalan yaitu selama 93 hari.



Gambar 4. Percepatan Penjadwalan Pada Pekerjaan Struktural

Pembahasan

Setelah dilakukan implementasi BIM 4D terhadap penjadwalan eksisting proyek dihasilkan visualisasi 3D dengan urutan pekerjaannya atau 4D scheduling simulation. Dari 4D scheduling simulation tersebut dilakukan analisis terhadap tiap-tiap pekerjaan struktural untuk mendapatkan pekerjaan yang berpotensi dilakukan percepatan penjadwalan dengan metode *fast track*. Didapatkan 4 pekerjaan struktural yang berpotensi dilakukan percepatan penjadwalan tanpa terjadi *clash* dengan pekerjaan struktural lainnya. Pekerjaan tersebut antara lain Pekerjaan Kolom (K1) Lantai 1, Pekerjaan Plat Lantai 1 (PL1), Pekerjaan Kolom (K1) Lantai 2 dan Pekerjaan Tangga Lantai 2. Setelah dilakukan percepatan penjadwalan dengan metode *fast track* pada keempat pekerjaan struktural tersebut maka dihasilkan durasi antara hubungan aktivitas pekerjaan sebelum dan sesudah dilakukan percepatan penjadwalan dengan metode *fast track*. Dari hasil tersebut durasi total dari percepatan penjadwalan dengan metode *fast track* selama 93 hari, sebelumnya durasi total awal selama 105 hari. Terdapat selisih 12 hari penyelesaian proyek setelah dilakukan percepatan penjadwalan dengan metode *fast track*, perbandingan hubungan antar aktivitas dapat dilihat pada Gambar 5. Percepatan penjadwalan dilakukan pada tahap perencanaan agar mendapatkan waktu

optimum pelaksanaan proyek setelah melakukan analisis terhadap pekerjaan yang berpotensi dilakukan percepatan penjadwalan.

No	Uraian Pekerjaan	Awal	<i>Fast Track</i>
1	Pekerjaan Kolom (K1) Lantai 1	Finish to Start	Start to Start + 2day
2	Pekerjaan Plat Lantai 1 (PL1)	Finish to Start	Start to Start + 4day
3	Pekerjaan Kolom (K1) Lantai 2	Finish to Start	Start to Start + 7day
4	Pekerjaan Tangga Lantai 2	Finish to Start	Start to Start + 5day

Gambar 5. Hasil Perbandingan

Pada ketentuan metode *fast track*, melakukan percepatan penjadwalan dengan mengubah/menggeser hubungan aktivitas pekerjaan juga memiliki potensi untuk menambah ketersediaan tenaga kerja di proyek, dikarenakan pekerjaan yang dipercepat dilakukan secara paralel atau tumpang tindih terhadap pekerjaan sebelumnya. Hal tersebut mengakibatkan penambahan pekerja menyebabkan adanya perencanaan tenaga kerja yang akan berbeda antara durasi normal dengan durasi percepatan. Jumlah tenaga kerja dapat melebihi sumber daya yang ada. Menurut Rachmawati dan Abma (2022) pada pembuatan penjadwalan dilakukan *resources levelling* yang bertujuan agar tidak melebihi sumber daya yang dimiliki.

Hasil dan pembahasan

Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian mengenai implementasi konsep 4D BIM dalam percepatan waktu penjadwalan proyek pada pekerjaan struktural pada tahap perencanaan dapat diambil kesimpulan setelah melalui analisis rencana penjadwalan dan memperoleh 4D *scheduling simulation* dari penjadwalan proyek eksisting yaitu durasi dari proyek eksisting sebesar 105 hari, terdapat 18 pekerjaan struktural yang berada pada lintasan kritis yang dapat dilihat pada *ganttt chart* di lampiran. Terdapat 4 pekerjaan struktural yang berpotensi dilakukan percepatan penjadwalan dengan metode *fast track*. Setelah dilakukannya percepatan penjadwalan dengan metode *fast track* dihasilkan durasi 93 hari. maka terdapat selisih 12 hari dari durasi eksisting proyek. Percepatan penjadwalan pada tahap perencanaan ini dilakukan untuk mengoptimalkan seluruh pekerjaan agar proyek tersebut mendapatkan waktu optimum.

Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan diperoleh beberapa saran yang dapat memberikan manfaat sebagai berikut.

1. Dalam proyek konstruksi penggunaan konsep Building Information Modelling (BIM) sangat berpengaruh dalam perencanaan untuk mendapatkan waktu dan biaya yang lebih optimal.
2. Percepatan penjadwalan pada penelitian ini dilakukan pada tahap perencanaan proyek, hal tersebut dilakukan agar mendapatkan waktu optimum untuk suatu proyek konstruksi, untuk penelitian berikutnya dapat ditambahkan perencanaan biaya yang dikolaborasikan dengan percepatan penjadwalan proyek.
3. Untuk penelitian berikutnya perlu dilakukan pengembangan dengan software lain agar mendapatkan basis open BIM yang lebih luas.

DAFTAR PUSTAKA

- Albab, A. U. dan Erizal. 2021. Analisis Kinerja Waktu dan Penerapan Building Information Modeling pada Proyek Pembangunan Jasmine Park Apartment Bogor. *Jurnal Teknik Sipil dan Lingkungan*. Fakultas Teknik Sipil. Universitas Institut Pertanian Bogor. Vol. 06 No. 01, April 2021.
- Burdah dan Erna. 2001. Penerapan Perencanaan Pengendalian Prestasi Kerja Proyek Bangunan Gedung Menggunakan Work Breakdown Structure dan Kurva-S. *Tugas Akhir*. Universitas Islam Indonesia. Yogyakarta.
- Charlesraj, V. P. C. dan Talapaneni, D. 2020. Status of 4D BIM Implementation in Indian Construction. 37th International Symposium on Automation and Robotics in Construction. October 2020. DOI: 10.22260/ISARC2020/0030.
- Danil, R. 2019. Peningkatan Kinerja Waktu Dan Biaya Dengan Integrasi Metode Penjadwalan Dan Building Information Modeling (BIM) Pada Pekerjaan Struktur Pracetak Bangunan Gedung. Fakultas Teknik. Program Studi Teknik Sipil. Universitas Persada Indonesia.
- Hidayat et al. 2016. Perbandingan Efisiensi Waktu, Biaya, dan Sumber Daya Manusia Antara Metode Building Information Modelling (BIM) dan Konvensional (Studi Kasus: Perencanaan Gedung 20 Lantai). Universitas Diponegoro. Semarang.
- Husen, A. 2009. Manajemen Proyek (Perencanaan Penjadwalan dan Pengendalian Proyek). Penerbit: Andi Yogyakarta.
- Ibrahim, B. 1993. Rencana dan Estimate Real of Cost. Bumi Aksara. Jakarta.
- Mahendra, Suardika dan Sujahtra. 2020. Analisis Percepatan Waktu Penyelesaian Proyek Menggunakan Metode Fast-Track Dan Crashing (Studi Kasus Proyek Pembangunan Jembatan Ruas Jalan Pujungan – Tibu Dalem). Januari 2021. *Proceedings*. [Online] 1:1.
- Tjaturono. 2004. Penerapan Produktivitas Tenaga Kerja Aktual dan modifikasi Penjadwalan dengan Metode Fast Track untuk Mereduksi Biaya dan Waktu Pembangunan Perumahan, Makalah Seminar REI Jatim, 16 Desember 2004, Hotel Sangri-La, Surabaya.
- Tjaturono, Indrasurya, B.M. 2009, 'Pengembangan Metode Fast Track untuk Mereduksi Waktu dan Biaya Pelaksanaan Proyek Studi Kasus RumahMenengah di Malang, Jawa Timur'. *Media Teknik Sipil*. 2009.
- Tserng, Ho dan Jan. 2013. Enhancing Knowledge Sharing Management Using BIM Technology in Construction. *The Scientific World Journal*. Juni 2013. DOI: 10.1155/2013/170498
- Uher dan Thomas, E. 1996. Programming and Scheduling Techniques. TheUniversity of New South Wales, Sydney, Australia.
- Kazado et al. 2019. Construction progress visualisation for varied stages of the individual elements with BIM: A case study. Juli 2019. DOI: 10.35490/EC3.2019.172.
- Rachmawati dan Abma, E. 2022. Implementasi Konsep BIM 4D Dalam Perencanaan Time Schedule Dengan Analisis Resources Levelling. *CE-Reform*. 2022.
- Saini dan Mhaske. 2013. BIM an Emerging Technology in AEC Industry for Time Optimization. *International Journal of Structural and Civil Engineering*. Vol. 2, No. 4, hal. 195-200, November 2013.

PENENTUAN STATUS TROFIK DENGAN MENGGUNAKAN *TROPHIC STATE INDEX* (TSI) DI SITU CIBUNTU, KABUPATEN BOGOR, JAWA BARAT

Saraswati Yola Nur Aisyah¹, Nelly Marlina²

^{1,2} Program Studi Teknik Lingkungan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta
Email: 125130401@uii.ac.id

ABSTRAK

The Trophic State Index (TSI) could reflect the anthropogenic influence on water quality and the ecological functioning of lentic ecosystems. In these ecosystems, eutrophication is a natural process but considered as one of the most relevant reasons of its degradation. This paper will focus on determining the eutrophic status of Situ Cibuntu, Bogor – Indonesia that has the main function as an irrigation water source for agricultural activities in the surrounding area. Water samples were taken from three points in January-February 2019 then analyzed for the water quality and eutrophication status. The results showed that Situ Cibuntu was slightly polluted, but still met the quality standards for waters, i.e., the temperature of 28 ° C; transparency of 98 cm; pH of 6.45; DO is 6 mg/l; TP of 0.0441 mg/l; and chlorophyll at 0.3256 ug/l. The trophic state of water then determined by using the TSI method. It showed the average TSI in inlet, center, and outlet are 87.9, 62.3, and 69.9, inherently. In general, Situ Cibuntu is categorized in the hypereutrophic with the average value of TSI is 69.2. Even the water quality in situ Cibuntu still meets irrigation use, but if the level of eutrophication is not controlled it might cause infilling and clogging of irrigation canals with aquatic weeds.

Keywords: Irrigation water, Situ Cibuntu, Trophic State Index

PENDAHULUAN

Isu global yang sedang berkembang terkait masalah air adalah pencemaran air, kekurangan air, dan degradasi sumber-sumber air. Hal tersebut menjadi masalah serius akibat akumulasi manusia yang cenderung merusak lingkungan dan meningkatnya jumlah penduduk terutama di negara-negara berkembang (Vygmal, 2010). Di Indonesia, danau-danau telah banyak mengalami pencemaran. Pada akhir tahun 2017, 15 danau di Indonesia berada dalam status tercemar berat yang berakibat air dan biota di dalamnya tidak layak untuk di konsumsi (UN Habitat, 2008).

Salah satu sumber air di bumi ialah waduk yang menerima suplai air dari sungai-sungai sekitarnya. Tidak menutup kemungkinan air tersebut membawa sisa-sisa pupuk dari sistem drainasi pada jaringan irigasi sebelumnya ataupun zat-zat lain yang merupakan penyumbang utama atau nutrien dalam meningkatkan unsur hara tanaman yang terbawa ke dalam waduk sehingga pada ekosistem waduk terjadi proses eutrofikasi yang menyebabkan pertumbuhan alga atau tanaman air lainnya berkembang pesat sehingga dapat mengurangi kadar oksigen yang masuk kedalam air. Akibatnya ikan yang berada dalam air akan mati karena kekurangan oksigen (Vygmal, 2010).

Situ Cibuntu terletak di dalam kawasan Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (LIPI), Kecamatan Cibinong, Kabupaten Bogor, Jawa Barat. Situ ini memiliki fungsi utama sebagai sumber air untuk irigasi bagi kegiatan pertanian di sekitarnya. Situ Cibuntu

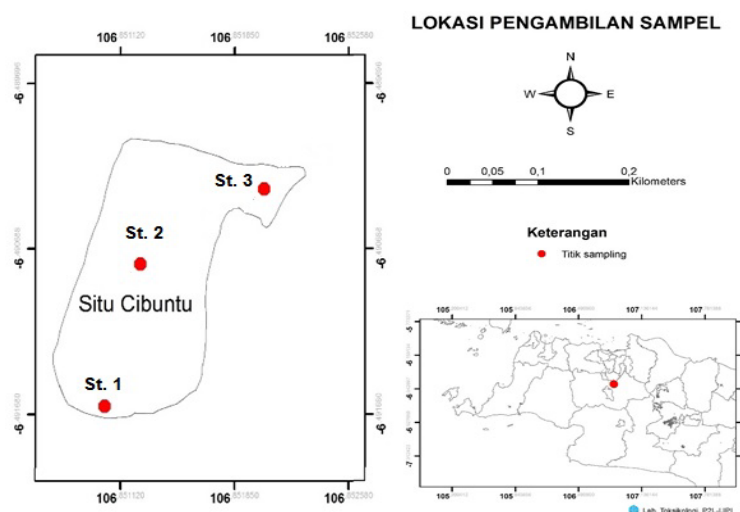
secara langsung pengelolaannya di bawah Puslitbang Limnologi-LIPI. Secara umum kondisi perairan masih baik, tetapi seiring dengan berjalannya waktu dikuatirkan situ akan mengalami kerusakan karena adanya aktivitas masyarakat yang membuang limbah domestik dan pertanian ke areal situ, sehingga dikuatirkan Situ Cibuntu akan mengalami penurunan kuantitas dan kualitas air.

Beban masukan yang berasal dari aktivitas manusia yang masuk ke sungai dapat meningkatkan nutrien atau unsur hara di perairan Situ Cibuntu diduga turut mempengaruhi peningkatan pertumbuhan fitoplankton dan status trofiknya. Untuk mengetahui suatu air situ/danau/waduk tercemar ataupun tidak tercemar harus dilakukan analisis kualitas air dan beban pencemar air. Analisis tersebut meliputi parameter biologi, fisika dan kimia. Semua parameter tersebut harus seimbang agar tetap dapat menunjang keberlangsungan hidup organisme yang hidup dalam perairan tersebut. Ketidakseimbangan nilai dari tiap parameter tersebut dapat menyebabkan terjadinya gangguan dalam berjalannya siklus hidup pada ekosistem perairan tersebut. Studi atau penelitian untuk mengetahui kualitas air dan status trofik yang terjadi di Situ Cibuntu dengan menggunakan pendekatan metode TSI yang mengkombinasikan informasi kimia, fisika, dan biologi.

METODE PENELITIAN

Penelitian dilaksanakan pada 26 Januari – 22 Februari 2019 berlokasi di Situ Cibuntu, Kabupaten Bogor, Jawa Barat. Kegiatan di lapangan meliputi penelitian pendahuluan dan pengambilan sampel. Kegiatan di laboratorium meliputi analisis contoh air dan identifikasi status trofik. Analisis parameter fisika, kimia dan biologi di lakukan di Laboratorium Limnologi, Pusat Penelitian Limnologi, Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia, Cibinong, Bogor, Jawa Barat.

Lokasi stasiun pengamatan dan pengambilan contoh pada tiga stasiun. Stasiun pertama (*inlet*) terletak pada koordinat $S06^{\circ}29.499'$ $E106^{\circ}51.045'$. Stasiun kedua (*center*) terletak pada koordinat $S06^{\circ}29.463'$ $E106^{\circ}51.074'$. Dan stasiun ketiga (*outlet*) terletak pada koordinat $S06^{\circ}29.430'$ $E106^{\circ}51.118'$. Pengambilan contoh dilakukan pada kedalaman permukaan dan kedalaman *Secchi disk*.



Gambar 1 Lokasi Titik Sampling

Pengambilan contoh air pada stasiun pengamatan dilakukan pada pukul 08.48 WIB sebanyak tiga kali pada tanggal 29 Januari 2019; pukul 08.30 WIB sebanyak tiga kali pada tanggal 31 Januari 2019; dan pukul 09.00 WIB sebanyak tiga kali pada tanggal 4 Februari 2019. Parameter yang diukur dan dianalisis meliputi parameter fisika, kimia, dan biologi, yaitu kedalaman, kecerahan, suhu, oksigen terlarut (DO), konduktivitas, padatan terlarut total (TDS), kekeruhan, pH, total nitrat (TN), total fosfat (TP), dan klorofil-a.

Pengukuran parameter fisik seperti suhu, TDS, pH, konduktivitas, kekeruhan dilakukan *in situ* (di lapangan) dengan menggunakan *Water Quality Monitor HORIBA*, pengukuran DO dengan menggunakan *Pro DO*, dan pengukuran kecerahan dengan menggunakan *secchi disk*. Sedangkan pengukuran parameter kimia dan biologi dilakukan di laboratorium LIPI.

Metode pengukuran nitrat dan nitrogen total LIPI Cibinong dilakukan dengan metode spektrofotometer (SNI 06-2480-1991) menggunakan metode brusin dengan alat spektrofotometer pada panjang gelombang 420 nm. Untuk penentuan kadar ortofosfat dilakukan dengan metode spektrofotometer (APHA Edisi 22 Tahun 2012, No.4500-P). Prinsip analisis ortofosfat adalah ammonium molibdat dan kalium antimonitartat bereaksi dalam suasana asam dengan ortofosfat hingga membentuk asam fosfomolibdik, asam fosfomolibdik tersebut kemudian direduksi oleh asam asorbik sampai moden biru. Warna ini sebanding dengan konsentrasi fosfor. Sedangkan penentuan kadar fosfat total dilakukan dengan metode spektrofotometer secara asam askorbat (SNI 06-69899.31-2005 yang berdasarkan *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, 20th edition (1998) 4500-P E).

Adapun prosedur pengukuran konsentrasi klorofil-a di LIPI Cibinong dilakukan dengan menyaring 150 ml air sampel dan dituang langsung kedalam *filter holder* yang telah dilengkapi oleh kertas saring Whatman 0,45 μm . kertas saring hasil saringan diambil dan dimasukkan ke dalam tabung *valcon tube*, kemudian ditambahkan larutan aseton 90% sebanyak 10 ml, di bungkus dengan aluminium foil dan diberi label kemudian di simpan ke dalam lemari pendingin selama 1 hari. Setelah itu, sampel diambil dan digerus sampai halus dengan menggunakan alat penggerus mortar, kemudian ditambahkan larutan aseton 90% sebanyak 4 ml. Selanjutnya sampel di *centrifuge* dengan putaran 1.000 rpm selama 30-60 menit. Hasil *centrifuge* yang berupa larutan bening diambil menggunakan pipet dan dimasukkan ke dalam kuvet yang berdiameter 1 cm, kemudian periksa absorbansinya dengan menggunakan spektrofotometer pada panjang gelombang (λ) 750, 664, 647, dan 630 nm. Untuk menghitung kandungan klorofil-a, absorbansi dari panjang gelombang (λ) yang diukur (664, 647, dan 630 nm) dikurangkan dengan absorbansi panjang gelombang (λ) 750 nm (Sutrisyani, 2006).

Tingkat kesuburan perairan danau yang dihitung berdasarkan perhitungan *Trophic State Index (TSI)* merupakan gabungan antara nilai TSI pada kedalaman *Secchi disk* (TSI-SD), TSI klorofil-a (TSI-Chl-a), dan TSI total fosfat (TSI-TP). Berikut persamaan untuk menghitung TSI (Carlson, 1997):

Trophic State Index (TSI)

Tingkat kesuburan perairan situ yang dihitung berdasarkan perhitungan *Trophic State Index (TSI)* Carlson (1977) merupakan gabungan antara nilai TSI pada kedalaman *Secchi disc* (TSI-SD), TSI klorofil-a (TSI-Chl-a), dan TSI fosfat total (TSI-TP). Perhitungan rata-rata *Trophic State Index (TSI)* menurut Carlson (1997) adalah sebagai berikut:

$$\text{TSI (SD)} = 60 - 14,41 \ln (\text{SD})$$

$$\text{TSI (CHL)} = 30,6 + 9,81 \ln (\text{CHL})$$

$$\text{TSI (TP)} = 4,15 + 14,42 \ln (\text{TP})$$

$$\text{Rata – rata TSI} = \frac{\text{TSI (SD)}+\text{TSI (CHL)}+\text{TSI (TP)}}{3} \dots\dots\dots(8)$$

Keterangan:

SD = Secchi disk (m)

CHL = Klorofil-a (µg/l)

TP = Fosfat total (µg/l)

Data hasil penghitungan indeks TSI kemudian dikelompokkan sebagaimana yang disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Pengelompokan Indeks TSI

TSI	Chl-a	P	SD	Status Kesuburan
< 30-40	0 – 2.6	0 -12	>8-4	Oligotrof
40-50	2.6 – 7.3	12 – 24	4 – 2	Mesotrof
50-70	7.3 – 56	24 – 96	2 – 0.5	Eutrof
70-100+	56 - 155	96 – 384+	0.5 - <0.25	Hypereutrof

HASIL DAN PEMBAHASAN

Kualitas Air Situ Cibuntu

Eutrofikasi dapat diketahui dengan sebuah metode yaitu TSI (*Trophic State Index*). Metode TSI ini digunakan untuk mengetahui kualitas air suatu perairan atau status trofik dengan menggunakan parameter fisika, kimia dan biologi suatu perairan. Karakteristik fisika, kimia dan biologi perairan Situ Cibuntu selama penelitian cukup beragam, dapat dilihat pada Tabel 2.

Suhu perairan berkisar antara 26-30°C dengan rata-rata 28°C. Angka kecerahan berkisar antara 0,23-1,2 m dengan rata-rata 0,78 m. Daerah yang memiliki angka kecerahan terendah terletak pada daerah *inlet*. Hal ini berkaitan dengan kekeruhan dan TDS yang berperan sebagai penentu nilai kecerahan. Tingkat kecerahan juga berkaitan dengan keberadaan fitoplankton beserta kandungan nutrisi perairan waduk (Fardiaz, 1992).

Hasil pengukuran kekeruhan pada Situ ini berkisar 15-270 NTU dengan rata-rata keseluruhan 58,8 NTU. Daerah yang memiliki nilai kekeruhan tertinggi pada *inlet* dengan rata-rata 123,27 NTU dan yang terendah pada *outlet* 17,73 NTU. Hal ini dikarenakan pada daerah Inlet terdapat banyak penumpukan sedimen dari aliran air Sungai Baru yang membawa banyak sedimen. Warna dalam air dapat menghambat penetrasi cahaya ke dalam air dan mengakibatkan terganggunya proses fotosintesis (Effendi, 2003).



Menurut Susanti *et al.* (2013), sedimentasi dapat meningkatkan kekeruhan air yang berdampak negatif pada kelestarian ekosistem alami dan biota perairan sehingga menyebabkan tidak optimalnya nilai ekologi.

Selain itu terdapat hasil pengukuran TDS pada Situ yang berkisar 18-42 mg/l dengan rata-rata 28,44 mg/l, daerah yang tertinggi yaitu *inlet* dengan rata-rata 39,67 mg/l sedangkan yang terendah ialah *outlet* dengan rata-rata 22,33 mg/l. Penyebab utama terjadinya TDS adalah bahan anorganik berupa ion-ion yang umum dijumpai di perairan, sebagai contoh air buangan sering mengandung molekul sabun, detergen dan surfaktan yang larut air, misalnya pada air buangan rumah tangga dan industri pencucian (Fardiaz, 1992). Hal ini dikarenakan pada daerah Inlet memiliki kandungan unsur hara yang tinggi dibandingkan dengan daerah lain, sebab di daerah Inlet merupakan tempat berkumpulnya masukan hara yang berasal dari limbah pertanian dan limbah domestik.

Status Trofik Situ Cibuntu

Parameter yang diukur dalam menentukan status trofik perairan Situ Cibuntu menggunakan metode TSI meliputi kecerahan, total P dan klorofil-a. Ketiga parameter tersebut digunakan karena status kesuburan perairan merupakan parameter multidimensional karena penentuannya tidak hanya bergantung kepada satu parameter melainkan menggunakan parameter yang terkait satu dengan yang lainnya. Penggunaan parameter tunggal akan menimbulkan estimasi yang sifatnya ambigu dan sangat sensitif jika terjadi perubahan (Pratiwi *et al.*, 2013).

Tabel 2 Karakteristik Fisika, Kimia dan Biologi Perairan Situ Cibuntu

No		Inlet			Center			Outlet		
		29 Januari 2019	31 Januari 2019	4 Februari 2019	29 Januari 2019	31 Januari 2019	4 Februari 2019	29 Januari 2019	31 Januari 2019	4 Februari 2019
1	Kedalaman (cm)	23	23	23	155	150	140	150	146	133
2	Kecerahan (cm)	23	23	23	110	105	95	120	116	88
3	Suhu (°C)	26.5	27.47	26.8	27.8	28.3	29.2	27.9	28	30
4	DO (mg/L)	3.77	5.84	3.40	6.93	6.70	7.79	6.54	6.50	7.48
5	Konduktivitas (mS/cm)	0.060	0.059	0.065	0.033	0.029	0.045	0.034	0.036	0.034
6	TDS (mg/L)	38	39	42	22	18	30	22	23	22
7	Kekeruhan (NTU)	51.9	270	47.9	17.9	64.2	24.1	18.7	19	15.5
8	pH	5.88	6.36	7	6.4	6.52	6.24	6.27	6.76	6.66
9	TN (mg/L)	0.7990	0.8580	0.8560	0.6720	0.6920	0.5040	1.2666	0.7822	0.6819
10	TP (mg/L)	0.1045	0.1400	0.0690	0.0070	0.0150	0.0030	0.0131	0.0366	0.0093
11	Klorofil-a (ug/l)	0.2448	0.2448	0.2448	0.0333	0.0140	0.8832	0.0549	0.1902	1.0203

Nilai TSI pada kajian ini diperoleh berdasarkan nilai rata-rata dari TSI-SD, TSI-TP, dan TSI-Chl (Carlson, 1997). Data rata-rata parameter kecerahan, total P dan klorofil-a pada keseluruhan titik sampling beserta nilai TSInya dapat dilihat pada Tabel 3. Data di Tabel

3 memperlihatkan bahwa total P pada daerah *inlet* memiliki nilai yang paling tinggi, hal itu dikarenakan daerah *inlet* banyak mendapat masukan air yang telah dipengaruhi oleh kegiatan manusia misalnya limbah domestik dan limbah pertanian sehingga dapat meningkatkan kandungan total P dalam perairan Situ Cibuntu. Nilai total P terendah terdapat pada daerah Center dimana daerah tersebut telah mengalami pencampuran (*mixing*) sehingga hal tersebut dapat mengurangi konsentrasi total P (Noviasari, 2018).

Tabel 3 Hasil Rata-rata Masing-masing Parameter dalam TSI di Situ Cibuntu

Stasiun	Waktu Sampling	Parameter			Rata-rata TSI
		Total P (ug/l)	Klorofil-a (ug/l)	Kecerahan (m)	
<i>Inlet</i>	29/1/2019	0.1045	0.2448	0.23	87.9
	31/1/2019	0.1400	0.2448	0.23	
	4/2/2019	0.0690	0.2448	0.23	
<i>Center</i>	29/1/2019	0.0070	0.0333	1.1	62.3
	31/1/2019	0.0150	0.0140	1.05	
	4/2/2019	0.0030	0.8832	0.95	
<i>Outlet</i>	29/1/2019	0.0131	0.0549	1.2	69.9
	31/1/2019	0.0366	0.1902	1.16	
	4/2/2019	0.0093	1.0203	0.88	

Menurut Damanik (2006), secara umum, tingginya konsentrasi klorofil-a di permukaan perairan dihubungkan dengan kelimpahan fitoplankton. Nilai klorofil-a rata-rata tertinggi terdapat di *outlet* pada waktu pengambilan sampling 4 Februari 2019. Hal ini disebabkan karena kondisi perairan yang cukup tenang dan keadaan cuaca pada waktu tersebut panas dengan suhu rata-rata 28,63°C, hal ini mengakibatkan intensitas cahaya matahari yang masuk optimal, sehingga proses fotosintesis dapat berjalan optimal. Dilihat dari nilai kecerahan, pada *inlet* memiliki tingkat rata-rata kecerahan terendah sebesar 0,23 m. Tingkat kecerahan pada *inlet* rendah disebabkan karena banyaknya partikel tersuspensi dan banyaknya tumbuhan air di sekitar *inlet* yang menghalangi penetrasi cahaya matahari masuk kedalam perairan.

Nilai TSI dihitung berdasarkan nilai dari parameter kecerahan, total P dan klorofil-a. Penentuan nilai rata-rata status trofik berdasarkan TSI dapat dilihat pada Gambar 2.

Dari Gambar 2 dapat dilihat rata-rata nilai TSI Situ Cibuntu adalah 69,2 sehingga status trofiknya menunjukkan eutrofik berat. Rata-rata nilai TSI Inlet berkisar 87,9 yaitu tergolong hipertrofik; rata-rata nilai TSI Center berkisar 62,3 yaitu tergolong eutrofik berat; dan rata-rata nilai TSI Outlet berkisar 69,9 yaitu tergolong eutrofik berat.

Kategori status trofik eutrofik berat memiliki skor 60 – 70 yang berarti kesuburan perairan tinggi, terjadi blooming algae berct, tanaman air membentuk lapisan seperti kondisi hypereutrofik. Sedangkan kategori status trofik hipertrofik memiliki skor TSI ≥ 70 yang

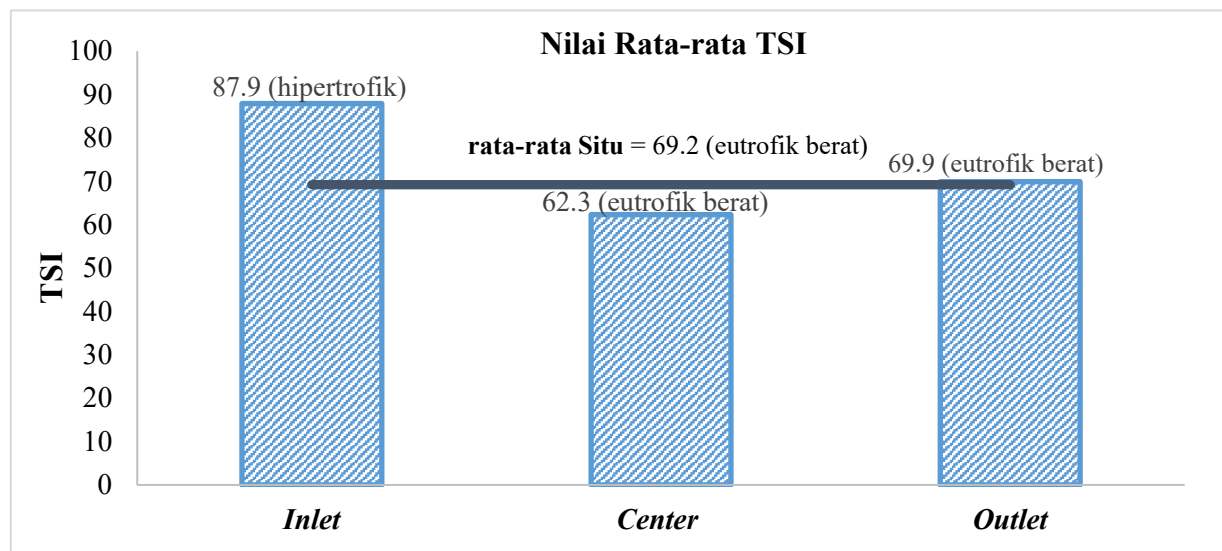
berarti Kesuburan perairan sangat tinggi, terjadi gumpalan alga, sering terjadi kematian ikan, tanaman air sedikit didominasi oleh alga.

Berdasarkan perhitungan dengan menggunakan indeks TSI dengan titik 3 titik stasiun dan 3 waktu memiliki status trofik yang berbeda. Hal ini terjadi karena adanya perbedaan konsentrasi dari ketiga parameter yang diukur dalam TSI. Ketiga parameter dalam TSI ini memiliki hubungan erat terhadap status trofik dan dijadikan sebagai indikator penentu kesuburan perairan (Carlson, 1977).

Stasiun 1 (*inlet*) lebih tinggi dari pada stasiun lainnya. Status trofik pada *inlet* sangat tinggi yaitu 87,9 (hipertrofik) hal ini sesuai dengan total P yang tinggi di permukaan. Konsentrasi total P yang tinggi pada *inlet* diduga karena adanya pengaruh dari aktivitas yang berada di sekitar Situ Cibuntu yang mana menghasilkan masukan ke perairan berupa bahan organik dan anorganik. Tinggi rendahnya konsentrasi fosfat disebabkan karena proses ekskresi oleh ikan dalam bentuk feses dan bentuk limbah lainnya dalam bentuk ini dapat mengendap di dasar perairan dan terakumulasi di sedimen.

Stasiun 3 (*outlet*) merupakan Stasiun yang memiliki rata-rata nilai TSI 69,9 berstatus eutrofik berat. Hal ini disebabkan karena konsentrasi klorofil-a dan konsentrasi oksigen terlarut yang tinggi. Konsentrasi klorofil-a yang tinggi disebabkan karena kelimpahan fitoplankton yang tinggi pada setiap permukaan dan tingginya konsentrasi oksigen terlarut pada *outlet*.

Stasiun 2 (*center*) merupakan Stasiun dengan rata-rata nilai TSI terendah dibandingkan dengan Stasiun lainnya yaitu 62,3 yang berstatus eutrofik berat. Hal ini sejalan dengan klorofil-a dan total P yang rendah dibandingkan dengan Stasiun lainnya. Rendahnya konsentrasi total P disebabkan karena daerah *center* tersebut telah mengalami pencampuran (*mixing*) sehingga hal tersebut dapat mengurangi konsentrasi total P (Noviasari, 2018).



Gambar 2 Status Trofik Situ Cibuntu Berdasarkan Nilai TSI

Blooming Hydrilla terjadi di Situ Cibuntu. Hal ini merupakan indikasi terjadinya eutrofikasi. Pemanenan *Hydrilla* dan pengurasan Situ yang dilakukan hampir setiap tahun, hanya menyelesaikan permasalahan sesaat, untuk kemudian tumbuh sangat melimpah lagi. Pengurangan *Hydrilla* secara mekanik sebaiknya mempertimbangkan luas penutupan *Hydrilla*. *Hydrilla* yang tersisa harus dilokalisir di bagian tepi Situ sebagai sabuk hijau, sehingga tidak menyebar ke badan Situ lagi. Sabuk hijau ini dapat meremediasi kualitas air (Soeprbowati, 2010). Guna menyelesaikan problem *Hydrilla* adalah dengan mengatasi akar permasalahannya yaitu eutrofikasi. Upaya yang harus dikembangkan adalah dengan pembuatan kolam pengolahan (*preimpoundment*) pada hilir inlet sebelum masuk ke Situ. *Preimpoundment* merupakan ekoteknologi untuk restorasi Situ (Jorgensen & Vollenweider, 1988). Pada kolam ini dilakukan perlakuan penurunan konsentrasi nitrogen dan fosfor sebelum masuk ke badan Situ.

KESIMPULAN

1. Hasil pengukuran fisika dan kimia yang diukur di Situ Cibuntu sedikit tercemar, namun masih memenuhi baku mutu untuk perairan dengan masing-masing nilai rata-rata yang meliputi suhu sebesar 28°C; kecerahan 98 cm; pH sebesar 6.45; DO sebesar 6 mg/l; TP sebesar 0.0441 mg/l; dan klorofil sebesar 0.3256 ug/l.
2. Tingkat kesuburan perairan yang dihitung dengan menggunakan metode TSI (Total State Index) dengan perhitungan rata-rata TSI di Inlet (87.9); rata-rata TSI di Center (62.3); dan rata-rata TSI di Outlet (69.9) termasuk kedalam tingkat eutrofik berat dimana nilai rata-rata Situ yang diperoleh yaitu 69.2.

DAFTAR PUSTAKA

- APHA (American Public Health Association). 1989. Standard methods for the examination of water and waste water. American Public Health Association (APHA). American Water Works Association (AWWA) and Water Pollution Control Federation (WPCF). 17th ed. Washington. 1193 hal
- Carlson, R. E. 1997. A Trophic State Index for Lakes. Journal of Limnology and Oceanography. Limnological Research Center. University of Minnesota, Minneapolis. 22 (2): 361-369..
- Damanik, J., Weber, H.F., 2006. Perencanaan Ekowisata dari Teori ke Aplikasi. Amd Offset. Yogyakarta
- Effendi, H. 2003. Telaah Kualitas Air bagi Pengelolaan Sumber Daya dan Lingkungan Perairan. Cetakan Kelima. Yogyakarta : Kanisius.
- Fardiaz, S. 1992. Polusi Air dan Udara. Kanisius. Yogyakarta
- Jorgensen, S.E. and Vollenweider, R.A. 1988. Guidelines of Lake Management. Volume 1. Principles of Lake Management. International Lake Environment Committee, United nations Environment Programme.
- Noviasari, Pramunita Putri. 2018. Tingkat Eutrofikasi Ekosistem Perairan dengan Menggunakan Metode Trophic State Index (TSI) di Waduk Sengguruh Kabupaten Malang Jawa Timur. Universitas Brawijaya. Malang.
- Pratiwi, Niken TM., Hariyadi, Sigid., Ayu, Inna Puspa., Iswantari, Aliati., dan Amalia, Junita Fitri. 2013. Komposisi Fitoplankton dan Status Kesuburan Perairan Danau Lido, bogor-Jawa Barat Melalui Beberapa Pendekatan. Jurnal Biologi Indonesia 9(1): 111-120.

- Soeprbowati, T.R, dan Suedy, S.W.A .2010. Status Trofik Danau Rawapening dan Solusi Pengelolaanya. Jurnal Sains dan Matematika (JSM). 18(4) : 158-169.
- Susanti, I. Sasongko, S. dan Sudarno. 2012. Kualitas Air Waduk Manggar sebagai sumber Air Baku Kota Balikpapan : Prosiding Seminar Nasional Pengelolaan Sumberdaya Alam dan Lingkungan halaman 38 – 43.
- Sutrisyani, Rohani. S. 2006. Pedoman Praktis Analisis Kualitas Air. Pusat Penelitian dan Perkembangan Budidaya Perikanan.
- UN-HABITAT, dan Dr. Roshan R. Shrestha. 2008. Constructed wetlands manual. United Nation Human Settlement Programme. ISBN Number: Vol.978-92-1-131963-7. Agriculture. Retrieved from www.unhabitat.org Diakses Februari 2019
- Vygmazal J. 2010. Constructed Wetlands for Wastewater Treathment [review]. Water.2.530-549;doi:10.3390/w2030530.



[B-1576]

PENGOLAHAN LIMBAH B3 LOGAM BERAT KROMIUM (CR) DAN KADMIUM (CD) DI LABORATORIUM KUALITAS LINGKUNGAN TL FTSP UII MENGGUNAKAN METODE STABILISASI/SOLIDIFIKASI

Andifa Khalida Azzara¹, Ega Elita Mahardika Rusli², Yebi Yuriandala³, and Kasam³

¹Prodi Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia,

Yogyakarta

*Co-author:

yebi.y@uii.ac.id

ABSTRAK

Limbah B3 merupakan limbah padat dan cair yang di dalamnya terdapat Bahan berbahaya dan Beracun (B3). Kandungan berbagai logam berat dalam air limbah B3 dapat menimbulkan pencemaran dan memberikan dampak bagi lingkungan dan makhluk hidup lainnya. Limbah B3 didapati pada laboratorium yang kegunaannya untuk melakukan pengujian atau kegiatan riset ilmiah menggunakan bahan kimia. Salah satu kandungan dalam limbah B3 laboratorium yang berbahaya bagi lingkungan adalah logam berat Krom (Cr) dan Kadmium (Cd) sehingga jika tidak dilakukan pengolahan dengan baik akan berbahaya bagi lingkungan. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui karakteristik air limbah laboratorium dan kadar logam Cr serta Cd dalam air limbah serta melakukan pengolahan dengan metode stabilisasi/solidifikasi. Hasil yang didapatkan karakteristik kekeruhan limbah cair sebesar 197 NTU melebihi baku mutu permen LH No.5/1995, TDS sebesar 36,86 mg/L, pH sebesar 1, kadar Cr sebesar 15,57 mg/L dan kadar Cd sebesar 21,44 mg/L melebihi baku mutu Permen LH No.5/2014. Stabilisasi Cr dilakukan dengan penambahan Ca(OH)₂ dan Cd dengan penambahan NaOH. Solidifikasi dilakukan dengan memadatkan limbah cair menjadi paving block variasi kontrol, padatan, dan air limbah. Setelah pengolahan stabilisasi/solidifikasi, dilakukan pengujian TCLP untuk menghitung toksisitas logam berat dengan hasil paving block variasi kontrol, padatan, dan air limbah Cr sebesar <0,09 mg/Kg, dan paving block air limbah Cd sebesar 0,23 mg/Kg; 0,17 mg/Kg; dan 0,41 mg/Kg memenuhi baku mutu PP No.22/2021. Paving block yang dihasilkan sebanyak 30 sampel.

Kata kunci: Limbah B3, Cd, Cr, Stabilisasi/Solidifikasi, TCLP, Laboratorium Kualitas Lingkungan FTSP UII.

PENDAHULUAN

Laboratorium merupakan tempat dilakukannya pengujian atau riset ilmiah menggunakan bahan kimia. Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun (B3) cair laboratorium termasuk limbah B3 dikarenakan sifat dan konsentrasinya mengandung zat yang dapat merusak lingkungan dan makhluk hidup lainnya (Trihadiningrum, 2016). Laboratorium Kualitas Lingkungan Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia (TL FTSP UII) melakukan kegiatan pengujian di laboratorium yang menghasilkan air buangan bersifat asam, basa, dan mengandung logam berat seperti Kromium (Cr) dan Kadmium (Cd) yang diperoleh dari pengujian menggunakan parameter tersebut. Dalam kegiatan penelitian di laboratorium dapat menyebabkan pencemaran baik secara langsung maupun tidak langsung. Proses pencemaran secara langsung yaitu saat bahan/zat kimia dapat langsung berdampak terhadap kesehatan



manusia, hewan, dan tumbuhan serta mengganggu keadaan ekologis baik tanah, air, dan udara. Sedangkan proses tidak langsung adalah saat zat kimia/berbahaya tersebut bereaksi dengan air, udara, maupun tanah.

Logam berat Cr bersifat bioakumulasi di dalam makhluk hidup, melalui rantai makanan, di dalam tubuh akan sulit untuk dikeluarkan sehingga kadarnya akan meningkat di dalam tubuh organisme. Cr merupakan logam yang berbahaya bagi kehidupan. Logam Cr merupakan logam yang sulit didegradasi sehingga dapat bertahan lama dalam perairan. Sedangkan logam Cd yang sudah memasuki perairan akan mengalami proses bioakumulasi dan biomagnifikasi pada makhluk hidup (tumbuhan, hewan, dan manusia). Kemudian Cd yang telah terakumulasi pada hewan lalu dikonsumsi oleh manusia maka akan menyebabkan rusaknya ginjal, paru-paru, kekurangan darah, kerapuhan tulang, mempengaruhi sistem reproduksi, dan merupakan salah satu penyebab kanker pada manusia. Cd memiliki sifat bioavailabilitas yang tinggi sehingga dengan mudah melakukan bioakumulasi dan senyawa yang sangat larut di dalam air (Palar, 2008).

Menurut PP No.22/2021 setiap kegiatan/usaha yang menghasilkan limbah B3 wajib melakukan pengolahan sendiri atau melalui pihak ketiga. Sebelum dilakukan pengolahan, limbah B3 cair laboratorium perlu diketahui karakteristiknya agar dapat diketahui pengolahan yang akan dilakukan untuk mengubah sifat fisik dan kimia yang terdapat di dalam LB3 cair (Royyan dkk., 2017). Pengolahan limbah B3 cair dilakukan dengan Stabilisasi/Solidifikasi (s/s) yang bertujuan untuk mengubah sifat fisika dan kimia limbah B3 sehingga pergerakan limbah dapat terhambat dan terbatas (Trihadiningrum, 2016). Kelebihan yang terdapat dari s/s adalah penambahan pasir dan semen dengan bahan pengikat lainnya dengan kemudahan penggunaan dan pemrosesan, ketahanan biodegradasi, permeabilitas air rendah, dan memiliki kekuatan tekan. Melalui teknologi s/s dengan mencampurkan zat aditif berguna untuk mengurangi mobilitas zat beracun, cara kerjanya dengan menahan dan mengurangi kontaminan serta mencegah pelepasan polutan ke lingkungan (Ghyaada Yassen, 2019).

METODE PENELITIAN

Penelitian dilakukan pada bulan Maret-Juli 2022. Lokasi penelitian berada di laboratorium Kualitas Lingkungan TL FTSP UII untuk penentuan karakteristik dan stabilisasi logam berat Cr dan Cd serta dilakukan di Pusat Inovasi Material Vulkanis UII untuk pengujian solidifikasi.

Uji Karakteristik Limbah Cair

Karakteristik limbah cair logam berat Cr dan Cd ditentukan berdasarkan parameter fisika dan kimia. Parameter fisika meliputi kekeruhan (SNI 6989.24:2005) menggunakan *turbidity* meter, dan TDS (SNI 6989.27:2019) menggunakan TDS meter. Parameter kimia yang diuji adalah pH (SNI 6989.11:2019) menggunakan kertas pH, logam berat Cr (SNI 6989.17:2009), dan logam berat Cd (SNI 6989.16:2009) menggunakan instrument Spektrofotometer Serapan Atom (SSA).

Stabilisasi/Solidifikasi

Stabilisasi merupakan proses penambahan zat aditif untuk mengurangi sifat beracun dari limbah yang mengandung logam berat. Stabilisasi Cr dilakukan dengan penambahan 9 gram $\text{Ca}(\text{OH})_2$, dan Cd dengan 25 gram NaOH (Nusa Idaman, 2010). Sedangkan solidifikasi adalah proses penambahan bahan yang dapat memadatkan limbah agar limbah tersebut berbentuk padat. S/s dapat dicapai dengan reaksi kimia

antara limbah padat dengan proses mekanis. Tujuan dari s/s adalah mengonversi limbah B3 menjadi massa yang secara fisik memiliki daya *leaching* rendah, serta kekuatan mekanik yang cukup aman untuk dibuang ke landfill limbah B3 (Royyan, dkk., 2017). Solidifikasi dilakukan dengan memadatkan limbah yang sudah dilakukan stabilisasi menjadi *paving block*. Komposisi material semen portland : agregat yang digunakan dalam pembuatan *paving block* adalah variasi 1 pc : 7 ps (digunakan dalam komersil). *Paving block* dibuat dengan 3 variasi, pertama variasi kontrol, variasi endapan limbah, dan variasi air limbah. Setelah itu, dilakukan pengujian karakteristik limbah cair meliputi kekeruhan, TDS, pH, konsentrasi logam berat Cr, dan Cd setelah stabilisasi.

Uji TCLP

Pengujian TCLP digunakan untuk mengetahui penentuan sifat beracun suatu logam berat apakah memenuhi ambang baku mutu atau diatas baku mutu. Uji TCLP dilakukan dengan metode uji 1311-*United States Environmental Protection Agency* (US-EPA) menggunakan instrument *Rotary Agigator Test* dan SSA.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada penelitian ini dilakukan analisis karakteristik limbah cair (kekeruhan, TDS, pH, konsentrasi logam berat Cr, dan Cd). Serta menentukan strategi pengolahan limbah B3 dengan metode s/s sebagai berikut.

Kondisi Eksisting Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian pengolahan limbah B3 cair berada di laboratorium Kualitas Lingkungan TL FTSP UII. Laboratorium Kualitas Lingkungan secara spesifik memiliki lima jenis laboratorium, diantaranya Laboratorium Kualitas Air, Laboratorium Bioteknologi Lingkungan, Laboratorium Kualitas Udara, Laboratorium Analisis Resiko Lingkungan, dan Laboratorium Sampah dan Limbah B3. Limbah padat yang dihasilkan berupa alat atau limbah uji lainnya yang dikategorikan sebagai limbah B3 padat dan dilakukan penyimpanan pada Tempat Penyimpanan Sementara (TPS). Kondisi limbah B3 cair di tempatkan di dalam jerigen yang tersedia di seluruh laboratorium Kualitas Lingkungan FTSP UII. Limbah B3 cair ini kemudian ditutup dan diangkut melalui pihak ketiga. Selain itu, kondisi lingkungan TPS limbah B3 terdiri dari rak-rak yang berisi limbah B3 padat seperti alat-alat elektronik, dan kain bekas. TPS limbah B3 memiliki *logbook* mengenai identitas limbah B3 padat yang tersimpan. Limbah B3 padat ditaruh dalam wadah yang memiliki nama dan jenis limbah B3 padat dan disusun di dalam rak yang bertingkat. Limbah B3 padat diolah bekerjasama dengan pihak ketiga seperti limbah B3 cair.

Karakteristik Limbah Cair

Pengujian karakteristik limbah B3 cair dilakukan untuk mengetahui kualitas limbah berdasarkan parameter fisika berupa kekeruhan dan TDS serta parameter kimia berupa nilai pH, konsentrasi logam berat Cr dan Cd.

Kekeruhan

Dalam pengujian kekeruhan dinyatakan dalam satuan *Nephelometric Turbidity Unit* (NTU) menggunakan instrumen *Turbidity Meter*. Kekeruhan disebabkan oleh adanya koloid, zat organik, jasad renik, lumpur, tanah liat, dan benda terapung yang tidak mengendap dengan segera, air yang keruh sulit didesinfeksi karena mikroba terlindung oleh zat tersuspensi tersebut. Hal ini tentu berbahaya bagi kesehatan (Sutrisno, 1991). Dalam air

limbah sendiri kekeruhan dapat dijadikan indikasi visual kualitas air limbah yang dapat dilihat pada tabel 1 dibawah ini.

Tabel 1 Hasil Uji Kekeruhan

No.	Sampel	Hasil Pengujian (NTU)	BML (NTU)
1	Sampel 1	200	10
2	Sampel 2	203	
3	Sampel 3	188	
Rata-rata		197	

Berdasarkan pengujian, seluruh sampel memiliki angka yang melebihi baku mutu Permen LH No.5/1995. Kekeruhan yang tinggi dalam limbah B3 cair disebabkan oleh air limbah bekas pengujian dan praktikum yang bercampur. Pengujian di laboratorium menggunakan sampel dari luar laboratorium lalu dilakukan pengujian dan dibuang di dalam jerigen, selain itu kegiatan praktikum di dalam laboratorium menggunakan senyawa-senyawa kimia seperti praktikum kimia lingkungan yang memiliki pengujian kekeruhan dalam sampel air menghasilkan air yang berwarna keruh akibat pengujian. Praktikum mikrobiologi lingkungan, praktikum kimia dasar, dan praktikum laboratorium lingkungan yang menimbulkan padatan sehingga membuat angka kekeruhan menjadi tinggi akibat padatan tersuspensi dan padatan yang terlarut di dalam air limbah. Sehingga, kekeruhan yang tinggi di dalam air limbah B3 laboratorium disebabkan oleh bercampurnya hasil air sisa pengujian dan praktikum.

TDS

Padatan terlarut atau *Total Dissolved Solid* (TDS) adalah jumlah total zat anorganik dan organik yang terlarut dalam air atau air limbah. Hasil pengujian TDS dapat dilihat pada tabel 2 berikut.

Tabel 2 Hasil Uji TDS

No.	Sampel	TDS (gr/L)	Suhu	Konduktivitas (ms/cm)	Salinitas (%)	BML (gr/L)
1	Sampel 1	37,1	26,4	52,5	3,26	2
2	Sampel 2	38,2	26,6	53,7	3,45	
3	Sampel 3	35,3	26,5	51	3,18	
Rata-rata		36,867	26,5	52,4	3,297	

Hasil TDS yang besar sebanding dengan nilai konduktivitas dan salinitas yang tinggi. Konduktivitas atau daya hantar merupakan ukuran kemampuan larutan mengalirkan arus listrik, menunjukkan banyaknya ion terlarut atau garam terlarut, pada pencemaran organik yang relatif kurang mengion, dan tidak dapat dipantau dengan baik (Rahayu, 2007). Menurut Irwan dan Afdal (2016), TDS air limbah laboratorium tinggi dikarenakan sumber pencemar dalam limbah laboratorium berasal dari produk penanganan limbah, sisa bahan kimia, air bekas cucian peralatan, dan sampel uji yang mudah larut dalam air. Berdasarkan baku mutu air limbah yang tertera dalam Permen LH No.5/2014 tentang Baku Mutu Air Limbah kadar TDS sebesar 2 gr/L. Berdasarkan baku mutu air limbah tersebut maka hasil pengujian karakteristik air limbah B3 yang berada di laboratorium kualitas lingkungan berada di atas baku mutu.

pH

Dari sampel limbah B3 cair yang telah disiapkan, dilakukan pengujian untuk mengetahui nilai pH yang terdapat dalam air limbah B3 sebelum dilakukan pengolahan. Berikut merupakan hasil dari pengukuran derajat keasaman pada tabel 3.

Tabel 3 Hasil Uji pH

No.	Sampel	Hasil Pengujian	BML
1	Sampel 1	1	6,0-9,0
2	Sampel 2	1	
3	Sampel 3	1	
Rata-rata		1	

Hal ini menunjukkan bahwa air limbah B3 yang dihasilkan dari sisa penelitian laboratorium kualitas lingkungan memiliki pH yang asam. Sehingga dalam pengolahannya diperlukan penambahan zat kimia yang dapat menetralkan atau menaikkan pH. Menurut Susanto (2011) dengan meningkatnya pH akan menurunkan tingkat protonasi pada permukaan adsorben. Akibatnya pada pH 6 adsorpsi ion logam berlangsung secara optimum demikian juga pada pH 7. Pada pH yang lebih tinggi, gugus aktif pada adsorben akan mengalami deprotonisasi seiring dengan meningkatnya konsentrasi ion OH⁻ dalam larutan. Dari hasil tersebut dapat diketahui menurut Permen LH No.5/2014 berada diatas baku mutu yang telah ditetapkan, yaitu sebesar 6,0-9,0. Limbah laboratorium dengan pH yang sangat rendah termasuk ke dalam sifat limbah B3 korosif dan limbah ini dapat menyebabkan iritasi dengan ditandai kemerahan atau eritema dan edema. Penyebab dari rendahnya pH yang didapatkan dari pengujian ini dapat terjadi karena tercampurnya banyak senyawa kimia yang bersifat asam yang digunakan selama aktivitas penelitian di Laboratorium Kualitas Lingkungan.

Kadar Logam Berat Cr dan Cd

Kadar awal Cr dan Cd diperlukan untuk digunakan pembandingan antara kadar sebelum dengan sesudah pengolahan dilakukan dengan hasil pada tabel 4 berikut ini.

Tabel 4 Kadar Cr dan Cd Pada Air Limbah

Sampel	Konsentrasi Cr (mg/L)	Konsentrasi Cd (mg/L)	BML Cr (mg/L)	BML Cd (mg/L)
Sampel 1	14,689	20,60	0,5	0,05
Sampel 2	16,461	22,29		
Rata-rata	15,575	21,44		

Dari hasil pembacaan SSA awal didapatkan hasil rata-rata sebesar 15,575 mg/L untuk Cr dan 21,44 mg/L untuk Cd dengan baku mutu Permen LH No.5/2014. Kadar awal Cr dan Cd dalam limbah B3 cair berada di atas baku mutu. Kadar Cr yang tinggi dalam air limbah disebabkan oleh aktivitas pengujian yang menggunakan bahan baku berupa pencampuran dengan senyawa kromium. Contohnya adalah Praktikum Laboratorium Lingkungan, dimana dalam prakteknya pengujian *Chemical Oxygen Demand (COD)* menggunakan Cr₂O₇²⁻ sebagai oksidan. Senyawa organik dan anorganik, terutama organik dalam contoh uji dioksidasi oleh Cr₂O₇²⁻ dalam refluks tertutup membentuk Cr³⁺ (Modul Praktikum Labling, 2022). Kadar Cd yang tinggi di dalam limbah B3 cair

laboratorium disebabkan oleh pengujian yang dilakukan sebanyak 22 pengujian yang menggunakan parameter Cd di dalam laboratorium dari tahun 2020 hingga 2022 sehingga kadar Cd yang tinggi disebabkan oleh pengujian yang dilakukan (Data Sekunder, 2022).

Pengolahan Limbah B3 Cair

Metode pengolahan limbah B3 cair yang dilakukan pada pengujian ini adalah stabilisasi/solidifikasi dengan tujuan mengurangi kadar logam Cr dan Cd yang terkandung dalam air limbah serta mengurangi mobilisasi logam Cr dan Cd dalam lingkungan.

Stabilisasi

Stabilisasi dilakukan dengan penambahan bahan kimia yang disesuaikan dengan jenis logam berat yang akan digunakan.

Stabilisasi Logam Cr dan Cd

Stabilisasi logam Cr dilakukan dengan penambahan Ca(OH)_2 sebanyak 9 gram (Wahyuningtyas, 2001). Menurut Nusa Idaman (2010), stabilisasi logam Cd dilakukan dengan penambahan NaOH 25 gram setelah itu dilakukan pengadukan cepat dan dilakukan pengendapan. Karakteristik kekeruhan, TDS, pH, dan konsentrasi logam Cr Cd di uji Kembali setelah stabilisasi. Berikut merupakan tabel 5 hasil stabilisasi Cr dan Cd.

Tabel 5 Kadar Cr Setelah Stabilisasi

No.	Sampel	C (mg/L)	pH	BML Cr (mg/L)
1	Sampel 1 (6gr)	1,6971	7,5	0,5
2	Sampel 2 (9gr)	0,3502	8	
3	Sampel 3 (12gr)	6,0994	10	

Dari hasil pembacaan instrument tersebut dapat disimpulkan bahwa pemberian kadar Ca(OH)_2 dalam air limbah B3 yang optimum sebesar 9 gr/100 ml dikarenakan memiliki kadar Cr sisa dalam air yang paling kecil. Menurut Kenneth H. Lanoutte (1977), bahwa Cr(OH)_3 akan mengendap sempurna pada kondisi optimum pH 7,5 – 8,0. Hal tersebut didukung dengan Sampel 2 memiliki pH sebesar 8. Kemudian hasil Cd setelah stabilisasi dengan NaOH dapat dilihat pada tabel 6.

Tabel 6 Kadar Cd Setelah Stabilisasi

No	Sampel	C (mg/L)	BML Cd (mg/L)
1.	Penambahan 15 gr	6,03	0,05
2.	Penambahan 20 gr	2,67	
3.	Penambahan 25 gr	2,40	

Pengujian kadar logam berat Cd setelah stabilisasi melebihi BML yang telah ditetapkan yaitu 0,05 sesuai dengan Permen LH No.5/2014. Hasil pengujian menunjukkan penurunan kadar logam berat Cd dalam limbah B3 cair laboratorium dengan sebelum ditambahkan NaOH namun masih menunjukkan angka diatas baku mutu dikarenakan kadar Cd di stabil terlebih dahulu agar tidak terjadinya fluktuasi kadar Cd di dalam air

limbah, sehingga diperlukan pengolahan lanjutan berupa solidifikasi untuk mengikat kadar Cd menjadi padatan.

Penambahan $\text{Ca}(\text{OH})_2$ Pada Air Limbah

Untuk karakteristik kekeruhan sendiri memiliki nilai yang berbeda dari sebelumnya sesuai pada Tabel 7.

Tabel 7 Hasil Uji Kekeruhan Setelah Stabilisasi dengan $\text{Ca}(\text{OH})_2$

No.	Sampel	Kekeruhan (NTU)	BML (NTU)
1	Penambahan 6 gr	19,4	10
2	Penambahan 9 gr	31,39	
3	Penambahan 12 gr	22,09	

Hasil pengolahan dengan penambahan $\text{Ca}(\text{OH})_2$ mengalami penurunan tetapi belum memenuhi baku mutu air limbah yaitu sebesar 10 NTU. Selain itu juga dilakukan pengukuran nilai TDS setelah dilakukan stabilisasi dan didapatkan hasil sesuai dengan Tabel berikut.

Tabel 8 Hasil Uji TDS Setelah Stabilisasi dengan $\text{Ca}(\text{OH})_2$

No.	Sampel	TDS (g/L)	BML (g/L)
1	Penambahan 6 gr	10,56	2
2	Penambahan 9 gr	16,63	
3	Penambahan 12 gr	20,7	

TDS dari sampel penambahan $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 6 gr, 9 gr, dan 12 gr memiliki peningkatan seiring dengan meningkatnya penambahan $\text{Ca}(\text{OH})_2$ tetapi memiliki angka yang lebih kecil dibandingkan dengan pengukuran TDS sebelum dilakukan stabilisasi pada air limbah B3 yaitu rata-rata sebesar 36,87 g/L. nilai TDS yang tinggi mencerminkan jumlah kepekatan padatan dalam suatu sampel air cukup tinggi, begitu juga sebaliknya (Siswanto, 2003). Dari hasil yang didapatkan, walaupun terjadi penurunan nilai TDS dari sebelum distabilisasi tetapi nilai TDS air limbah B3 yang telah di stabilisasi masih berada di atas baku mutu. Selain itu juga diuji untuk nilai pH setelah dilakukan stabilisasi sesuai dengan hasil yang diperoleh pada Tabel berikut.

Tabel 9 Hasil Uji TDS Setelah Stabilisasi dengan $\text{Ca}(\text{OH})_2$

No.	Sampel	pH	BML
1	Penambahan 6 gr	7,5	6,00 - 9,00
2	Penambahan 9 gr	8	
3	Penambahan 12 gr	10	

Dari hasil pengukuran penambahan $\text{Ca}(\text{OH})_2$ yang efektif untuk menghilangkan kadar Cr dalam air Limbah B3 dapat dilakukan pada pH 7,5-8 sehingga pada pH yang optimum sesuai dengan hasil penurunan kadar Cr dalam air limbah berada pada sampel 2 dengan penambahan 9 gr $\text{Ca}(\text{OH})_2$.

Penambahan NaOH pada Air Limbah

Untuk karakteristik kekeruhan sendiri memiliki nilai yang berbeda dari sebelumnya sesuai pada tabel 10 berikut.

Tabel 10 Hasil Uji Kekeruhan Setelah Stabilisasi dengan NaOH

No	Sampel	Kekeruhan (NTU)	BML* Kekeruhan (NTU)
1.	Penambahan 15 gr	7,01	10
2.	Penambahan 20 gr	5,16	
3.	Penambahan 25 gr	1,65	

Kekeruhan terendah berada pada sampel yang memiliki kadar 25 gram yaitu sebesar 1,65 NTU dan kekeruhan tertinggi pada sampel 15 gram yaitu 7,01 NTU yang memenuhi BML yaitu sebesar 10 NTU sesuai dengan Permen LH No.51/1995. Terjadi penurunan angka kekeruhan mengikuti kadar sampel, semakin tinggi kadar NaOH di dalam air limbah B3 maka semakin rendah angka kekeruhan. Selain kekeruhan, diperlukan pengukuran TDS setelah stabilisasi yang ditunjukkan pada tabel 11 berikut.

Tabel 11 Hasil Uji TDS Setelah Stabilisasi dengan NaOH

No	Sampel	TDS (g/L)	BML* (gram/L)
1.	Penambahan 15 gr	3,8	2
2.	Penambahan 20 gr	2,8	
3.	Penambahan 25 gr	1,3	

TDS setelah stabilisasi menunjukkan angka penurunan yang sama, dimana semakin banyak kadar NaOH yang dilarutkan dalam air limbah B3 maka semakin menurun angka TDS. Sampel 25 gram menunjukkan angka TDS terendah yaitu sebesar 1,3 g/L dengan suhu 26,1^oC. Sampel 15 gram menunjukkan angka TDS tertinggi yaitu 3,8 gram/L dengan suhu 26,1^oC yang melebihi BML yaitu 2 sesuai dengan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup No. 5 Tahun 2014. Selanjutnya, terdapat parameter pH yang penting diuji dikarenakan pH yang optimal untuk NaOH bekerja di dalam air limbah B3 yaitu 11.

Tabel 12 Hasil Uji pH Setelah Stabilisasi dengan NaOH

No	Sampel	pH	BML
1.	Penambahan 15 gr	8	6,0-9,0
2.	Penambahan 20 gr	10	
3.	Penambahan 25 gr	11	

Pada tabel di atas menunjukkan angka pH yang menunjukkan diatas suhu optimum yaitu 11. Hal ini menunjukkan bahwa NaOH bekerja optimal untuk membuat limbah tetap stabil pada sampel 25 gram dengan pH 11. Angka tersebut melebihi BML sehingga diperlukan pengolahan lanjutan dengan solidifikasi.

Solidifikasi

Limbah Cr dan Cd yang telah dilakukan stabilisasi dan membentuk endapat memerlukan pengolahan lanjutan untuk mengurangi mobilisasi logam berat. Pembuatan *paving block* dilakukan dengan menggunakan variasi komposisi yang berbeda beda untuk mengetahui efektifitas penggunaan substitusi dari bahan baku. Terdapat tiga variasi sampel yang digunakan untuk pengujian solidifikasi seperti pada tabel 13 berikut.

Tabel 13 Komposisi Paving Block

No.	Kode Sampel	Komposisi	Perbandingan
1	PB Kontrol	Air Bersih, Semen, Pasir	1:1:7
2	PB Air sisa Stabil	Air limbah yang sudah di stabilkan, Semen, Pasir	1:1:7
3	PB Endapan	Air Bersih, Semen, Endapan Limbah, Pasir	1:1:1:6
*PB : <i>Paving Block</i>			

Paving block memiliki panjang 20 cm, lebar 10 cm, dan tinggi 6 cm dengan berat rata rata sebesar 3320 gr. Bentuk *paving block* yang digunakan adalah berbentuk segi empat yang digunakan untuk perkerasan *non* struktural seperti taman, trotoar jalan, jalan rumah serta untuk lingkungan berdaya beban rendah (Makhfudin, 2021).

Tabel 14 pH Setelah Solidifikasi

No	Sampel	pH	BML*
1.	<i>Paving Block</i> Kontrol	7	6,0-9,0
2.	<i>Paving Block</i> Padatan	6	
3.	<i>Paving Block</i> Air Sisa	6	

pH setelah solidifikasi logam berat Cd mengalami penurunan. Hal ini disebabkan oleh penambahan agregat dan semen Portland di dalam *paving block* sehingga pH menjadi normal.

Uji TCLP

Menurut Gailius (2010), uji TCLP bertujuan untuk mengetahui toksisitas pada uji proses stabilisasi/solidifikasi akibat proses *leaching*. Uji TCLP terdapat proses ekstraksi untuk melepaskan logam berat atau kontaminan dalam air limbah B3. Uji TCLP kadar logam berat Cd meliputi uji TCLP kontrol, uji TCLP air *paving block*, dan uji TCLP padatan, Hasil pengujian yang didapatkan pada tabel berikut.

Kromium (Cr)

Pengujian TCLP Cr menggunakan instrumen Rotary Agigator Test dan SSA, dengan hasil ditunjukkan pada tabel 15 dibawah ini.

Tabel 15 Hasil TCLP Logam Kromium Pada *Paving Blocks*

No.	Sampel	Hasil AAS (mg/L)	Kadar Logam (mg/Kg)	BML TCLP
1	<i>Paving Blocks</i> Kontrol	≤ 0,05	≤ 0,01	500 mg/Kg
2	<i>Paving Blocks</i> Air sisa stabil	≤ 0,05	≤ 0,01	
3	<i>Paving Blocks</i> Endapan	≤ 0,05	≤ 0,01	

Dari tabel diatas dapat diketahui bahwa pembacaan hasil TCLP dengan metode ekstraksi tipe I menggunakan instrumen SSA didapatkan hasil kurang dari limit pembacaan instrumen SSA, yaitu sebesar 0,05 mg/L. Hal tersebut mengartikan bahwa kadar logam Cr dalam *paving blocks* yang sudah di ekstraksi memiliki kadar yang aman karena di bawah baku mutu yaitu sebesar kurang dari 0,01 mg/Kg dengan nilai baku mutu menurut Permen LH No.5/2014 dan berada di bawah baku mutu TCLP Tipe A. selain itu juga dihitung efisiensi imobilisasi logam Cr dalam paving blocks dengan hasil sebagai berikut.

Tabel 16 Efisiensi Imobilisasi Cr

No.	Sampel	Kadar Cr (mg)		Efisiensi (%)
		Dalam Paving	Yang Keluar	
1	<i>Paving Blocks</i> Air non Stabil	15,575	0,01	99,94
2	<i>Paving Blocks</i> Kontrol	4,53	0,01	99,78
3	<i>Paving Blocks</i> Air sisa Stabil	0,3502	0,01	97,14
4	<i>Paving Blocks</i> Endapan	15,2248	0,01	99,93

Terjadinya pengikatan pada saat dilakukan perendaman sehingga memperkuat *paving blocks* dan kandungan Cr dalam paving blocks terjebak dalam ikatan dan sukar untuk keluar dari dalam paving blocks tersebut. Sehingga jika dilihat dari hasil pengujian TCLP tersebut mengindikasikan bahwa paving blocks dengan komposisi penambahan air limbah B3 dan endapan limbah B3 dinyatakan stabil atau *immobile* sehingga aman terhadap lingkungan. Hasil yang didapatkan tersebut sejalan dengan tujuan dari proses stabilisasi/solidifikasi yaitu mengonversi limbah beracun menjadi massa yang secara fisik inert serta memiliki daya leaching yang rendah (Royyan, 2017).

Kadmium (Cd)

Pengujian TCLP Cr menggunakan instrumen Rotary Agigator Test dan SSA, dengan hasil ditunjukkan pada tabel 17 dibawah ini.

Tabel 17 Hasil Uji TCLP Logam Kadmium Dalam Pada Paving Blocks

No	Sampel	Kadar Cd (mg/Kg)	BML TCLP A (mg/Kg)
1.	<i>Paving Block</i> Air	0,23	0,9
2.	<i>Paving Block</i> Padatan	0,17	
3.	<i>Paving Block</i> Kontrol	0,41	
4.	Pasir <i>Paving Block</i>	0,45	

Hasil pengujian TCLP menunjukkan bahwa semua sampel memenuhi BML TCLP A yaitu 0,9 mg/L dan TCLP B 0,15 mg/L. Kadar Cd pada *paving block* yang mengandung air Limbah sebesar 0,17 mg/Kg merupakan kadar terendah, sedangkan kadar Cd tertinggi terdapat pada *paving block* kontrol sebesar 0,41 mg/Kg namun masih memenuhi BML TCLP A. Air hasil dari stabilisasi yang digunakan untuk komposisi *paving block* sebanyak 1 liter dan menghasilkan 10 buah *paving block* mengandung kadar Cd sebesar 0,23 mg/Kg. Kontrol yang memiliki kadar Cd dapat disebabkan oleh kandungan semen Portland dan agregat yang mengandung bahan-bahan yang memicu tingginya kadar Cd. Cd terdapat bersama dengan logam lainnya seperti Zn, Cu, Pb, dalam jumlah tertentu (Festri Istarani, 2014). Menurut Pranjoto (2008), sampel semen portland mengandung 20% dan 30% Zn serta ikatan silikat dalam semen mengandung banyak Zn. Selain itu, menurut Darmono (2008), kandungan Cd terdapat dalam kerak bumi, dan di dalam tanah dapat meningkat oleh proses alamiah seperti bencana alam (peristiwa gunung Meletus) dan oleh ulah manusia yang menyebabkan pencemaran lingkungan seperti proses pemupukan yang berlebihan dalam tanah. Menurut Endang Tri (2012), unsur logam berat Cd terdeteksi walaupun dalam jumlah yang sedikit dari erupsi gunung Merapi dengan kadar <10 mg/Kg yang berbahaya dan dapat mengganggu kesehatan manusia.

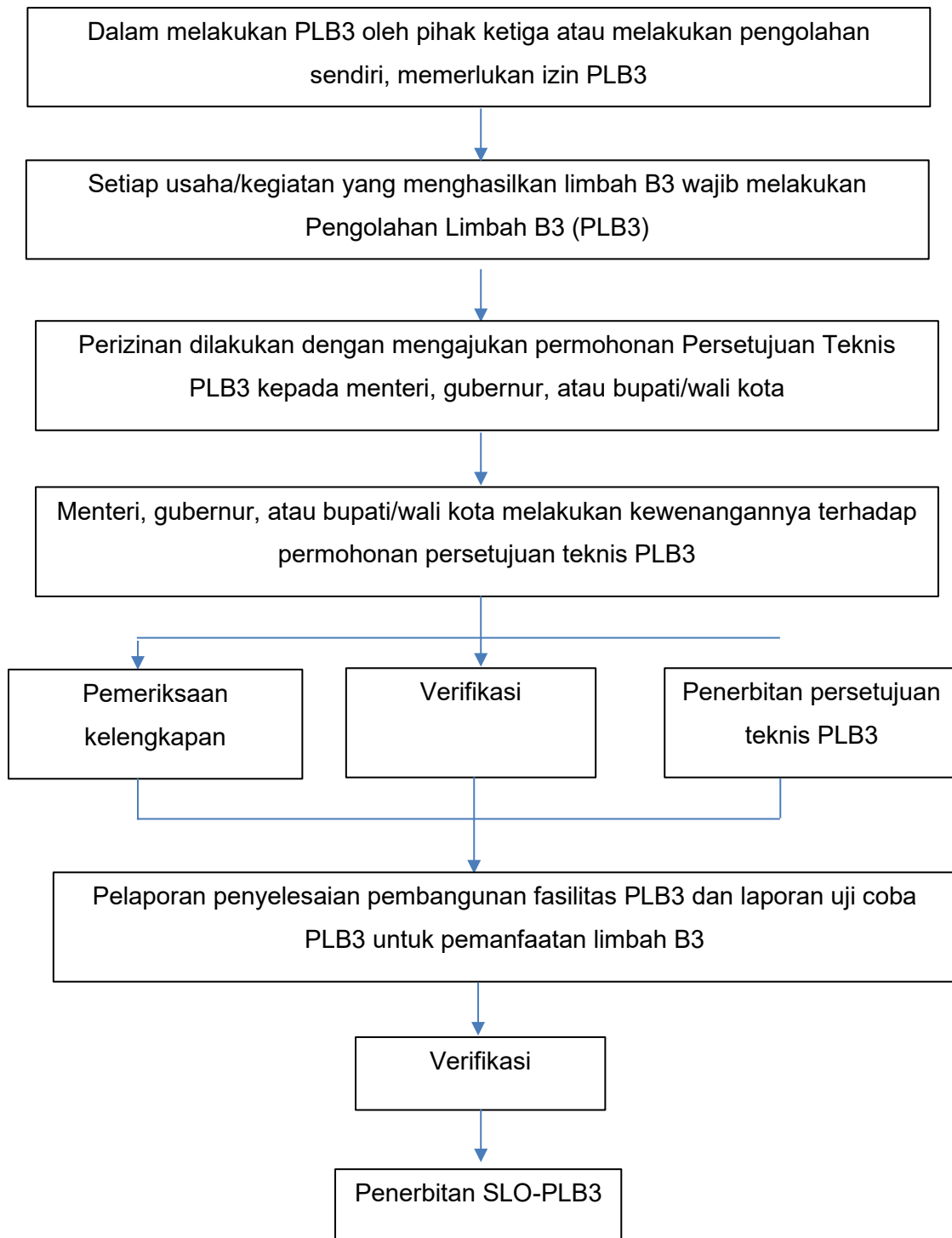
Tabel 18 Efisiensi Imobilisasi Cd

No	Sampel	Cd		
		Dalam <i>Paving Block</i> mg/Kg	Yang Keluar mg/Kg	Efisiensi %
1.	Kontrol	0	0	0
2.	Padat	2,67	0,17	93,63
3.	Air Limbah	2,40	0,23	90,41

Dari data efisiensi imobilisasi yang didapat menunjukkan hasil yang bervariasi, hal ini tergantung dari jumlah atau konsentrasi logam berat yang terlepas atau keluar. Semakin kecil jumlah logam berat yang terlepas maka semakin besar efisiensi imobilisasi yang didapat.

Strategi Pengolahan Limbah B3

Menurut PP No.22/2021 pengolahan limbah B3 dapat dilakukan secara termal, stabilisasi/solidifikasi, dan teknologi lain yang mendukung. Pengolahan limbah B3 (PLB3) dapat dilakukan oleh pihak ketiga atau laboratorium yang telah memiliki izin dalam pengolahan limbah B3. Setelah mendapatkan perizinan PLB3, laboratorium Kualitas Lingkungan TL FTSP UII dapat melakukan PLB3 di tempat dan bangunan yang memiliki kriteria penyimpanan limbah B3 sesuai dengan PP No.22/2021 pasal 285-295. Perizinan pengolahan limbah B3 dapat dilihat pada gambar 1 berikut.



Gambar 1 Diagram Perizinan Pengolahan Limbah B3

KESIMPULAN

Karakteristik limbah B3 cair di laboratorium Kualitas Lingkungan meliputi kekeruhan dengan rata-rata 197 NTU melebihi BML Permen LH No. 51/1995. Parameter TDS dengan rata-rata 36,86 gram/L. Parameter pH sebesar 1. Serta konsentrasi Cr 15,75 mg/L dan Cd 21,44 mg/L. Melebihi BML Permen LH No.5/ 2014. Pengolahan limbah B3 cair laboratorium menggunakan metode stabilisasi/solidifikasi, memperoleh hasil yang optimum dengan penambahan 9 gram $\text{Ca}(\text{OH})_2$ untuk logam Cr, 25 gram NaOH untuk logam Cd. Hasil menunjukkan adanya penurunan kadar kekeruhan menjadi 1,65 NTU memenuhi BML Permen LH No.5/1995. Hasil kadar logam berat Cr untuk *paving block* kontrol, air sisa stabil, dan endapan sebesar <0,9 mg/Kg dan hasil; logam berat Cd untuk air *paving block*, padatan, dan kontrol sebesar 0,17 mg/Kg ; 0,23 mg/Kg ; 0,41 mg/Kg dan memenuhi BML TCLP A PP No.22/2021. Limbah B3 cair laboratorium logam berat Cd menghasilkan 30 buah sampel. Dari hasil pengolahan menggunakan stabilisasi/solidifikasi pada air limbah Laboratorium Kualitas Lingkungan TL FTSP UII dapat menghilangkan kadar logam Cr dan Cd yang larut dalam air dengan diubah menjadi paving block sehingga aman untuk dibuang ke Tempat Pembuangan Akhir.

DAFTAR PUSTAKA

- Ghayda, Yaseen. 2019. Evaluation The Solidification/stabilization of Heavy Metals by Portland Cement. *Journal of Ecological Engineering*, Vol. 20, pages 91-100.
- Irwan, Afdal. 2016. Analisis Hubungan Konduktivitas Listrik dengan TDS dan Suhu Pada Beberapa Jenis Air. *Jurnal Fisika Unand*, Vol. 5, No. 1, Hal 85.
- Irwan, Afdal. 2016. Analisis Hubungan Konduktivitas Listrik dengan TDS dan Suhu Pada Beberapa Jenis Air. *Jurnal Fisika Unand*, Vol. 5, No. 1, Hal 85.
- Nusa, Idaman. 2010. Metode Penghilangan Logam Berat (As, Cd, Cr, Ag, Cu, Pb, Ni, dan Zn) di dalam Air Limbah Industri. *Jurnal Air Indonesia*, Vol. 6, No. 2, Hal 136-148.
- Royyan, Arnozi. 2017. Kajian Teknologi dan Mekanisme Stabilisasi/Solidifikasi untuk Pengolahan Limbah B3. *Jurnal Teknik ITS*, Vol.6, No.2, Hal 456-461.
- Rahayu.I., 2007. Cara Menanggapi Air Kotor menjadi Air Bersih. Erlangga.Jakarta.
- Susanto, T. (2011) Kajian kemampuan adsorpsi zeolit alam aktif terimobilisasi ditizon terhadap limbah ion logam Cd (II) terkompetsi Mg (II) dan Cu (II) secara simultan, *Jurnal Balai Riset dan Standarisasi Industri*, Palembang.
- Trihadiningrum, Y. 2016. Pengelolaan Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun. Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Wahyuningtyas, Nursetyati, 2001, Pengolahan Limbah Cair Khromium Dari Proses Penyamakan Kulit Menggunakan Senyawa Alkali Natrium Karbonat (Na_2CO_3), STTL, Yogyakarta.



PENGARUH PENAMBAHAN SERAT *FIBERGLASS* DAN *SUPERPLASTICIZER* TERHADAP KUAT TEKAN, MODULUS ELASTISITAS DAN KUAT TARIK BETON

Irfan Fadhlurrohman¹, Jafar²

¹ Mahasiswa Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta

Irfan.fdhrrhmn@gmail.com

² Staff Pengajar Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta

jafar@uii.ac.id

ABSTRAK

Beton memiliki beberapa kelebihan yang berupa kuat tekan tinggi, harga relatif murah, dan mudah dalam pengerjaan. Diantara beberapa kelebihan, beton memiliki kekurangan yaitu kuat tarik yang rendah. Inovasi yang dilakukan untuk mengatasi permasalahan kekurangan yaitu dengan penambahan serat. Serat fiberglass merupakan inovasi yang dilakukan sebagai bahan penambahan substitusi agregat. Kadar serat fiberglass yang digunakan yaitu 0%, 0,3%; 0,6%; 0,9%; 1,2%; dan 1,5% dari berat agregat. Selain penambahan serat, terdapat admixture yang memiliki fungsi dapat meningkatkan mutu beton dan mengurangi penggunaan air yaitu superplasticizer. Oleh karena itu, penambahan superplasticizer digunakan dengan kadar 0,6% dari berat semen. Tujuan dari penelitian ini untuk mengetahui kuat tekan, modulus elastisitas, dan kuat tarik belah optimum kadar fiberglass dan pengaruh nya. Penelitian ini menggunakan metode SNI 2834-2000 dengan mutu rencana 25 MPa untuk umur beton 28 hari. Pengujian yang dilakukan yaitu kuat tekan, modulus elastisitas, dan kuat tarik belah beton. Pada pengujian ini didapatkan nilai kuat tekan optimum sebesar 24,91 MPa, modulus elastisitas sebesar 32540,484 MPa, dan kuat tarik belah sebesar 2,75 MPa. Penambahan serat fiberglass dapat meningkatkan kuat tarik belah beton dan modulus elastisitas, tetapi pada kuat tekan beton mengalami peningkatan namun tidak mencapai kuat rencana awal.

Kata kunci: *Fiberglass, Superplasticizer, Karakteristik beton*

PENDAHULUAN

Beton adalah bahan konstruksi yang umum digunakan karena memiliki beberapa kelebihan seperti kuat tekan tinggi, harga relatif murah, mudah dalam pengerjaan dan perawatan, tahan terhadap cuaca, dan mudah dibentuk. Diantara beberapa kelebihan tersebut, beton memiliki kelemahan yaitu pada kuat tarik yang rendah. Untuk mengatasi permasalahan tersebut, ada berbagai inovasi yang dilakukan salah satunya yaitu dalam pencampuran beton.

Pencampuran beton yang dilakukan yaitu penambahan serat dalam adukan campuran beton yang dapat meningkatkan kuat tarik beton. Serat yang digunakan dalam pengujian ini adalah *fiberglass*. Penambahan serat pada beton mengurangi jumlah retakan pada beton. Beton dengan tambahan *fiberglass* memiliki lebih sedikit retak daripada beton tanpa campuran *fiberglass* (Satria, 2015). *Fiberglass* dalam penelitian ini menggunakan jenis *Chopped Strand Mat*. Untuk *fiberglass* yang digunakan dapat dilihat pada gambar 1 berikut.



Gambar 1. Fiberglass jenis Chopped Strand Mat

Selain penambahan serat *fiberglass* pada campuran beton, terdapat faktor lain untuk mendapatkan mutu beton yang maksimal dan *workability*. Penambahan bahan *admixture* dapat dilakukan untuk menghasilkan beton yang memiliki mutu secara maksimal. Bahan *admixture* tersebut yaitu *superplasticizer* yang memiliki fungsi memperkecil faktor air semen sehingga kualitas beton menjadi tinggi. Namun apabila terlalu rendah dapat menyebabkan penurunan *workability* yang dapat menimbulkan adanya pori-pori dalam beton. Dengan penggunaan *superplasticizer* yang memiliki sifat mengurangi penggunaan air dapat mengatasi hal tersebut (Tilik, 2011).

Dalam beberapa tahun terakhir, penelitian mengenai penambahan serat *fiberglass* dalam campuran beton dengan bahan tambah lainnya telah dilakukan. Seperti pada penelitian Devina (2017) penambahan serat *fiberglass* pada penggunaan beton EPS sebagai bahan pengganti pasir. Hasil penelitian menunjukkan nilai kuat tekan beton dengan penambahan *fiberglass* 0,5% - 2,5% mengalami *trend* penurunan dengan maksimum kuat tekan sebesar 25,08 MPa dan minimum 10,13 MPa. Sianipar (2021) melakukan penelitian penambahan serat *fiberglass* dan *fly ash* pada beton SCC dengan mutu rencana beton 45 MPa. Hasil penelitian menunjukkan penurunan kuat tekan beton dengan hasil maksimum sebesar 47,33 MPa dan kuat tekan beton minimum sebesar 29,79 MPa.

Sementara itu, Tilik (2011) melakukan penelitian mengenai pengaruh penambahan abu terbang dan *superplasticizer* dengan mutu beton rencana 30 MPa. Hasil penelitian menunjukkan penambahan *superplasticizer* dapat menghasilkan kuat tekan beton sebesar 40,08 MPa dengan kadar 0,6% dari berat semen.

METODE PENELITIAN

Dalam metode penelitian perlu adanya persiapan yang dilakukan seperti penyiapan alat, bahan, dan material yang selanjutnya dapat dilakukan pengujian material penyusun dalam campuran beton. Dalam penyiapan bahan dan alat harus sesuai dengan kriteria dan fungsi yang akan digunakan. Apabila bahan material sudah sesuai persyaratan SNI, maka dilakukan perencanaan campuran beton (*mix design*) menggunakan SNI 2834-2000 dengan 6 variasi sebanyak 42 buah benda uji silinder. Untuk rincian benda uji penelitian ini dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 1. Rincian Sampel Pengujian Beton

Jenis Pengujian	Kode Sampel	Persentase penggunaan <i>Superplasticizer</i> (%)	Persentase penggunaan <i>fiberglass</i> (%)	Jumlah Sampel	Total Sampel
Kuat Tekan Beton & Modulus Elastisitas	BF1	0,6	0	4	24
	BF2	0,6	0,3	4	
	BF3	0,6	0,6	4	
	BF4	0,6	0,9	4	
	BF5	0,6	1,2	4	
	BF6	0,6	1,5	4	
Kuat Tarik Belah	BF1	0,6	0	3	18
	BF2	0,6	0,3	3	
	BF3	0,6	0,6	3	
	BF4	0,6	0,9	3	
	BF5	0,6	1,2	3	
	BF6	0,6	1,5	3	
Total Sampel					42

Setelah perhitungan *mix design*, langkah selanjutnya proses pembuatan benda uji. Dalam pembuatan benda uji, dilakukan pengujian *slump* yang mengacu SNI 1972-2008. Apabila hasil pengujian *slump* sudah sesuai dengan rencana dapat dilakukan proses pencetakan ke dalam bekisting yang berbentuk silinder dengan ukuran diameter 150 mm dan tinggi 300 mm. Setelah benda uji melalui proses pengerasan dalam sehari, benda uji dilepas dari bekisting yang selanjutnya dilakukan proses perawatan beton dengan cara perendaman dalam air (*curing*) selama 28 hari. Apabila umur beton sudah 28 hari, pengujian dapat dilakukan yaitu pengujian kuat tekan beton mengacu SNI 1974-1990, modulus elastisitas beton dengan menggunakan SNI 03-4146-1996, dan kuat tarik belah beton mengacu SNI 2491-2014. Setelah pengujian telah dilakukan, dapat dilakukan analisis dan pembahasan yang dapat menghasilkan kesimpulan serta saran dalam penelitian ini.

ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Hasil Pengujian Agregat

Pengujian agregat memiliki tujuan agar dapat mengetahui karakteristik dari agregat. Dari pengujian agregat yang dilakukan, agregat halus dan kasar sudah sesuai dengan persyaratan. Agregat yang sudah sesuai dengan persyaratan dapat dimasukkan kedalam perencanaan campuran beton.

1. Hasil pengujian agregat halus

Pengujian yang dilakukan antara lain, pengujian berat jenis dan penyerapan air, analisis saringan, berat volume padat dan gembur, dan uji lolos saringan no.200. Untuk hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 2 berikut.

Tabel 2. Hasil Pengujian Agregat Halus

Jenis Pengujian	Hasil	Keterangan
Berat jenis curah	2,661	
Berat Jenis Jenuh Kering Muka (SSD)	2,688	

Berat Jenis Semu	2,735	
Penyerapan Air	1,01	%
Modulus Halus Butir	2,338	
Gradasi	Daerah II	Pasir Agar Kasar
Berat Volume Padat	1,601	gram/cm ³
Berat Volume Gembur	1,334	gram/cm ³
Lolos ayakan no.200	1,60	%

2. Hasil pengujian agregat kasar

Pengujian yang dilakukan antara lain, pengujian berat jenis dan penyerapan air, analisis saringan, berat volume padat dan gembur. Untuk hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 4 berikut.

Tabel 3. Hasil Pengujian Agregat Kasar

Jenis Pengujian	Hasil	Keterangan
Berat jenis curah	2,638	
Berat Jenis Jenuh Kering Muka (SSD)	2,682	
Berat Jenis Semu	2,759	
Penyerapan Air	1,67	%
Modulus Halus Butir	7,691	
Gradasi	20 mm	Maksimum 20 mm
Berat Volume Padat	1,604	gram/cm ³
Berat Volume Gembur	1,427	gram/cm ³

3. Hasil perencanaan campuran beton

Penelitian ini dalam perencanaan campuran beton mengacu SNI 2834-2000. Mutu beton rencana yang digunakan yaitu 25 MPa. Proporsi kebutuhan bahan yang digunakan pada setiap variasi dapat dilihat pada Tabel 4 berikut.

Tabel 4. Proporsi Kebutuhan Material

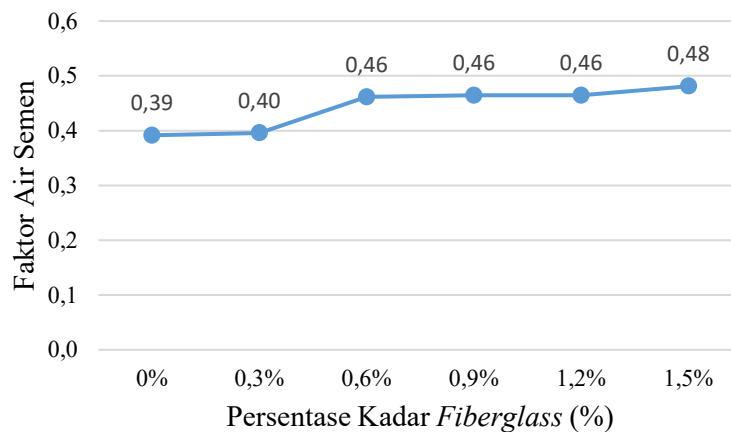
Variasi	Fiber glass	SP	Jumlah Sampel	Kebutuhan Material					
				Semen (kg)	SP (kg)	Air (kg)	Agregat Halus (kg)	Agregat Kasar (kg)	Fiber glass (kg)
BN	0%	0%	7	18,258	0,000	9,129	33,215	44,938	0,000
BF1	0%	0,6%	7	18,258	0,110	9,129	33,215	44,938	0,000
BF2	0,3%	0,6%	7	18,258	0,110	9,129	33,215	44,938	0,234
BF3	0,6%	0,6%	7	18,258	0,110	9,129	33,215	44,938	0,469
BF4	0,9%	0,6%	7	18,258	0,110	9,129	33,215	44,938	0,703
BF5	1,2%	0,6%	7	18,258	0,110	9,129	33,215	44,938	0,938
BF6	1,5%	0,6%	7	18,258	0,110	9,129	33,215	44,938	1,172
Total			49	127,807	0,657	63,904	232,508	314,569	3,517

Hasil pengujian slump

Berdasarkan hasil pengujian *slump* setiap variasi, dihasilkan nilai *slump* masuk kedalam rencana yaitu 10 ± 2 cm. Dalam menjaga nilai *slump* sesuai dengan rencana, adanya sisa penggunaan air dalam setiap variasi karena dari sifat bahan tambah *superplasticizer*. Namun seiring dengan penambahan kadar *fiberglass*, fas yang digunakan meningkat dikarenakan sifat dari *fiberglass* memiliki daya serap air. Hasil pengujian *slump* dapat dilihat pada Tabel 6 dan hubungan fas terhadap kadar *fiberglass* dilihat pada Gambar 1 berikut.

Tabel 5 Hasil Pengujian *Slump*

Sampel Beton	Kadar <i>Fiberglass</i>	Kadar <i>Superplasticizer</i>	Nilai <i>Slump</i> (cm)
BN	0%	0%	12
BF1	0%	0,6%	12
BF2	0,3%	0,6%	8
BF3	0,6%	0,6%	11
BF4	0,9%	0,6%	11
BF5	1,2%	0,6%	10,5
BF6	1,5%	0,6%	10



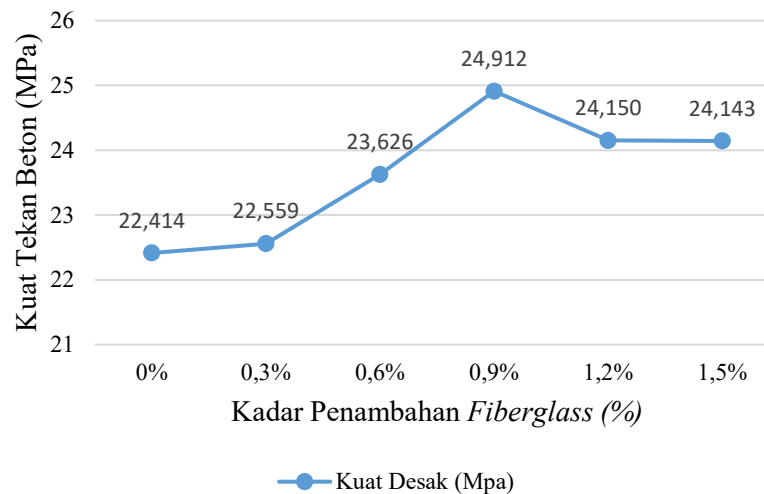
Gambar 1 Hubungan Fas yang digunakan Terhadap Kadar *Fiberglass*

Hasil pengujian kuat tekan beton

Pengujian kuat tekan dilakukan pada umur beton 28 hari. Benda uji yang digunakan sebanyak 7 buah. Sebelum pengujian kuat tekan, benda uji dilakukan proses *capping* pada permukaan atas silinder agar menjadi rata pada saat pengujian. Hasil pengujian kuat tekan dapat dilihat pada Tabel 6 dan Gambar 2 berikut.

Tabel 6 Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton Umur 28 Hari

Variasi	Variasi Penambahan		Kuat Tekan Rerata (Mpa)
	<i>Fiberglas</i>	<i>Superplastisizer</i>	
BN	0%	0%	25,522
BF1	0%	0,6%	22,414
BF2	0,3%	0,6%	22,559
BF3	0,6%	0,6%	23,626
BF4	0,9%	0,6%	24,912
BF5	1,2%	0,6%	24,150
BF6	1,5%	0,6%	24,143



Gambar 2 Pengujian Kuat Tekan Beton

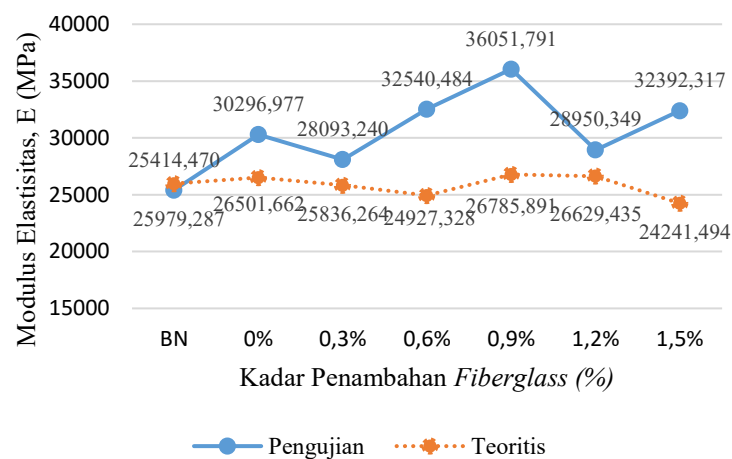
Berdasarkan penelitian yang dilakukan, diperoleh nilai kuat tekan beton normal sebesar 25,52 MPa. Untuk kuat tekan variasi kadar *fiberglass* optimum pada BF4 sebesar 24,91 MPa dan kuat tekan minimum pada BF1 sebesar 22,41 MPa. Penambahan *fiberglass* dan *superplastisizer* dapat meningkatkan kuat tekan beton, namun hasil penelitian tidak mencapai kuat tekan rencana. Menurut (Jemima, 2017) penambahan *fiberglass* lebih dari 1% mengalami kesulitan dalam proses pengadukan dan tidak homogen.

Hasil pengujian modulus elastisitas

Pengujian modulus elastisitas dilakukan untuk mengetahui regangan yang terjadi pada beton. Pengujian ini berupa pembebanan setiap 10 kN menggunakan *compression machine* yang dilakukan pembacaan *handled data logger* sampai pembebanan mengalami penurunan. Hasil pengujian ini yaitu data tegangan dan regangan aksial. Untuk hasil pengujian modulus elastisitas dapat dilihat pada Tabel 7 dan Gambar 3 berikut.

Tabel 7 Hasil Pengujian Modulus Elastisitas

Variasi	Umur Uji	No. Sampel	Modulus Elastisitas (MPa)		Modulus elastisitas Rerata (MPa)	
			Pengujian	Teoritis	Pengujian	Teoritis
BN	28	1	25471,134	25539,107	25414,470	25979,287
		2	25471,134	25953,390		
		3	25301,142	26445,363		
BF1	28	1	32974,101	28502,257	30296,977	26501,662
		2	26443,282	26115,811		
		3	31473,548	24886,917		
BF2	28	1	24074,967	23084,836	28093,240	25836,264
		2	31933,984	27209,519		
		3	28270,771	27214,438		
BF3	28	1	31364,091	22036,182	32540,484	24927,328
		2	29799,510	27376,227		
		3	36457,852	25369,576		
BF4	28	1	34547,633	28509,338	36051,791	26785,891
		2	38114,105	24526,341		
		3	35493,633	27321,994		
BF5	28	1	33580,300	24334,697	28950,349	26629,435
		2	20455,496	29222,973		
		3	32815,249	26330,636		
BF6	28	1	37791,236	25488,035	32392,317	24241,494
		2	31312,402	24096,828		
		3	28073,312	23139,618		



Gambar 3. Pengujian Modulus Elastisitas

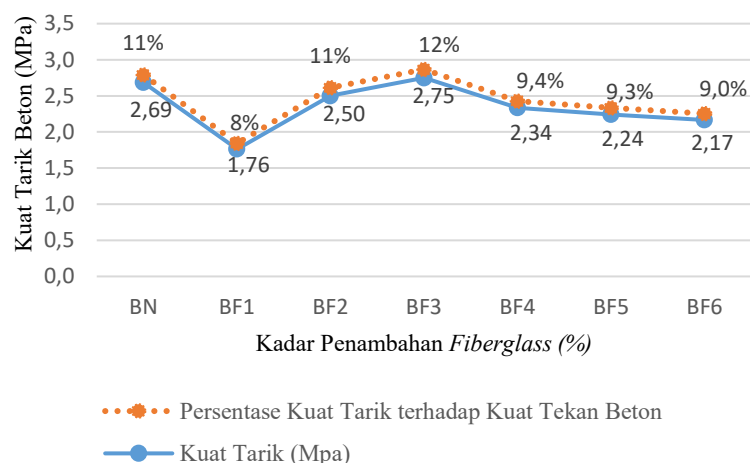
Hasil penelitian menunjukkan perbedaan pada pengujian dan teoritis. Untuk nilai modulus pengujian (ASTM C469-94) menggunakan data langsung dari hasil masing-masing variasi benda uji. Sedangkan untuk nilai modulus teoritis (SNI 2847-2019) menggunakan pendekatan berdasarkan nilai kuat tekan dan berat volume beton. Nilai modulus elastisitas yang tinggi menunjukkan beton dapat melakukan deformasi dan beton tersebut daktail. Sebaliknya, apabila nilai modulus elastisitas rendah maka beton tersebut getas.

Hasil pengujian kuat tarik belah beton

Pengujian kuat tarik belah penelitian ini menggunakan benda uji berjumlah 18 buah dengan umur beton 28 hari. Hasil pengujian kuat tarik belah dengan diambil rata-rata pada semua sampel setiap variasinya dapat dilihat pada Tabel 8 dan Gambar 4 berikut.

Tabel 3. Hasil Pengujian Kuat Tarik Beton

Variasi	Variasi Penambahan		Kuat Tarik Rerata (Mpa)	Persentase Kuat Tarik terhadap Beton Normal
	Fiberglass	SP		
BN	0%	0%	2,69	11%
BF1	0%	0,6%	1,76	8%
BF2	0,3%	0,6%	2,50	11%
BF3	0,6%	0,6%	2,75	12%
BF4	0,9%	0,6%	2,34	9,4%
BF5	1,2%	0,6%	2,24	9,3%
BF6	1,5%	0,6%	2,17	9,0%



Gambar 4. Pengujian Kuat Tarik Belah

Berdasarkan hasil pengujian kuat tarik belah beton diperoleh hasil maksimum pada BF3 sebesar 2,75 MPa dan minimum pada BF1 sebesar 1,76 MPa. Dengan nilai maksimum tersebut, penambahan *fiberglass* dapat meningkatkan kuat tarik belah beton. Penurunan kuat tarik belah dikarenakan *fiberglass* sebagai bahan tambah yang mengikat antar agregat, sehingga semakin banyak kadar *fiberglass* menyebabkan kesulitan dalam

adukan campuran beton yang dapat menimbulkan pori-pori pada beton saat proses pencetakan. Penggunaan *superplasticizer* pada pengujian kuat tarik belah beton secara tidak maksimal juga menjadi penyebabnya. Dan apabila kadar *fiberglass* terlalu sedikit tidak dapat mengikat antar agregat.

Beton memiliki nilai kuat desak dan kuat tarik yang tidak berbanding lurus, maka kuat tarik beton memiliki nilai 9-15% dari kuat desak beton (Dipohusodo, 1999). Berdasarkan pernyataan tersebut, hasil pengujian kuat tarik belah beton dengan penambahan *fiberglass* dan *superplasticizer* sudah berada dalam *range* tersebut, namun pada kadar 0% tidak termasuk dikarenakan *fiberglass* tidak terdapat dalam campuran beton.

Kesimpulan dan saran

Kesimpulan

Kesimpulan yang diambil dari penelitian yang telah dilakukan berdasarkan hasil pengujian adalah sebagai berikut.

1. Hasil pengujian kuat tekan dan kuat tarik belah didapatkan memiliki nilai optimum masing-masing.
2. Pengujian kuat tekan beton normal dengan nilai sebesar 25,52 MPa sebagai beton acuan dalam penelitian ini. Untuk nilai kuat tekan beton optimum dengan penambahan *fiberglass* dan *superplasticizer* pada variasi BF4 sebesar 24,91 MPa dan nilai minimum pada variasi BF1 sebesar 22,414 MPa.
3. Pengujian modulus elastisitas menggunakan dua metode perhitungan yaitu mengacu SNI 2847-2019 dan ASTM C-469-94. Untuk hasil pengujian didapatkan nilai optimum pada variasi BF4 dengan data langsung (ASTM C-469-94) sebesar 36051,791 MPa dan untuk hasil perhitungan teoritis (SNI 2847-2019) sebesar 26785,891 MPa.
4. Pengujian kuat tarik belah pada beton normal sebagai acuan didapatkan nilai sebesar 2,69 MPa. Adapun untuk nilai optimum pada variasi BF3 sebesar 2,75 MPa dan nilai minimum pada variasi BF1 sebesar 1,76 MPa.

Saran

Terdapat beberapa saran yang perlu dilakukan dan dipertimbangkan untuk penelitian selanjutnya yang diharapkan dapat bermanfaat.

1. Perlu dilakukan *trial* pembuatan benda uji dengan perencanaan campuran beton agar mendapatkan mutu beton yang sesuai.
2. Perlu dilakukan pengujian beton dengan umur 7 hari dan 14 hari.
3. Penggunaan *admixture* lainnya yang dapat meningkatkan mutu beton.

DAFTAR PUSTAKA

- Afif, A. (2019). Pengaruh Abu Batu Sebagai Substitusi Agregat Halus Dan Penambahan Superplasticizer Terhadap Karakteristik Beton Mutu Tinggi (Abu Batu Effect As Substitution Of Fine Aggregate And Addition Of Superplasticizer Characteristics On High Quality Concrete). Universitas Islam Indonesia.
- ASTM C494-82. (1982). ASTM C494-82 Standard Specification For Chemical Admixtures For Concrete. American Society for Testing and Material.
- Badan Standardisasi Nasional. (2000). SNI 03-2834-2000: Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal.

- Badan Standardisasi Nasional. (2004). SNI 15-2049-2004: Semen Portland.
- Badan Standardisasi Nasional. (2008). SNI 1972-2008 : Cara Uji Slump Beton.
- Badan Standardisasi Nasional. (2008). SNI 2826-2008 : Cara Uji Modulus Elastisitas Batu dengan Tekanan Sumbu Tunggal.
- Badan Standardisasi Nasional. (2011). SNI 1974-2011 : Cara Uji Kuat Tekan Beton dengan Benda Uji Silinder.
- Badan Standardisasi Nasional. (2011). SNI 2493-2011: Tata Cara Pembuatan dan Perawatan Benda Uji Beton di Laboratorium.
- Badan Standardisasi Nasional. (2013). SNI 2847-2013: Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung.
- Badan Standardisasi Nasional. (2014). SNI 03-2491-2014 : Metode uji kekuatan tarik belah spesimen beton silinder Standard Test Method for Splitting Tensile Strength of.
- Dipohusodo, I. (1999). Struktur Beton Bertulang Berdasarkan SK SNI T-15-1991-03. Jakarta: PT. Gramedia Pustaka Utama.
- Dzikri, M., & Firmansyah Sofianto, M. (2018). Pengaruh Penambahan Superplasticizer Pada Beton Dengan Limbah Tembaga (Copper Slag) Terhadap Kuat Tekan Beton Sesuai Umurnya. *Rekayasa Teknik Sipil*.
- Peraturan Beton Indonesia (1971). Penjelasan & Pembahasan mengenai Peraturan Beton Indonesia 1971.
- Jemima. (2017). Pengaruh Nilai Kuat Tekan Beton EPS Dengan Penggunaan Fiberglass Dan Perawatan Curing Dan Non Curing.
- Kushartomo, W., & Ivan, R. (2017). Effect of Glass Fiber on Compressive, Flexural and Splitting Strength of Reactive Powder Concrete. *MATEC Web of Conferences*, 138, 1–6.
- Kusuma, G. H., Kole, P., & Segel, R. (1994). *Pedoman Pengerjaan Beton*. Jakarta: Erlangga.
- Mulyono, T. (2004). *Teknologi Beton*, Penerbit Andi, Yogyakarta. Mulyono.
- Murdock, L. J., & Brooks, K. M. (1991). *Bahan dan Praktek Beton*, terjemahan Hindarko, S. Jakarta: Penerbit Erlangga.
- Salain, I. M. A. K., & Widiarsa, I. B. R. (2006). Hubungan Antara Modulus Elastisitas Dengan Kuat Tekan Pada Beton Yang Dibuat Dengan Menggunakan Semen Portland-Pozzolan Maupun Semen Portland Tipe I. *Jurnal Ilmiah Teknik Sipil*.
- Satria. (2015). Pengaruh Penggunaan Fiberglass Pada Beton Ringan Terhadap Kuat Tekan Dan Kuat Lentur. Universitas Atma Jaya Yogyakarta.
- Sianipar, Y. K. P. (2021). Pengaruh Penambahan Serat Fiberglass Dan Substitusi Fly Ash Terhadap Pengujian Self Compacting Concrete.
- Sutrisno. (N.D.). Pengaruh Bahan Tambah Superplasticizer (Sikament-Ln) Terhadap Kuat Desak Beton F'c 35 Mpa.
- Tilik, L. F. (2011). Pengaruh Abu Terbang Dan Superplasticizer Terhadap Kuat Tekan Beton. *Xxxii(1)*, 1–6.
- Tjokrodimuljo, K. (1992). *Teknologi Beton*, Biro Penerbit, Yogyakarta.



TINJAUAN PENERAPAN CONTRACTOR SAFETY MANAGEMENT SYSTEM (CSMS) PADA PROYEK KONSTRUKSI GEDUNG (STUDI KASUS : PEMBANGUNAN GEDUNG UNIVERSITAS NAHDLATUL ULAMA YOGYAKARTA)

Vendie Abma¹ dan Isadilla Dyatma Tiaradini²

¹ Staf Pengajar Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan,
Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta

Email: vendie.abma@uii.ac.id

² Mahasiswa Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan,
Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta

Email: 18511057@students.uui.ac.id

ABSTRAK

Industri konstruksi terus mengalami perkembangan seiring dengan meningkatnya kebutuhan bangunan rumah, gedung, maupun infrastruktur. Industri konstruksi bersifat sangat dinamis sehingga sangat rentan terhadap berbagai risiko kesehatan dan keselamatan kerja (K3). K3 dalam industri konstruksi merupakan suatu permasalahan yang perlu diperhatikan guna terciptanya lingkungan kerja yang nyaman serta aman. Tahun 2021 Badan Penyelenggara Jaminan Sosial (BPJS) ketenagakerjaan mencatat jumlah kasus kecelakaan kerja yang terjadi di Indonesia sebanyak 234.270 kasus, diimana pada tahun sebelumnya 2020 terjadi sebanyak 221.740 kasus. Hal ini menunjukkan bahwa kasus kecelakaan kerja mengalami peningkatan sebanyak 5,65% dari tahun sebelumnya. Contractor Safety Management System (CSMS) merupakan salah satu sistem untuk mengelola keselamatan kerja kontraktor dalam meminimalkan risiko bahaya yang dapat merugikan pekerja, kontraktor, pemilik, dan masyarakat di sekitar proyek. Studi ini bertujuan untuk melihat penerapan CSMS dalam upaya pengelolaan untuk mengurangi berbagai risiko keselamatan kerja. CSMS dilaksanakan dalam 6 tahap meliputi tahap penilaian risiko, tahap prakualifikasi, tahap seleksi, tahap pekerjaan awal, tahap pelaksanaan proyek, dan tahap evaluasi. Analisis penerapan CSMS PT PP Urban pada proyek pembangunan Universitas Nahdlatul Ulama Yogyakarta dilakukan dengan menggunakan metode deskriptif kualitatif. Tahap 1 pada kasus ini digunakan penilaian risiko dengan JSA, pada tahap 2 dengan metode checklist dalam pemenuhan kualifikasi. Tahap 3, tahapan seleksi dilaksanakan sesuai dengan peraturan LKPP No.12 Tahun 2021 Point 4.2 sub poin 4.2.9 berisi tentang ketentuan umum penetapan calon pemenang yang telah ditetapkan dalam dokumen pemilihan dan pengumuman pemenang melalui SPSE. Secara tahap 3 dan 4 proses pelaksanaan dengan metode frekuensi index didapatkan hasil pada variabel komitmen manajemen sebesar 93,939%, variabel pembinaan sebesar 83,333%, variabel prosedur sebesar 87,50%, dan variabel peralatan sebesar 95,238%. Hal ini menunjukkan bahwa implementasi CSMS PT PP Urban pada proyek Universitas Nahdlatul Ulama Yogyakarta telah dilaksanakan dengan sangat baik meliputi enam tahapan yang terdapat dalam CSMS.

Kata kunci: Contractor Safety Management System, CSMS, kontraktor, safety, K3, SMK3, keselamatan kerja.

PENDAHULUAN

Kecelakaan kerja merupakan suatu kejadian yang dapat merugikan lingkungan disekitarnya baik secara materi ataupun korban jiwa. Menurut Badan Penyelenggara Jaminan Sosial (BPJS) ketenagakerjaan, ditahun 2021 kasus terjadinya kecelakaan kerja di Indonesia sebanyak 234.270 kasus, sementara di tahun 2020 kasus terjadinya kecelakaan di Indonesia sebanyak 221.740 kasus. dari data tersebut dapat diketahui kasus kecelakaan kerja ditahun 2021 meningkat sebesar 5,65% dari tahun sebelumnya.

Dengan meningkatnya kecelakaan kerja yang terjadi dapat ditunjukkan bahwa permasalahan Kecelakaan dan Kesehatan Kerja perlu adanya tindak lanjut yang lebih serius. Sesuai Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 50 Tahun 2012 tentang penerapan Sistem Manajemen Keselamatan dan Kesehatan Kerja Bab II pasal 5 ayat 1 dan ayat 2 dimana berdasarkan peraturan yang berlaku penerapan SMK3 sudah menjadi persyaratan utama dalam pelaksanaan suatu pekerjaan yang terdapat dalam suatu proyek guna mencegah risiko terjadinya kecelakaan kerja. Salah satu program untuk mengelola keselamatan kerja kontraktor serta para pekerja yaitu *Contractor Safety Management System* atau yang disingkat dengan CSMS. Sebagaimana yang telah dijelaskan dalam peraturan BP Migas Nomor Kpts-13/BP00000/2006-S8 tentang Pengelolaan Keselamatan, Kesehatan Kerja dan Lindung Lingkungan, CSMS adalah dokumen standart yang dibutuhkan oleh kontraktor atau Sub-kontraktor sebagai sistem manajemen K3 untuk mengelola baik para pekerja, *owner*, maupun tamu agar mematuhi sistem K3 yang ada pada proyek. Performa atau kinerja terhadap keselamatan merupakan hasil akhir dari efektifitas penerapan CSMS pada pelaksanaan konstruksi (Levovnik, dkk., 2020). Dalam banyak kasus kecelakaan kerja pada proyek konstruksi di Indonesia, lebih sering ditentukan bahwa pemangku kepentingan yang bertanggung jawab adalah kontraktor (Indrayana, 2021).

Implementasi CSMS merupakan salah satu dalam upaya mengurangi hambatan dalam peningkatan keselamatan konstruksi. Seperti halnya hasil penelitian yang dilakukan di Nigeria didapatkan bahwa Undang-undang dan etika merupakan strategi utama dalam meningkatkan kinerja kesehatan dan keselamatan proyek konstruksi, selain itu juga perlu adanya pelatihan profesional yang berkelanjutan dalam kaitannya etika, serta kesehatan dan keselamatan konstruksi (Kukoyi and Adebawale, 2021). Selain itu, implementasi CSMS juga dapat mendukung penerapan lean construction (konstruksi ramping) dimana teknik konstruksi ramping dianggap sebagai pendekatan dan strategi yang efektif untuk mengurangi kecelakaan konstruksi. Hal ini merupakan pencerahan salah satu manfaat praktik lean yang menjadi strategi untuk mengatasi tantangan dalam meningkatkan keselamatan proyek konstruksi (Aisheh et al, 2021). Pada penelitian sebelumnya terkait dengan implementasi CSMS pernah dilakukan di PT Pupuk Kujang dimana masih belum berjalan dengan baik karena masih terdapat kekurangan pada tahap prakualifikasi (Wardhani, 2022), penelitian lain dilakukan di perusahaan reasuransi PT. MKAPR (Nugroho, 2019).

Studi ini dilaksanakan pada Proyek pembangunan gedung Universitas Nahdlatul Ulama Yogyakarta. Dalam proses pelaksanaan pembangunannya dipercayakan oleh kontraktor dari PT PP Urban. Dalam penerapan CSMS, PT PP Urban menjalankan enam tahapan yang terbagi menjadi dua tahap utama, yaitu tahap administrasi dan tahap pelaksanaan. Dalam tahap administrasi terdiri atas tahapan penilaian risiko, tahapan prakualifikasi, dan tahapan seleksi. Selanjutnya pada tahap pelaksanaan terdiri atas tahapan pekerjaan awal kegiatan, tahapan selama pekerjaan berlangsung (*on-going*), dan tahapan evaluasi. Penerapan CSMS pada prosesnya di tahap administrasi sudah

berjalan secara online. Pelaksanaan sistem online pada proses CSMS membuat proses administrasi yang lebih mudah dan tertib (Handayani, 2016)

Penerapan CSMS pada PT PP Urban selama empat tahun terakhir perlu adanya evaluasi serta perbaikan kembali dalam penerapannya di lapangan. Hal ini ditandai dengan tahun 2018 pada proyek pembangunan gedung BSSN Sentul terdapat kecelakaan tingkat ringan yang mengakibatkan satu pekerja terluka. Ditahun 2019 pada proyek gedung kantor Dana Pensiun Gapura Angkasa terdapat kecelakaan tingkat sedang yang mengakibatkan satu pekerja terluka. Ditahun 2020 pada proyek pembangunan gedung Koperasi Diklat Malang terdapat kecelakaan tingkat sedang yang menyebabkan satu pekerja terluka. Dan ditahun 2021 pada proyek pembangunan Pasar Besar Ngawi terdapat kecelakaan tingkat berat yang mengakibatkan dua orang terluka parah serta terdapat kecelakaan tingkat sedang yang mengakibatkan tujuh orang terluka.

Tujuan dari studi ini adalah mengetahui penerapan CSMS dalam proyek pembangunan gedung Universitas Nahdlatul Ulama Yogyakarta yang dimulai dari tahap administrasi hingga tahap pelaksanaan.

PERSAMAAN DAN RUJUKAN REFERENSI

Keselamatan dan Kesehatan Kerja (K3)

Peraturan pemerintah No.50 Tahun 2012 pasal 1 ayat 2 menyebutkan “Keselamatan dan Kesehatan Kerja yang selanjutnya disingkat K3 adalah segala kegiatan untuk menjamin dan melindungi keselamatan dan kesehatan tenaga kerja melalui upaya pencegahan kecelakaan kerja dan penyakit akibat kerja”. Dari peraturan tersebut dapat ditarik pengertian lain perlu dilaksanakannya suatu program yang dapat mengelola permasalahan Keselamatan dan Kesehatan Kerja, dalam dunia konstruksi khususnya dalam kontraktor hal tersebut dikelola menggunakan CSMS agar terciptanya suatu kondisi pekerjaan yang sehat, aman serta nyaman baik untuk pekerja, perusahaan, serta lingkungan dan masyarakat sekitar yang berada di area proyek tersebut.

Contractor Safety Management System (CSMS)

Menurut Gregory William Smith (2013) menjelaskan dalam sebuah perusahaan kontraktor, kepala kontraktor mempunyai rincian dalam memilih, melibatkan, dan mengelola CSMS. selain itu adapula kontrak yang terdokumentasi yang menjelaskan kewajiban untuk berbagai pihak serta kontraktor juga telah membagi rencana manajemen K3 yang menggambarkan seperti apa kontraktor dan sub kontraktor dalam mengelola risiko dalam proyek. Kepala kontraktor memiliki rencana manajemen K3 dengan menganalisis beberapa dokumen K3 serta mengidentifikasi beberapa elemen didalamnya untuk mengelola sistem manajemen K3. Adapun elemen yang mencakup hal tersebut yaitu.

- a. Menunjuk manajer kontrak;
- b. Mengeluarkan izin untuk bekerja;
- c. Inspeksi tempat kerja yang didokumentasi;
- d. Memeriksa peralatan sebelum datang ke lokasi;
- e. Menerima informasi Keselamatan dan Kesehatan Kerja secara berkala dari kontraktor
- f. Menutup ketidak sesuaian audit sebelum diizinkan untuk memulai pekerjaan.

Tolak ukur keberhasilan CSMS yaitu dengan berkurangnya angka kecelakaan kerja serta berkurangnya penyakit akibat kerja, berkurangnya kerugian baik secara materi ataupun korban jiwa yang timbul akibat kegiatan kerja sehingga terciptanya hubungan

kerjasama yang baik antara owner dengan kontraktor, serta meningkatkan profit perusahaan dan meningkatkan citra baik perusaan.

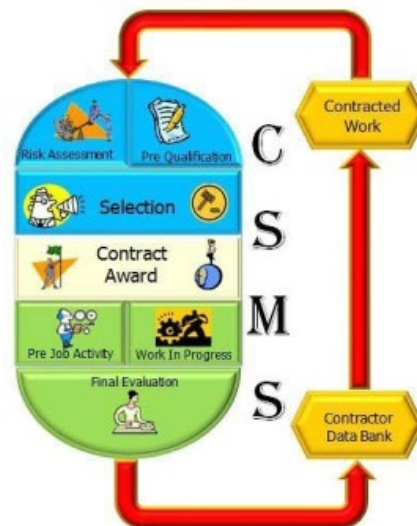
Tahapan dan Pembuatan Contractor Safety Management System (CSMS)

Menurut Gregory William Smith (2013) pendekatan formula dalam CSMS menunjukkan bahwa keselamatan pada kontraktor harus mudah, kebijakan konvensional menganjurkan pendekatan sistematis yang terdiri atas.

- Determining the contract requirement (Menentukan persyaratan kontrak)
- Assess the contractor (Menilai kontraktor)
- Awarding the contract (Pemberian kontrak)
- Managing the contract (Mengelola kontrak)

Pengelolaan ini bertujuan untuk memastikan kontraktor telah melakukan pekerjaan sesuai dengan kontrak yang telah disetujui sebelumnya.

Untuk mempermudah memahami tahapan dan prosedur Contractor Safety Management System (CSMS) yang diatur dalam pedoman ini, maka disusunlah siklus CSMS yang berlaku di PT Pertamina ini dengan penjabaran tahapan pembuatan CSMS yang terdiri dari 6 tahapan dengan pengelompokan atas 2 bagian utama yaitu Tahap Administrasi (*Administration Stage*) dan Tahap Pelaksanaan (*Implementation Stage*). Siklus tahapan seperti pada gambar 1 berikut:



Gambar 1. Siklus Tahapan CSMS

Sumber : PT. Pertamina, Pedoman Contractor Safety Manajemen System (2011)

Sistem Manajemen Keselamatan dan Kesehatan Kerja (SMK3)

Sistem Manajemen Keselamatan dan Kesehatan Kerja yang selanjutnya disingkat SMK3 adalah bagian dari sistem manajemen perusahaan secara keseluruhan dalam rangka pengendalian risiko yang berkaitan dengan kegiatan kerja guna terciptanya tempat kerja yang aman, efisien dan produktif (PP Nomor 50 Tahun 2012).

Apabila SMK3 diterapkan maka akan memberikan dampak yang baik, adapun manfaat dari penerapaaan SMK3 yaitu.

- a. Melindungi para pekerja dari ancaman kecelakaan kerja serta penyakit akibat kerja, sehingga para pekerja akan bekerja secara aman, nyaman, dan produktif.
- b. Mematuhi peraturan serta Undang-undang yang berlaku di Indonesia.
- c. Meningkatkan kepercayaan serta kepuasan kepada *owner*, penerapan SMK3 menjamin proses pekerjaan berlangsung secara aman, tertib dan bersih sehingga dapat meningkatkan kualitas serta keuntungan serta dapat mengurangi dan mencegah produk yang kurang bagus.
- d. Membuat sistem manajemen efektif

METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilaksanakan dengan menggunakan metode deskriptif kualitatif. Dimulai dengan pengumpulan data dengan wawancara serta kuisioner dengan data checklist oleh *Site Engineer Manager*, dan *HSE-Officer* PT PP Urban pada proyek pembangunan gedung Universitas Nahdlatul Ulama Yogyakarta. Selain itu juga dilakukan wawancara dengan pihak PPK Prasarana Strategis I untuk pengambilan data pada tahap seleksi.

Pada tahap pelaksanaan pekerjaan (*on-going*) akan ditinjau berdasarkan data prakualifikasi dan diolah menggunakan *Frequency Index* (FI), kemudian hasil dari *frequency index* dilakukan klasifikasi dengan menggunakan skala sebagai berikut.

0% < FI < 20% = sangat buruk

20% < FI < 40% = buruk

40% < FI < 60% = cukup

60% < FI < 80% = baik

80% < FI < 100% = sangat baik

Hasil klasifikasi digunakan untuk menentukan bagaimana penerapan dari CSMS pada proyek pembangunan gedung Universitas Nahdlatul Ulama tersebut.

ANALISIS PENELITIAN

Pada pelaksanaan ini dilaksanakan pada studi kasus proyek pembangunan gedung Universitas Nahdlatul Ulama Yogyakarta, dalam tahap analisis CSMS terdiri dari dua tahap yaitu tahap administrasi dan tahap pelaksanaan.

Tahap Administrasi

- a. Tahapan Penilaian Risiko

Pada tahap penilaian risiko PT PP Urban menggunakan metode JSA (*Job Safety Analysis*). JSA disiapkan oleh SEM dan SOM, di *review* oleh *HSE-Officer*, PM, dan MK, dan diawasi secara langsung oleh *supervisor*, dokumen JSA ditandatangani oleh seluruh pihak yang terlibat yaitu SEM, SOM, *HSE-Officer*, PM, MK, dan *supervisor*.

- b. Tahapan Prakualifikasi

Setelah penilaian risiko selesai dilaksanakan dilanjutkan dengan prakualifikasi pada tahap prakualifikasi digunakan tabel prakualifikasi umum *Contractor Safety Management System* (CSMS). Pada studi ini dilihat kelengkapan dokumen prakualifikasi melalui *check list* kelengkapan sesuai dengan tabel prakualifikasi umum CSMS. Tabel *checklist* prakualifikasi berdasarkan form *checklist* milik PT Pertamina.

Dari hasil *checklist* diperoleh hasil seluruh variabel yang terdapat dalam *checklist* telah dipenuhi oleh PT PP Urban dalam proyek pembangunan gedung Universitas Nahdlatul Ulama Yogyakarta.

c. Tahapan Seleksi

Setelahnya dilanjutkan dengan tahap seleksi, tahapan seleksi dilaksanakan sesuai dengan peraturan LKPP No.12 Tahun 2021 Point 4.2. pada tahap seleksi penetapan pemenang calon pemenang pengadaan barang dan jasa sesuai dengan peraturan LKPP No12 Tahun 2021 poin 4.2 sub poin 4.2.9 berisi tentang ketentuan umum penetapan calon pemenang berdasarkan pada metode evaluasi yang telah ditetapkan dalam dokumen pemilihan. Selanjutnya pengumuman pemenang diatur pada peraturan LKPP No.12 tahun 2021 poin 4.2 sub. Poin 4.2.12 dimana Pokja Pemilihan mengumumkan pemenang melalui SPSE.

Tahap Pelaksanaan

Pada tahap pelaksanaan terbagi menjadi tiga tahapan yaitu tahapan pekerjaan awal, pelaksanaan proyek (*On-going*) dan evaluasi

a. Tahapan Pekerjaan Awal

Pada tahap pelaksanaan dimulai dengan tahapan permulaan pekerjaan, dimana pada tahap permulaan atau pekerjaan awal meliputi persiapan-persiapan dalam upaya pengendalian risiko K3 yang kemudian pada pra pelaksanaan ini PT PP Urban dinyatakan memenuhi persyaratan untuk dapat memulai pekerjaan. Persiapan juga dilakukan dengan pemasangan rambu-rambu keselamatan kerja seperti pada gambar 2, serta penyuluhan kegiatan pekerjaan yang dilaksanakan. Dalam tahap ini dilaksanakan meeting awal dari PT PP Urban dan didalamnya disepakati HSE *plan* baru antara kontraktor (PT.PP Urban) dengan Pihak Pemberi Tugas (Tim MK).



Gambar 2. Rambu-rambu K3

Pada tahap persiapan ini juga perlu adanya peningkatan pemahaman serta tanggungjawab terhadap personel dalam melakukan HSE (Nugroho, 2019).

b. Tahapan Pelaksanaan Proyek (*On-Going*)

Pada tahap pelaksanaan tahapan pelaksanaan proyek (*On-going*) menggunakan metode *Frequency Index* dengan peninjauan kembali hasil prakualifikasi serta observasi dan verifikasi. Berikut adalah rumus penggunaan metode *Frequency Index*

$$Fi = \frac{\sum_{i=0}^4 a_i X_i}{3 \sum_{i=0}^4 X_i} \times 100\%$$

$$Fi = \frac{a_1 X_1 + a_2 X_2 + a_3 X_3 + a_4 X_4}{3(X_1 + X_2 + X_3)} \times 100\%$$

Keterangan :

a = Konstanta penilaian satu sampai dengan tiga

x_i = Penilaian dari responden

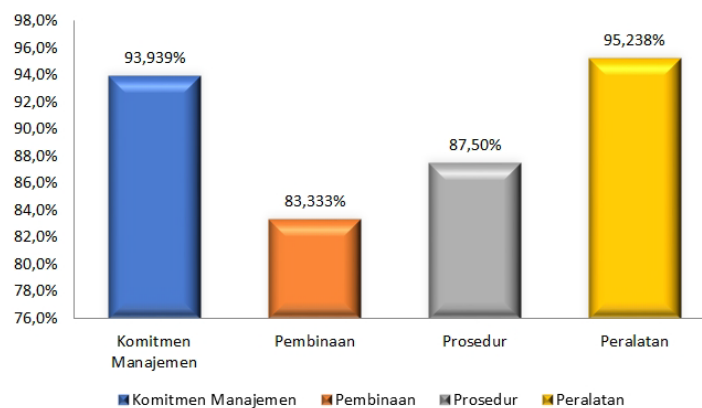
dengan skala sebagai berikut

1 = buruk

2 = cukup

3 = baik

Dari hasil perhitungan identifikasi *Frequency Index* didapatkan hasil pada variabel komitmen manajemen sebesar 93,939%, variabel pembinaan sebesar 83,333%, variabel prosedur sebesar 87,50% dan variabel peralatan sebesar 95,238%. Dalam penelitian ini dilakukan oleh peneliti berdasarkan dari pemahaman peneliti melalui wawancara dengan HSE proyek. Berikut merupakan hasil dari hasil identifikasi *Frequency Index* dalam bentuk diagram batang.



Gambar 3 Diagram Hasil Identifikasi *Frequency Index* (FI)

Pada penelitian ini variabel peralatan mendapatkan hasil presentase terbesar dengan presentase sebesar 95,238% dan variabel pembinaan mendapatkan presentase terendah dengan presentase sebesar 83,333%. Pada variabel peralatan terdapat empat faktor utama yaitu faktor pertama pemeriksaan serta mensertifikasi peralatan secara rutin, faktor kedua yaitu penyediaan APD dan kewajiban penggunaan APD bagi seluruh pekerja., faktor ketiga memiliki pencegahan dan penanggulangan limbah proyek di darat namun belum ada pada penanggulangan limbah proyek pada perairan, faktor keempat yaitu memiliki peralatan pencegahan dan penanggulangan kebakaran dan kecelakaan kerja.

Pada variabel pembinaan terdapat tiga faktor utama yaitu, faktor pertama belum adanya pelatihan pertolongan pertama pada kecelakaan, namun hal tersebut dapat diimbangi dengan adanya program pembelajaran secara teori, faktor kedua yaitu selalu memberikan HSE *Induction* kepada seluruh karyawan dan pekerja baru, faktor ketiga yaitu pemeriksaan kesehatan kepada pekerja secara berkala.

Pada variabel komitmen manajemen terdapat tiga faktor utama yaitu faktor pertama PT PP Urban dalam proyek tersebut memiliki organisasi K3LL dan telah ditanda tangani oleh seluruh pimpinan tertinggi serta secara berkala *direview* dan dimutakhirkan, faktor kedua yaitu penyelenggaraan evaluasi bulanan dilakukan sebanyak dua kali dalam satu bulan, faktor ketiga yaitu pada setiap evaluasi K3LL

pembahasan akan dilakukan pada setiap pekerjaan secara menyeluruh dan terperinci.

Pada variabel prosedur terdapat empat faktor utama yaitu faktor pertama PT PP Urban memiliki prosedur keadaan darurat serta pelaporan insiden K3LL dan telah disampaikan kepada seluruh pekerja, faktor kedua yaitu PT PP Urban memiliki SOP (*Standart Operating Procedure*) untuk seluruh peralatan yang digunakan dalam proyek, faktor ketiga yaitu PT PP Urban memiliki prosedur pembelian, penyimpanan, pengangkutan, dan pembongkaran berbagai material kebutuhan operasi yang memperhatikan aspek K3LL, dan faktor keempat yaitu PT PP Urban melarang keras penggunaan obat-obatan terlarang dan minuman keras selama didalam lingkungan proyek.

c. Tahapan Evaluasi

Pada tahapan evaluasi dilaksanakan sebanyak dua kali dalam sebulan, pada evaluasi seluruh temuan yang terdapat dalam pelaksanaan proyek akan dibahas secara detail dan sistematis.



Gambar 4. Evaluasi PT PP Urban pada Proyek Gedung Universitas Nahdlatul Ulama Yogyakarta

Pada tahap evaluasi ini perlu adanya pengelolaan risalah rapat keselamatan harian. Risalah rapat keselamatan harian ini merupakan hal yang penting yang didalamnya merupakan rincian dan implikasi dari sebuah kasus diuraikan.

Gambaran umum pelaksanaan ini sudah baik, dilaksanakan secara rutin, dan hal ini tidak sejalan dengan hasil penelitian yang dilakukan oleh Pratiwi (2017) dimana sebanyak 76% kontraktor bagian K3 belum menyampaikan laporan pekerjaannya secara rutin.

Pada saat melakukan studi ini proyek masih dalam proses pembangunan dan belum ada laporan terkait dengan kasus kejadian kecelakaan kerja. Pada tahap akhir kontrak PT.PP Urban diwajibkan untuk menyerahkan semua dokumen laporan berkaitan dengan K3 kepada Tim MK untuk kemudian dapat dilakukan evaluasi akhir.

Penerapan CSMS

Secara umum dari ke-6 tahapan dalam penerapan CSMS oleh PT. PP Urban sudah dilaksanakan dengan sangat baik. Penerapan CSMS ini menjadi upaya peningkatan dalam kinerja kontraktor yang berkelanjutan sehingga dapat mengurangi tingkat risiko keselamatan kerja. Pada penerapannya dapat terlihat nilai terendah pada variabel pembinaan sebesar 83,333%, hal ini menunjukkan perlu adanya peningkatan budaya keselamatan kerja yang baik mulai dari proses pembinaan, proses induksi serta

pemeriksaan secara berkala kepada seluruh karyawan dan pekerja. Implementasi CSMS yang komprehensif akan efektif dan berhasil ketika kerjasama dan dukungan akan maju dari semua aspek perusahaan yaitu, keselamatan, lingkungan, sumber daya manusia, pembelian dan hukum (McClimans, 2009). Jika tidak dikelola, risiko ini dapat menyebabkan masalah pada peraturan, masalah produktivitas, tindakan hukum, dan akhirnya mengakibatkan cedera serius atau kematian (Jerrels and Walden, 2013). Penerapan CSMS menjadi penting dalam menjalankan sistem keselamatan kerja (SMK3) bagi kontraktor dimulai dari tahap penilaian risiko sampai pada tahap evaluasi. Pemahaman yang komprehensif tentang keselamatan proses dan manajemen risiko diperlukan oleh semua tingkat kontraktor untuk memastikan pengambilan keputusan berbasis risiko dan mitigasi bahaya (Tamim, 2017).

Sistem ini sangat bermanfaat bagi industri proses atau konstruksi karena setiap kekurangan dalam program manajemen kontraktor CSMS mudah disorot dan kemudian akan dengan mudah untuk diperbaiki kekurangan yang teridentifikasi sehingga dapat meminimalkan dan mencegah kecelakaan yang fatal. Sistem ini akan menjadi lebih baik apabila dikembangkan dengan penggunaan sistem informasi. Informasi manajemen keselamatan atau sistem data sebagai alat yang efektif untuk mengelola informasi keselamatan (Jung et al., 2008).

Selain itu, dengan penerapan CSMS merupakan langkah dalam upaya peningkatan budaya yang baik khususnya terkait dengan keselamatan kerja. Budaya keselamatan merupakan faktor fundamental dalam meningkatkan kinerja keselamatan (Esterhuizen & Martin, 2016; Oswald & Lingard, 2019).

Kesimpulan dan saran

Kesimpulan

Adapun kesimpulan hasil analisis penerapan *Contractor Safety Management System* (CSMS) Pada Proyek Gedung Universitas Nahdlatul Ulama Yogyakarta yaitu penerapan CSMS pada PT PP Urban proyek Gedung Universitas Nahdlatul Ulama Yogyakarta telah dilaksanakan dengan sangat baik, hal ini dibuktikan dengan PT PP Urban pada proyek Gedung Universitas Nahdlatul Ulama Yogyakarta telah melaksanakan enam tahapan yang terdapat didalam CSMS, serta dalam tahap pelaksanaannya didapatkan hasil tinjauan pada variabel komitmen manajemen sebesar 93,939%, variabel pembinaan sebesar 83,333%, variabel prosedur sebesar 87,50% dan variabel peralatan sebesar 95,238%.

Saran

Adapun saran atas studi yang telah dilakukan terkait penerapan CSMS pada PT PP Urban proyek Gedung Universitas Nahdlatul Ulama Yogyakarta agar dapat meningkatkan penerapan CSMS yang lebih baik perlu ditinjau lebih dalam lagi terkait dengan detail dokumen-dokumennya. Studi CSMS ini semoga dapat menjadi refrensi untuk melanjutkan penelitian sejenis.

DAFTAR PUSTAKA

- 18001, O. (2007). *keselamatan dan kesehatan kerja (k3)*. ohsas project group.
- Abu Aisheh, Y.I., Tayeh, B.A., Alaloul, W.S., and Almalki,A. (2021). "Health and safety improvement in construction projects: A lean-construction

- approach". *International Journal of Occupational Safety and Ergonomics*, 1-13.
- Esterhuizen, W., & Martins, N. (2016). The factor structure of a safety leadership assessment tool for the mining industry. *Journal of Contemporary Management*, 13,1–26.
- Handayani, putri., dan Modjo, R. (2016). *Metode Online Dalam Pelaksanaan Contractor Safety*
- Institute, P. M. (2004). *A Guide to the Project Management Body of Knowledge: PMBOK Guide (3rd ed.)*. Newton Square, Pennsylvania: Project Management Institute.
- Indrayana, D. V., & Suraji, A. (2021). Stakeholders Awareness of Safety Leadership Through Construction Safety Management System in Indonesia. *Applied Research on Civil Engineering and Environment (ARCEE)*, 3(01), 1–7.
- J. Jerrels and K. Walden, "*Contractor safety management*," 2013 IEEE-IAS/PCA Cement Industry Technical Conference, 2013, pp. 1-8.
- Jung, Y.; Kang, S.; Kim, Y.-S.; Park, C. (2008). *Assessment of safety management information systems for general contractors*. *Saf. Sci*, 46, 661–674
- Kukoyi, P. O., & Adebowale, O. J. (2021). *Impediments to Construction Safety Improvement. Journal of Engineering, Project, and Production Management*, 11(2), 207-214.
- Kusuma Wardhani, Y. D. (2022) "*Implementation of Contractor Safety Management System as a Requirement for Partners at a Petrochemical Company*", *The Indonesian Journal of Occupational Safety and Health*, 11(1), pp. 1–11.
- Levovnik, D. & Gerbec, M. (2020). "*Role of Leadership Types in Managers' Commitment to Safety*". *Proceedings of the 30th European Safety and Reliability Conference and the 15th Probabilistic Safety Assessment and Management Conference*, 3343-3350.
- McClimans, Chad M. (June 2009). *Contractor Safety Management*. *Iron & Steel Technology*, 30-32.
- Muliawati, dkk. (2020). *analisis implementasi contractor safety management system (csms) pada tahap pelaksanaan pekerjaan proyek kapal tangke di pt dyata radar utama unit lampung 2019*.
- Nugroho, B., and Handayani, P. (2019). Analysis of Implementation Contractor Safety Management System (CSMS) at the Implementation Stage in PT. Multikarya Asia Pasifik Raya on the Project PT. Pertamina EP Asset 3 Field Jatibarang in 2019. In *Proceedings of the 1st International Conference on Health (ICOH 2019)*, pages 370-379.
- Oswald, D., & Lingard, H. (2019). Development of a frontline H&S leadership maturity model in the construction industry. *Safety science*, 118, 674-686.
- Peraturan Pemerintah No. 50 Tahun 2012. *Tentang Penerapan Sistem Manajemen Keselamatan dan Kesehatan Kerja*.

- Peraturan BP Migas Nomor Kpts-13/BP00000/2006-S8. *Tentang Pengelolaan Keselamatan, Kesehatan Kerja dan Lindung Lingkungan.*
- Peraturan Lembaga Kebijakan Pengadaan Baran dan Jasa No.12 Tahun 2021. *Tentang Pedoman Pelaksanaan Pengadaan Barang/Jasa Pemerintah Melalui Penyedia*
- Pradani, dkk. (2021). efektifitas implementasi *contractor safety management system* (csms) terhadap penurunan tingkat kecelakaan kerja di pt.x.
- Pratiwi, H. Y. (2017). Analisis Penerapan Contractor Safety Management System (CSMS) di PT. X, Bontang Kalimantan Timur, (March), 187–196. <https://doi.org/10.20473/ijosh.v6i2.2017.187-196>.
- Ramli. (2009). *Pedoman Praktis Manajemen Risiko dalam Perspektif K3 OHS Risk Management*. Jakarta: PT.Dian Rakyat.
- Ramli. (2010). *Sistem Manajemen Keselamatan dan Kesehatan Kerja*. Jakarta: PT.Dian Rakyat.
- Smith, G. W. (2013). *Contractor Safety Management*. CRC Press; 1st Edition.
- Suardi, R. (2007). *Sistem Manajemen Keselamatan dan Kesehatan Kerja*. Jakarta: PPM.
- Tamim, N.; Scott, S.; Zhu, W.; Koirala, Y.; Mannan, M.S. Roles of contractors in process safety. *J. Loss Prev. Process Ind.* 2017, 48, 358–366.
- Tawarka. (2016). *Dasar-dasar Keselamatan Kerja*. Surakarta: Harapan Press.
- Undang-Undang Republik Indonesia No.14 Tahun 1969. *Tentang Ketentuan Pokok Mengenai Tenaga Kerja*
- Yuliana, D.K.W. (2022). implementasi *contractor safety management system* (csms) sebagai persyaratan untuk mitra kerja pada perusahaan petrokimia.
- PT. Pertamina. 2011. Pedoman CSMS (Contractor Safety Management System). No.A-002/PHE020/2015-S9
- PT. Pertamina EP. (2016). Pedoman Sistem Manajemen HSE Kontraktor. Indonesia. <https://www.pertamina.com/media/219338/Form-CSMS-for-Announcement.pdf>.

PENGARUH KETINGGIAN LANTAI GEDUNG TERHADAP TINGKAT RISIKO KECELAKAAN KONSTRUKSI PADA PEKERJAAN BEKISTING ALUMINIUM (Studi kasus: Proyek Rumah Susun TOD Rawa Buntu, Serpong)

Sigit Santoso¹, Achmad Djunaedi², Fitri Nugraheni³, Vendie Abma⁴ dan Wahyu Kuntoro⁵

¹³⁴⁵ Program Studi Magister Teknik Sipil, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta
19914034@students.uui.ac.id, 3fitri.nugraheni@uui.ac.id, 4vendie.abma@uui.ac.id,
521914027@students.uui.ac.id,

² Program Studi Magister Teknik Arsitektur, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta
2adjun@ugm.ac.id

ABSTRAK

Implementasi bekisting alumunium pada proyek Rumah Susun TOD (Transit Oriented Development) Rawa Buntu merupakan inovasi yang masih terbilang baru dalam dunia Konstruksi. Pelaksanaan pekerjaan bekisting pada Proyek ini disinyalir memiliki potensi risiko yang cukup besar terhadap kecelakaan konstruksi, hal ini disebabkan lokasi proyek yang berdampingan dengan stasiun Rawabuntu yang cukup padat akan lalu lintas kereta api. Potensi lain kecelakaan kerja karena pembangunan proyek TOD memiliki 35 lantai dan termasuk kedalam kategori highrise building dengan kategori highrisk building. Penelitian pada proyek ini bertujuan untuk mengetahui nilai risiko kecelakaan konstruksi yang terdapat pada pelaksanaan pekerjaan tersebut di setiap lantainya dan hubungannya dengan tinggi lantai, dimana Proyek Rusun TOD Rawabuntu ini terdiri dari 35 lantai. Metode utama yang digunakan pada penelitian ini adalah Severity Index, dengan variabel yang didapatkan dari purposive sampling. Dari hasil penelitian, didapatkan total 23 jenis variabel risiko yang merata pada 35 lantai. Penilaian risiko pada pekerjaan per lantai di proyek pembangunan TOD Rawabuntu. terdapat kesamaan skala penilaian dari lantai 1 – 3, lantai 4 – 8, dan lantai 9 – 35. Artinya, deviasi ditemukan pada lantai 3 ke 4, dan 8 ke 9. Hubungan antara kecelakaan dengan ketinggian yang dilakukan dalam pekerjaan konstruksi diketahui untuk nilai pada lantai 1 sampai dengan 3 adalah 265, lantai 4 sampai dengan 8 adalah 236, dan pada lantai 9 sampai dengan 35 adalah 284 yang menunjukkan Implementasi bekisting alumunium pada proyek Rumah Susun TOD memiliki nilai risiko yang tinggi sehingga dibutuhkan pengendalian yang serius dalam melakukan pekerjaan ditinggian.

Kata kunci: Bekisting full system, Bekisting Alumunium, Kecelakaan Konstruksi, Nilai Risiko, Severity Index, K3

PENDAHULUAN

Latar Belakang

Proyek konstruksi merupakan suatu rangkaian kegiatan yang berkaitan dengan upaya pembangunan suatu bangunan infrastruktur. Proyek konstruksi gedung bertingkat merupakan proyek yang memiliki bobot pekerjaan besar dan memiliki pekerjaan struktur tinggi (Abdullah, 2020). Berkembangnya era modern pada infrastruktur semakin meningkat seiring dengan perkembangan zaman, seringkali pembangunan selalu di bayangi dengan risiko negatif yang membuat kegagalan pada proyek, bila risiko terjadi akan membuat proyek tidak akan berjalan dengan lancar, dan akan ada kerugian yang dialami (Nurgiantoro, 2017). Gedung bertingkat tinggi menimbulkan banyak tantangan mulai dari perancangan, pemilihan teknologi dan peralatan, tenaga kerja dan juga melibatkan pekerjaan teknik berat. Perkembangan dunia konstruksi erat kaitannya



dengan *highrise building*. Bangunan dengan kategori *highrise building* memiliki tingkat risiko kecelakaan yang tinggi (Basari, 2017).

Berbagai pekerjaan pada dunia konstruksi bangunan tingkat tinggi tidak terlepas dari adanya risiko kecelakaan, termasuk pada pekerjaan bekisting. Bekisting digambarkan sebagai struktur sementara yang membantu dalam pengecoran beton ke dalam bentuk yang diinginkan sesuai keinginan. Berbagai macam jenis bekisting yang dapat digunakan pada proyek konstruksi, salah satunya penggunaan aluminium untuk struktur kemungkinan akan berdampak positif pada kehalusan lapisan beton (Sowndharya dan Vidhya, 2022). Analisa terhadap risiko kecelakaan pada pekerjaan bekisting diperlukan guna mengetahui risiko yang dapat terjadi pada proyek konstruksi, serta dapat menangani atau mengantisipasi risiko tersebut. Berbagai metode dapat digunakan guna menganalisa, salah satu metode yang digunakan dalam menganalisa adalah dengan *severity indeks*. Tujuan *severity index* adalah mendapatkan hasil kombinasi penilaian probabilitas dan dampak risiko terhadap aspek waktu dan biaya.

Berbagai faktor ketidakpastian memiliki potensi terjadinya kegagalan dalam pencapaian tujuan pembangunan proyek konstruksi. Ketidakpastian menjadi sebuah risiko pada proyek konstruksi mengingat pekerjaan konstruksi yang cukup kompleks dan membutuhkan waktu yang cukup lama sehingga dapat menimbulkan berbagai macam risiko yang dapat mempengaruhi tercapainya tujuan proyek konstruksi. Oleh sebab itu, ketidakpastian yang dapat menghambat tujuan konstruksi perlu dilakukan analisis. Tujuan studi ini adalah untuk mengetahui indikator risiko keselamatan konstruksi terhadap pengaruh ketinggian lantai gedung sebagai alat pencegahan ataupun penanggulangan terjadinya kecelakaan konstruksi pada pekerjaan bekisting aluminium.

METODE PENELITIAN

Berikut ini tahapan pekerjaan dalam menganalisa hubungan antara tingkat risiko kecelakaan konstruksi dengan tinggi lantai pembangunan gedung pada pengangkatan, pemasangan, dan pembongkaran bekisting aluminium, sebagai berikut:

Identifikasi Masalah

Tahap identifikasi permasalahan bertujuan untuk mengetahui dan memahami pokok permasalahan yang akan dijadikan objek dalam penelitian yaitu analisis manajemen risiko pada proyek Rumah Susun TOD (Transit Oriented Development) Rawa Buntu, pada tahap ini ditetapkan pula tujuan dari penelitian serta konsep studi yang akan digunakan, meliputi analisis manajemen risiko pada keselamatan konstruksi pekerjaan bekisting aluminium dengan menggunakan metode Severity Index.

Pengumpulan Data

Tahap pengumpulan ini dilakukan untuk mempermudah proses analisa pada penelitian. Informasi atau data yang diperlukan untuk penelitian ini dikumpulkan dengan metode sebagai berikut:

1. Studi literatur

Studi literatur lebih mengarah pada pemberian bahan kajian terhadap objek penelitian melalui literatur berupa buku, jurnal, ataupun penelitian terdahulu yang meliputi konsep manajemen risiko proyek konstruksi khususnya keselamatan konstruksi, penggunaan metode *Severity Index* dalam melakukan tahapan identifikasi risiko, analisa risiko, evaluasi risiko, perlakuan risiko dan perancangan mitigasi risiko terhadap kecelakaan konstruksi.

2. Validasi indikator risiko kecelakaan konstruksi

Tahapan ini terdiri dari validasi indikator risiko yang kemungkinan terjadi pada proyek Rumah Susun TOD (Transit Oriented Development) Rawabuntu.

3. Penilaian risiko kecelakaan konstruksi

Tahap ini merupakan tahap penilaian risiko kecelakaan konstruksi serta rekapitulasi risiko yang terdapat dalam pekerjaan bekisting alumunium pada Rumah Susun TOD (Transit Oriented Development) Rawabuntu. Indikator risiko yang digunakan dalam penelitian merupakan hasil validasi berdasarkan FGD (Focus Group Discussion) pihak kontraktor.

Analisis Data

Proses analisis data untuk mengetahui hasil kombinasi penilaian probabilitas dan dampak risiko yang berhubungan dengan aspek kecelakaan konstruksi, beserta upaya pencegahannya dengan metode *severity index*. Salah satu cara untuk menganalisa risiko adalah dengan metode *Severity Index* (SI). Tujuannya adalah mendapatkan hasil kombinasi penilaian probabilitas dan dampak risiko terhadap aspek waktu dan biaya. Menurut Berikut rumus perhitungan *Severity Index* (SI).

$$SI = \frac{\sum_{i=0}^4 a_i \cdot x_i}{4 \sum_{i=0}^4 x_i} (100\%) \quad (1)$$

Dimana:

a_i = konstanta penilaian

x_i = Frekuensi responden

$i = 0, 1, 2, 3, 4, \dots, n$

x_0, x_1, x_2, x_3, x_4 adalah respon frekuensi responden

$a_0=0, a_1=1, a_2=2, a_3=3, a_4=4$

x_0 = frekuensi responden "sangat jarang," maka $a_0 = 0$

x_1 = frekuensi responden "Jarang," maka $a_1 = 1$

x_2 = frekuensi responden "cukup tinggi," maka $a_2 = 2$

x_3 = frekuensi responden "Sering," maka $a_3 = 3$

x_4 = frekuensi responden "Sangat Sering," maka $a_4 = 4$

Semua identifikasi risiko yang telah dicari penyebabnya, perlu dicari tingkatannya untuk prioritas penanangan. kelompok tingkatan risiko dibagi menjadi empat yaitu: *high* (H), *significant* (S), *medium* (M), dan *low* (L). Penetapan tingkat risiko (*risk level*). Mengukur risiko bisa menggunakan rumus sebagai berikut.

$$R = P \times I \quad (2)$$

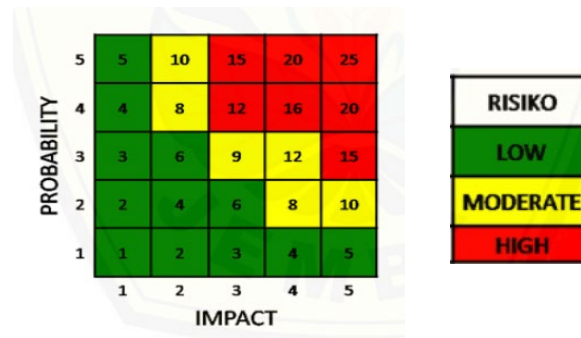
Dengan:

R = Tingkat risiko

P = Kemungkinan (*probability*) risiko yang terjadi

I = Tingkat dampak (*impact*) risiko yang terjadi (Majid dan Caffer, 1997)

Setelah didapat kategori dari probabilitas dan dampak maka dilakukan mengeplotkan nilai ke dalam matriks probabilitas dan dampak.



Gambar 1 Risk Matriks Probability dan Impact
(Sumber: PMBOK guide, 2004)

Hasil dari mengetahui risiko selanjutnya dilakukan respon risiko. Tanggapan dan perilaku risiko menurut Subiyanto (2010) adalah dihindari, dialihkan, dikurangi atau diterima.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Identifikasi risiko dilakukan dengan penilaian risiko pada pekerjaan bekisting setiap lantai, sebanyak 35 lantai di TOD Rawabuntu. Penilaian ditinjau pada setiap lantai untuk melihat perubahan risiko yang dihasilkan oleh setiap lantai. Berikut hasil rekapitulasi penilaian risiko setiap lantai, disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1 Data Rekapitulasi Per Lantai

No	Lantai	Nilai Risiko	No	Lantai	Nilai Risiko
1	Lantai 1	265	19	Lantai 19	284
2	Lantai 2	265	20	Lantai 20	284
3	Lantai 3	260	21	Lantai 21	284
4	Lantai 4	236	22	Lantai 22	284
5	Lantai 5	236	23	Lantai 23	284
6	Lantai 6	236	24	Lantai 24	284
7	Lantai 7	236	25	Lantai 25	284
8	Lantai 8	236	26	Lantai 26	284
9	Lantai 9	284	27	Lantai 27	284
10	Lantai 10	284	28	Lantai 28	284
11	Lantai 11	284	29	Lantai 29	284
12	Lantai 12	284	30	Lantai 30	284
13	Lantai 13	284	31	Lantai 31	284
14	Lantai 14	284	32	Lantai 32	284
15	Lantai 15	284	33	Lantai 33	284
16	Lantai 16	284	34	Lantai 34	284
17	Lantai 17	284	35	Lantai 35	308

Lanjutan Tabel 2 Data Rekapitulasi Per Lantai

No	Lantai	Nilai Risiko	No	Lantai	Nilai Risiko
18	Lantai 18	284			

Berdasarkan data penelitian keparahan (*severity*), maka akan dihitung berdasarkan nilai keparahan (*severity*) untuk masing-masing variabel yang ada. Skala untuk penilaian kemungkinan adalah 1-5. Masing-masing variabel memiliki nilai keparahan (*severity*) yang berbeda, sehingga nilai keparahan tersebut harus dihitung dengan menggunakan rumus *severity index*. Berikut rekapitulasi perhitungan kemungkinan dan probabilitas per lantai.

Tabel 2 Hasil Rekapitulasi Perhitungan Kemungkinan dan Probabilitas Per Lantai

No	Uraian Kegiatan / Aktivitas Proyek	Skenario (Kondisi/Situasi yang terlibat)	Potensial Risiko Bahaya	Dampak			Severity Index (L)	Rank (L)	Severity Index (R)	Rank (R)	Penilaian Risiko (LXR)	Tingkat Risiko
				L/F (L)	S/C (R)	TR (R × L)						
1	MOBILISASI MATERIAL BEKISTING	Pengiriman Barang	Ban mobil pecah	1	5	5	20%	2	100%	5	10	sedang
			Premanisme di jalan	1	5	5	20%	2	100%	5	10	sedang
2	PEKERJAAN PENGANGKATAN BEKISTING / LIFTING	Persiapan Peralatan	Tertimpa Material	3	3	9	60%	3	60%	3	9	sedang
			Tangan terkena benda tajam	3	2	6	60%	3	40%	3	9	sedang
			Material sisa (sampah plastik, kardus, dll)	4	2	8	80%	4	40%	3	12	sedang
			Material jatuh ketika melakukan erection menggunakan TC atau peralatan sejenisnya	3	3	9	60%	3	60%	3	9	sedang
3	PEKERJAAN PEMASANGAN BEKISTING / INSTALL	Pemasangan Bekisting	Terkena lemparan (Pin/baji terlempar) dengan jarak dekat, dan tidak terjatuh)	4	2	8	80%	4	40%	3	12	sedang
			Jatuh dari ketinggian	3	3	9	60%	3	60%	3	9	sedang

No	Uraian Kegiatan / Aktivitas Proyek	Skenario (Kondisi/Situasi yang terlibat)	Potensial Risiko Bahaya	Dampak			Severity Index (L)	Rank (L)	Severity Index (R)	Rank (R)	Penilaian Risiko (LXR)	Tingkat Risiko
				L/F (L)	S/C (R)	TR (R × L)						
			Kejatuhan benda dari atas (tertimpa material, bekisting jatuh, pin/baji)	3	3	9	60%	3	60%	3	9	sedang
			Gangguan pendengaran	5	5	25	100%	5	100%	5	25	besar
			Tangan terkena alat kerja dan benda tajam	3	2	6	60%	3	40%	3	9	sedaang

Setelah semua perhitungan skala penilaian kemungkinan dan keparahan telah dilakukan maka didapatkan hasil rank *severity index* dan rank *likelihood index*. Berikut adalah tabel klasifikasi tingkat risiko dengan menggunakan matriks berdasarkan PERMEN PUPR No.10 Tahun 2021 seperti yang terlihat pada Gambar 2.

	Keparahan				
Kemungkinan	1	2	3	4	5
1	1	2	3	4	5
2	2	4	6	8	10
3	3	6	9	12	15
4	4	8	12	16	20
5	5	10	15	20	25

Gambar 2 Kategori Matriks Risiko

Keterangan:

- 1 – 4 = Tingkat Risiko Rendah
- 5 – 12 = Tingkat Risiko Sedang
- 15 – 25 = Tingkat Risiko Tinggi

Sebagai contoh tingkat risiko matriks pada variabel potensi risiko bahaya tertimpa material didapat rank *severity index* 3 dan rank *likelihood index* 3. Maka dapat diplotkan dan didapatkan peringkat risiko 9 masuk dalam kategori “Tingkat Risiko Sedang” seperti yang terlihat pada gambar 3.

	Keparahan				
Kemungkinan	1	2	3	4	5
1	1	2	3	4	5
2	2	4	6	8	10
3	3	6	9	12	15
4	4	8	12	16	20
5	5	10	15	20	25

Gambar 3 Hasil Plot Matriks Pada Variabel Tertimpa Material

Berdasarkan hasil analisis *severity index* yang telah dilakukan dapat diketahui nilai risiko sebelum pengendalian dan risiko setelah pengendalian.

Risiko Prioritas Dalam Penanganan Pekerjaan Bekisting Berdasarkan Metode *Severity Indeks*

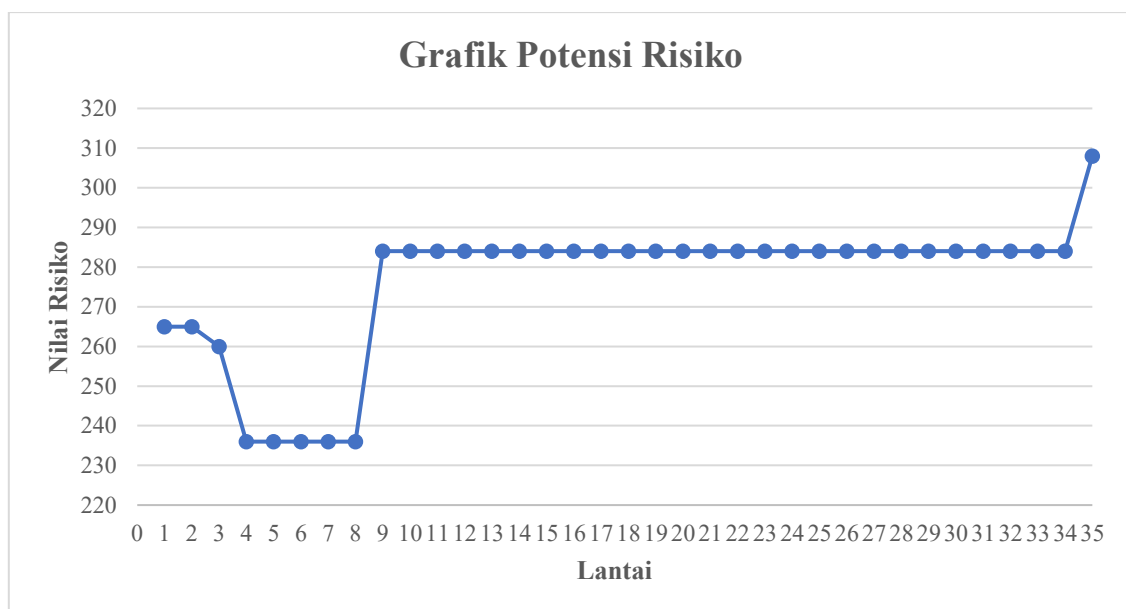
Penentuan skala prioritas penting dilakukan guna untuk mengetahui besaran risiko yang terjadi pada suatu pekerjaan proyek konstruksi. Data yang didapatkan merupakan data hasil dari penilaian lapangan yang kemudian diolah dan dibuat perankingan berdasarkan metode Severity Index.

Penilaian Manajemen Lapangan dan Keselamatan Konstruksi

Berdasarkan penilaian risiko pekerjaan per lantai pada proyek pembangunan TOD Rawabuntu, terdapat kesamaan skala penilaian dari lantai 1 – 3, lantai, lantai 4 – 8, dan lantai 9 – 35. Artinya, deviasi ditemukan pada lantai 3 ke 4, dan 8 ke 9. Hal ini kemudian divalidasi kepada responden dengan *purposive sampling*.

Hubungan Antara Variabel Tinggi Gedung (x) dan Variabel Risiko (y)

Sehingga hubungan antara kecelakaan dengan ketinggian dapat diketahui dalam pekerjaan pembangunan proyek Rumah Susun TOD (*Transit Oriented Development*) Rawa Buntu yang dapat dilihat pada Gambar 1 berikut.



Gambar 1 Grafik Hubungan Variabel Tinggi Gedung dan Variabel Risiko

Hasil rekapitulasi perhitungan kemungkinan dan probabilitas per lantai menunjukkan hasil tingkat risiko sedang hingga besar. Potensi risiko bahaya dengan tingkat risiko besar berjumlah 3, potensi risiko bahaya dengan tingkat risiko sedang berjumlah 22 dan potensi risiko bahaya dengan tingkat risiko kecil berjumlah 0. Risiko tinggi merupakan risiko dengan cakupan pekerjaan konstruksi yang pelaksanaannya sangat membahayakan keselamatan umum, harta benda, jiwa manusia maupun lingkungan akibat aktivitas konstruksi. Risiko sedang merupakan risiko dengan pekerjaan konstruksi yang pelaksanaannya dapat berisiko membahayakan keselamatan umum, harta benda, jiwa manusia maupun lingkungan akibat aktivitas konstruksi. Risiko kecil merupakan risiko dengan pekerjaan konstruksi yang pelaksanaannya tidak berisiko membahayakan keselamatan umum, harta benda, jiwa manusia maupun lingkungan akibat aktivitas konstruksi. Berdasarkan hasil analisis dalam pekerjaan pembangunan proyek Rumah Susun TOD (*Transit Oriented Development*) Rawa Buntu untuk mengetahui nilai

keselamatan konstruksi, menunjukkan nilai risiko tertinggi yang dapat menyebabkan kecelakaan terdapat pada lantai 9 sampai dengan 35 dengan nilai 284 sehingga perlu pengendalian yang serius dalam perlakuan pekerjaan di ketinggian. Ketinggian lokasi pekerjaan cukup mempengaruhi tingkat risiko yang kemungkinan dapat terjadi. Analisis keselamatan kerja dan identifikasi aktivitas dengan tingkat risiko tinggi yang terlibat harus ditentukan agar mekanisme pencegahan dan pengendalian yang tepat dapat ditentukan dan dilaksanakan.

Di era perkembangan teknologi saat ini, proses perencanaan, identifikasi dan pengendalian risiko terkait keselamatan konstruksi menjadi lebih efektif bila terintegrasikan dalam BIM. Dengan BIM dimungkinkan dapat mencegah terjadinya jatuh dari ketinggian. BIM dapat secara efektif mengintegrasikan langkah-langkah keselamatan dari fase desain ke fase konstruksi dan penggunaan serta memungkinkan perencanaan keselamatan terintegrasi dalam perencanaan konstruksi, yang mengarah ke manajemen keselamatan yang andal selama proses konstruksi (Rodrigues.,dkk, 2021).

KESIMPULAN DAN SARAN

Simpulan

Berdasarkan hasil analisis pada pekerjaan bekisting dan shoring pada lantai 1 sampai dengan lantai 35 dengan metode *purposive sampling* didapat 23 jenis variabel risiko. Berdasarkan penilaian risiko pekerjaan per lantai pada proyek pembangunan TOD Rawabuntu, terdapat kesamaan skala penilaian dari lantai 1 – 3, lantai 4 – 8, dan lantai 9 – 35. Artinya, deviasi ditemukan pada lantai 3 ke 4, dan 8 ke 9. Terdapat kesamaan skala penilaian dari lantai 1 – 3, lantai, lantai 4 – 8, dan lantai 9 – 35. Artinya, deviasi ditemukan pada lantai 3 ke 4, dan 8 ke 9. Sehingga, berdasarkan analisis *severity index* tingkat risiko terbesar yang sama pada potensi bahayanya, diantaranya gangguan pendengaran, jatuh dari ketinggian, kejatuhan benda dari atas (tertimpa material, bekisting jatuh, pin/baji), bekisting roboh, dan angin. Sedangkan berdasarkan deviasi skala pada lantai 3 ke 4, dan 8 ke 9, maka hubungan antara kecelakaan dengan ketinggian yang dilakukan dalam pekerjaan konstruksi diketahui untuk nilai pada lantai 1 sampai dengan 3 adalah 265, lantai 4 sampai dengan 8 adalah 236, dan pada lantai 9 sampai dengan 35 adalah 284.

Saran

Guna mencegah atau menurunkan risiko kecelakaan diperlukan peran pengawasan atau monitoring dan evaluasi setiap aktifitas pekerjaan konstruksi. Komunikasi sangat diperlukan dalam setiap aktifitas pekerjaan terutama pada pekerjaan dengan tingkat risiko tinggi, dengan tujuan agar setiap risiko yang mungkin terjadi dapat dimonitor dengan baik dan dapat dilakukan pencegahan atau antisipasi . Dari hasil penelitian tentunya masih jauh dari kata sempurna, maka dari itu peneliti memberi saran pada penelitian yang akan datang diharapkan indikator risiko diurutkan berdasarkan kategori-kategori bahaya serta sebelum melakukan penelitian harus memahami terlebih dahulu mengenai peraturan/regulasi yang sedang berlaku guna untuk mengetahui pemenuhan dari standar keselamatan konstruksi pada metode *Severity Index*. Selain itu, perlu dikembangkan kembali dengan memanfaatkan teknologi terintegrasi dan dapat di simulasikan melalui modeling (BIM).

DAFTAR PUSTAKA



- Abdullah. (2020). Analisa Risiko Pelaksanaan Proyek Pembangunan Gedung Kantor 5 (Lima) Lantai DPRD Kota Samarinda Dengan Metode Severity Indeks. Jurnal Teknik Sipil.
- Subiyanto, Eddy. (2010). Slide Kuliah Manajemen Risiko. Depok: Universitas Indonesia.
- Basari (2017). Estimation Risk of High Rise Building on Contractor. Journal of Engineering, Vol. 3, No. 2, eISSN:2337-8557.
- Nurgiantoro (2017). Analisis Faktor Risiko Pada Proyek Pembangunan Rumah Sakit Pendidikan Universitas Halu Oleo Tahap II. Jurnal Teknik Sipil, Jurnal Teknik Sipil, Vol.3
- Sowndharya, Vidhya (2022). Analysing Advanced Formwork System For High Rise Building Construction. International Research Journal of Modernization in Engineering Technology and Science, Vol.4, No.6.
- Mishra, Aithal (2021). Job Safety Analysis during Tunnel Construction. Post Doctoral Research Scholar, Srinivas University, India and Associate Professor, Madan Bhandari Memorial Academy Nepal, Urlabari 3, Morang, Nepal.
- Dita, dkk (2017). Identifikasi Risiko Dominan Internal Non Teknis Yang Berdampak Pada Biaya Konstruksi High Rise Building Menggunakan Metode Severity Indeks. Jurnal Rekayasa Sipil Dan Lingkungan.
- Geotsch, David L. (2008). *Occupational and Health For Technologist, Engineers, and Manager. 6th Edition*. New Jersey. Person Pantice Hill.
- Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Nomor 21/PRT/M/2019 Tahun 2019 tentang Pedoman Sistem Manajemen Keselamatan Konstruksi
- Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 50 Tahun 2012 Tentang Penerapan Sistem Manajemen Keselamatan dan Kesehatan Kerja
- Rodrigues, F.; Baptista, J.S.; Pinto, D. (2022). *BIM Approach in Construction Safety-A Case Study on Preventing Falls from Height. Buildings*, 12, 73.

¹Program Studi Magister Teknik Arsitektur, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta

² adjun@ugm.ac.id



ANALISIS PENGARUH AKTIVITAS INDUSTRI BATIK TERHADAP KANDUNGAN LOGAM BERAT PADA TOPSOIL di KOTA YOGYAKARTA

Junio Gestimades, Suphia Rahmawati, Noviani Ima Wantoputri, Any Juliani

Program Studi Teknik Lingkungan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta

Juniogestimades88@gmail.com

suphia.rahmawati@uii.ac.id

noviani.ima@uii.ac.id

any.juliani@uii.ac.id

ABSTRAK

Industri batik di Kota Yogyakarta masih banyak yang menggunakan pewarna sintetis dalam produksinya. Penggunaan pewarna sintetis ini potensial menyebabkan kandungan logam berat dalam limbah yang ditimbulkan. Karena keterbatasan fasilitas, limbah dari sebagian besar pabrik batik tidak dapat ditangani dengan baik. Hal ini potensial menimbulkan pencemaran lingkungan salah satunya lingkungan tanah. Penelitian ini bertujuan untuk memeriksa pengaruh kegiatan produksi batik terhadap kandungan logam berat pada lapisan topsoil di area Kota Yogyakarta. Parameter logam berat yang diperiksa adalah Cu, Cr, Zn, dan Pb. Analisis kandungan logam berat dalam sampel tanah dilakukan dengan menggunakan Spektrofotometer Serapan Atom (SSA). Hasil analisis menunjukkan kandungan logam berat Cu di dua titik sampling melebihi baku mutu. Analisis hubungan antara konsentrasi logam dan jaraknya terhadap tempat penyimpanan atau outlet pembuangan limbah batik menunjukkan korelasi positif sedang untuk logam Zn, namun sangat rendah untuk logam Cu, Cr, dan Pb. Konsentrasi logam yang relatif rendah ini memberikan nilai indeks Potensi Risiko Lingkungan (PERI) yang juga rendah. Sedangkan hasil perhitungan angka Geoaccumulation Index (Igeo) menunjukkan angka < 0 yang mengindikasikan bahwa logam dalam sampel tanah berasal dari proses alami dan bukan dari aktivitas antropogenik termasuk produksi batik.

Kata Kunci: Batik, Logam berat, Kromium, Pewarna sintetis, Top soil, pH, Seng, Tembaga, Timbal

PENDAHULUAN

Bahan baku dan pendukung yang digunakan dalam proses produksi batik, menyebabkan karakteristik umum limbah batik berupa kandungan warna, organik, padatan serta pH yang tinggi (Moradi *et al.*, 2016; Mukimin *et al.*, 2018; Tangahu *et al.*, 2019). Selain itu, limbah batik juga potensial mengandung logam berat yang dapat berasal dari penggunaan zat warna sintetis dan fiksator. Timbulan limbah ini harus dikelola dengan baik untuk mencegah dampak negatifnya bagi lingkungan dan Kesehatan manusia. Namun demikian, produksi batik di Indonesia masih didominasi industri skala kecil dan menengah yang sering juga disebut industri rumah atau *home industry* (Noor Syuhadah and Rohasliney, 2011; Syuhadah, Muslim and Rohasliney, 2015). Salah satu karakteristik umum dari industri ini adalah keterbatasan dalam banyak aspek diantaranya pengelolaan lingkungan (Juliani, Rahmawati and Yoneda, 2021). Banyak industri tidak memiliki fasilitas penanganan limbah yang memadai sehingga limbah sisa produksi dibuang begitu saja ke lingkungan tanpa pengolahan terlebih dahulu. Hal ini dapat menyebabkan pencemaran lingkungan serius yang secara langsung maupun tidak langsung akan mengancam kesehatan manusia. Selain badan air, pencemaran lingkungan tersebut juga dapat terjadi di lingkungan tanah terutama di

lokasi sekitar tempat produksi dan penyimpanan limbah sementara. Penelitian ini dilakukan untuk menginvestigasi kemungkinan pencemaran logam berat dalam tanah akibat penanganan limbah batik yang kurang memadai. Sampel tanah diambil di kawasan pusat industri batik di Kota Yogyakarta.

METODE PENELITIAN

Pengambilan Sampel Tanah

Pengambilan sampel dilakukan antara Bulan Desember 2021 dan Februari 2022. Sampel tanah diambil dari sekitar tempat penampungan sementara limbah di 7 lokasi pabrik batik di 3 kecamatan di wilayah Kota Yogyakarta, yaitu Wirobrajan, Kraton, dan Mantrijeron. Di masing-masing lokasi pabrik diambil 1 – 3 titik sampling. Pengambilan sampel dilakukan secara komposit pada lapisan tanah atas (*topsoil*). Sampel dimasukkan ke dalam wadah plastik, diberi label dan selanjutnya dibawa ke laboratorium untuk dianalisis.

Analisis Sampel

Sampel tanah yang telah dikumpulkan dipreparasi terlebih dahulu sebelum dianalisis kandungan logamnya. Preparasi sampel tanah dilakukan dengan metode destruksi asam. Sampel tanah sebanyak 0.5gram dilarutkan dalam campuran asam pekat HNO₃ dan HCl dengan perbandingan 5:2. Campuran ini dipanaskan di atas *hotplate* sampai warna larutannya bening dan siap untuk dianalisis. Analisis logam berat dilakukan terhadap parameter Cu, Cr, Zn, dan Pb dengan menggunakan Spektrofotometer Serapan Atom (SSA) mengikuti metode analisis baku pada Tabel 1. Selain logam berat, dilakukan juga pengukuran pH atau derajat keasaman sampel dengan menggunakan pH meter.

Tabel 1 Metode acuan analisis logam berat

Parameter	Acuan
Cr total	SNI 6989.17:2009
Cu	SNI 6989.6.2009
Zn	SNI 6989.7.2009
Pb	SNI 6989.8.2009
pH	03-6787-2002

Analisis Data dan Statistik

Kandungan logam berat dalam sampel tanah dibandingkan dengan baku mutu yang relevan yaitu baku mutu menurut Environmental Protection Authority Australia (EPAA) 2012 dan Environmental Protection Ministry of China (EPMC) 2015. Analisis statistik deskriptif dilakukan dengan menggunakan Microsoft Excel 365 versi 2111.

Kemungkinan adanya polusi logam berat diperiksa melalui perhitungan nilai *Geoaccumulation Index* (*I_{geo}*) yang dikembangkan oleh (Müller, 1979). Indeks ini telah secara luas digunakan oleh peneliti untuk memperkirakan tingkat kontaminasi sampel dibandingkan dengan konsentrasi *background* atau *baseline*. Persamaan yang dipakai untuk perhitungan *I_{geo}* adalah:

$$I_{geo} = (\log_2 C_n / 1.5B_n)$$

dimana C_n adalah konsentrasi elemen “n” dalam sampel sedangkan B_n adalah konsentrasi baseline-nya untuk elemen “n”. Faktor pengali “1.5” dipakai untuk mengakomodasi variasi litogenik antara lokasi yang berbeda. Kriteria evaluasi nilai Igeo disajikan dalam Tabel 2. Karena tidak tersedia untuk lokasi penelitian, konsentrasi elemen pada kerak bumi yang disajikan oleh (Turekian and Wedepohl, 1961) digunakan sebagai *background/baseline*. Konsentrasi baseline untuk logam Cu, Cr, Zn, dan Pb berturut-turut adalah 45, 90, 95, dan 20 mg/kg.

Tabel 2 Kriteria evaluasi nilai Igeo (Wu, Qi and Xia, 2017)

I _{geo}	Kelas I _{geo}	Tingkat polusi
<0	0	Tidak tercemar
0-1	1	Tidak tercemar – tercemar sedang
1-2	2	Tercemar sedang
2-3	3	Tercemar sedang - kuat
3-4	4	Tercemar kuat
4-5	5	Tercemar kuat – sangat kuat
>5	6	Tercemar sangat kuat

Data konsentrasi logam berat dalam sampel tanah ini juga digunakan untuk memperkirakan potensi risiko lingkungan (PERL) menggunakan persamaan-persamaan berikut (Jiang *et al.*, 2014):

$$C_f^i = \frac{c^i}{c_n^i},$$

$$E_r^i = T_r^i \times C_f^i,$$

$$RI = \sum E_r^i,$$

Dimana,

c^i = konsentrasi logam berat tiap titik sampling

c_n^i = baku mutu logam berat di daerah tersebut

C_f^i = koefisien pencemar

T_r^i = faktor respon toksik

E_r^i = indeks potensi risiko lingkungan satu elemen logam berat

RI = total indeks potensi risiko lingkungan

Tabel 3 Nilai parameter untuk perhitungan PERI

	Cu	Cr	Zn	Pb
c_n^i	50	50	200	80
T_r^i	5	2	1	5

Tabel 4 Interpretasi nilai PERI

	Tingkat	RI	Kelas Risiko	Tingkat
$Er\ i < 30$	<i>Slight</i>	$RI < 40$	A	<i>Slight</i>
$30 \leq Er\ i < 60$	<i>Medium</i>	$40 \leq RI < 80$	B	<i>Medium</i>
$60 \leq Er\ i < 120$	<i>Strong</i>	$80 \leq RI < 160$	C	<i>Strong</i>
$120 \leq Er\ i < 240$	<i>Very Strong</i>	$160 \leq RI < 320$	D	<i>Very Strong</i>
$Er\ i \geq 240$	<i>Extremely</i>	$RI \geq 320$	-	

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil analisis laboratorium

Ringkasan hasil analisis laboratorium terhadap sampel tanah yang diambil di sekitar pabrik batik di wilayah Kota Yogyakarta ditampilkan dalam Tabel 2. Nilai pH sampel tanah ada pada rentang 5 – 6.8. Menurut Søren Sørensen, kisaran pH tanah 4.5-5.5 termasuk asam, pH 5.6-6.5 termasuk sedikit asam dan pH 6.6-7.2 termasuk netral. Berdasarkan klasifikasi ini, pH tanah di lokasi penelitian ada di rentang asam sampai netral. Kondisi pH merupakan salah satu faktor penting yang mempengaruhi keberadaan dan mobilitas logam berat di lingkungan termasuk di tanah. Semakin rendah keasaman tanah, semakin tinggi mobilitas logam (Kicinska, Pomykala and Diaz, 2021). Korelasi negatif antara pH dan konsentrasi Cu, Cr dan Pb seperti ditampilkan dalam Tabel 5, menunjukkan indikasi serupa walaupun dengan nilai koefisien korelasi yang rendah sampai sedang.

Tabel 5 Ringkasan statistik hasil analisis sampel tanah

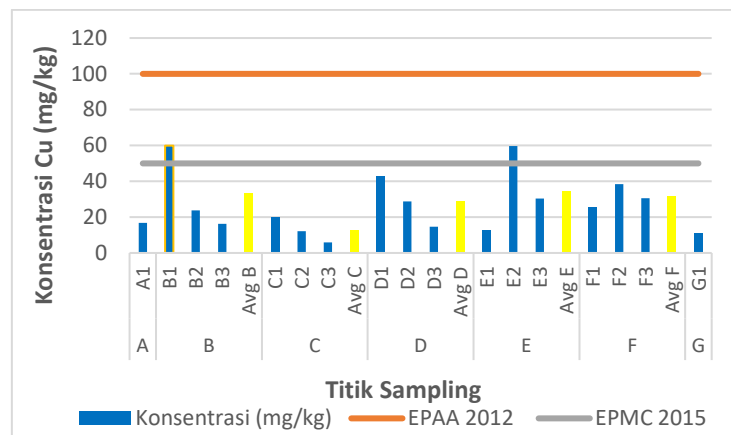
Parameter	Satuan	Min	Max	Rerata	EPAA	EPMC
pH		5.00	6.80	6.25		
Tembaga (Cu)	mg/kg	5.88	59.92	26.38	100	50
Krom (Cr)	mg/kg	0.05	5.08	1.18	50	100
Seng (Zn)	mg/kg	0.05	5.08	1.42	200	300
Timbal (Pb)	mg/kg	2.81	22.41	11.80	300	80

Tabel 6 Koefisien korelasi (R) konsentrasi logam dengan pH

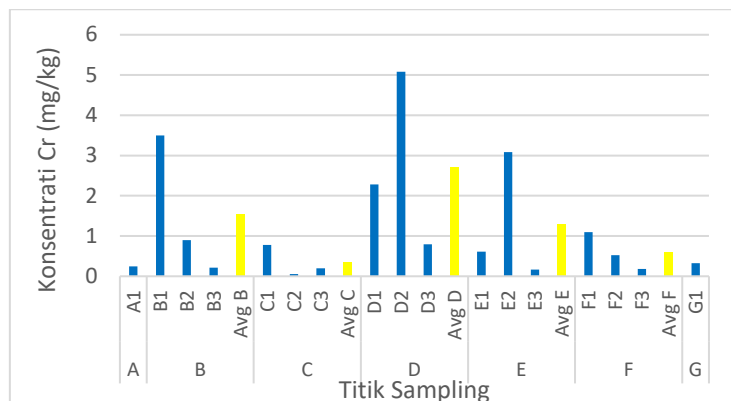
	Cu	Cr	Zn	Pb
pH	-0.56	-0.24	-0.31	-0.47

Berdasarkan nilai konsentrasi reratanya, distribusi logam berat di lokasi penelitian dari yang tertinggi sampai terendah mengikuti urutan $Cu > Pb > Zn > Cr$. Konsentrasi rerata tertinggi diberikan oleh sampel tanah di lokasi sekitar pabrik batik E, kecuali untuk logam

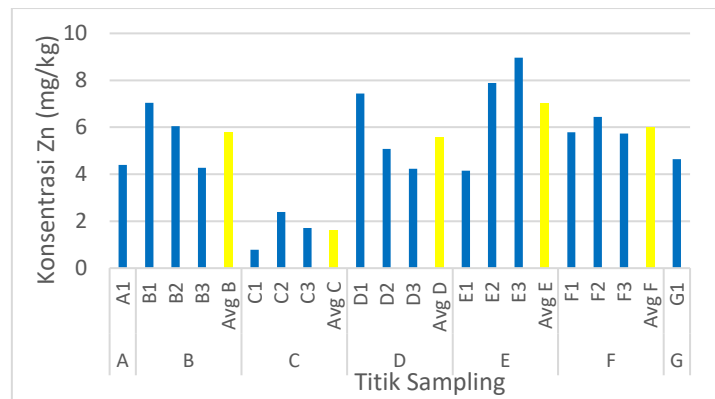
Cr dimana konsentrasi tertinggi ada di lokasi sekitar pabrik batik D. Dibandingkan terhadap baku mutu yang relevan, hanya Cu yang melebihi baku mutu EPMC 2015 di 2 titik sampling. Cu atau tembaga merupakan salah satu logam yang terdeteksi terkandung dalam limbah batik dalam beberapa penelitian (Syuhadah, Muslim and Rohasliney, 2015; Moradi *et al.*, 2016; Kariada *et al.*, 2020). Keberadaan Cu dalam limbah batik berkaitan dengan penggunaan pewarna sintetik. Cu dan Cr digunakan sebagai katalis dalam sintesis beberapa bahan *intermediate* produksi zat warna (Sungur and Gülmez, 2015), juga merupakan logam yang merupakan elemen dalam *metal complex azo dyes* (Chakraborty, 2011; Maria *et al.*, 2014). *Azo dyes* atau pewarna azo adalah jenis zat warna yang paling umum digunakan di industri tekstil termasuk batik (Gürses *et al.*, 2016; Benkhaya, M'rabet and El Harfi, 2020; Zhang *et al.*, 2021).



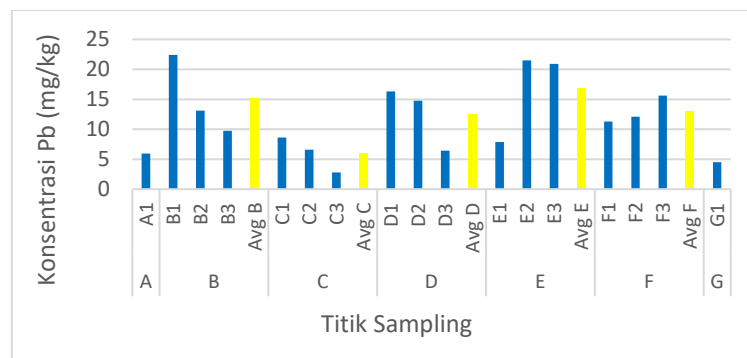
Gambar 1 Konsentrasi Cu dalam sampel tanah di tiap titik sampling



Gambar 2 Konsentrasi Cr dalam sampel tanah di tiap titik sampling

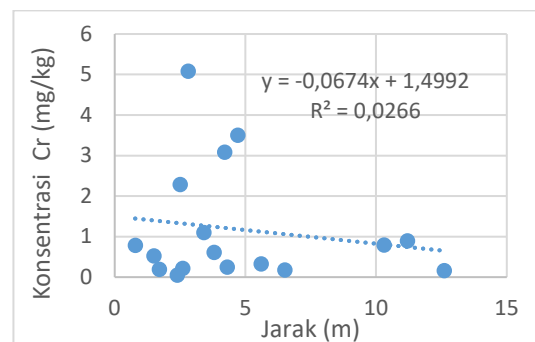
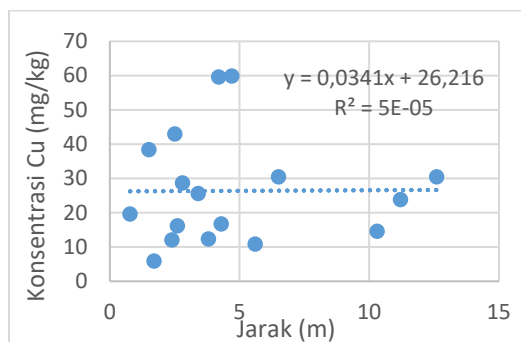


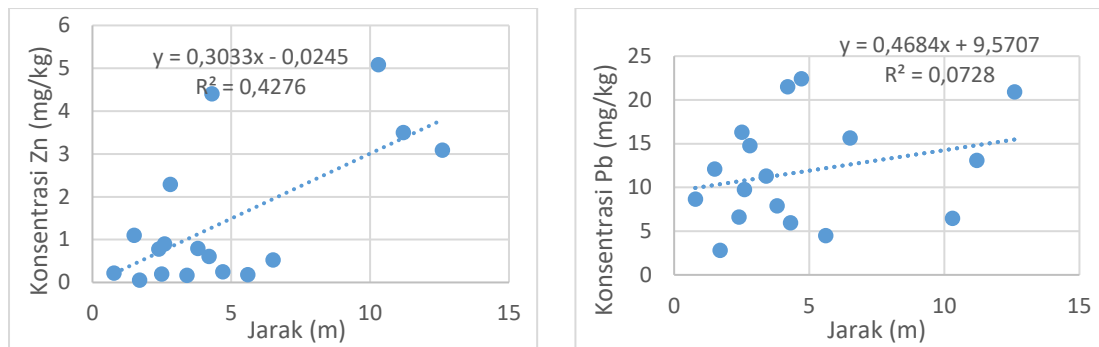
Gambar 3 Konsentrasi Zn dalam sampel tanah di tiap titik sampling



Gambar 4 Konsentrasi Pb dalam sampel tanah di masing-masing titik sampling

Keterkaitan antara konsentrasi logam berat di tanah dengan pabrik batik diperiksa dengan melihat korelasi antara konsentrasi dengan jarak titik sampling terhadap tempat penampungan sementara maupun outlet limbah batik. Korelasi tersebut ditampilkan dalam Gambar 5 dengan koefisien korelasinya disajikan dalam Tabel 6.





Gambar 5 Grafik korelasi antara konsentrasi logam Cu, Cr, Zn dan Pb dalam sampel tanah dengan jarak titik sampling terhadap lokasi penampungan atau outlet limbah batik

Tabel 7 Koefisien korelasi (R) konsentrasi dengan jarak

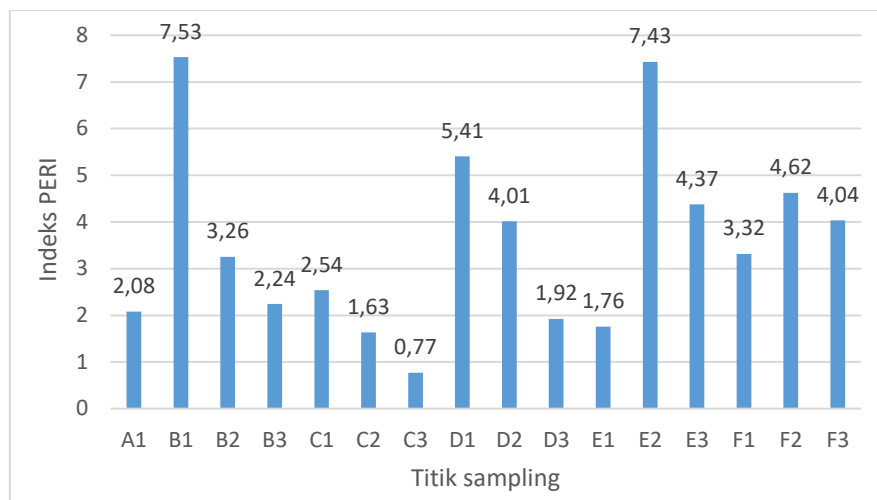
	Cu	Cr	Zn	Pb
Jarak	0.01	-0.16	0.65	0.27

Korelasi positif dengan koefisien yang besar dapat menjadi indikasi hubungan antara kandungan logam berat di tanah dengan limbah batik. Korelasi positif sedang dengan koefisien korelasi sebesar 0.65 ditunjukkan oleh logam Zn. Untuk logam Cu, Cr dan Pb korelasi antara konsentrasi dengan jarak sangat kecil. Logam Zn terdeteksi ada dalam limbah batik di beberapa penelitian (Syuhadah, Muslim and Rohasliney, 2015; Moradi *et al.*, 2016). Bersama Pb dan Cd, Zn juga merupakan logam yang umum digunakan dalam *metal complex dyes* (Hunger, 2003; Yaseen, Scholz and Yaseen, 2019).

Keberadaan logam di lingkungan dapat juga berasal dari sumber alami. Oleh karena itu perhitungan Igeo dilakukan untuk memeriksa kemungkinan tersebut dengan membandingkan konsentrasi logam di lokasi penelitian dengan konsentrasi *background/baseline*-nya. Hasil perhitungan menunjukkan nilai Igeo negatif untuk seluruh logam di semua titik sampling. Hal ini mengindikasikan bahwa kandungan logam Cu, Cr, Zn, dan Pb di lokasi penelitian berasal dari sumber alami dan bukan dari kegiatan antropogenik termasuk produksi batik.

Penilaian Potensi Risiko Lingkungan (PERI)

Kandungan logam berat dalam tanah dapat menimbulkan risiko baik bagi lingkungan maupun Kesehatan manusia. Potensi risiko tersebut diestimasi dengan menghitung indeks Potensi Risiko Lingkungan (PERI). Hasil perhitungan indeks PERI total untuk keempat logam yang diteliti disajikan dalam Gambar 5.



Gambar 5 Nilai Total Indeks PERI untuk Tiap Titik Sampling

Berdasarkan acuan interpretasi nilai PERI dalam Tabel 3, didapatkan bahwa potensi risiko lingkungan akibat kandungan logam Cu, Cr, Zn dan Pb dalam sampel tanah di lokasi penelitian ini adalah rendah. Nilai PERI didapatkan dengan membandingkan nilai konsentrasi logam yang didapatkan dengan baku mutunya. Konsentrasi yang rendah dibandingkan dengan baku mutu yang relatif tinggi menghasilkan angka PERI yang rendah. Nilai PERI tertinggi yaitu di titik sampling B1 juga masih jauh di bawah batas kelas terendah PERI yaitu 40. Nilai PERI yang rendah ini mengindikasikan risiko yang relatif rendah karena konsentrasi logamnya masih kecil untuk memberikan dampak.

KESIMPULAN

Analisis kandungan logam berat dalam sampel tanah di sekitar pabrik batik di Kota Yogyakarta menunjukkan kandungan logam berat Cu di dua titik sampling melebihi baku mutu. Analisis hubungan antara konsentrasi logam dan jaraknya terhadap tempat penyimpanan atau outlet pembuangan limbah batik menunjukkan korelasi positif sedang untuk logam Zn, namun sangat rendah untuk logam Cu, Cr, dan Pb. Konsentrasi logam yang relatif rendah ini memberikan nilai indeks Potensi Risiko Lingkungan (PERI) yang juga rendah. Hasil perhitungan angka Geoaccumulation Index (Igeo) menunjukkan hasil < 0 yang mengindikasikan bahwa logam dalam sampel tanah berasal dari proses alami dan bukan dari aktivitas antropogenik termasuk produksi batik.

DAFTAR PUSTAKA

- Benkhaya, S., M'rabet, S. and El Harfi, A. (2020) 'Classifications, properties, recent synthesis and applications of azo dyes', *Heliyon*. Elsevier Ltd, 6. doi: 10.1016/j.heliyon.2020.e03271.
- Chakraborty, J. N. (2011) 'Metal complex dye', in Clarks, M. (ed.) *Handbook of Textile and Industrial Dyeing*. Woodhead Publishing, pp. 446–465.
- Gürses, A. *et al.* (2016) 'Classification of Dye and Pigments', in *Dyes and Pigments*. Springer Nature, pp. 1–88.

- Hunger, K. (Editor) (2003) *Industrial dyes chemistry, properties, applications*, Wiley-VCH.
- Jiang, X. *et al.* (2014) 'Potential ecological risk assessment and prediction of soil heavy-metal pollution around coal gangue dump', *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 14(6), pp. 1599–1610. doi: 10.5194/nhess-14-1599-2014.
- Juliani, A., Rahmawati, S. and Yoneda, M. (2021) 'Heavy Metal Characteristics of Wastewater From Batik Industry in Yogyakarta Area, Indonesia', *International Journal of GEOMATE*, 20(80), pp. 59–67. doi: 10.21660/2021.80.6271.
- Kariada, N. *et al.* (2020) 'Pollution Model of Batik and Domestic Wastewater on River Water Quality', in *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*. doi: 10.1088/1755-1315/448/1/012074.
- Kicinska, A., Pomykala, R. and Diaz, miguel izquierdo (2021) 'Changes in Soil pH and mobility of heavy metals in contaminated soils', *European Journal of Soil Science*.
- Maria, Z. *et al.* (2014) 'Synthesis, characterization and application of anionic metal complex azo dyes as potential substitutes for Cr-complex dyes', *Textile Research Journal*, 84(19), pp. 2036–2044. doi: 10.1177/0040517514534749.
- Moradi, P. *et al.* (2016) 'An efficient and economical treatment for batik textile wastewater containing high levels of silicate and organic pollutants using a sequential process of acidification, magnesium oxide, and palm shell-based activated carbon application', *Journal of Environmental Management*. Elsevier Ltd, 184, pp. 229–239. doi: 10.1016/j.jenvman.2016.09.066.
- Mukimin, A. *et al.* (2018) 'Performance of bioequalization-electrocatalytic integrated method for pollutants removal of hand-drawn batik wastewater', *Journal of Water Process Engineering*. Elsevier, 21(July 2017), pp. 77–83. doi: 10.1016/j.jwpe.2017.12.004.
- Müller, G. (1979) 'Schwermetalle in Den Sedimenten Des Rheins - Veränderungen Seit 1971', *Umsch. Wissensch. Techn.*, 79(24), pp. 778–783.
- Noor Syuhadah, S. and Rohasliney, H. (2011) 'A preliminary study on batik effluent in Kelantan State: A water quality perspective', in *International Conference on Chemical, Biological and Environmental Sciences 2011*, pp. 274–276.
- Sungur, F. and Gülmez, F. (2015) 'Determination of metal contents of various fibers used in textile industry by MP-AES', *Journal of Spectroscopy*, 2015. doi: 10.1155/2015/640271.
- Syuhadah, N., Muslim, N. Z. and Rohasliney, H. (2015) 'Determination of heavy metal contamination from batik factory effluents to the surrounding area', *International Journal of Chemical, Environmental & Biological Sciences*, 3(1), pp. 7–9.
- Tangahu, B. V. *et al.* (2019) 'Study of BOD and COD removal in batik wastewater using *Scirpus grossus* and *Iris pseudacorus* with intermittent exposure system', *Journal of Ecological Engineering*, 20(5), pp. 130–134. doi: 10.12911/22998993/105357.
- Turekian, K. K. and Wedepohl, K. H. (1961) 'Distribution of the elements in some major units of the earth's crust', *Geological Society of America Bulletin*, 72(February), pp. 175–192.
- Wu, Q., Qi, J. and Xia, X. (2017) 'Long-term variations in sediment heavy metals of a reservoir with changing trophic states: Implications for the impact of climate

- change', *Science of the Total Environment*. Elsevier B.V., 609, pp. 242–250. doi: 10.1016/j.scitotenv.2017.04.041.
- Yaseen, D. A., Scholz, M. and Yaseen, D. A. (2019) 'Textile dye wastewater characteristics and constituents of synthetic effluents: a critical review', *International Journal of Environmental Science and Technology*. Center for Environmental and Energy Research and Studies, 16(2), pp. 1193–1226. doi: 10.1007/s13762-018-2130-z.
- Zhang, C. *et al.* (2021) 'A critical review of the aniline transformation fate in azo dye wastewater treatment', *Journal of Cleaner Production*. Elsevier Ltd, 321(September), p. 128971. doi: 10.1016/j.jclepro.2021.128971.



PENGARUH PEMANFAATAN CAMPURAN SERABUT KELAPA TERHADAP KUAT TEKAN DAN KUAT LENTUR PADA BETON NORMAL

Adhi Sulaeman, Malik Mushthofa

¹ Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta

Email: 18511205@students.uui.ac.id¹, malik.mushthofa@uui.ac.id²

ABSTRAK

Karakteristik umum dari beton yaitu memiliki tahanan desak yang cukup baik dan tahanan tarik yang kurang baik. Perlu adanya inovasi yang dapat diterapkan pada campuran beton seperti dengan menambahkan serat, salah satunya dengan menambahkan campuran serabut kelapa ke dalam campuran beton untuk berinovasi dan mengetahui kekuatan dari beton yang dikombinasi dengan serabut kelapa yang merupakan bahan-bahan organik. Selain itu penambahan serabut kelapa juga diharapkan mampu menunda terjadinya keruntuhan yang terjadi secara tiba-tiba. Pada penelitian ini, penulis menambahkan campuran serabut kelapa dengan variasi panjang 2 cm, 3 cm, dan 4 cm dengan persentase serabut kelapa sebanyak 0,2% dan 0,3% dari berat beton normal di setiap masing-masing variasi ke dalam adukan beton segar. Bahan campuran tersebut kemudian diaplikasikan sebagai bahan tambah untuk mengetahui kuat tekan dan kuat lentur yang dihasilkan oleh beton. Perhitungan perencanaan campuran beton menggunakan SNI 03-2834-2000 dengan kuat tekan rencana 25 MPa. Hasil dari penelitian, penambahan serabut kelapa ke dalam campuran beton menunjukkan adanya peningkatan terhadap nilai kuat tekan dan kuat lentur, kenaikan nilai kuat tekan optimum terdapat pada beton dengan variasi panjang 3 cm dengan kadar 0,2% dari berat beton normal ($BV_3-0,2$) yaitu sebesar 31,94 MPa atau mengalami kenaikan sebesar 27,76% dari kuat tekan rencana yaitu sebesar 25 MPa. Kenaikan nilai kuat lentur optimum terdapat pada beton dengan variasi panjang 3 cm dengan kadar 0,3% dari berat beton normal ($BV_3-0,3$) yaitu sebesar 4,348 MPa atau mengalami kenaikan sebesar 18,70% dari hasil kuat lentur beton normal.

Kata kunci: Kuat tekan, Kuat lentur, Serabut kelapa

PENDAHULUAN

Latar Belakang

Perkembangan pembangunan konstruksi di Indonesia semakin meningkat seiring dengan pertambahan jumlah penduduk, seperti pembangunan perumahan, gedung-gedung bertingkat dan konstruksi lainnya, yang sangat membutuhkan beton sebagai bahan konstruksi. Alasan utama beton masih banyak digunakan dalam konstruksi bangunan hingga saat ini dikarenakan material penyusun yang masih mudah ditemukan sehingga lebih ekonomis dibanding dengan penggunaan bahan lain. Semakin berkembangnya ilmu pengetahuan, maka perhatian terhadap aspek lingkungan juga harus lebih ditingkatkan. Teknologi beton modern pada saat ini memungkinkan untuk membatasi penggunaan material yang berasal dari alam, dan menggantikannya dengan bahan-bahan yang lebih murah, organik, dan mudah didapatkan.

Karakteristik yang dimiliki oleh beton adalah memiliki ketahanan terhadap kuat tekan, namun memiliki kelemahan terhadap gaya tarik. Salah satu inovasi yang dapat



diterapkan adalah dengan menambahkan serat organik ke dalam campuran beton. Untuk mengembangkan teknologi mengenai beton, sebagai usaha untuk memperbaiki sifat-sifat beton dan kinerja beton dengan biaya yang murah dan juga tanpa mengurangi nilai mutunya, beton dapat diberi bahan tambahan seperti penggunaan limbah buangan serat ijuk, serabut kelapa, abu sekam padi, limbah gergajian, abu cangkang sawit, abu terbang (*fly ash*) mikrosilika (*silica fume*), dan lain-lain (Mulyono, 2005).

Beton serat adalah beton yang terdiri dari semen, air, agregat kasar, agregat halus, dan bahan tambah berupa serat. Penambahan serabut kelapa diharapkan dapat meningkatkan kekuatan beton, baik dari nilai kuat tekan, kuat tarik dan kuat lenturnya. Pada penelitian ini, penulis menambahkan campuran serabut kelapa dengan variasi panjang 2 cm, 3 cm, dan 4 cm dengan komposisi serabut kelapa sebanyak 0,2% dan 0,3% dari berat beton normal. Bahan campuran serabut kelapa tersebut kemudian diaplikasikan sebagai bahan tambahan yang bertujuan untuk meningkatkan nilai kuat tarik yang dihasilkan oleh beton. Penambahan serabut kelapa dengan persentase rendah diharapkan dapat mencegah terjadinya retak-retak sehingga beton dengan tambahan serabut kelapa lebih daktail daripada beton normal.

Bahan Tambah Serat Kelapa

Salah satu tanaman yang umum ditemukan pada daerah tropis adalah buah kelapa. Persentase terbesar dari komponen buah kelapa adalah serabut yaitu sebanyak 35%, sementara komponen lainnya yaitu tempurung sebesar 12%, daging buah 28%, dan air buah 25%. Serabut kelapa sebagai bagian terluar dari buah kelapa yang berjenis serat, di mana 78% bagiannya adalah dinding sel dan sisanya merupakan rongga memiliki ketebalan ± 5 cm (Suhardiyono, 1999). Terdapat banyak cara untuk mendapatkan serat dari serabut kelapa, salah satunya yaitu dengan melakukan ekstraksi dengan mesin. Proses ekstraksi tersebut dapat menghasilkan 40% serabut berbulu dan 60% serat matras. Serabut kelapa yang memiliki panjang 15-30 cm tersebut memiliki sifat yang sangat menguntungkan, seperti tahan serangan mikroorganisme serta pelapukan dan pekerjaan mekanis (gosokan dan pukulan) dan lebih ringan dari jenis serat lainnya. Serabut kelapa merupakan serat yang mampu menyerap air sehingga dapat digunakan sebagai bahan campuran pada beton segar, dan serat kelapa juga dikenal memiliki kuat tarik yang baik, (Mulyono, 2005).

Serabut kelapa adalah bahan berserat dengan ukuran serat yang pada umumnya 5 sampai 500 μm (mikrometer). Adapun kelebihan penggunaan beton dengan campuran serabut kelapa seperti memiliki nilai ekonomis (bahan dasarnya mudah diperoleh), memiliki kemampuan kuat tarik yang baik, kemudahan dibentuk sesuai kebutuhan yang diinginkan, tahan terhadap api, awet, dan mudah dalam perawatannya. Selain itu bahan serabut kelapa dapat mengikat campuran beton dengan baik, sehingga beton tidak mudah patah dan akan lebih daktail (Wahyudi, 2014). Penelitian menggunakan serat serabut kelapa pernah dilakukan oleh Ardhiansyah (2018) dengan menambahkan serat sebanyak 0,125% dan 0,2 % dari berat beton normal. Penambahan serat tersebut berhasil meningkatkan nilai kuat tekan awal dari 25 MPa menjadi 29.859 MPa di panjang serat 3 cm. Untuk itu, bahan tambah organik seperti serabut kelapa ini perlu dikembangkan, sehingga penelitian ini mencoba memanfaatkan serabut kelapa sebagai bahan tambahan dalam pembuatan beton segar dengan tujuan untuk berupaya meningkatkan kualitas beton.

Beton

Beton merupakan bahan bersifat komposit yang merupakan hasil pencampuran bahan-bahan yang terdiri dari agregat halus, agregat kasar, semen dan bahan sejenis lainnya. Bahan penyusun beton yang berupa batuan yang diikat dengan bahan perekat berupa



semen. Bahan batuan yang dipakai sebagai bahan pengikat beton terdiri dari agregat kasar (kerikil/batu pecah) dan agregat halus (pasir) yang komposisinya berkisar 70%-75% dari seluruh beton. Penambahan semen secukupnya pada saat pembuatan beton berfungsi sebagai perekat bahan penyusun beton, kemudian penambahan air bertujuan untuk membantu proses reaksi kimia selama proses pengerasan dan perawatan beton berlangsung. Nilai kekuatan dan daya tahan (*durability*) pada beton merupakan fungsi yang terdiri dari banyak faktor, seperti nilai banding campuran dan mutu bahan susun, metode pelaksanaan pengecoran dan kondisi perawatannya. Jika diperlukan, bahan tambah (*admixture*) dapat ditambahkan untuk mengubah sifat-sifat tertentu dari beton yang bersangkutan. Nilai kuat tekan pada beton relatif lebih tinggi dibanding dengan kuat tariknya, selain itu beton juga merupakan bahan yang getas atau mudah rapuh. Nilai kuat tarik pada beton berkisar 9%-15% dari nilai kuat tekan betonnya, oleh karena itu pada struktur bangunan, beton perlu diperkuat dengan tambahan tulangan baja agar dapat menambah nilai kuat tariknya, sehingga beton bekerja bersama tulangan baja dan saling membantu kelemahannya (Dipohusodo, 1994).

Beton Serat (Fibre Concrete)

Beton serat (*fibre concrete*) adalah bahan komposit yang terdiri dari beton normal biasa dengan penambahan bahan tambahan berupa serat. Serat pada umumnya berbentuk batang dengan diameter 5 sampai 500 μm (mikrometer) dengan panjang 25 sampai 100 mm. Bahan-bahan berupa serat diantaranya serat asbestos, serat tumbuh-tumbuhan (rami, bambu, kelapa, ijuk), serat plastik (*polypropylene*), atau potongan serat kawat baja. Dengan penambahan serat menyebabkan berkurangnya sifat kemudahan dikerjakan (*workability*) dan mempersulit terjadinya segregasi pada agregat. Penambahan serat pada beton untuk mencegah terjadinya retak-retak, yang menjadikan beton dengan penambahan serat lebih daktail dibanding dengan beton normal biasa (Tjokrodinuljo, 2007).

Kuat Tekan

Kuat tekan beton adalah besarnya beban per satuan luas yang mengakibatkan benda uji menjadi rusak atau hancur bila diberi gaya tekan dengan besaran tertentu oleh alat uji mesin tekan. Kuat tekan beton sangat berhubungan dengan sifat-sifat lainnya, artinya jika nilai kuat tekan beton sudah tinggi, maka sifat-sifat yang lain juga mengikuti lebih baik juga. Alat uji yang untuk pengujian kuat tekan beton adalah *Compression Testing Machine* (CTM). Berdasarkan SNI 03-1974-1990, nilai kuat tekan beton dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut.

$$f'c = \frac{P}{A} \quad (1)$$

Keterangan:

$f'c$ = Kuat Tekan (MPa)

P = Beban Maksimum (N)

A = Luas Penampang Benda Uji (mm^2).

Kuat Lentur

Pengujian lentur beton bertujuan untuk mengetahui kemampuan yang dimiliki oleh beton yang diletakkan pada dua perletakan untuk menahan benda uji dengan arah yang tegak lurus sumbu hingga benda uji mengalami patah yang dinyatakan dalam Mega Pascal (MPa) yaitu gaya setiap satuan luas (SNI 03-4431-1997). Pada penelitian ini pengujian

dilakukan dengan menggunakan beban 2 titik dan letak daerah patah berada di daerah pusat ($1/3$ jarak titik perletakan), maka dapat dihitung dengan persamaan berikut.

$$flt = \frac{P \times L}{B \times h^2} \quad (2)$$

Keterangan:

- flt = kuat lentur (MPa)
 P = Beban maksimum yang diberikan ke benda uji (N)
 L = Panjang antar tumpuan benda uji (mm)
 B = Lebar tampang lintang patah (mm)
 h = Tinggi tampang lintang patah (mm)

METODOLOGI PENELITIAN

Metode penelitian merupakan langkah-langkah yang bersifat umum atau metode yang digunakan dalam menyelesaikan masalah dalam penelitian. Adapun tahapan-tahapan yang dilakukan mulai dari tahap persiapan, yaitu mempersiapkan semua bahan-bahan yang dibutuhkan seperti semen, agregat, dan bahan tambah serabut kelapa. Tahap pengujian bahan, yaitu menguji terlebih dahulu bahan-bahan yang akan digunakan apakah bahan tersebut sudah memenuhi syarat atau tidak, jika sudah memenuhi syarat maka bahan-bahan tersebut dapat digunakan untuk perencanaan campuran beton, pada penelitian ini semen yang digunakan adalah semen PCC merek Dynamix, agregat halus yang digunakan berasal dari sungai progo, dan agregat kasar yang digunakan berasal dari clereng. Tahap perencanaan campuran beton (*mix design*) dilakukan berdasarkan SNI 03-2834-2000. Tahap pembuatan benda uji, membuat benda uji dengan bahan tambah serat serabut kelapa sebagai material serat dengan variasi panjang serat 2 cm, 3 cm, dan 4 cm dengan masing-masing persentase 0%, 0,2%, dan 0,3% dari berat beton normal, benda uji yang digunakan untuk pengujian tekan berbentuk silinder dengan tinggi 30 cm dan diameter 15 cm, kemudian benda uji untuk pengujian lentur yang berbentuk balok dengan dimensi (60×15×15 cm). Tahap perawatan benda uji yaitu dengan merendam benda uji selama 27 hari di dalam bak air bersih, dan waktu pengeringan benda uji selama 1 hari. Kemudian tahap pengujian benda uji, pengujian yang dilakukan yaitu uji kuat tekan dan kuat lentur pada umur beton 28 hari. Tahap analisis dan pembahasan, pada tahap ini membahas bagaimana hasil dari penelitian yang dilakukan. Kemudian diakhiri dengan kesimpulan dan saran berdasarkan hasil analisis dan pembahasan dari penelitian yang dilakukan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Pengujian Agregat

Pengujian agregat dilakukan untuk mengetahui karakteristik agregat halus maupun agregat kasar yang digunakan. Dari hasil pengujian yang dilakukan akan diketahui apakah agregat yang digunakan sudah memenuhi persyaratan sebagai bahan untuk perencanaan campuran beton (*mix design*).

1. Pengujian agregat halus

Pengujian agregat halus terdiri dari pengujian berat jenis dan penyerapan air, pengujian modulus halus butir, pengujian berat isi gembur dan padat, dan pengujian kadar lumpur (lolos saringan no 200).

Tabel 1. Hasil Pengujian Agregat Halus

Jenis Pengujian	Hasil	Keterangan
-----------------	-------	------------



Berat Jenis Curah	2,544	
Berat Jenis SSD	2,599	
Berat Jenis Semu	2,69	
Penyerapan Air	2,145	%
Modulus Halus Butir	2,292	
Gradasi	II	Pasir agak kasar
Berat Volume Padat	1,566	gram/cm ³
Berat Volume Gembur	1,325	gram/cm ³
Lolos Ayakan NO. 200	0,8	%

2. Pengujian Agregat Kasar

Pengujian agregat kasar terdiri dari pengujian berat jenis dan penyerapan air, pengujian modulus halus butir, dan pengujian berat isi gembur dan padat.

Tabel 2. Hasil Pengujian Agregat Kasar

Jenis Pengujian	Hasil	Keterangan
Berat Jenis Curah	2,598	
Berat Jenis SSD	2,622	
Berat Jenis Semu	2,662	
Penyerapan Air	0,939	%
Modulus Halus Butir	6,596	
Gradasi	20 mm	Maks. 20 mm
Berat Volume Padat	1,440	gram/cm ³
Berat Volume Gembur	1,310	gram/cm ³

Hasil Perencanaan Campuran Beton (*Mix Design*)

Perencanaan campuran beton (*mix design*) dilakukan berdasarkan SNI 03-2834-2000.

Dalam perencanaan campuran beton pada penelitian ini $f'c$ yang digunakan sebesar 25 MPa.

Tabel 3. Hasil Perencanaan Campuran Beton (*Mix Design*)

Kode Benda Uji	Panjang serat (cm)	Semen (kg)	Agregat Halus (kg)	Agregat Kasar (kg)	Air (kg)	Serabut Kelapa (kg)
BN	0	27,751	48,939	68,562	13,876	0
BV ₂ -0,2	2	27,751	48,939	68,562	13,876	0,318
BV ₂ -0,3	2	27,751	48,939	68,562	13,876	0,477
BV ₃ -0,2	3	27,751	48,939	68,562	13,876	0,318
BV ₃ -0,3	3	27,751	48,939	68,562	13,876	0,477
BV ₄ -0,2	4	27,751	48,939	68,562	13,876	0,318
BV ₄ -0,3	4	27,751	48,939	68,562	13,876	0,477

Hasil Pengujian Slump

Slump merupakan acuan yang digunakan untuk mengetahui tingkat kemudahan pengerjaan (*workability*) pada campuran beton. Semakin besar nilai *slump*, maka teksturnya semakin cair, sehingga beton akan semakin mudah untuk dikerjakan, begitu juga sebaliknya. Beton yang baik adalah beton yang mudah untuk dikerjakan, tidak adanya pemisahan antara agregat dengan campuran (*segregasi*) dan pemisahan air dari campuran (*bleeding*). Berikut adalah hasil dari pengujian *slump* pada penelitian yang dilakukan.

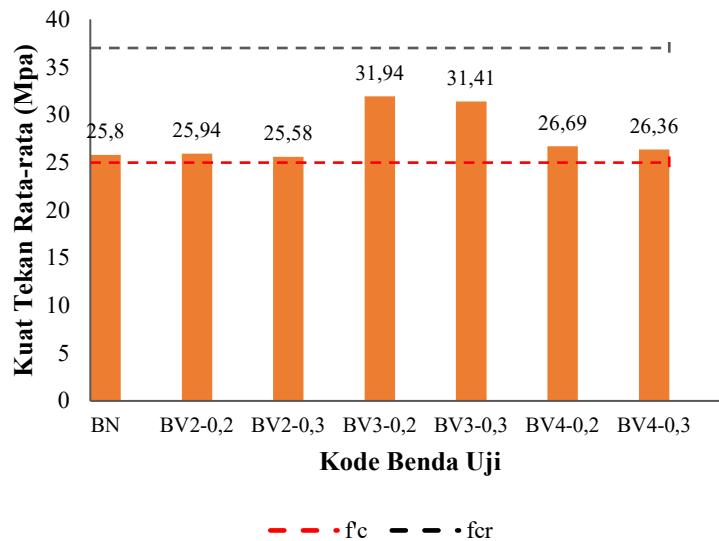
Tabel 4. Hasil Pengujian Slump Beton

Kode Benda Uji	Nilai <i>Slump</i> (cm)
BN	14,4
BV ₂ -0,2	10
BV ₂ -0,3	9
BV ₃ -0,2	8
BV ₃ -0,3	7,8
BV ₄ -0,2	7,6
BV ₄ -0,3	7

Dari hasil pengujian *slump* dapat diketahui bahwa, semakin panjang dari serabut kelapa yang digunakan pada variasi beton, maka nilai *slump*-nya akan semakin rendah. Hal ini dikarenakan penyerapan air yang terjadi pada serabut kelapa cukup besar. Sehingga sangat berpengaruh pada tekstur *slump* yang semakin kental dan berpengaruh pada tingkat kemudahan pengerjaan (*workability*) yang semakin menurun, sehingga campuran juga akan lebih sulit untuk dipadatkan dibandingkan dengan beton normal.

Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton

Pengujian kuat tekan beton pada penelitian ini dengan kuat tekan rencana sebesar 25 MPa dilakukan pada umur beton 28 hari, setelah beton melalui proses perawatan yaitu dengan direndam di dalam air. Pengujian kuat tekan dilakukan dengan alat CTM (*compression testing machine*). Sebelum dilakukan pengujian sampel terlebih dahulu dilakukan *capping* pada permukaan atas sampel beton dengan belerang, dengan tujuan untuk meratakan permukaan beton sehingga beban dari alat uji *compression testing machine* dapat terdistribusi dengan merata pada permukaan beton. Hasil pengujian kuat tekan beton dapat dilihat pada gambar 1 berikut.



Gambar 1. Grafik Pengujian Kuat Tekan

Berdasarkan Gambar 1 di atas, hasil dari pengujian kuat tekan dengan penambahan serabut kelapa, dengan variasi panjang serat yang berbeda ternyata memiliki pengaruh dalam peningkatan nilai kuat tekan pada beton, kenaikan nilai kuat tekan optimum terdapat pada beton variasi panjang 3 cm dengan kadar 0,2% (BV₃-0,2) yaitu sebesar 31,94 MPa atau mengalami kenaikan sebesar 27,76% dari kuat tekan beton yang direncanakan yaitu 25 MPa. Nilai kuat tekan minimum terdapat pada beton variasi panjang 2 cm dengan kadar 0,3% (BV₂-0,3) yaitu sebesar 25,58 MPa atau mengalami kenaikan sebesar 2,32% dari kuat tekan beton yang direncanakan yaitu 25 MPa. Berikut adalah rekapitulasi hasil kuat tekan beton dengan penambahan serabut kelapa.

Tabel 5. Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton

Variasi Benda Uji	Beban Maksimu m (kN)	Luas Penampangan (mm)	Kuat Tekan (MPa)	Kuat Tekan Rata-Rata (MPa)
BN	1	450	18121,97	24,83
	2	490	18145,84	27
	3	465	18193,62	25,56
BV2-0,2	1	445	17813,11	24,98
	2	450	17718,61	25,40
	3	485	17671,46	27,45

BV2-0,3	1	430	17931,59	23,98	25,58
	2	450	17483,47	25,74	
	3	470	17389,85	27,03	
BV3-0,2	1	575	17907,86	32,11	31,94
	2	550	17483,47	31,46	
	3	570	17671,46	32,26	
BV3-0,3	1	600	17765,83	33,77	31,41
	2	560	18050,46	31,02	
	3	520	17671,46	29,43	
BV4-0,2	1	490	17718,61	27,65	26,69
	2	480	17671,46	27,16	
	3	445	17624,37	25,25	
BV4-0,3	1	505	18026,65	28,01	26,36
	2	455	17671,46	25,75	
	3	450	17765,83	25,33	

Begitu juga dengan penelitian sebelumnya yang dilakukan (Ardiansyah, 2018). Meneliti penambahan serabut kelapa dengan kadar 0,125% dan 0,2% dari berat beton normal ke dalam campuran beton, dengan hasil penelitian nilai kuat tekan beton yang optimum terdapat pada kadar 0,2% dari berat beton normal, tetapi penambahan serabut kelapa dengan kadar 0,125% dari berat beton normal ke dalam campuran beton dinilai tidak menyebabkan penurunan pada kuat tekan beton, karena hasil nilai kuat tekan betonnya masih di atas beton yang disyaratkan yaitu sebesar 25 MPa. Penelitian ini juga semakin menguatkan penelitian (Ardiansyah, 2018), bahwa penambahan serabut kelapa dengan variasi panjang 3 cm dengan persentase 0,2% dari berat beton normal memiliki nilai kuat tekan yang paling optimum dibanding dengan variasi panjang dan persentase yang lainnya, dengan penjelasan seperti pada Tabel 6 berikut.

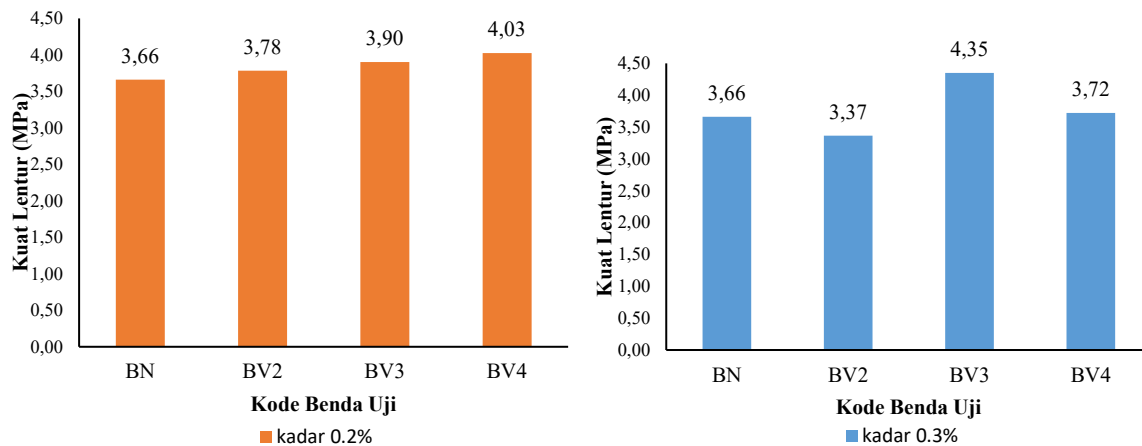
Tabel 6. Perbandingan Hasil Penelitian

Perbandingan Hasil	Adhi Sulaeman (2022)	Ardhiansyah (2018)
Variasi Panjang Serat yang dipakai	2 cm, 3 cm, dan 4 cm	3 cm, 6 cm, dan 9 cm
Persentase serat yang dipakai (dari berat beton normal)	0,2% dan 0,3%	0,125% dan 0,2%
panjang serat optimum	3 cm	3 cm
Persentase serat optimum (dari berat beton normal)	0,2%	0,2%

Hasil Pengujian Kuat Lentur Beton



Pengujian kuat lentur beton pada penelitian ini dilakukan pada umur beton 28 hari, setelah beton melalui proses perawatan yaitu dengan direndam di dalam air. Pengujian kuat lentur dilakukan dengan alat UTM (*universal testing machine*). Pengujian kuat lentur dilakukan dengan sistem pembebanan 2 titik untuk mendapatkan beban maksimum. Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan, pola keretakan yang terletak di daerah pusat (1/3 jarak peletakan). Hasil pengujian kuat lentur beton dapat dilihat pada gambar 2 berikut.



Gambar 2. Grafik Pengujian Kuat Lentur Dengan Persentase 0,2% dan 0,3% Dari Berat Beton Normal

Berdasarkan Gambar 2 diatas, hasil dari pengujian kuat lentur dengan penambahan serabut kelapa, dengan variasi panjang serat yang berbeda ternyata memiliki pengaruh dalam peningkatan nilai kuat lentur pada beton, kenaikan nilai kuat lentur optimum terdapat pada beton variasi panjang 3 cm dengan kadar 0,3% (BV₃-0,3) yaitu sebesar 4,348 MPa atau mengalami kenaikan sebesar 18,70% dari hasil kuat lentur beton normal. Nilai kuat lentur minimum terdapat pada beton variasi panjang 2 cm dengan kadar 0,3% (BV₂-0,3) yaitu sebesar 3,366 MPa atau mengalami penurunan sebesar -8,09% dari kuat lentur pada beton normal. Berdasarkan hasil pengujian kuat lentur yang dilakukan, dapat diketahui bahwa adanya peningkatan pada hasil nilai kuat lentur dengan penambahan serabut kelapa, jika dibanding dengan beton tanpa penambahan serat (beton normal). Terdapat peningkatan pada nilai kuat lentur terutama pada beton dengan kadar 0,2% dari berat beton normal, yang mengalami peningkatan secara konsisten. Berikut adalah rekapitulasi hasil kuat lentur beton.

Tabel 7. Hasil Pengujian Kuat Lentur Beton

Kode Benda Uji	Nilai Kuat Lentur				Peningkata n	Persentase Peningkata n
	1	2	3	Rata-rata		
BN	3,532	3,722	3,735	3,663	0	0,00%
BV2-0,2	3,884	3,597	3,871	3,784	0,121	3,31%
BV2-0,3	3,388	3,401	3,310	3,366	-0,296	-8,09%

BV3-0,2	3,950	3,911	3,852	3,904	0,241	6,59%
BV3-0,3	3,832	4,543	4,667	4,348	0,685	18,70%
BV4-0,2	3,964	3,713	4,401	4,026	0,364	9,93%
BV4-0,3	4,186	3,168	3,818	3,724	0,061	1,67%

Korelasi Kuat Lentur Terhadap Kuat Tekan

Dari hasil nilai kuat lentur dan nilai kuat tekan dapat diketahui korelasi (K) antara keduanya, yaitu dengan menggunakan perhitungan dengan persamaan berikut.

$$K = \frac{f_r}{\sqrt{f'_c}} \quad (3)$$

Keterangan:

f'_c = Kuat Tekan (MPa)

f_r = Kuat Lentur (MPa)

Tabel 8. Korelasi Kuat Lentur Terhadap Kuat Tekan Pada Beton

Kode Benda Uji	Kuat Lentur Rata-rata	Kuat Tekan Rata-rata	$\sqrt{f'_c}$	$K\sqrt{f'_c}$	Korelasi
BN	3,663	25,8	5,08	0,72	$0,72\sqrt{f'_c}$
BV2-0,2	3,784	25,94	5,09	0,74	$0,74\sqrt{f'_c}$
BV2-0,3	3,366	25,58	5,06	0,67	$0,67\sqrt{f'_c}$
BV3-0,2	3,904	31,94	5,65	0,69	$0,69\sqrt{f'_c}$
BV3-0,3	4,348	31,41	5,60	0,78	$0,78\sqrt{f'_c}$
BV4-0,2	4,026	26,69	5,17	0,78	$0,78\sqrt{f'_c}$
BV4-0,3	3,724	26,36	5,13	0,73	$0,73\sqrt{f'_c}$

Berdasarkan Tabel 8 di atas, dapat diketahui korelasi kuat lentur beton terhadap kuat tekan beton dari penelitian ini. Nilai korelasi yang didapat adalah sebagai berikut.

$$0,67\sqrt{f'_c} < f'_r < 0,78\sqrt{f'_c}$$

Menurut (SNI 2847:2019), nilai minimal $K\sqrt{f'c}$ adalah sebesar $0,62\sqrt{f'c}$ untuk beton normal. Adapun hasil dari penelitian terdahulu mengenai korelasi kuat lentur terhadap kuat tekan beton, oleh Pane dkk (2015). Yang menguji kuat tekan dan kuat lentur pada beton normal, dengan hasil nilai korelasi yang didapat sebesar $0,81\sqrt{f'c} < f'r < 0,83\sqrt{f'c}$. Dari hasil yang didapatkan, jika dibanding dengan penelitian yang dilakukan terdapat perbedaan nilai korelasi yang didapat. Hal ini disebabkan oleh berbagai macam faktor seperti perbedaan pada jenis sampel, agregat yang dipakai, cara pelaksanaan dan perawatan beton, dan faktor lainnya.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian, analisis data, dan pembahasan maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut.

1. Penambahan serabut kelapa ke dalam campuran beton dengan variasi panjang dan persentase tertentu ternyata dapat meningkatkan nilai kuat tekan dan kuat lentur pada beton. Nilai kuat tekan yang direncanakan sebesar 25 MPa sudah dapat terpenuhi.
2. Hasil dari pengujian pengaruh pemanfaatan campuran serabut kelapa terhadap kuat tekan dan kuat lentur pada beton adalah sebagai berikut.
 - a. Penambahan campuran serabut kelapa dengan panjang serat 3 cm dengan presentase 0,2% dari beton normal (BV₃-0,2) merupakan titik puncak tertinggi, dengan nilai kuat tekan beton rata-rata sebesar 31,94 MPa, atau mengalami kenaikan sebesar 27,76% dari kuat tekan beton yang direncanakan yaitu 25 MPa.
 - b. Penambahan campuran serabut kelapa dengan panjang serat 3 cm dengan presentase 0,3% dari beton normal (BV₃-0,3) merupakan titik puncak tertinggi, dengan nilai kuat lentur beton rata-rata sebesar 4,348 MPa, atau mengalami kenaikan sebesar 18,70% dari kuat lentur beton normal.

DAFTAR PUSTAKA

- Apriliana, A., Trinovia, A. N., Adawiah, D., Prasetyo, D. B., Muslich, Agil, M., & Nawalussalam, M. (2020). *Penggunaan Serat Ijuk Dan Sabut Kelapa Sebagai Bahan Tambahan Pada Pembuatan Beton*.
- Ardiansyah, M. D. (2018). *Pengaruh Pemanfaatan Sabut Kelapa Sebagai Material Serat Terhadap Kuat Tekan Dan Daya Serap Beton*. Universitas Islam Indonesia.
- Badan Standarisasi Nasional. (1990). *(SNI 03-1974-1990) Metode Pengujian Kuat Tekan Beton*. Jakarta.
- Badan Standarisasi Nasional. (1997). *(SNI 03-4431-1997) Metode Pengujian Kuat Lentur Beton*. Jakarta.
- Badan Standardisasi Nasional. (2000). *(SNI 03-2834-2000) Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal*. Jakarta.
- Badan Standarisasi Nasional. (2019). *(SNI 2847 – 2019) Tata Cara Perhitungan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung*. Jakarta.
- Mulyono, Tri. 2005. *Teknologi Beton*. Andi Offset. Yogyakarta.



- Pane, F.P., H. Tanudjaja, dan R. S. Windah. (2015). *Pengujian Kuat Lentur Beton Dengan Variasi Kuat Tekan Beton*. Fakultas Teknik Jurusan Sipil Universitas Sam Ratulangi. Manado.
- PBI. (1971). *Peraturan Beton Bertulang Indonesia*. Direktorat Penyelidikan Masalah Bangunan. Jakarta.
- Prahara, E., Liong, G. T., & Rachmansyah. (2015). *Analisa Pengaruh Penggunaan Serat Serabut Kelapa Dalam Pesentase Tertentu Pada Beton Mutu Tinggi*.
- Purwanto, Rahmawati, D., & Sutarno. (2021). *Pengaruh Penggunaan Serat Sabut Kelapa Terhadap Kuat Tekan Dan Kuat Lentur Beton*.
- Suhardiyono. (1988). *Tanaman Kelapa, Budidaya dan Pemanfaatannya*, Penerbit Kanisius.
- Tjokrodimuljo, K. (2007). *Teknologi Beton*. Biro Penerbit Teknik Sipil Keluarga Mahasiswa Teknik Sipil dan Lingkungan, Universitas Gadjah Mada. Yogyakarta.



PENERAPAN PRODUKSI BERSIH DENGAN METODE *LIFE CYCLE ASSESSMENT* (LCA) DI PABRIK GULA YOGYAKARTA

Khusnul Khotimah Ayuningtiyas, Nanda Henik Pratiwi dan Aulia Ulfah Farahdiba

Teknik Lingkungan, Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Jawa Timur, Surabaya

Email: auliaulfah.tl@upnjatim.ac.id

ABSTRAK

Proses produksi gula memiliki signifikansi dampak yang ditimbulkan pada lingkungan. Metode Life Cycle Assessment (LCA) dilakukan untuk mengidentifikasi beban lingkungan dan mengevaluasi dampak lingkungan dari suatu produk dengan acuan ISO 14040/14044. Penelitian ini melakukan kajian dengan penilaian daur hidup yang terdiri dari penentuan Goal and Scope, Life Cycle Inventory, Life Cycle Impact Assessment, dan interpretasi data. Batasan dalam penelitian ini adalah Gate to Gate, dimulai dari stasiun penggilingan hingga stasiun penyelesaian (pengeringan) dan stasiun ketel (pembangkit listrik). Metode yang digunakan IMPACT 2002+ dengan Software SimaPro 9.0.0.47. Dari penelitian ini, diketahui bahwa faktor yang paling berpengaruh adalah carcinogens, non-carcinogens, and inorganic respiration. Dimana faktor-faktor tersebut terdapat pada stasiun penggilingan hingga pemurnian atau proses yang menghasilkan produk berupa nira penggilingan sampai nira pemanasan. Sehingga dibutuhkan alternatif untuk mengatasi dampak lingkungan tersebut.

Kata kunci: *Life Cycle Assesment, Gula, Produksi Bersih, Impact 2002+, Gate to Gate*

Pendahuluan

Produksi bersih merupakan strategi pengelolaan lingkungan yang bersifat preventif, terpadu dan berkelanjutan pada setiap kegiatan mulai dari hulu ke hilir yang berkaitan dengan proses produksi, produk dan jasa untuk meningkatkan efisiensi penggunaan sumberdaya alam, mencegah terjadinya pencemaran lingkungan dan mengurangi terbentuknya limbah pada sumbernya sehingga dapat meminimasi resiko terhadap kesehatan dan keselamatan manusia serta kerusakan lingkungan.

Menurut ISO 14040, LCA adalah sebuah teknik yang digunakan untuk melakukan assessment terhadap dampak lingkungan yang berhubungan dengan suatu produk. LCA sering digunakan dalam industri sebagai alat untuk mengukur dampak dari produksi yang dilakukan. Terdapat batasan-batasan dalam analisis LCA yaitu cradle to grave, cradle to gate, gate to grave, dan gate to gate.

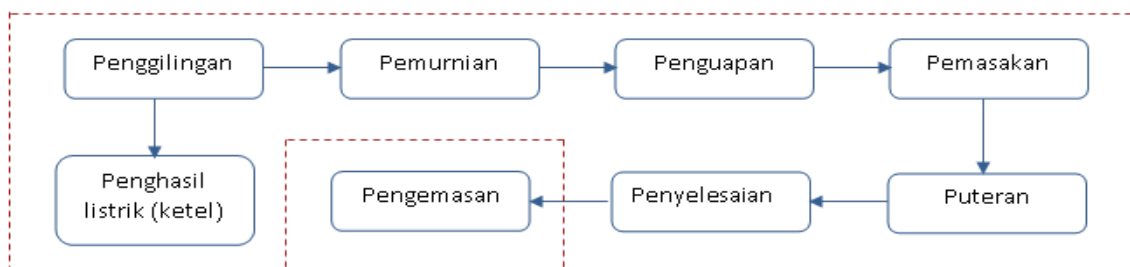
Pabrik Gula dalam proses produksinya terdapat dampak yang ditimbulkan untuk lingkungan. (WBCSD 2006 dalam Devia et al., 2017). Seperti yang diketahui bahwa dalam proses pembuatan gula pasir membutuhkan bahan baku berupa tebu. Dan tentunya tebu yang sudah digunakan akan menjadi limbah yang disebut ampas tebu. Banyaknya produksi gula akan mempengaruhi jumlah ampas tebu yang dihasilkan. Selain limbah ampas tebu, tentunya ada juga aspek yang berdampak negatif terhadap lingkungan. Oleh karena itu, perlu dilakukan analisis studi LCA untuk mengetahui dampak dan mengevaluasi proses produksi.

Metodologi

Penelitian ini menganalisis besarnya dampak lingkungan yang ditimbulkan oleh proses produksi pada pabrik gula dengan menggunakan metode *Life Cycle Assessment*. Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data sekunder, berupa jumlah bahan baku industri gula, bahan tambahan, dan energi yang digunakan pada setiap proses. Pengolahan data dibantu oleh software Simapro 9.0.0.47 dan metode yang digunakan adalah IMPACT 2002+. Tahapan analisis dengan menggunakan metode *Life Cycle Assessment* adalah penentuan *Goal and Scope*, *Life Cycle Inventory*, *Life Cycle Impact Assessment*, dan *Interpretation*.

Goal and Scope

Kajian yang dilakukan pada studi LCA ini dengan batasan analisis Gate to Gate. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui seberapa besar dampak lingkungan dari proses produksi gula di Pabrik Gula sehingga diharapkan dapat mengurangi dampak lingkungan yang ditimbulkan. Berikut ini adalah ruang lingkup analisis yang dilakukan:



Gambar 1 Ruang Lingkup Proses Analisis Produksi Gula

Life Cycle Inventory (LCI)

Tahap pengumpulan data material produksi, produk, dan emisi atau limbah yang dihasilkan disebut Life Cycle Inventory. Data ini yang digunakan sebagai acuan untuk memperoleh dampak lingkungan di tahap selanjutnya (Life Cycle Impact Assessment). Data yang digunakan adalah data bahan baku, kebutuhan listrik tiap proses produksi, dan produk yang dihasilkan dari tiap proses produksi satu ton gula.

Tabel 2 Data Inventori Produksi Gula

Aktivitas	Proses	Input			Output		
		Nama	Jumlah	Satuan	Nama	Jumlah	Satuan
Stasiun Penggilingan	Gilingan	Tebu	14.29	ton	Ampas	5	ton
		Air imbibisi	4.285	ton	Nira	13.57	ton
		Energi	15.9	kWh	Suhu	70	°C
	0.41		kWh				
	Penampungan	Nira	13.57	ton/hari	Nira mentah	13.57	ton
		H ₃ PO ₄ (85%)	0.00191	ppm	P ₂ O ₅	300	ppm
		Listrik	15.9	kWh	Suhu	30	°C
		pH	6.8		pH	6.8	
		Suhu	70	°C			

Stasiun Pemurnian	Pemanasan 1	Nira	13.57	ton	Nira mentah	13.57	ton
		Energi	15.9	kWh	Suhu	75	°C
			0.18	kWh	pH	7.2	
		P ₂ O ₅	300	ppm			
		pH	5.5				
	Suhu	30	°C				
	Pemurnian	Nira Mentah	13.57	ton	Nira Campura n	2700	ton
		Ca(OH) ₂	0.328	ton	Suhu	40	°C
		Gas Belerang (SO ₂)	0.014	ton	pH	7.2	
		Listrik	15.9	kWh			
		pH	7.2				
	Pemanasan 2	Nira Campuran	13.57	Ton	Nira Campura n	13.57	ton
		Energi	15.9	kWh	Suhu	100	°C
			0.14	kWh	pH	7.2	
		Suhu	75	°C			
		pH	7.2				
	Clarifier	Nira Campuran	13.57	Ton	Nira murni	12.86	ton
		P ₂ O ₅	300	ppm	Blotong	0.714	ton
		Listrik	15.9	kWh	Suhu	75	°C
		Suhu	100	°C	pH	7.2	
pH		7.2					
Stasiun Penguapa n (evaporasi)	Pemanasan 3	Nira Murni	12.86	ton	Nira Murni	12.86	ton
		Energi	15.9	kWh	Suhu	105	°C
			0.067	kWh	pH	7.2	
		Suhu	100	°C			
	pH	7.2					
	Penguapan	Nira Murni	12.86	ton	Nira Kental	3	ton
Energi		15.9	kWh	Uap Air	8.86	ton	

			0.66	kWh	pH	5.6	
		pH	7.2		Suhu	75	°C
		Suhu	105	°C			
Stasiun Pemasakan	Pemasakan	Nira Kental	3	ton	Kristal Gula	4.57	ton
		Energi	15.9	kWh	Larutan (stroop)	3.24	ton
			0.46	kWh	Suhu	75	°C
		pH	5.6				
		Suhu	75	°C			
Stasiun Puteran	Puteran	Kristal Gula	4.57	ton	Gula SHS	1	ton
		Larutan (stroop)	3.24	ton	Tetes	0.23	ton
		Energi	15.9	kWh	Suhu	75	°C
			0.06	kWh			
		pH	5.6				
Suhu	75	°C					
Stasiun Penyelesaian	Pengeringan	Gula SHS	1	ton	Gula jadi	1	ton
		Suhu	85	°C			
		Listrik	15.9				
Stasiun Ketel	Boiler	Ampas	5	ton	Energi Uap	1.93	kWh
					Abu kering	0.571	ton
					NO ₂	169.8	mg/m ₃
					SO ₂	111.2	mg/m ₃
					Partikel	217.2	mg/m ₃

Life Cycle Impact Assessment (LCIA)

Tujuan dari LCIA adalah untuk mengelompokkan dan melakukan penilaian terhadap besar dampak lingkungan yang ditimbulkan dari proses produksi. Untuk mengetahui dampak tersebut, dilakukan running dengan metode IMPACT 2002+. Pada tahap LCIA ini juga terdapat 4 tahap, antara lain :

Characterization

Pada tahap ini dilakukan perhitungan dari setiap hasil *inventory* dengan faktor karakterisasi yang sesuai pada kategori tersebut. Perhitungan diolah untuk menghasilkan sebuah skor atau kontribusi (dalam presentase) dimana untuk setiap kategori dampak (*impact category*) pada proses produksi pabrik.

Damage Assessment

Pada tahap ini akan dilakukan karakterisasi nilai-nilai dari *life cycle inventory* sebelumnya ke dalam beberapa *environmental damage category* yang ada pada metode IMPACT 2002+. Terdapat lima belas *impact category* yang ada dikelompokkan ke dalam empat *damage category*, yaitu *Human Health*, *Ecosystem Quality*, *Climate Change*, *Resources*.

Normalization

Pada tahap ini, terdapat proses penyamaan satuan dari setiap dampak yang dihasilkan. Proses tersebut dilakukan dengan mengalikan nilai dari tahap *characterization* dengan nilai *normalization*.

Wighting/Single Score

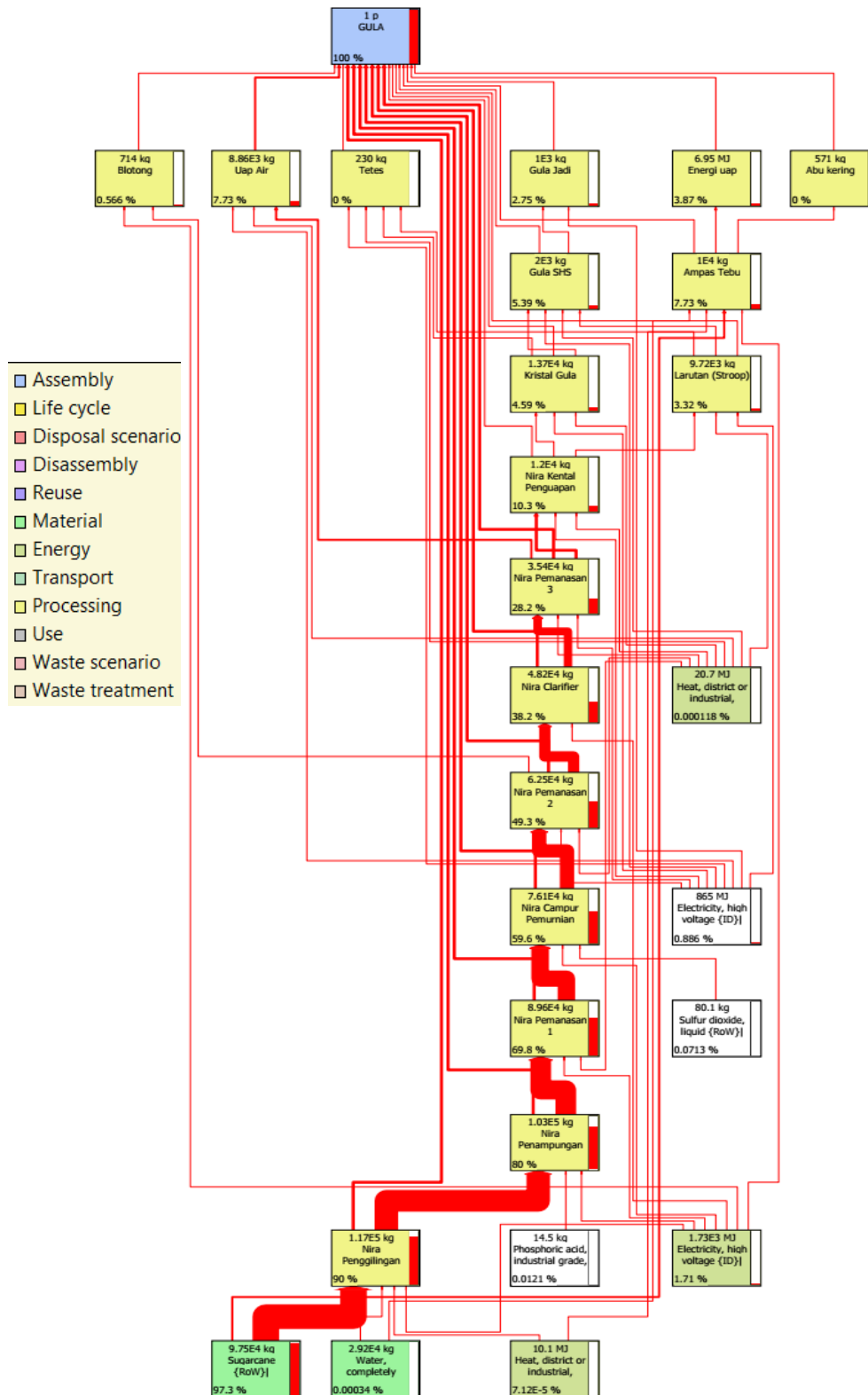
Pada penilaian *weighting* ini, nilai *impact* yang telah didapatkan dari proses *normalization* akan dikalikan dengan faktor bobot yang mengekspresikan kepentingan relatif untuk masing-masing *damage category*

Interpretasi Data

Tujuan dari interpretasi ini adalah untuk mengidentifikasi tahap *life cycle* yang pada keadaan tertentu dapat mengurangi *environmental impact* pada sistem atau produk dan menganalisis hal tidak pasti yang terlibat.

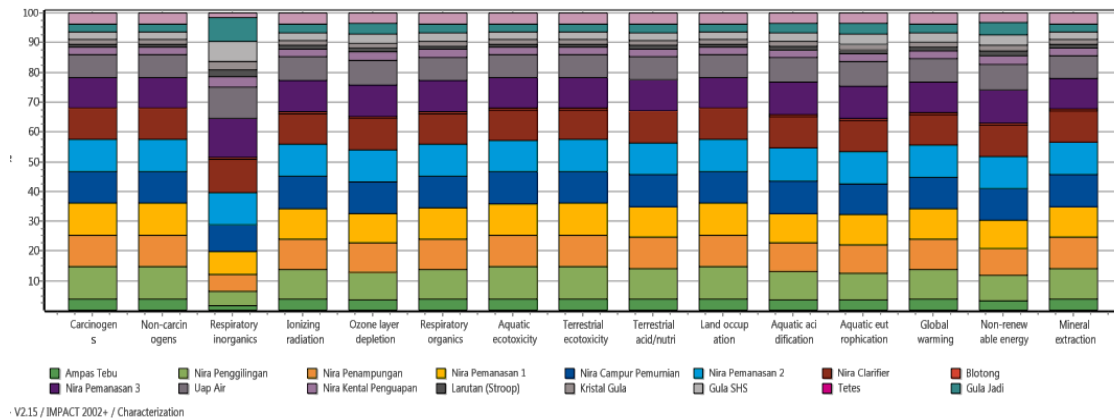
Hasil dan Pembahasan

Hasil output dari input data inventori adalah berupa diagram alir yang berisikan material gula hasil proses produksi yang kemudian dihubungkan. Diagram alir (*flowchart*) hasil output SimaPro dari proses produksi PG PT X dapat dilihat berikut ini :



Gambar 2 Network Results *Life Cycle Assessment* Produksi Gula
 Characterization

Pada tahap *characterization* dilakukan perhitungan dari setiap hasil *inventory*. Dengan menggunakan metode IMPACT 2002+ diperoleh hasil berdasarkan 15 kategori. Perhitungan *Characterization* menunjukkan skor tiap kategori dampak yang dihasilkan oleh karakteristik proses pabrik gula nilai kategori dampak diperoleh dari kontribusi setiap produksi 1 ton gula.



Gambar 3 Output Grafik *Characterization Impact Category*

Damage Assessment

Tahapan selanjutnya yaitu mengevaluasi dampak dari 15 karakterisasi berdasarkan empat penilaian kerusakan. Empat penilaian kerusakan tersebut adalah *human health*, *ecosystem quality*, *climate change*, dan *resource*. Penilaian empat kerusakan tersebut digunakan sebagai pertimbangan untuk mengambil keputusan dalam memperbaiki dampak lingkungan yang dihasilkan. Berikut adalah gambar tabel hasil *output damage assessment*.

Tabel 2 Hasil Analisa *Damage Assessment* Proses Produksi Gula

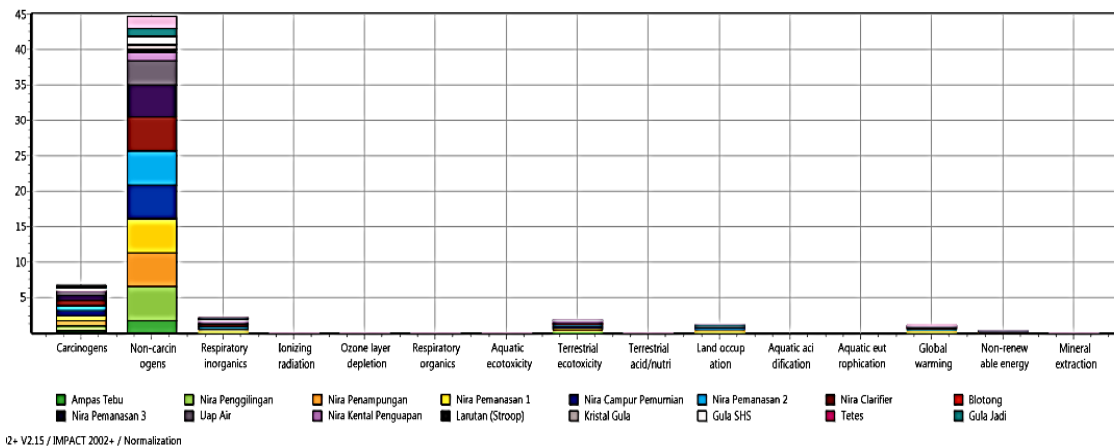
Damage category	Unit	Total
Human Health	DALY	0.38
Ecosystem quality	PDF*m2*yr	4.22E4
Climate change	Kg CO2 eq	1.06E4
Resources	MJ primary	5.09E4

Dari hasil yang didapatkan, poin *resources* memiliki dampak yang terbesar dalam kategori *Resources* merupakan dampak yang berpengaruh terhadap kerusakan sumber daya yang akan dialami oleh generasi yang akan datang atau ketersediaan sumber daya yang tak bisa digantikan. *Output* total dari dampak yang ditimbulkan sebesar $5,09 \times 10^4$ MJ Primary. Satuan MJ Primary adalah jumlah energi dasar yang dibutuhkan untuk mengekstraksi suatu sumber daya alam.

Normalization

Tahap ini digunakan untuk menyamakan unit di semua kategori dampak, yang disebut tahap normalisasi. Menyamakan satuan memudahkan untuk membandingkan nilai

setiap kategori dampak saat menganalisis. Pada tahap ini, dampak lingkungan tertinggi dapat diidentifikasi.

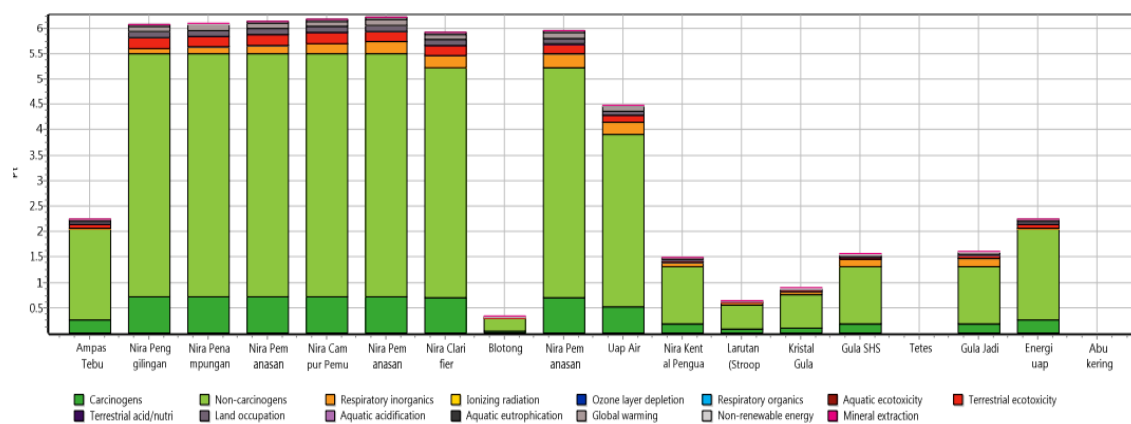


Gambar 4 Output Grafik Normalization Impact Category

Dari hasil di atas terlihat bahwa 3 kategori dampak tertinggi dari produksi 1 ton gula adalah dampak *non carcinogens*, *carcinogens*, dan *respiratory inorganic*. Dampak *non carcinogens* menyumbang 44.7. Sedangkan kategori dampak *carcinogens* menyumbang 6.76, dan dampak *respiratory inorganic* menyumbang 2.13. Tahap ini merupakan tahap pemerataan satuan dari tahap karakterisasi sehingga tidak ada satuan yang digunakan dalam tabel.

Weighting & Single Score

Tahap pembobotan atau tahap pembobotan dari *Life Cycle Impact Assessment*. Tahap ini memberikan bobot atau nilai relatif untuk kategori dampak yang berbeda berdasarkan tingkat kepentingan yang berhubungan.



Gambar 5 Output Grafik Weighting & Single Score Impact Category

Berdasarkan hasil running yang telah didapatkan, dampak *non-carcinogens* pada produk nira penggilingan hingga produk nira pemanasan 2 untuk produksi gula merupakan dampak lingkungan terbesar dibandingkan dampak lainnya dengan nilai dampak yang dihasilkan sebesar 4.78 Pt. Selanjutnya *carcinogens* pada produk nira pemanasan 2 dan nira campuran memberikan pengaruh sebesar 0.723 Pt dan pada produk nira penggilingan hingga produk nira pemanasan 1 memberikan pengaruh sebesar 0.722 Pt. Untuk dampak terakhir yaitu *respiratory inorganic* pada produk nira

pemanasan 3 dengan nilai dampak 0.274 Pt. Satuan yang digunakan dalam *output weighting software* SimaPro adalah Pt (point). Untuk skala 1 Pt mewakili satu beban lingkungan tahunan dari satu populasi rata-rata Eropa.

Interpretasi

Tahap terakhir dalam analisis LCA adalah Interpretasi. Interpretasi adalah tahapan interpretasi dari semua tahapan sebelumnya. Pada tahap ini dilakukan analisis dampak lingkungan dan substansi penyebab dampak lingkungan tersebut.

Analisis dampak lingkungan

Kategori dampak yang dianalisis dari *Life Cycle Assessment* (LCA) Pabrik Gula adalah kategori dampak yang berkaitan dengan kesehatan manusia meliputi *carcinogens*, *non carcinogens*, dan *respiratory inorganic*. Kategori ini dipilih karena memiliki dampak paling tinggi terhadap proses produksi pabrik gula PT X.

1. *Carcinogens*

Carcinogens merupakan salah satu dampak yang cukup berbahaya karena dapat menyebabkan kanker. Dampak *carcinogens* terjadi karena adanya bahan kimia seperti aldrin, arsenik, dan hidrokarbon. Aldrin merupakan bahan kimia berbahaya yang tidak larut dalam air, terkandung dalam pestisida dan dapat terakumulasi di dalam tanah (Mulyadi et al., 2011).

Pada dampak ini yang memiliki nilai terbesar yaitu hydrocarbons aromatic sebesar 6.81E3 kg C₂H₃Cl eq. Dimana bahan kimia tersebut berasal dari sisa pembakaran (asap), yang diduga dari asap cerobong ketel uap.

2. *Non-carcinogenic*

Dampak non-karsinogenik terdeteksi karena adanya bahan kimia seperti aldrin, arsenik, dan seng. Dimana ketiga bahan kimia tersebut terkandung di dalam tanah. Artinya, dampak non karsinogenik pada proses produksi tebu berasal dari proses penanaman (perkebunan tebu), yaitu dari sisa residu pestisida yang digunakan.

3. *Respiratory Inorganic*

Respiratory Inorganic merupakan salah satu kategori dampak lingkungan terhadap kesehatan manusia khususnya pada saluran pernapasan. Dampak tersebut disebabkan oleh polutan di udara seperti partikulat atau debu. Penyumbang terbesar dampak ini terletak pada proses pemanasan dan pencampuran bahan kimia di stasiun pemurnian. Penyebab utama respirasi anorganik adalah penggunaan listrik, hal ini dikarenakan proses pembuatan energi listrik di Indonesia masih didominasi dengan penggunaan batubara sebagai bahan bakar, sehingga banyak menghasilkan emisi debu dari hasil pembakaran. Selain itu, penambahan gas SO₂ pada proses pemurnian menyebabkan gas menguap dan bercampur dengan udara ambien.

Alternatif Program Perbaikan

Pemilihan alternatif program perbaikan dilakukan guna mengurangi dampak lingkungan dari proses produksi gula. Berikut merupakan beberapa pilihan rekomendasi program perbaikan yang bisa dilakukan:

- 1) Mengurangi penggunaan listrik yang berasal dari PLN (Perusahaan Listrik Negara), dimana listrik PLN ini berbahan bakar fosil batu bara dan mengganti dengan Alternatif fuel. Mengurangi jumlah batu bara dan diganti dengan *Refused Derive Fuel* (RDF) yang mempunyai nilai kalor hampir sama dengan batu bara. Nilai kalor batu bara sebesar 0,000018 TJ/kg (Permen LH No.12 Tahun 2012). Sedangkan RDF memiliki nilai kalor sebesar 0,000022 TJ/kg. Bahan bakar RDF ini dibuat

dengan memanfaatkan sampahsampah yang ada. Selain sebagai bahan bakar, alternatif RDF juga dapat untuk mengurangi jumlah timbulan sampah seperti karung.

- 2) Memanfaatkan ampas tebu menjadi energi listrik tenaga biogas sebagai pengganti listrik PLN untuk sumber energi penerangan dan kegiatan operasional kantor
- 3) Membentuk tim manajemen khusus untuk energi. Tim ini bertujuan untuk memantau perkembangan penggunaan energi di pabrik gula

Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat diambil dari analisis LCA pada pabrik gula PT X adalah sebagai berikut:

- 1) Ruang lingkup sistem analisis LCA di Pabrik Gula PT X adalah *gate to gate*, mulai dari proses produksi milling station sampai finishing station (pengeringan) dan boiler station (pembangkit listrik) menggunakan metode IMPACT 2002+
- 2) Dampak tertinggi yang ditimbulkan oleh proses produksi gula adalah *carcinogens*, *noncarcinogens*, dan *respiratory inorganic*. Proses yang paling berpengaruh pada dampak yaitu proses penggilingan sampai pemurnian atau proses yang menghasilkan produk berupa nira penggilingan sampai dengan nira pemanasan

DAFTAR PUSTAKA

- Azis, Riyan Abdul. (2020). Analisis Dampak Lingkungan Produksi Kayu Lapis Dengan Metode Life Cycle Assessment. *Skripsi*. Universitas Muhammadiyah Magelang.
- Devia, D., Lestari, P., & Sembiring, E. (2017). *Life Cycle Assessment (LCA) Produk Semen Portland Komposit (Studi Kasus : PT X) Life Cycle Assessment Of Portland Cement Composite (Case Study : PT X)*. 23, 1–10
- GaBi, 2011. Handbook for Life Cycle Assessment (LCA) Using the GaBi Software, PE International, Leinfelden-Echterdingen Germany.
- Harjanto, Taufan Ratri, dkk. (2012). Life Cycle Assessment Pabrik Semen PT Holcim Indonesia Tbk. Pabrik Cilacap: Komparasi antara Bahan Bakar Batubara dengan Biomassa. *Jurnal Rekayasa Proses*. 6:2 hlm. 51 – 58.
- Hermawan, Marzuki, F. P., Abduh, M., & Driejana, R. (2013). Peran Life Cycle Assessment (LCA) pada Material Konstruksi dalam Upaya Menurunkan 41 Dampak Emisi Karbon Dioksida pada Efek Gas Rumah Kaca (031K). *Surakarta: Konferensi Nasional Teknik Sipil 7 (KoNTeKS 7) Universitas Sebelas Maret (UNS)*.
- Khalid, M., Syukri, M., & Gapy, M. (2016). Pemanfaatan Energi Panas Sebagai Pembangkit Listrik Alternatif Berskala Kecil Dengan Menggunakan Termoelektrik. *Karya Ilmiah Teknik Elektro*, 1(3), 57–62.
- Mulyadi, Indratin, & Harsanti, E. S. (2011). Senyawa POPs Aldrin dan Endosulfan pada Air Sungai DAS Citarum Hulu , Jawa Barat. *Seminar Nasional Pendidikan Biologi Dan Saintek II*.
- Nurhadi. (2018). "BAB IV - UMY Repository". <http://repository.umy.ac.id/bitstream/handle/123456789/21344/h.%20BAB%20I%20V.pdf?squence=8&isAllowed=y>. Diakses tanggal 3 September 2021

- Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Nomor. 12 Tahun 2012 tentang Pedoman Perhitungan Beban Emisi Kegiatan Industri
- Putri, Harmira Primanda. (2017). Life Cycle Assessment (LCA) Emisi Pada Proses Produksi Bahan Bakar Minyak (BBM) Jenis Bensin Dengan Pendekatan Metode Analytical Hierarchy Process (AHP). *Skripsi*. Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.
- Sapti, Mujiyem. (2019). "Bab IV Pengumpulan Dan Pengolahan Data". <https://dspace.uui.ac.id/bitstream/handle/123456789/12394/05.%204%20Bab%20IV.pdf?sequence=8&isAllowed=y>. Diakses tanggal 3 September 2021
- Windrianto, Y, dkk. (2016). Pengukuran Tingkat Eko-Efisiensi Menggunakan Metode Life Cycle Assessment (LCA) untuk Menciptakan Produksi Batik yang Efisien dan Ramah Lingkungan (Studi Kasus di UKM Sri Kuncoro Bantul). *Jurnal Optimasi Sistem Industri*. 9(2). hlm. 143–149.
- Yoga, B. A. (2014). *Analisis Kualitas Air Tanah Dengan Parameter Cod Di Sekitar Pabrik Gula Madukismo Kecamatan Kasihan Kabupaten Bantul Yogyakarta*. 20, 1–3.



MANAJEMEN PEMANFAATAN BAHAN ALAMIAH DAN MATERIAL BEKAS UNTUK BANGUNAN MENUJU PEMBANGUNAN BERKELANJUTAN

Supriyanta¹

¹ Jurusan Arsitektur, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta

supriyanta@uii.ac.id

ABSTRAK

Pembangunan berkelanjutan menuntut bangunan yang ramah lingkungan. Konstruksi bangunan dan bangunan harus menggunakan bahan yang ramah lingkungan. Material industri seperti semen, baja, kaca dan lain-lain terkadang kurang ramah lingkungan. Limbah yang dihasilkan juga merupakan masalah lingkungan. Demikian pula daur ulang dan bahan limbah kini menjadi masalah yang perlu mendapat perhatian dan penanganan yang serius. Bahan alam sebagai alternatif bangunan merupakan bahan bangunan yang ramah lingkungan dari daur ulang dan dapat digunakan untuk mengatasi beberapa permasalahan lingkungan. Misalnya, bahan-bahan alami seperti tanah, pasir, bambu jerami, dan lain-lain dapat digunakan untuk material bangunan. Demikian pula barang-barang bekas seperti botol bekas, kertas daur ulang dapat digunakan kembali menjadi bangunan yang menarik dan ramah lingkungan. Penggunaan bahan alam dan bahan daur ulang membutuhkan ilmu pengetahuan dan teknologi bangunan serta pemikiran yang kreatif dan inovatif untuk dapat mewujudkan bangunan yang ramah lingkungan.

Kata kunci: bahan alamiah, material bekas dan ramah lingkungan

PENDAHULUAN

Manusia sebagai makhluk ciptaan Allah subhanahu wa ta'ala mempunyai tugas ganda yaitu menjadi *abdullah* (abdi Tuhan) dan *khalifah fil ardh* (wakil Tuhan di bumi). Tugas manusia adalah menjaga dan memelihara bumi agar tetap lestari bukan sebaliknya. Allah *subhanahu wa ta'ala* telah memerintahkan kepada manusia untuk berbuat baik pada lingkungan dan melarang berbuat kerusakan di muka bumi. Sebagaimana firman-Nya dalam Al Qur'an surat Al Baqoroh ayat 11:

وَإِذَا قِيلَ لَهُمْ لَا تُفْسِدُوا فِي الْأَرْضِ قَالُوا إِنَّمَا نَحْنُ مُصْلِحُونَ ﴿١١﴾

"Dan bila dikatakan kepada mereka: "Janganlah kamu membuat kerusakan di muka bumi". mereka menjawab: "Sesungguhnya kami orang-orang yang mengadakan perbaikan."

Sifat serakah yang ada pada diri manusia sering menyebabkan kerusakan lingkungan hidup. Saat ini telah tampak dengan nyata kerusakan lingkungan hidup tersebut. Isu lingkungan kontemporer seperti pemanasan global, degradasi lingkungan global, kenaikan emisi dan lain-lain telah sangat mengemuka. Hal tersebut terjadi karena ulah manusia.

Dalam Al Qur'an surat Ar Ruum: 41, Allah berfirman:

ظَهَرَ الْفَسَادُ فِي الْبَرِّ وَالْبَحْرِ بِمَا كَسَبَتْ أَيْدِي النَّاسِ لِيُذِيقَهُمْ بَعْضَ

الَّذِي عَمِلُوا لَعَلَّهُمْ يَرْجِعُونَ ﴿٤١﴾

“Telah nampak kerusakan di darat dan di laut disebabkan karena perbuatan tangan manusia, supaya Allah merasakan kepada mereka sebahagian dari (akibat) perbuatan mereka, agar mereka kembali (ke jalan yang benar)”

Kerusakan lingkungan yang diakibatkan oleh tangan-tangan manusia akhirnya akan kembali kepada manusia itu sendiri sebagai bencana. Oleh karena itu untuk menghindari bencana yang akan datang akibat kerusakan lingkungan, manusia perlu memperbaiki diri termasuk menjaga lingkungan agar tetap lestari. Salah satu cara menjaga lingkungan yang baik adalah dengan mengolah sampah atau limbah yang dapat menyebabkan kerusakan lingkungan. Sampah baik organik maupun anorganik jika dibiarkan menumpuk akan menimbulkan masalah bahkan dapat menyebabkan bencana. Konsep 3R (*recycle, reduce, reuse*) dapat diterapkan untuk mengurangi masalah tersebut di atas. *Recycle* berarti mendaur-ulang barang-barang yang dulu pernah digunakan dan sekarang dapat digunakan kembali. *Reduce* berarti mengurangi pemakaian bahan-bahan yang berbahaya bagi lingkungan. *Reuse* berarti menggunakan barang yang pernah digunakan atau memanfaatkan barang bekas untuk dipakai kembali.

Pemanfaatan bahan alamiah dan barang bekas menjadi material daur ulang dapat diterapkan dalam bidang arsitektur khususnya membangun bangunan yang ramah lingkungan. Hal ini diharapkan menjadikan pembangunan berkelanjutan. Pertanyaan yang timbul adalah bahan alamiah dan barang bekas apa sajakah yang dapat digunakan sebagai bahan bangunan ramah lingkungan untuk membangun bangunan yang berkelanjutan? Apa kriteria bahan bangunan yang ramah lingkungan? Tulisan ini akan mencoba menjawab pertanyaan tersebut.

KAJIAN TEORI

Pembangunan berkelanjutan

Pembangunan berkelanjutan secara ringkas dapat dipahami sebagai keseimbangan antara nilai lingkungan, ekonomi, dan sosial. Dalam buku James Steele, *Sustainable Architecture*, Arsitektur berkelanjutan diartikan sebagai konsep rancangan yang memenuhi kebutuhan sekarang tanpa mengancam keberlangsungan generasi di masa depan dalam memenuhi kebutuhan hidupnya kelak. Secara general, arsitektur berkelanjutan diartikan sebagai konsep untuk mempertahankan sumber daya alam agar dapat lestari, berkaitan dengan jangka waktu potensi vital sumber daya alam dan lingkungan ekologi manusia, khususnya arsitektur. *Sustainable Architecture* dipahami sebagai cara untuk meminimalisir dampak negatif lingkungan dari bangunan dengan peningkatan efisiensi dan pemilahan dalam penerapan ruang, energi, dan material. Kesadaran akan keberlangsungan lingkungan menjadi konsep dasar yang dipenuhi untuk membuat pembangunan yang memperhatikan kelestarian generasi mendatang.

Arsitektur sebagai ranah yang strategis dalam meninjau pendekatan pembangunan berkelanjutan yang menjadi bagian proses pembangunan. Dalam konsepnya, hal ini terkait dengan kebutuhan rancangan yang inovatif untuk mencapai keharmonisan lingkungan sekitar dan bangunan. Penerapan arsitektur berkelanjutan menyangkut nilai-nilai teknis, sosial, moral, dan ekologis. Dalam mencapai rahmat bagi lingkungan sekitar,

arsitektur berkelanjutan mempertimbangkan nilai-nilai lingkungan hidup sekaligus keislaman dalam lingkup agama islam yang rahmatan lil alamin (Supriyanta, 2018: 4)

Arsitektur berkelanjutan memiliki fokus baik dari segi disiplin ilmu maupun dalam disiplin produk berkelanjutan. (Williamson Et al:2003) Beberapa konsep pembangunan berkelanjutan yang dikemukakan dalam Laporan Komisi Dunia untuk Lingkungan dan Pembangunan (1987):

1. Pembangunan berkelanjutan dalam masyarakat melalui pemenuhan kebutuhan dasar semua orang dengan perluasan kesempatan dalam memenuhi aspirasi kehidupan yang lebih baik.
2. Pembangunan berkelanjutan memerlukan promosi terkait nilai-nilai yang dapat mendorong standar konsumsi yang berada dalam batas kemungkinan pada ekologis yang dapat dicita-citakan semua orang.
3. Pembangunan berkelanjutan memiliki syarat bahwa masyarakat harus memenuhi kebutuhan manusia dengan peningkatan potensi produktivitas dengan memastikan kesempatan yang adil bagi semua orang.
4. Pembangunan berkelanjutan dapat dicapai jika pembangunan demografis sejalan lurus dengan potensi produktif ekosistem yang selalu berubah-ubah.
5. Pembangunan berkelanjutan tidak diperbolehkan membahayakan sistem alam yang berperan sebagai pendukung kehidupan di bumi mulai dari atmosfer, air tanah dan makhluk hidup.
6. Pembangunan berkelanjutan mensyaratkan kepada dunia dimana harus memastikan akses yang adil menuju sumber daya terbatas dan mengarahkannya pada teknologi untuk menghilangkan anggapan tersebut.
7. Sumber daya terbarukan seperti hutan tidak akan habis asalkan dalam penggunaannya dalam batas regenerasi dan pertumbuhannya secara alami. Hasil maksimal harus ditetapkan setelah perhitungan dari efek eksploitasi sistem.
8. Untuk sumber daya tak terbarukan, pembangunan berkelanjutan mensyaratkan bahwa tingkat penipisan harus menutup sesedikit mungkin pilihan di masa depan.
9. Pembangunan cenderung menyederhanakan ekosistem dan mengurangi keanekaragaman spesiesnya. Pembangunan berkelanjutan membutuhkan konservasi spesies tumbuhan dan hewan.
10. Dampak buruk pada kualitas udara, air dan elemen alam lainnya diminimalkan untuk mempertahankan integritas ekosistem secara keseluruhan dapat disyaratkan dalam pembangunan berkelanjutan

Pembangunan berkelanjutan akan diterapkan dalam arsitektur berkelanjutan, yaitu dengan konsep untuk mempertahankan sumber daya alam hingga sumber daya manusianya agar dapat bertahan lebih lama. Pembangunan ini dengan prinsip berkelanjutan memiliki tiga kata kunci yaitu: Pembangunan, kebutuhan dan generasi mendatang. (Sarjono, dkk:2017)

Hendrickson dan Hovart (2000) dalam Ervianto (2012) bahwa lingkungan itu sangat dipengaruhi oleh proses konstruksi. Arsitektur akan menggunakan sebagian besar sumber daya yang berasal dari lingkungan sehingga akan menimbulkan dua dampak yaitu baik dan buruk terhadap lingkungannya.

Arsitektur sebagai ranah yang strategis dalam meninjau pendekatan pembangunan berkelanjutan yang menjadi bagian proses pembangunan. Dalam konsepnya, hal ini terkait dengan kebutuhan rancangan yang inovatif untuk mencapai keharmonisan lingkungan sekitar dan bangunan. Penerapan arsitektur berkelanjutan menyangkut nilai-nilai teknis, sosial, moral, dan ekologis. Dalam mencapai rahmat bagi lingkungan sekitar,

arsitektur berkelanjutan mempertimbangkan nilai-nilai lingkungan hidup sekaligus keislaman dalam lingkup agama islam yang rahmatan lil alamin (Supriyanta, 2018: 4)

Bahan Bangunan Ramah Lingkungan

Bahan bangunan ramah lingkungan adalah bahan bangunan yang proses perubahan transformasi atau teknologinya makin sedikit, tidak merusak lingkungan dan tidak mengganggu kesehatan manusia.

Material bangunan yang ramah lingkungan harus memenuhi kriteria, yaitu : dapat diperbaharui (*renewable*), dapat digunakan kembali (*reuse*), dapat didaur ulang (*recycle*)

Berikut adalah macam-macam bahan bangunan ramah lingkungan, yaitu :

Bahan bangunan yang dapat dibudidayakan kembalikan (regeneratif) : kayu, bambu, rumbia, rotan, alang-alang, dll.

Bahan bangunan alam yang dapat digunakan kembali (recycling) : tanah, pasir, kapur, batu, dll.

Bahan bangunan buatan yang dapat digunakan kembali dalam fungsi yang berbeda. bahan bangunan ini didapat dari limbah : kardus, kaleng, botol-botol bekas.

Bahan bangunan alam yang mengalami perubahan transformasi sederhana : batu bata, genteng, tanah liat, dll.

Jenis seperti kayu, bambu, rumbia, rotan, alang-alang adalah material yang ramah lingkungan karena bisa ditanam kembali (*renewable*). Tetapi, bila diperoleh dengan merusak hutan, pemakaian kayu dianggap tidak ramah lingkungan kendati kayu termasuk bahan ramah lingkungan.

Bahan bangunan alam yang dapat digunakan kembali adalah bahan bangunan yang tidak dapat dihasilkan lagi (regeneratif), seperti bahan bangunan tanah, pasir, kapur, batu, dll. tetapi karena kebutuhan manusia, dengan persiapan dan alat khusus dapat dipergunakan lagi (recycling).

Bahan bangunan ini didapat dari limbah, potongan, sampah, ampas dan sebagainya. Biasanya material ini dalam bentuk : kardus, kertas, kaleng bekas, botol bekas, mobil bekas, ban mobil bekas, serbuk kayu, potongan kain sintesis, kaca dan seng, dll.

Bahan bangunan ini pun bisa didesain dengan bagus. Tetapi golongan bahan ini akan hilang apabila pembangunan ekologis telah tercapai di dalam masyarakat yang hidup seimbang dengan lingkungan alamnya.

Bahan bangunan yang tidak ramah lingkungan

Bahan bangunan komposit adalah bahan bangunan yang bercampur menjadi satu kesatuan dan tidak dapat dibagi-bagi lagi menjadi bagian bangunan.

Contoh bahan bangunan komposit adalah batu buatan yang tidak dibakar (batako genteng beton dan conblock) yaitu campuran antara semen dan pasir. Material ini biasanya diproses oleh industri rumah yang dimiliki oleh rakyat.

Contoh lain adalah bahan bangunan yang melebur seperti logam dan kaca dan juga beton bertulang fiber semen, beton komposit, cat kimia, dempul. Kemudian juga bahan

bangunan sebagai pengikat/perekat (semen merah, kapur merah, kapur padam, semen dan kapur kering).

Metodologi Penulisan

Dalam tulisan ini digunakan metode analisis deskriptif. Berawal dari latar belakang permasalahan terkait isu lingkungan global dicari permasalahan umum dan khusus untuk diselesaikan permasalahannya menuju lingkungan hidup yang lestari.

Data dan informasi diperoleh dari internet berupa jurnal, artikel dan ebook. Kajian literatur dan buku digunakan untuk memperkuat tinjauan teori serta untuk proses analisa dan sintesa data.

Metodologi yang digunakan dalam analisa data menggunakan preseden bangunan yang menggunakan material ramah lingkungan. Berdasarkan kajian pustaka dan teori terdapat beberapa kriteria material yang ramah lingkungan yang dijadikan variabel untuk menilai bahan bangunan pada preseden bangunan yang dipilih.

Dalam analisa data diuraikan dengan studi preseden bangunan yang memanfaatkan material alamiah dan material daur ulang. Berdasarkan hasil diskusi dan bahasan di atas kemudian ditarik kesimpulan tentang pemanfaatan material alamiah dan material daur ulang dalam bangunan yang ramah lingkungan sesuai kriteria yang ada.

DISKUSI DAN HASIL

Material alami seperti pasir, tanah, bambu dan jerami adalah material yang banyak dijumpai di sekitar kita. Bahan-bahan tersebut merupakan material yang ramah lingkungan dan dapat dimanfaatkan sebagai bahan bangunan untuk pembangunan sebuah gedung. Pemanfaatan tanah atau pasir secara kreatif telah dilakukan oleh arsitek Nader Khalili untuk membangun sebuah bangunan dengan cara menyusun tanah yang dimasukkan kedalam kantong-kantong pasir. Bangunan yang berbentuk dome tersebut bernama Eco-Dome. Eco-Dome adalah desain rumah kecil sekitar 400 kaki persegi (40 meter persegi) ruang interior, terdiri dari kubah pusat yang besar, dikelilingi oleh empat relung lebih kecil berbentuk pola daun semanggi.



Gambar 1. Pemanfaatan tanah/pasir dalam sebuah bangunan rumah tinggal

Sumber: <http://www.earthbagbuilding.com/projects/ecodome.htm>

Material tanah/pasir pada preseden bangunan di atas termasuk material yang ramah lingkungan karena merupakan bahan bangunan alam yang dapat digunakan kembali (*recycling*) dan dapat di daur ulang (*recycle*). Pemanfaatan tanah/pasir dalam bangunan di atas merupakan upaya pelestarian lingkungan karena material tersebut terdapat di areal lokal sehingga tidak banyak memerlukan energi transportasi yang besar.

Di Indonesia diperkirakan setidaknya ada 159 jenis bambu, dan 88 di antaranya endemik Indonesia (Departemen Kehutanan dan Perkebunan, 1999 hingga Sigit Prasetyo, 2010). Bambu adalah sejenis rumput beruas-ruas, termasuk dalam famili Poaceae, dimana terdiri dari 70 genera. Bambu merupakan salah satu jenis tanaman yang memiliki tingkat pertumbuhan yang tinggi. Beberapa jenis bambu dapat tumbuh sampai dengan 60 cm dalam satu hari. Bambu merupakan salah satu sumber daya alam yang banyak dimanfaatkan oleh masyarakat karena memiliki sifat-sifat yang bermanfaat yaitu kokoh, lurus, rata, keras, mudah dibelah, mudah dibentuk, mudah dikerjakan dan mudah dipindahkan. Selain itu, harga bambu relatif murah dibandingkan dengan bahan lain karena banyak ditemukan di sekitar pemukiman, terutama di pedesaan.

Di Indonesia, umumnya penggunaan bambu ini sering digunakan sebagai pengganti dari kayu karena adanya kesamaan proses dalam tumbuh yang memiliki serat hingga memiliki kekuatan dan kekakuan yang memiliki kemampuan yang cukup baik. Tanaman bambu memiliki ragam penggunaan atau pemanfaatan yang dapat diterapkan di dalam kehidupan sehari-hari, seperti penggunaan dalam konstruksi, pengolahan kerajinan, furniture, dan lain lain.

Di dalam proses penggunaan dalam pemanfaatan pengolahan tanaman bambu ini tentu saja menghasilkan sisa-sisa pengolahan berupa limbah yang berbentuk potongan besar, potongan kecil, hingga serbuk bambu sisa pengolahan bambu ini. Umumnya yang terjadi akhirnya limbah tersebut akan terbuang atau dibakar karena dianggap sudah tidak memiliki manfaat lagi dan akan memberikan dampak yang kurang baik untuk lingkungan sekitar.

Terdapat berbagai alternatif dalam pemanfaatan sisa pengelolaan industri tanaman bambu ini, salah satunya yang telah dilakukan penelitiannya dalam pemanfaatan ulang sisa produksi tanaman bambu ini dengan memanfaatkannya menjadi komposit akustik. Limbah bambu, khususnya serbuk sisa gergajian bambu (*bamboo sawdust*) yang dapat diolah menjadi komposit Medium Density Fiberboard (MDF) dengan tambahan bahan perekat alami berupa tepung sagu dengan melalui proses tekan pada temperatur tertentu. Parameter yang dipilih dalam kepentingan ini adalah nilai koefisien serapan bunyi yang merupakan besaran nilai sebagai penunjuk kemampuan bahan untuk menyerap energi bunyi yang terpapar pada bahan tersebut. Komposit akustik ini atau Medium Density Fiberboard (MDF) ini akan menjadi pilihan alternatif material yang dapat diterapkan dalam penggunaan ruang, seperti rumah tinggal yang memiliki masalah kebisingan dan kemampuan akustik ruang yang kurang baik. Sehingga alternatif ini dapat memberikan dampak baik dalam kinerja bangunan dan menjaga keramahan lingkungan.



Gambar 2. Pemanfaatan Bambu sebagai material bangunan

Sumber: <https://www.brilio.net/wow/10-bangunan-dari-susunan-bambu-ini-tampak-rumit-tetapi-menakjubkan-1803078.html>

Pemanfaatan material bambu pada preseden bangunan di atas termasuk material yang ramah lingkungan karena merupakan bahan bangunan alamiah yang dapat dibudidayakan kembali (regeneratif).

Bahan alamiah yang lain adalah jerami. Rumah berbahan jerami (batang padi kering) merupakan bahan alamiah dan ramah lingkungan. Dalam proses pembuatannya, mula-mula jerami-jerami disatukan hingga membentuk balok kemudian dipotong-potong sesuai ukuran yang dikehendaki. Balok-balok berisi jerami itu selanjutnya dilapisi tanah liat atau diplester dengan semen agar tidak lembab terkena hujan atau embun.

Material jerami yang digunakan untuk dinding bermanfaat untuk insulasi suhu serta kebisingan suara. Konstruksi bahan ini juga tahan gempa karena bangunan ini menjadi ringan. Keunggulan lain bangunan ini tahan api karena jerami dipres sehingga tak ada ruang untuk oksigen dan diplester kedap air sehingga tahan juga terhadap air.

Straw bales sebagai salah satu bagian dari Natural Building Technique merupakan variasi material yang dapat diaplikasikan pada bangunan sederhana, seperti: rumah tinggal, cafe, restoran, studio, dan bangunan pertanian. Straw bales merupakan material yang ramah lingkungan, straw bales juga memiliki kelebihan lainnya, seperti: rendah biaya, waktu pengerjaan yang cenderung lebih cepat serta lebih mudah dikerjakan dibanding pemasangan bata konvensional. Seiring dengan tuntutan untuk menerapkan sustainable building yang dapat diperoleh dari natural building technique, maka aplikasi straw bales pada bangunan khususnya rumah tinggal merupakan salah satu pilihan material yang tepat jika dengan kondisi yang mendukung. Dalam hal ini, perlu didukung dengan adanya pandangan Islam mengenai penggunaan straw bales sebagai material peredam suara.



Gambar 3. Pemanfaatan jerami (material alamiah) dalam sebuah bangunan

Sumber: <http://www.solarhaven.org/NewStrawbale.htm>

Pemanfaatan material jerami pada preseden bangunan di atas termasuk material yang ramah lingkungan karena merupakan bahan bangunan alamiah yang dapat dibudidayakan kembali (regeneratif) dan potensi di Indonesia cukup melimpah.

Material daur ulang yang bisa dimanfaatkan sebagai bahan bangunan ada bermacam-macam. Salah satu diantaranya adalah botol kaca daur ulang. Sebagai preseden bangunan yang memanfaatkan botol kaca daur ulang adalah rumah Ridwan Kamil di Bandung. Rumah yang memanfaatkan botol daur ulang minuman berenergi ini mendapat gelar juara dalam *Green Design Award* 2009, yang diselenggarakan oleh *Building Council* Indonesia Asia. Rumah ini menghabiskan 30.000 botol daur ulang yang berdiri di atas tanah seluas 373 meter persegi. Selain ramah lingkungan, rumah botol juga berjasa dalam penghematan energi. Dindingnya yang terbuat dari kaca, membuat sinar matahari lebih mudah masuk sehingga tidak perlu menyalakan lampu pada siang hari.



Gambar 4. Pemanfaatan botol kaca dalam sebuah bangunan rumah tinggal di Bandung

Sumber: <http://indonesiatop.blogspot.com/2010/03/rumah-terunik-di-indonesia.html>

Di samping botol kaca, botol plastik daur ulang pun dapat dimanfaatkan kembali menjadi bahan yang berguna, Botol plastik daur ulang merupakan limbah yang bisa merusak lingkungan. Plastik merupakan bahan yang tidak mudah hancur dalam tanah sehingga dapat mengganggu kesuburan tanah. Sampah plastik semakin lama semakin menumpuk sehingga menimbulkan polusi tanah dan dampak negatif yang menyertainya.

Jambeck (2015) dalam penelitiannya tentang limbah plastik menyatakan bahwa Indonesia masuk sebagai penghasil sampah plastik kedua terbesar di dunia setelah Tiongkok dengan limbah sebesar 187,2 juta ton. Limbah plastik berpotensi membuat ekosistem alam terancam, khususnya berkaitan dengan sifat plastik yang sulit terurai (memerlukan waktu lebih dari 20 tahun hingga 100 tahun untuk terurai). Pembakaran sebagai upaya menghilangkan limbah plastik juga dapat mengeluarkan zat-zat yang berbahaya bagi kesehatan manusia. Pengelolaan limbah plastik akan memberikan dampak negatif jika tidak ditangani dengan benar (Purwaningrum, 2016: 142-144).

Limbah yang sulit terdekomposisi salah satunya limbah plastik yang bertumpuk di alam sekitar, sehingga solusi terbaiknya dengan melakukan daur ulang pemanfaatannya menjadi produk olahan lain. Plastik bersifat hidrofobik, dimana komposit yang dihasilkan akan lebih tahan terhadap pengaruh kelembaban dan air. Plastik merupakan bahan yang tidak disukai rayap, walaupun tidak dilakukan pengawetan cukup aman terhindar dari rayap, maka papan komposit hasil olahan dari plastik tidak akan dimakan rayap, lebih ramah lingkungan karena bebas emisi formaldehida (Hu et al, 2005)

Untuk mengurangi sampah plastik jika dilakukan dengan cara pembakaran maka akan menimbulkan dampak lain berupa asap yang akan mencemari udara. Salah satu jalan terbaik adalah dengan mendaur ulang sampah plastik atau pemanfaatan kembali plastik daur ulang termasuk botol plastik daur ulang menjadi barang atau bahan bangunan yang berguna.

Sebuah preseden pemanfaatan botol plastik daur ulang terdapat dalam sebuah gedung bernama Eco Ark di Taiwan. Gedung ini berfungsi sebagai aula pameran dalam acara Taipei *International Flora Exposition* (2010 Flora Expo) berlantai tiga dan terbuat dari 1.500.000 botol plastik. Latar belakang pembangunan gedung ini bertolak dari Taiwan sempat kewalahan mendaur ulang botol plastik daur ulang kemasan air minum. Jumlah sampah ini bila dibariskan bisa beberapa kali mengelilingi negara pulau tersebut. Arsitek dan desainer gedung ini adalah Arthur Huang bersama tim kerjanya merancang sejak awal. Mula-mula mereka memakai botol PET (jenis plastik untuk kemasan makanan dan minuman) biasa yang disatukan. Bentuknya yang bulat itu disadari akan menimbulkan celah antar botol yang tidak menguntungkan. Setelah mencari ide akhirnya didapat rancangan yang meniru struktur sarang lebah, yang tipis tetapi sangat kuat. Dari sini terciptalah botol dari hasil daur ulang berbentuk mirip sarang lebah yang diberi nama pollibrick. Beberapa pollibrick disatukan seperti panel dengan ukuran tertentu yang dipasangkan dengan sistem knock down, sehingga nantinya bisa dibuka pasang kembali.



Gambar 5. Pola kerja pemanfaatan botol plastik daur ulang

<http://www.ilmusipil.com/membuat-gedung-dari-botol-plastik-daur-ulang>

Pola Kerja *Eco Ark*

1. Recycle
Proses pengumpulan botol plastik daur ulang dan dikumpulkan di sebuah lokasi daur ulang
2. Remold
Proses pembentukan kembali botol daur ulang menjadi bentuk standar agar bisa disusun rapi dan membentuk bentuk yang solid
3. Assemble
Proses penyusunan botol yang bentuknya sudah standar, sehingga menjadi sebuah pola solid yang bisa disusun menjadi sebuah dinding yang kokoh
4. Modularize
Botol yang sudah tersusun solid kemudian dilapisi dengan bahan penguat sehingga botol plastik sebagai bahan utama menjadi kuat dan tahan terhadap api
5. Build
Bahan yang sudah jadi kemudian disusun dan jadilah sebuah gedung mewah yang diklaim tahan gempa, badai bahkan kebakaran sekalipun.



Gambar 6. Pemanfaatan botol plastik daur ulang dalam sebuah gedung pameran di Taiwan

Sumber: <http://mondasiregar.wordpress.com/2011/03/29/gedung-dari-plastik-daur-ulang-ecoark/>

Pemanfaatan material botol plastik daur ulang pada bangunan di atas merupakan preseden bangunan yang berkelanjutan karena memanfaatkan material yang ramah lingkungan. Botol plastik memang merupakan material limbah yang tidak ramah lingkungan; akan tetapi jika bisa dimanfaatkan kembali (reuse) maka menjadi material daur ulang yang ramah lingkungan.

Kertas merupakan bahan yang sangat banyak dimanfaatkan oleh manusia. Hal ini akan menimbulkan limbah yang banyak pula apabila kertas itu sudah tidak digunakan lagi. Limbah yang banyak akan menumpuk dan menimbulkan berbagai permasalahan. Oleh karena itu, dengan mendaur ulang limbah kertas maka akan mengurangi permasalahan lingkungan bahkan dapat mendapatkan manfaat yang lebih besar. pemanfaatan kertas daur ulang bisa dilakukan dengan mengolah kembali kertas tersebut menjadi bentuk dan bahan yang disesuaikan dengan kebutuhan. Misalnya kertas daur ulang akan dimanfaatkan untuk material bangunan, kertas bisa diolah dan dibentuk agar lebih kuat secara konstruksi dan bentuknya disesuaikan dengan kebutuhan. Sebagai contoh di Jepang seorang arsitek memperlakukan kertas daur ulang dibentuk menjadi gulungan kerкас yang bisa dikonstruksikan menjadi sebuah bangunan. Di pavilion Hannover ini Ban menunjukkan pemanfaatan tabung kertas ke dalam taraf yang lebih lanjut dan lebih rumit. Pemanfaatan tabung kertas daur ulang yang dilakukan Shigeru Ban telah membuatnya mampu menunjukkan suatu kreatifitas disain yang memanfaatkan material daur ulang, teknologi rendah dan biaya yang tidak mahal. Namun memang diperlukan skill dan pengetahuan teknis detail yang tinggi untuk mewujudkan tabung tabung kertas tersebut bisa berdiri dan saling menyambung dengan baik sebagai bagian dari suatu bangunan. Kertas ini memiliki nilai sustainable atau berkelanjutan karena akan selalu di produksi oleh pabrik kertas selama kebutuhan kertas belum tergantikan oleh teknologi lain. Paper tube tersebut biasanya diproduksi dengan menggunakan kertas kertas sisa atau daur ulang yang kemudian di press di pabrik menjadi tabung kertas.



Gambar 7. Pemanfaatan kertas daur ulang dalam sebuah bangunan di Jepang

Sumber: <http://www.shigerubanarchitects.com/>

Pemanfaatan material kertas daur ulang pada bangunan di atas merupakan preseden bangunan yang berkelanjutan karena memanfaatkan material yang ramah lingkungan. Kertas bekas bisa jadi material limbah yang tidak ramah lingkungan; akan tetapi jika bisa dimanfaatkan kembali (reuse) maka menjadi material daur ulang yang ramah lingkungan.

Berdasarkan contoh-contoh pemanfaatan material alamiah dan material bekas pada preseden bangunan di atas maka dapat diringkas seperti Tabel 1.

Tabel 1. Pemanfaatan Bahan alamiah dan material Bekas pada Bangunan

No.	Preseden Bangunan	Material/ bahan utama	Kriteria Bahan Bangunan Ramah Lingkungan	Kategori Material
1	Preseden 1	Tanah/Pasir	Bahan bangunan alam yang dapat digunakan kembali (Recycling)	Material Alamiah
2	Preseden 2	Bambu	Bahan bangunan alam yang dapat dibudidayakan kembali (Regeneratif)	
3	Preseden 3	Jerami	Bahan bangunan alam yang dapat dibudidayakan kembali (Regeneratif)	
4	Preseden 4	Botol kaca	Bahan bangunan yang digunakan kembali dalam fungsi yang berbeda	Material daur ulang
5	Preseden 5	Botol Plastik	Bahan bangunan yang digunakan kembali dalam fungsi yang berbeda	
6	Preseden 6	Kertas	Bahan bangunan yang digunakan kembali dalam fungsi yang berbeda	

KESIMPULAN

Berdasarkan bahasan pemanfaatan material alamiah dan material daur ulang dalam bangunan beserta contoh-contoh kasusnya maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Material alamiah (tanah, pasir, bambu, jerami,) merupakan material yang ramah lingkungan dapat dimanfaatkan dalam bangunan yang menjadikan bangunan tersebut menjadi bangunan ramah lingkungan.
2. Material daur ulang (botol kaca bekas, botol plastik bekas, kertas bekas, dll.) yang merupakan limbah dapat dimanfaatkan pula sebagai bahan bangunan yang berfungsi untuk membangun gedung atau bangunan sekaligus mengurangi kerusakan lingkungan akibat limbah/barang bekas.
3. Pemikiran kreatif dan inovatif diperlukan untuk mengolah kembali barang bekas menjadi barang yang bermanfaat kembali sehingga lingkungan tetap lestari.

DAFTAR PUSTAKA

- Al Qur'an digital & Indeks Al Qur'an
Arista. Desain Pembuatan Barrier Guna Mengurangi Kebisingan di Area Pemukiman.
Volume 1 No 2.
- Arthur, Lyson. 2007, Material for Architects and Builder. Published by Elsevier, USA
- Fandeli, Chafied, 1999. Analisis Mengenai Dampak Lingkungan. Gadjah Mada University Press.
Yogyakarta.
- Frick, Heinz dan Suskiyatno, FX. Bambang. 1998. Dasar-dasar Eko Arsitektur. Penerbit Kanisius.
Yogyakarta
- Lacinski and Michel Bergeron, 2000. Serious Straw Bale: A Home Construction Guide for All Climate, Chelsea Green Publishing Company
- Mulia, Ricki, 2005. Kesehatan Lingkungan. Penerbit Graha Ilmu, Yogyakarta.
- Nurjayanti, W., Aly, A. and Ronald, A., 2014. Karakteristik Rumah Tinggal Dengan Pendekatan Nilai Islami. Rhofita,
- E.I. and AW, L.C., 2019. Pemanfaatan Limbah Jerami Padi Di Desa Garon
- Steele, James. 1997. Sustainable Architecture, Principle Paradigs, and Case Studies. Los Angeles: McGraw
- Steen, Bill and Athena, 1994. The Straw Bale House. Chelsea Green Publishing Company
- Indonesia, M.U., 2014. Fatwa Majelis Ulama Indonesia Nomor 41 Tahun 2014 Tentang Pengelolaan Sampah Untuk Mencegah Kerusakan Lingkungan.
- Jambeck, J.R., Geyer, R., Wilcox, C., Siegler, T.R., Perryman, M., Andrady, A., Narayan, R. and Law, K.L., 2015.
Plastic waste inputs from land into the ocean. Science, 347(6223), pp.768-771
- Siahaan, fanny. Aplikasi Straw Bales Pada Bangunan Rumah Tinggal Sebagai Bagian Dari Natural Building Techniques. SCALE ISSN : 2338 – 7912. Volume 2
- Supriyanta, S., 2018. Rekayasa arsitektur berkelanjutan berdasarkan nilai-nilai dasar Keislaman. Prosiding Semnastek.
- Williams, Daniel E, 2003. Sustainable Design. Ecology, Architecture, and Planning. John Wiley & Sons, Inc

[website]

<http://www.earthbagbuilding.com/projects/ecodome.htm>, diunduh 5 Agustus 2022

<http://www.solarhaven.org/NewStrawbale.htm>, diunduh 5 Agustus 2022

<http://www.shigerubanarchitects.com/>, diunduh 5 Agustus 2022

<http://mondasiregar.wordpress.com/2011/03/29/gedung-dari-plastik-daur-ulang-ecoark/>, diunduh
5 Agustus 2022

<http://indonesiatop.blogspot.com/2010/03/rumah-terunik-di-indonesia.html>, diunduh 5
Agustus 2022

<http://www.ilmusipil.com/membuat-gedung-dari-botol-plastik-daur-ulang>, diunduh 5
Agustus 2022



PENGARUH PENAMBAHAN SERBUK LIMBAH KERAMIK DAN SEMEN PADA TANAH LEMPUNG TERHADAP PARAMETER KUAT GESER DAN DAYA DUKUNG TANAH PADA UJI KUAT TEKAN BEBAS

Aji Fauzan^{1*} dan Muhammad Rifqi Abdurrozak²

^{1,2} Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam

Indonesia, Yogyakarta

*Email: ajiefauzan5@gmail.com

ABSTRAK

Sifat tanah lempung apabila digunakan sebagai material timbunan dapat menyebabkan masalah geoteknik pada perencanaan konstruksi. Hal ini disebabkan stabilitas tanah terganggu akibat kadar air yang terkandung di dalam tanah. Perlu usaha untuk perbaikan tanah agar memenuhi persyaratan, dengan cara menambahkan bahan aditif berupa serbuk limbah keramik dan semen. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui sifat fisik, sifat mekanik, klasifikasi tanah, perubahan pada nilai parameter kuat geser dan daya dukung tanah asli yang distabilisasi dengan variasi serbuk limbah keramik dan semen. Penelitian ini meliputi pengujian sifat fisik tanah, sifat mekanik tanah, pengujian geser langsung dan pengujian kuat tekan bebas untuk mendapatkan nilai kohesi (c), sudut geser dalam (ϕ), dan bahan tambah berupa semen dengan variasi 5% dan serbuk limbah keramik dengan variasi 5%, 10%, dan 15% terhadap berat isi kering tanah dengan waktu pemeraman selama 1 hari, 7 hari, 14 hari. Hasil pengujian kuat tekan bebas dan kuat geser dengan penambahan limbah keramik dan semen mempengaruhi nilai kuat tekan bebas dan kuat geser. Nilai tanah asli pada kuat tekan bebas sebesar 2,412 kg/cm², sedangkan peningkatan nilai kuat tekan bebas tertinggi terjadi pada variasi TA+15%LK+5%PC dengan nilai 6,286 kg/cm² dengan lama pemeraman 14 hari. Nilai parameter kuat geser mengalami peningkatan berbanding dengan penambahan variasi serbuk limbah keramik dan semen. Nilai kohesi dan sudut geser dalam tanah asli pada pengujian kuat geser sebesar 0,680 kg/cm² dan 30°. Peningkatan nilai kohesi dan sudut geser dalam tertinggi terhadap tanah asli terjadi pada variasi TA+15%LK+5%PC dengan nilai 1,170 kg/cm² dan 46,803° dengan masa pemeraman 14 hari.

Kata kunci: Tanah lempung, serbuk limbah keramik, semen, kuat geser, dan kuat tekan

PENDAHULUAN

Tanah lempung memiliki sifat antara lain: ukuran butiran halus lebih kecil dari 0,002 mm, permeabilitas rendah, kenaikan air kapiler tinggi, bersifat sangat kohesif, kadar kembang susut yang tinggi dan proses konsolidasi lambat. Sifat tanah lempung tersebut apabila digunakan sebagai material timbunan dapat menyebabkan masalah geoteknik pada perencanaan konstruksi. Hal ini disebabkan stabilitas tanah terganggu akibat kadar air yang terkandung di dalam tanah. Seiring dengan permasalahan tersebut, maka perlu dilakukan pengujian di laboratorium untuk mengetahui karakteristik dan perilaku tanah lempung dalam rangka menindaklanjuti permasalahan yang terjadi.

Selain geser langsung, peneliti melakukan pengujian untuk mengetahui daya dukung pada tanah yang dapat diketahui dari nilai kuat tekan bebas. Kuat tekan bebas adalah tekanan vertikal yang diberikan untuk menekan silinder tanah sampai pecah atau besarnya tekanan yang menyebabkan pemendekan tanah hingga 20%. Perbaikan tanah

dengan menambah bahan tambah (aditif) yaitu dengan mencampurkan suatu bahan kedalam tanah dengan presentase tertentu sehingga diperoleh peningkatan daya dukung tanah yang diinginkan. Pada berbagai penelitian telah dilakukan percobaan dengan menambah berbagai bahan tambah untuk perbaikan tanah lempung, untuk pengujian ini digunakan bahan tambah yaitu limbah serbuk keramik dan semen.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui sifat fisik, sifat mekanik, klasifikasi tanah, perubahan pada nilai parameter kuat geser tanah dan daya dukung tanah asli yang distabilisasi dengan variasi serbuk limbah keramik dan semen.

TINJAUAN PUSTAKA

Hutagalung (2017) dalam penelitian bertujuan untuk mengetahui perbandingan nilai kuat tekan tanah yang dicampur dengan semen dan serbuk kaca dengan melakukan uji UCT (*Unconfined Compression Test*) dan mengetahui pengaruh waktu pemeraman terhadap kuat tekan tanah yang distabilisasi. Penelitian ini memperoleh material campuran stabilisator paling efektif yaitu variasi campuran 2% PC + 9% serbuk kaca. Nilai kuat tekan tanah campuran pada waktu pemeraman 14 hari lebih besar dibandingkan dengan pemeraman 1 hari. Nilai kuat tekan pada waktu pemeraman 1 hari adalah $2,27 \text{ kg/cm}^2$, sedangkan pada waktu pemeraman 14 hari sebesar $2,79 \text{ kg/cm}^2$. Dengan naiknya kadar serbuk kaca, kuat tekan bebas selalu naik sampai dengan kadar 2% PC + 9% serbuk kaca, kemudian mengalami penurunan dan konstan pada serbuk kaca yang lebih tinggi tetapi tetap diatas nilai tekan tanah aslinya.

Kumar (2012) dalam jurnalnya meneliti dengan tujuan untuk mengetahui pengaruh limbah serbuk keramik terhadap kuat tekan bebas (UCS). Untuk melakukan pengujian yang berbeda, tanah ekspansif dicampur dengan debu keramik dari 0 sampai 30% dengan kenaikan 5%. Berdasarkan hasil yang didapat dari penelitian ini batas cair batas plastis dan indeks plastisitas terus menurun terlepas dari persentase penambahan serbuk keramik sedangkan MDD terus meningkat dan OMC terus menurun dengan meningkatnya persentase penambahan serbuk keramik. UCS terus meningkat dengan meningkatnya persentase penambahan serbuk keramik. UCS meningkat dari 55 kN/m^2 menjadi 98 kN/m^2 saat debu keramik dinaikkan dari 0 menjadi 30%.

Chowdhury dkk. (2016) dalam penelitiannya bertujuan untuk mengetahui pengaruh bahan penstabil seperti semen dan fly ash dalam meningkatkan kuat tekan bebas tanah organik. Tiga persentase stabilisator yang berbeda digunakan untuk 11 mengamati pengaruh kandungan stabilisasi pada perolehan kekuatan. Spesimen dikeringkan pada tiga periode waktu yang berbeda untuk mengetahui pengaruh waktu pemeraman. Kuat tekan bebas tanah organik dapat ditingkatkan secara signifikan dengan stabilisasi semen. Penambahan semen 5% menyebabkan kekuatan meningkat dengan faktor besar mendekati 19 dibandingkan dengan nilai tidak stabil (dari 29 kPa menjadi 542 kPa) setelah perawatan selama 28 hari. Sehingga membuat tanah menjadi keras dari konsistensi awalnya yang lunak. Perawatan lebih banyak hari dapat menunjukkan peningkatan bertahap dalam kekuatan tekan untuk tanah yang distabilisasi semen dan abu terbang. Namun penelitian lebih lanjut diperlukan untuk menyelidiki pengaruh lama perawatan (3 bulan atau 6 bulan) pada kuat tekan spesimen stabil. Hasil pengujian menunjukkan bahwa stabilisasi semen dapat digunakan secara efektif untuk meningkatkan daya dukung beban tanah organik. Fly ash dapat diaplikasikan dengan stabilizer yang lebih kuat seperti semen.

Onakunle, dkk. (2019) melakukan penelitian yang meliputi pengujian distribusi ukuran butir, batas atterberg, uji proctor compaction, dan uji california bearing ratio dengan

penambahan campuran serbuk keramik kedalam sampel tanah laterit sebanyak 0% sampai 30% pada tingkat tambah 5%. Dari hasil pengujian didapatkan batas cair, batas plastik, indeks plastisitas, dan kadar air optimal menurun secara konsisten dengan adanya penambahan debu keramik hingga 30%, sedangkan california maximum *dry density* and *bearing ratio (soaked and unsoaked)* meningkat dengan aditif *Ceramic Waste Dust* (CWD). Batas cair menurun dari 59,62% (lateral tanpa campuran) menjadi 35,61% (peningkatan CWD 30%). Batas plastis menurun secara linier dari 40,11% (laterit tidak tercampur) menjadi 23,31% (bila dicampur dengan 30% CWD). Persentase untuk rasio bantalan california yang tidak direndam dan direndam meningkat dari 6,82% menjadi 21,97% dan 4,55% menjadi 14,39% dengan tambahan 5% CWD menjadi 30%. Studi menyimpulkan 12 bahwa penggunaan CWD dalam stabilisasi tanah laterit direkomendasikan untuk manfaat ekonomi, daya tahan, dan lingkungan.

Rangan, dkk. (2021) melakukan penelitian yang bertujuan untuk mengetahui pengaruh dari limbah keramik dalam menstabilkan dan meningkatkan daya dukung tanah lempung ekspansif. Persentase yang digunakan dalam penambahan serbuk keramik yaitu: 0%, 5%, 10%, 15%. Lokasi pengambilan limbah keramik yaitu di Rembon kabupaten Tana Toraja dan pengambilan tanah lempung ekspansif berada di Tanete, Kecamatan Rembon, Kabupaten Tana Toraja. Pengujian dilakukan di Laboratorium teknik sipil Universitas Kristen Indonesia Toraja. Dari pengujian didapatkan hasil CBR untuk tanah asli (0%) = 1,12% dan untuk penambahan keramik (5%) = 2.10%, (10%) = 4.03%, dan (15%) = 6.09%. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan limbah keramik dapat meningkatkan daya dukung tanah lempung ekspansif.

LANDASAN TEORI

Tanah

Secara umum tanah didefinisikan sebagai material yang tersusun dari agregat (butiran) mineral – mineral padat yang tersegmentasi (terikat secara kimia) satu sama lain dari bahan – bahan organik yang telah melapuk (berpartikel padat) disertai dengan zat cair dan gas yang mengisi ruang kosong diantara partikel – partikel tersebut. Tanah merupakan kumpulan mineral, bahan organik, dan endapan yang relatif lepas (*loose*) yang terletak diatas batuan dasar (*bedrock*). Tanah terbentuk dari batuan induknya yang berupa proses fisik dan kimia. Proses fisik terjadi karena adanya pengaruh erosi, es, air, angin, manusia, atau hancurnya partikel tanah akibat perubahan cuaca dan suhu. Proses kimia dapat terjadi karena pengaruh oksigen, karbondioksida dan air (yang mengandung asam) (Das, 1995).

Klasifikasi Tanah

Sistem klasifikasi tanah adalah suatu sistem yang mengatur beberapa jenis tanah yang berbeda-beda tapi mempunyai sifat yang serupa kedalam kelompok dan sub kelompok berdasarkan dari pemakaiannya. Sebagian besar sistem klasifikasi tanah yang telah dikembangkan untuk tujuan rekayasa didasarkan pada sifat-sifat indeks tanah yang sederhana seperti distribusi ukuran dan plastisitas. Ada beberapa macam sistem klasifikasi tanah yang umum digunakan sebagai hasil pengembangan dari sistem klasifikasi yang telah ada. Sistem tersebut adalah sistem klasifikasi AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Official) dan sistem klasifikasi tanah Unified Soil Classification System (USCS).

Stabilisasi Tanah

Stabilisasi tanah adalah usaha untuk meningkatkan kapasitas daya dukung tanah. Jika tanah terdapat di lapangan bersifat sangat lepas dan sangat mudah tertekan, atau memiliki indeks konsistensi tidak sesuai, permeabilitas terlalu tinggi, atau sifat lain yang tidak diinginkan sebagai akibatnya tidak sinkron untuk proyek pembangunan, maka tanah tersebut harus distabilisasikan (Bowles, 1986).

Semen

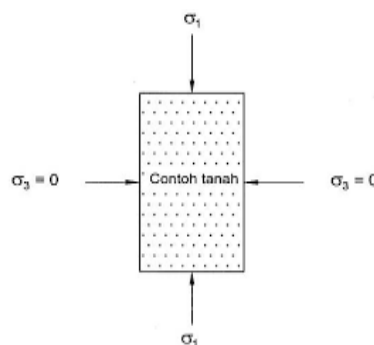
Semen Portland merupakan semen hidrolis yang dihasilkan menggunakan cara mencampurkan batu kapur yang mengandung kapur (CaO) dan lempung yang mengandung silika (SiO₂), oksida alumina (Al₂O₃) dan oksida besi (Fe₂O₃) dalam oven dengan menggunakan suhu kira-kira 145°C sampai menjadi klinker. Klinker ini dipindahkan, digiling sampai halus disertai penambahan 3-5% gips untuk mengendalikan waktu pengikat semen agar tidak berlangsung terlalu cepat (Subakti, 1994).

Limbah Keramik

Keramik adalah bahan padat anorganik yang bukan logam. Limbah bahan industri keramik merupakan suatu bahan sisa yang terbuang atau dibuang dari suatu proses hasil produksi yang tidak memiliki nilai ekonomi. Agar limbah tersebut dapat memiliki nilai ekonomi maka limbah tersebut harus dimanfaatkan atau diolah kembali menjadi bahan yang lebih berguna yaitu dengan cara diolah kembali menjadi bahan aditif dalam suatu proses stabilisasi. Limbah keramik memiliki kandungan silika yang diharapkan berfungsi sebagai bahan pengikat (binder) pada tanah, karena silika ini menghasilkan reaksi yang terjadi dapat meningkatkan kekuatan tanah

Uji Tekan Bebas

Kuat tekan bebas (q_u) merupakan nilai tegangan aksial maksimum yang dapat ditahan oleh benda uji (dalam hal ini sampel tanah) sebelum mengalami keruntuhan geser. Derajat kepekaan/sensitivitas (S_t) adalah rasio antara kuat tekan bebas dalam kondisi asli (undisturbed) dan dalam kondisi teremas (remolded) Pengujian ini dilakukan untuk menentukan besarnya sudut geser dalam tanah (ϕ), kohesi tanah (c) dan kuat tekan tanah. Khususnya untuk sampel tanah kohesif (lempung jenuh air), tidak memiliki ϕ ($\phi=0$). Kuat tekan bebas merupakan tekanan aksial benda uji pada saat mengalami keruntuhan atau pada saat regangan aksial mencapai 20%. Benda uji berbentuk silinder, tinggi silinder harus antara 2 sampai 3 kali diameter. Skema uji tekan dapat dilihat pada Gambar 1 berikut ini.



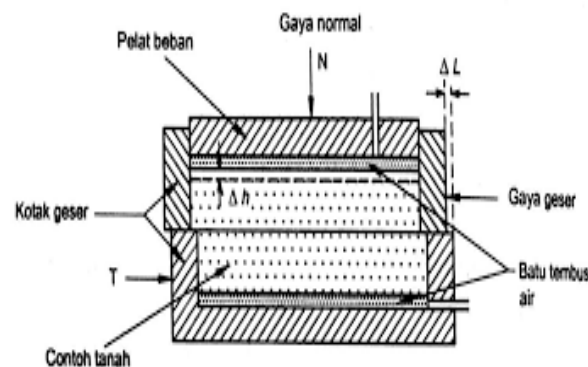
Gambar 1 Skema Uji Tekan

Sumber: Hardiyatmo, 2002

Uji Geser Langsung

Uji geser langsung menentukan besarnya parameter kuat tekan geser tanah yang terdiri dari sudut gesek intern dan kohesi (c) dengan uji geser langsung. Parameter kuat geser tanah diperlukan untuk analisis-analisis kapasitas dukung tanah, stabilitas lereng dan gaya dorong pada dinding penahan tanah.

Uji geser langsung dilakukan beberapa kali pada sebuah benda uji tanah dengan beberapa macam tegangan normal. Harga tegangan normal dan harga tegangan yang didapat dengan melakukan pengujian dapat digambarkan dengan beberapa grafik untuk menentukan parameter kuat geser. Gambar alat uji geser langsung dapat dilihat pada Gambar 2 berikut ini.



Gambar 2 Alat Uji Geser Langsung

Sumber: Hardiyatmo, 2002

METODE PENELITIAN

Pengujian Penelitian

Pengujian penelitian yang dilakukan bersifat eksperimen. Hal ini dilakukan untuk mencari tahu pengaruh dari campuran tanah lempung dengan dengan limbah keramik dengan beberapa analisis terhadap kuat tekan bebas dan geser langsung. Apakah campuran dari limbah keramik dapat mampu membuat tanah menjadi lebih baik atau tidak. Adapun pengujian-pengujian yang dilakukan antara lain: pengujian kadar air, berat volume, berat jenis, analisa saringan dan hidrometer, batas-batas konsistensi, pemadatan tanah, dan uji geser langsung dan uji kuat tekan bebas.

Pengujian dilakukan di Laboratorium Mekanika Tanah, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia di Jalan Kaliurang Km. 14,5 Umbulmartani, Ngemplak, Sleman, Daerah Istimewa Yogyakarta.

ANALISA DAN PEMBAHASAN

Sifat Fisik dan Mekanik Tanah Asli

Rekapitulasi hasil dari pengujian sifat fisik dan mekanik tanah asli dapat dilihat pada Tabel 1 berikut ini.

Tabel 1 Rekapitulasi hasil pengujian Propertis Tanah Asli

Pengujian	Hasil	Satuan	Pengujian	Hasil	Satuan
Properties Tanah			Analisis Granuler		
Kadar Air	46,71	%	% Lolos #200	90,298	%
Berat Volume	1,65	gram/cm ³	Kerikil	0,00	%
Berat Jenis (Gs)	2,64		Pasir	9,7	%
Batas-Batas Kosistensi					Lanau
Batas Cair (LL)	75,45	%	Lempung	68,49	%
Batas Plastis (PL)	45,15	%	Proktor Standar		
Indeks Plastisitas (IP)	30,30	%	Kadar Air Optimum	33,15	%
Batas Susut	45,36	%	Berat Volume Maksimum	1,31	gram/cm ³

Klasifikasi Tanah

Berdasarkan pengujian sifat fisik tanah asli, maka dapat ditentukan klasifikasi tanah asli yang dapat dilihat pada Tabel 2 berikut ini.

Tabel 2 Hasil Klasifikasi Tanah

Metode	Jenis Tanah	Keterangan
AASHTO	A-7-5	Tanah berlempung dengan penilaian sebagai tanah dasar biasa sampai jelek.
USCS	OH	Lempung organik dengan plastisitas sedang sampai tinggi.

Pengujian Geser Langsung

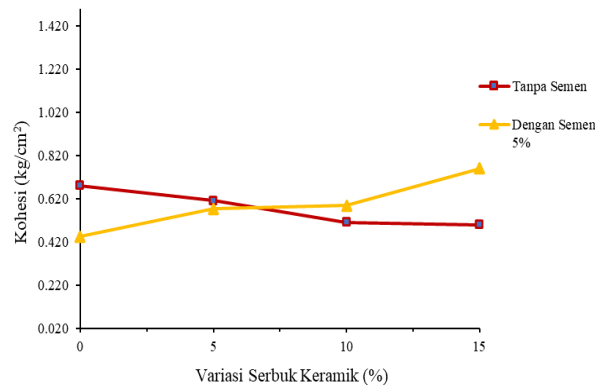
Hasil pengujian geser langsung dengan penambahan bahan stabilisasi berupa limbah serbuk keramik dan semen terhadap nilai kohesi dan sudut geser dalam dapat dilihat pada Tabel 3, kemudian dibuat grafik perbandingan nilai-nilai yang di dapat terhadap penambahan limbah serbuk keramik dan semen serta terhadap umur pemeraman.

Tabel 3 Rekapitulasi Pengujian Geser Langsung

Variasi Bahan Tambah	Parameter Kuat Geser Tanah													
	0 Hari		1 Hari				7 Hari				14 Hari			
	Kohesi, c (kg/cm ²)	Sudut Geser Dalam, ϕ (°)	Kohesi, c (kg/cm ²)		Sudut Geser Dalam, ϕ (°)		Kohesi, c (kg/cm ²)		Sudut Geser Dalam, ϕ (°)		Kohesi, c (kg/cm ²)		Sudut Geser Dalam, ϕ (°)	
	TS	TS	TS	DS	TS	DS	TS	DS	TS	DS	TS	DS	TS	DS
TA+0% Keramik	0,68	30,004	-	0,445	-	37,381	-	0,655	-	38,121	-	0,765	-	39,429
TA+5% Keramik	-	-	0,610	0,574	31,927	39,526	0,650	0,730	34,777	40,461	0,670	0,903	38,711	42,301
TA+10% Keramik	-	-	0,510	0,588	32,045	41,825	0,595	0,810	38,834	43,663	0,630	0,945	42,126	44,230
TA+15% Keramik	-	-	0,500	0,759	34,407	44,091	0,540	0,855	40,148	45,707	0,565	1,170	46,260	46,803

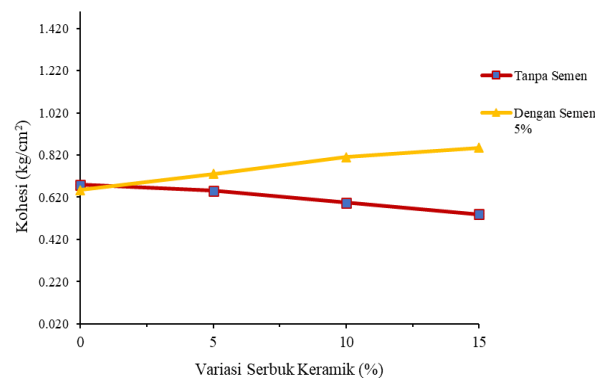
Keterangan= TS: Tanpa Semen, DS: Diberi Semen 5%

Grafik perbandingan nilai kohesi pengujian geser langsung terdapat pada Gambar 3, Gambar 4, Gambar 5, Gambar 6 dan Gambar 7 berikut ini.



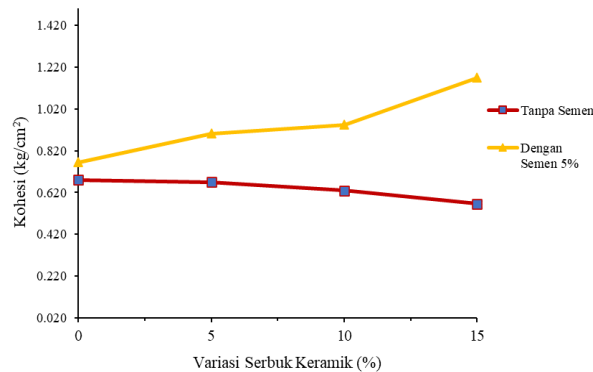
Gambar 3 Nilai Kohesi pada Variasi TA + Serbuk Keramik dan TA + Serbuk Keramik + Semen Pemeraman 1 Hari

Pada Gambar 4 di atas, tanah asli dengan variasi penambahan serbuk keramik pada nilai kohesi (c) mengalami penurunan pada pemeraman 1 hari seiring dengan penambahan serbuk keramik. Sedangkan pada variasi serbuk keramik + semen nilai kohesi mengalami kenaikan dengan penambahan semen 5%. Nilai kohesi pada tanah asli sebesar 0,680 kg/cm². Penambahan kadar serbuk keramik 5% + semen mengalami penurunan terbesar dari tanah asli pada masa pemeraman 1 hari sebesar 0,445 kg/cm² atau sebesar 34,559%. Sedangkan nilai kohesi tertinggi terjadi pada variasi campuran 15% keramik + 5% semen dengan nilai kohesi 0,759 kg/cm² atau sebesar 11,618%.



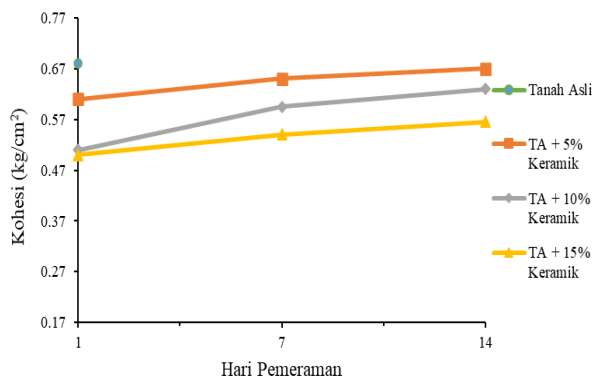
Gambar 4 Grafik Perbandingan Nilai Kohesi pada Variasi TA + Serbuk Keramik dan TA + Serbuk Keramik + Semen Pemeraman 7 Hari

Pada Gambar 5 di atas, tanah asli dengan variasi penambahan serbuk keramik + semen pada nilai kohesi (c) mengalami kenaikan seiring dengan penambahan persentase serbuk keramik. Pada pemeraman 7 hari ini nilai kohesi tertinggi pada variasi TA + 15% serbuk keramik + 5% PC sebesar 0,855 kg/cm² atau sebesar 25,735%. Pada hari ke 7 kohesi mengalami kenaikan pada campuran 5% keramik + 5% semen, 10% keramik + 5% semen, 15% keramik + 5% semen sebesar 7,353%; 19,118%; 25,735%. Sedangkan pada variasi campuran limbah keramik saja mengalami penurunan nilai kohesi dengan nilai kohesi terkecil pada variasi 15% keramik dengan nilai 0,540 kg/cm² atau sebesar 20,588%.



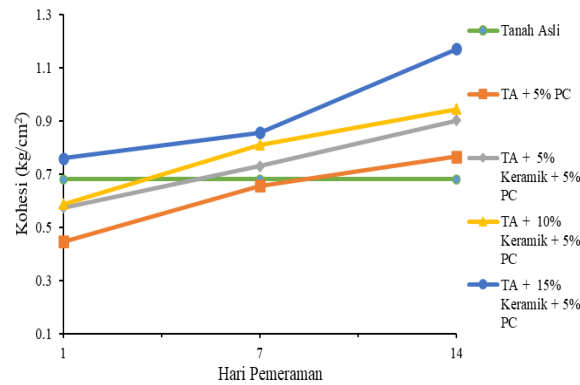
Gambar 5 Grafik Perbandingan Nilai Kohesi pada Variasi TA + Serbuk Keramik dan TA + Serbuk Keramik + Semen Pemeraman 14 Hari

Pada Gambar 5.17 di atas dapat dilihat perbedaan antara adanya penambahan semen dan tidak adanya penambahan semen. Pada variasi TA + serbuk limbah keramik kohesi pada pemeraman 14 hari mengalami penurunan. Nilai kohesi pada 5% keramik, 10% keramik, dan 15% keramik sebesar 0,670 kg/cm²; 0,630 kg/cm²; dan 0,565 kg/cm² dengan besaran persentase sebesar 1,471%; 7,353%; dan 16,912%. Nilai kohesi terendah pada pemeraman 14 hari terjadi pada variasi 15% keramik dengan nilai 0,565 kg/cm² atau sebesar 16,912%. Untuk variasi dengan keramik dan semen 5% mengalami kenaikan seiring dengan penambahan persentase serbuk limbah keramik. Nilai kohesi terbesar terjadi pada variasi 15% keramik + 5% PC dengan nilai 1,170 kg/cm² atau sebesar 72,059%.



Gambar 6 Grafik Pengaruh Pemeraman Terhadap Nilai Kohesi pada Pengujian Geser Langsung Variasi TA + Serbuk Keramik

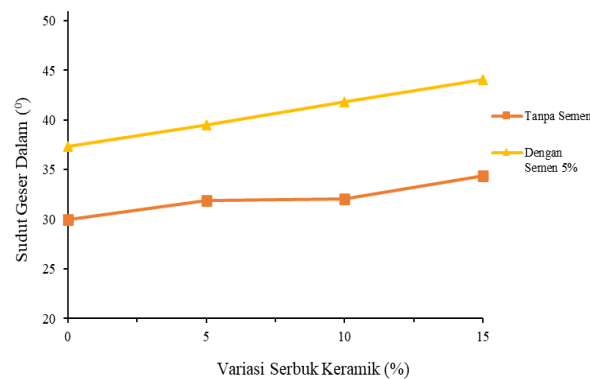
Berdasarkan grafik di atas, penambahan tanah asli dengan serbuk keramik mengalami peningkatan nilai kohesi beriringan dengan bertambahnya lama waktu pemeraman.



Gambar 7 Grafik Pengaruh Pemeraman Terhadap Nilai Kohesi pada Pengujian Geser Langsung Variasi TA + Serbuk Keramik + PC

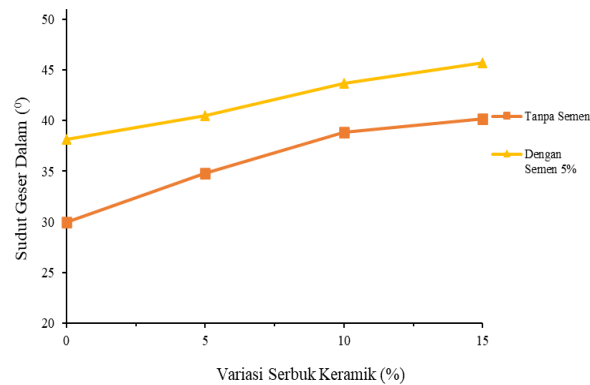
Seperti pada variasi serbuk keramik, setiap campuran mengalami kenaikan ketika ditambahkan semen sebesar 5%, nilai semakin tinggi dibandingkan dengan variasi yang hanya serbuk keramik. Peningkatan yang cukup signifikan terjadi pada setiap sampel campuran semen dengan pemeraman 14 hari. Hal ini dapat disebabkan waktu peningkatan kekuatan (*setting time*) semen lebih panjang sehingga dapat mengikat tanah dengan lebih baik atau dengan bertambahnya masa pemeraman terjadinya proses pengikatan antar partikel tanah semakin kuat sehingga tidak mudah lepas saat terjadi geseran.

Grafik perbandingan nilai sudut geser dalam pengujian geser langsung terdapat pada Gambar 8, Gambar 9, Gambar 10, Gambar 11 dan Gambar 12 berikut ini.



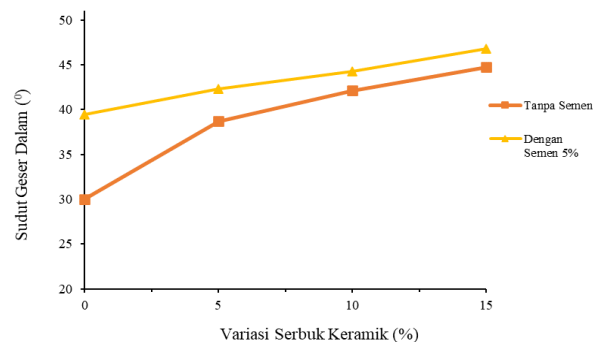
Gambar 8 Grafik Perbandingan Nilai Sudut Geser Dalam pada Variasi TA + Serbuk Keramik dan TA + Serbuk Keramik + Semen Pemeraman 1 Hari

Pada sampel dengan variasi serbuk keramik 5%, 10%, dan 15% dengan pemeraman 1 hari menunjukkan bahwa kenaikan sudut geser dalam (ϕ) yang signifikan seiring bertambahnya kadar serbuk keramik. Penambahan serbuk keramik 15% + semen 5% pada pemeraman 1 hari memiliki kenaikan nilai tertinggi dalam nilai sudut geser dalam sebesar 46,952% atau sebesar 44,091°. Dapat disimpulkan dari Gambar 9 bahwa semakin besar variasi penambahan serbuk keramik + semen maka nilai sudut geser dalam semakin meningkat.



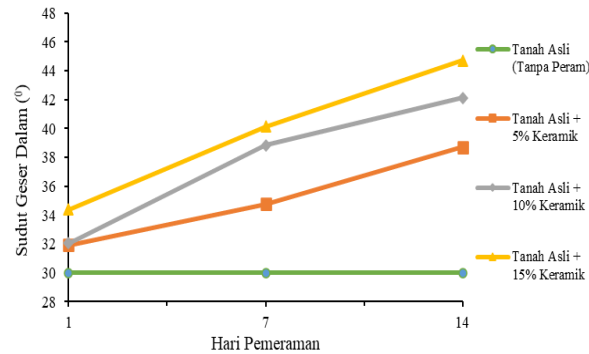
Gambar 9 Grafik Perbandingan Nilai Sudut Geser Dalam pada Variasi TA + Serbuk Keramik dan TA + Serbuk Keramik + Semen Pemeraman 7 Hari

Pada sampel dengan variasi serbuk keramik dan serbuk keramik + semen dengan pemeraman 7 hari menunjukkan bahwa kenaikan sudut geser dalam (ϕ) yang signifikan seiring bertambahnya kadar serbuk keramik dan adanya penambahan semen. Dibandingkan dengan penambahan serbuk keramik saja, penambahan semen memiliki fungsi meningkatkan sudut geser dalam lebih tinggi lagi dibandingkan variasi tanpa semen. Penambahan serbuk keramik 15%+5%PC pada pemeraman 7 hari memiliki kenaikan nilai tertinggi dalam nilai sudut geser dalam sebesar $45,707^\circ$ atau sebesar 52,339%. Dapat disimpulkan dari Gambar 10 bahwa semakin besar variasi penambahan serbuk keramik dan adanya penambahan 5% semen membuat nilai sudut geser dalam semakin meningkat dari variasi penambahan serbuk keramik saja.



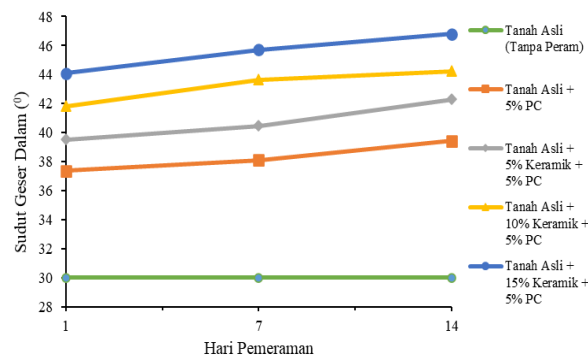
Gambar 10 Grafik Perbandingan Nilai Sudut Geser Dalam pada Variasi TA + Serbuk Keramik dan TA + Serbuk Keramik + Semen Pemeraman 14 Hari

Pada sampel dengan pemeraman 14 hari menunjukkan kenaikan sudut geser dalam yang signifikan seiring bertambahnya persentase kadar keramik. Pada penambahan semen 5% nilai kuat geser semakin tinggi nilainya. nilai tertinggi pada variasi TA+ serbuk keramik berada pada campuran 15% serbuk keramik dengan nilai sudut geser dalam sebesar $44,711^\circ$ atau kenaikan dari tanah asli sebesar 49,018%. Sedangkan Ketika campuran keramik ditambahkan semen nilai sudut geser dalam semakin meningkat yaitu sebesar $46,803^\circ$ atau kenaikan dari tanah asli sebesar 55,99%. Maka dilihat dari hasil tersebut penambahan serbuk keramik mampu meningkatkan nilai sudut geser dalam. Namun penambahan semen dalam campuran tanah asli dan keramik mampu meningkatkan lebih tinggi nilai sudut geser dalamnya.



Gambar 11 Grafik Pengaruh Pemeraman Terhadap Nilai Sudut Geser Dalam pada Variasi TA + Serbuk Keramik

Berdasarkan grafik di atas, penambahan tanah asli dengan serbuk keramik mengalami peningkatan nilai sudut geser dalam (ϕ) beriringan dengan bertambahnya lama waktu pemeraman.



Gambar 12 Grafik Pengaruh Pemeraman Terhadap Nilai Sudut Geser Dalam pada Variasi TA + Serbuk Keramik + PC

Seperti pada variasi serbuk keramik, setiap campuran nilai sudut geser dalam mengalami kenaikan ketika ditambahkan semen sebesar 5%, nilai semakin tinggi dibandingkan dengan variasi yang hanya serbuk keramik. Peningkatan yang cukup signifikan terjadi pada setiap sampel campuran semen dengan pemeraman 14 hari. Hal ini dapat disebabkan waktu peningkatan kekuatan (*setting time*) semen lebih panjang sehingga dapat mengikat tanah dengan lebih baik.

Pengujian Kuat Tekan Bebas

Hasil pengujian tekan bebas tanah asli yang dicampur dengan bahan stabilisasi serbuk limbah keramik dan semen dapat dilihat pada Tabel 4 dan Tabel 5 berikut ini.

Tabel 4 Rekapitulasi Hasil Pengujian Tekan Bebas Dengan Campuran Serbuk Limbah Keramik dan PC

Variasi	Parameter Kuat Tekan Bebas
---------	----------------------------

	Kohesi, c (kg/cm ²)		Sudut Geser Dalam, ϕ (^o)	
	TS	DS	TS	DS
TA+0%K	0,403	1,070	54	25
TA+5%K	0,579	1,380	48	30
TA+10% K	0,749	1,432	45	35
TA+15% K	1,155	1,530	30	38

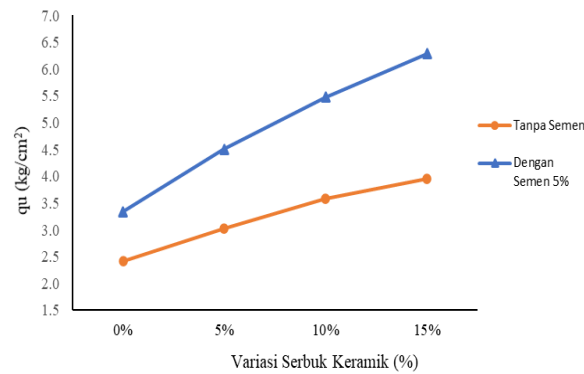
Keterangan= TS: Tanpa Semen, DS: Diberi Semen 5%

Tabel 5 Rekapitulasi Hasil Pengujian Tekan Bebas Dengan Campuran Serbuk Limbah Keramik dan PC

Variasi	Parameter Kuat Tekan Bebas	
	q_u (kg/cm ²)	
	TS	DS
TA+0%K	2,412	3,343
TA+5%K	3,028	4,507
TA+10% K	3,589	5,474
TA+15% K	3,952	6,286

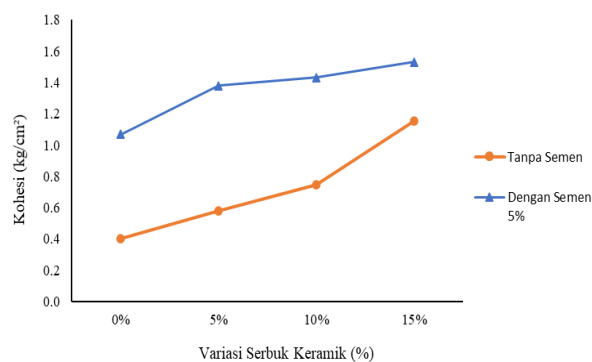
Keterangan= TS: Tanpa Semen, DS: Diberi Semen 5%

Grafik Perbandingan nilai kuat tekan bebas, kohesi, dan sudut geser dalam pada pengujian kuat tekan bebas menggunakan bahan campuran serbuk limbah keramik dan serbuk limbah keramik + semen dapat dilihat pada Gambar 5.13, Gambar 5.14, dan Gambar 5.15 dibawah ini.



Gambar 5.13 Grafik Hubungan Antara Nilai q_u Terhadap Penambahan Serbuk Keramik dan Serbuk Keramik + Semen

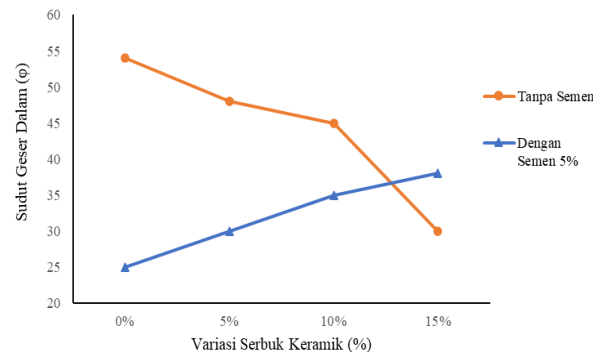
Dari grafik hasil percobaan kuat tekan bebas diatas, menunjukkan terjadinya peningkatan nilai kuat tekan bebas (q_u) terhadap penambahan serbuk keramik dan penambahan serbuk keramik + semen sampai kadar penambahan serbuk keramik 15% dan penambahan serbuk keramik 15% +5% PC. Nilai Kuat tekan bebas (q_u) pada tanah asli sebesar 2,412 kg/cm². Peningkatan terjadi sampai pada variasi campuran keramik 15% dengan pemeraman 14 hari yaitu sebesar 3,952 kg/cm² dengan persentase peningkatan sebesar 63,831%. Sedangkan untuk campuran keramik 15% + 5% PC juga meningkat sebesar 6,286 kg/cm² dengan persentase peningkatan sebesar 160.558% pada pemeraman 14 hari. Dilihat pada grafik bahwa penambahan serbuk limbah keramik berpengaruh pada peningkatan nilai q_u , namun dengan tambahan semen kedalam campuran tanah asli + keramik membuat nilai q_u semakin meningkat dikarenakan semen memiliki kemampuan mengeras dan mengikat partikel yang sangat bermanfaat untuk mendapatkan suatu massa tanah yang kokoh dan tahan terhadap deformasi.



Gambar 5.14 Grafik Hubungan Antara Nilai Kohesi Terhadap Penambahan Serbuk Keramik dan Serbuk Keramik + Semen

Dari grafik hasil percobaan kuat tekan bebas diatas, menunjukkan terjadinya peningkatan pada nilai kohesi (c) sampai kadar penambahan 15% serbuk keramik dan penambahan 15% serbuk keramik + 5% PC. Nilai kohesi pada tanah asli sebesar 0,403 kg/cm². Persentase peningkatan kohesi tertinggi terjadi pada variasi 15% serbuk keramik pemeraman 14 hari sebesar 186,372% atau sebesar 1,155 kg/cm². Sedangkan persentase tertinggi pencampuran serbuk keramik + PC terjadi pada pencampuran serbuk keramik 15% + 5% PC pemeraman 14 hari sebesar 279,539% atau sebesar

1,530 kg/cm². Semen sangat berpengaruh dalam peningkatan nilai kohesi, dilihat dalam grafik semen mampu meningkatkan nilai kohesi beserta penambahan variasi serbuk keramik.



Gambar 5.15 Grafik Hubungan Antara Nilai Sudut Geser Dalam (ϕ) Terhadap Penambahan Serbuk Keramik dan Serbuk Keramik + Semen

Dari grafik hasil percobaan kuat tekan diatas, menunjukkan hasil dari nilai sudut geser dalam (ϕ) mengalami penurunan. Nilai sudut geser dalam tanah asli sebesar 54°. Untuk variasi campuran serbuk keramik mengalami penurunan dari campuran 5%, 10%, dan 15%. Penurunan terbesar terjadi pada pencampuran 15% serbuk keramik sebesar 30° atau nilai persentase sebesar -44,444%. Untuk pencampuran serbuk keramik + PC mengalami penurunan di variasi 0% Serbuk Keramik + 5% PC sebesar 25° atau sebesar 53,704%. Kemudian setelah dicampur keramik sebanyak 5%, 10%, dan 15% sudut geser dalam mengalami kenaikan sebesar 30°, 35°, dan 38°. Dilihat dalam grafik penambahan serbuk keramik pada tanah asli menurun berbeda dengan penambahan semen sebanyak 5% dikarenakan semen memiliki kemampuan mengeras sehingga membuat padat massa tanah karena semakin padat massa tanah semakin besar sudut gesernya, dan sebaliknya semakin lepas massa tanah maka sudut geser semakin menurun.

KESIMPULAN

Berdasarkan dari hasil penelitian dan analisis data yang telah dilakukan sebelumnya, maka dapat disimpulkan sebagai berikut ini.

1. Berdasarkan hasil pengujian analisis saringan dengan menggunakan sistem klasifikasi tanah metode USCS, tanah yang berasal dari Daerah Kasongan, Kecamatan Kasihan, Kabupaten Bantul, Provinsi D.I.Yogyakarta mendekati kelompok MH/OH yaitu lempung organik dengan plastisitas sedang sampai tinggi. Berdasarkan sistem klasifikasi tanah metode AASHTO, tanah tersebut termasuk dalam kelompok A-7-5 dengan jenis tanah berlempung dengan sifat tanah dasar biasa sampai jelek.
2. Pada pengujian kuat tekan bebas nilai kuat dukung tanah maksimum terjadi pada pencampuran serbuk keramik 15% + 5% PC dengan pemeraman 14 hari sebesar $q_u = 6,286$ kg/cm² dari tanah asli sebesar 2,412 kg/cm² dengan sudut 38° serta kohesi (c) sebesar 1,530 kg/cm². Hasil pengujian kohesi pada pencampuran serbuk keramik mengalami penurunan. Hasil terbesar sudut maksimum terjadi bukan pada variasi 15% + 5% PC dengan pemeraman 14 hari melainkan terjadi pada tanah asli tanpa pencampuran apapun dengan nilai sudut sebesar 54°.

3. Pencampuran serbuk limbah keramik dan PC pada tanah asli memberikan pengaruh terhadap parameter kuat geser tanah yaitu kohesi dan sudut geser dalam sebagai berikut ini.
 - a. Nilai kohesi (c) tanah asli dalam pengujian geser langsung adalah sebesar $0,680 \text{ kg/cm}^2$. Peningkatan nilai kohesi terjadi pada saat variasi campuran ditambahkan dengan PC, namun hanya di beberapa variasi dan masa pemeraman. Peningkatan terjadi di masa pemeraman 1 hari terjadi 87 pada variasi TA + 15 % serbuk keramik + 5% PC sebesar $0,759 \text{ kg/cm}^2$. Pada masa pemeraman 7 hari pada variasi TA + 5% serbuk keramik + 5% PC, TA + 10% serbuk keramik + 5% PC, TA + 15% serbuk keramik + 5% PC sebesar $0,730 \text{ kg/cm}^2$; $0,810 \text{ kg/cm}^2$; $0,855 \text{ kg/cm}^2$. Pada masa pemeraman 14 hari terjadi pada semua variasi yang menggunakan PC.
 - b. Nilai sudut geser dalam (ϕ) tanah asli dalam pengujian geser langsung adalah sebesar 30° . Peningkatan nilai sudut geser dalam pada pengujian geser langsung terjadi pada semua variasi campuran. Untuk campuran TA + serbuk keramik nilai terbesar sudut geser dalam terjadi pada variasi TA + 15% Keramik pada pemeraman 14 hari sebesar $44,711^\circ$. Pada penambahan PC terjadi peningkatan pada nilai sudut geser dalam, nilai maksimum terjadi pada variasi TA + 15% serbuk keramik + 5% PC pada pemeraman 14 hari sebesar $46,803^\circ$. Penambahan semen sangat mampu menaikkan nilai parameter kuat geser tanah.
4. Berdasarkan pengujian yang telah dilakukan maka didapatkan kenaikan kuat tekan bebas yang terbesar terjadi pada kadar TA +15% serbuk keramik + 5% P dengan pemeraman 14 hari. Pada pengujian kuat geser tanah yang terbesar terjadi pada variasi TA + 15% serbuk keramik + 5% PC. Penambahan serbuk keramik dan semen mampu meningkatkan parameter kuat pada masing-masing pengujian.

DAFTAR PUSTAKA

- Bowles, Joseph E. (1986). Sifat-Sifat Fisis dan Geoteknis Tanah. Terjemahan oleh Johan Kelanaputra Hainim. Erlangga.
- Chowdhury, I.N., Abedin, M.Z. and Arif, M.Z.U. (2016). Stabilization of Organic Soil from Bangladesh with Cement and Fly Ash. 19th Southeast Asian Geotechnical Conference & 2nd AGSSEA Conference (19SEAGC & 2AGSSEA) Young Geotechnical Engineers Conference, Dhaka, 95–98.
- Das, B. M. (1995). Mekanika Tanah (Prinsip-Prinsip Rekayasa Geoteknik). Terjemahan oleh Noor Endah M. dan Indrasurya B.M. 1985. Erlangga.
- Hardiyatmo, Hary Christady. (2002). Mekanika Tanah I. Edisi 3. Gadjah Mada University Press.
- Hutagalung, S.W. (2017). Kajian Kuat Tekan Bebas Stabilisasi Tanah Lempung Dengan Stabilizing Agents Serbuk Kaca dan Semen. Jurnal Teknik Sipil Universitas Sumatera Utara, Vol.6, No.1.
- Onakunle, Olumuyiwa., Omole, David O. and Ogiye, Adebajji S. (2019). Stabilization of Lateritic Soil from Agbara Nigeria with Ceramic Waste Dust. Cogent Engineering, 6:1, 1710087.
- Rangan, P.R. and Arrang, A.T. (2021). Stabilization of Expansive Clay Soil with Ceramic Waste: Case Study: Tanete Land, Lembang Limbong, Rembon District, Tana Toraja Regency. Journal Dynamic Saint, Vol.5, No.2, 945–950.

- Sabat, Akshaya K. (2012). Stabilization of Expansive Soil Using Waste Ceramic Dust. Electronic Journal of Geotechnical Engineering. Department of Civil Engineering ITER, SOA University, Bhubaneswar-751030, India, Vol.17, 3915–3926.
- Subakti, A. (1994). Teknologi Beton Dalam Praktek. Jurusan Teknik Sipil FTSP ITS.



ANALISIS DEAGREGASI HAZARD GEMPA BUMI : STUDI KASUS WILAYAH SENDOWO, SINDUADI, KAB. SLEMAN, KOTA YOGYAKARTA

Atika Ulfah Jamal¹, Bambang Suryo Aribowo²

¹ Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan UII, Yogyakarta, Indonesia

² Alumni Magister Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, UII, Yogyakarta, Indonesia

ABSTRAK

Indonesia merupakan wilayah yang rawan terhadap bencana gempa bumi. Sebagai upaya untuk mengurangi risiko gempa adalah dengan mendesain atau mengevaluasi bangunan dengan konsep bangunan tahan gempa. Salah satu prosedur analisis yang dapat digunakan untuk perencanaan ketahanan gempa struktur bangunan gedung, yaitu menggunakan prosedur analisis riwayat waktu. Keterbatasan data rekaman percepatan tanah akibat gempa bumi di Indonesia menjadi kendala untuk melakukan analisis riwayat waktu. Oleh karena itu perlu dilakukan pemilihan dan modifikasi gerak tanah permukaan yang sesuai dengan wilayah tempat bangunan akan direncanakan dibangun. Menurut SNI 8899-2020, salah satu tahapan yang perlu dilakukan untuk pemenuhan data gerak tanah riwayat waktu tersebut adalah melakukan analisis deagregasi hazard gempa bumi di wilayah bangunan yang akan direncanakan maupun dievaluasi. Tujuan dilakukan penelitian analisis deagregasi ini adalah sebagai acuan untuk melakukan pemilihan terhadap data gerak tanah riwayat waktu yang sesuai dengan wilayah bangunan di Indonesia. Pada penelitian ini dilakukan di wilayah Sendowo, Sinduadi, Kab. Sleman, Kota Yogyakarta, karena di wilayah tersebut banyak bangunan perkuliahan, perkantoran maupun hunian. Penentuan Uniform Hazard Spectrum (UHS) dilakukan dengan metode probabilistic seismic hazard analysis (PSHA). Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa sumber gempa Sesar Opak dominasi sebesar 73,775% yang diprediksi memiliki kontribusi terbesar terhadap risiko gempa. Nilai magnitude dominan di wilayah tersebut berada pada besaran 5.97 Mw dan jarak dominan berada pada besaran 23,78 km.

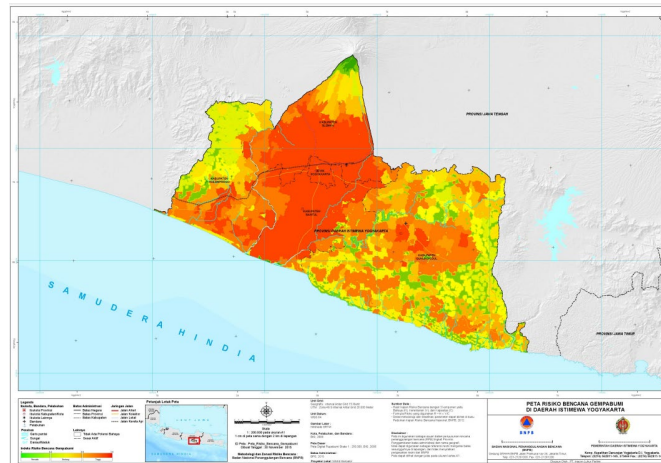
Kata kunci: Gempa, Deagregasi, Probabilistic Seismic Hazard Analysis (PSHA), Uniform Hazard Spectrum (UHS)

PENDAHULUAN

Gempa bumi merupakan pelepasan energi tiba-tiba di dalam kerak Bumi, dalam hal ini adalah selubung Bumi bagian atas yang biasanya diakibatkan oleh pergerakan sepanjang bidang sesar atau oleh adanya pergerakan magma pada aktivitas vulkanik. Di Indonesia sendiri, gempa bumi besar umumnya terjadi akibat proses subduksi lempeng yang menimbulkan sesar. Pelepasan energi pada sesar dari lempeng yang menimbulkan gelombang gempa yang merambat di permukaan Bumi. Jika energi yang dilepaskannya besar dan fokusnya dangkal, getaran ini menimbulkan kerusakan besar pula di permukaan Bumi. Besaran gempa bumi (*magnitude*) ditentukan dari besarnya energi yang dihasilkan akibat proses pergerakan di kerak Bumi. Sedangkan intensitas gempa bumi ditentukan dari jarak terhadap episentrum, kedalaman fokus gempa bumi dan sifat batuan yang dilaluinya.

Indonesia dikenal dengan wilayah rawan bencana karena diapit oleh 3 lempeng besar dunia yang bergerak saling mendekati satu sama lain yaitu lempeng Eurasia, Indo-Australia, dan pasifik. Indonesia tercatat telah mengalami beberapa kali gempa dengan

kekuatan yang cukup besar dan menyebabkan banyak korban jiwa. Salah satu wilayah di Indonesia yang memiliki indeks risiko gempa yang tinggi adalah Kota Yogyakarta. Dari Gambar 1. dapat dilihat bahwa Daerah Istimewa Yogyakarta dikenal dengan wilayah yang memiliki indeks risiko gempa yang tinggi. Indeks risiko pada suatu daerah di Daerah Istimewa Yogyakarta tidak semuanya merata.



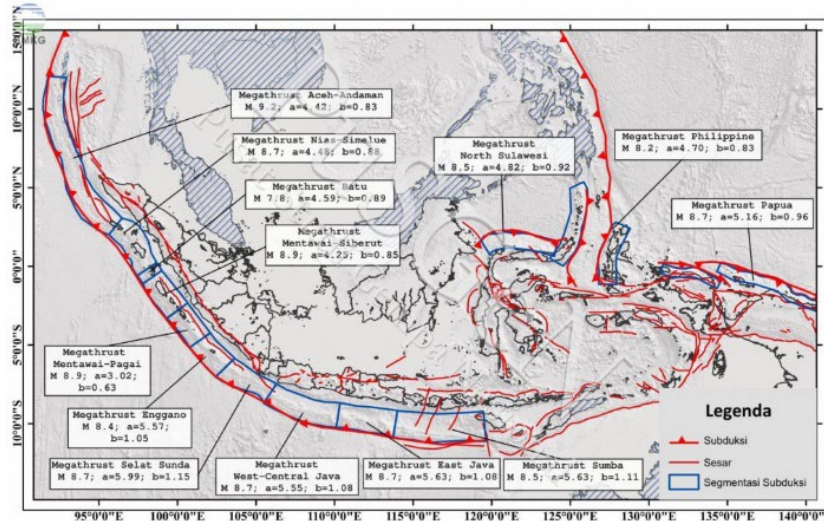
Gambar 1. Peta Risiko Bencana Gempa Bumi per 30 November 2015 (Badan Nasional Penanggulangan Bencana, 2022. InaRisk peta risiko bahaya gempa bumi. Di akses 8 Mei 2022 dari <http://inarisk.bnpb.go.id/>.)

Ancaman gempa adalah risiko hidup di jalur gempa, yakni di sekitar pertemuan lempeng-lempeng tektonik, yang faktor bahayanya (kapan persisnya dan seberapa besar terjadi, serta di mana saja yang akan terlanda gempa) sangat sulit untuk diketahui. Namun, sebenarnya cukup banyak upaya yang dapat dilakukan untuk mengurangi risikonya. Mitigasi atau upaya-upaya untuk mengurangi bencana akibat gempa memerlukan pengetahuan tentang sumber bencana gempa. Untuk itu, riset mengenai gempa mutlak perlu terus ditingkatkan guna mempertajam perkiraan tentang kejadian gempa di masa yang akan datang.

Sebagai salah satu upaya untuk mengurangi risiko gempa adalah dengan mendesain atau mengevaluasi bangunan dengan konsep bangunan tahan gempa. Salah satu prosedur analisis yang dapat digunakan untuk perencanaan ketahanan gempa struktur bangunan gedung, yaitu menggunakan prosedur analisis riwayat waktu, dengan memberikan beban gempa berupa rekaman percepatan tanah akibat gempa. Keterbatasan data rekaman percepatan tanah akibat gempa bumi di Indonesia menjadi kendala untuk melakukan analisis riwayat waktu. Oleh karena itu perlu dilakukan pemilihan dan modifikasi gerak tanah permukaan yang sesuai dengan wilayah tempat bangunan akan direncanakan dibangun. Menurut SNI 8899-2020, salah satu tahapan yang perlu dilakukan untuk pemenuhan data gerak tanah riwayat waktu tersebut adalah melakukan analisis deagregasi *hazard* gempa bumi di wilayah bangunan yang akan direncanakan maupun dievaluasi.

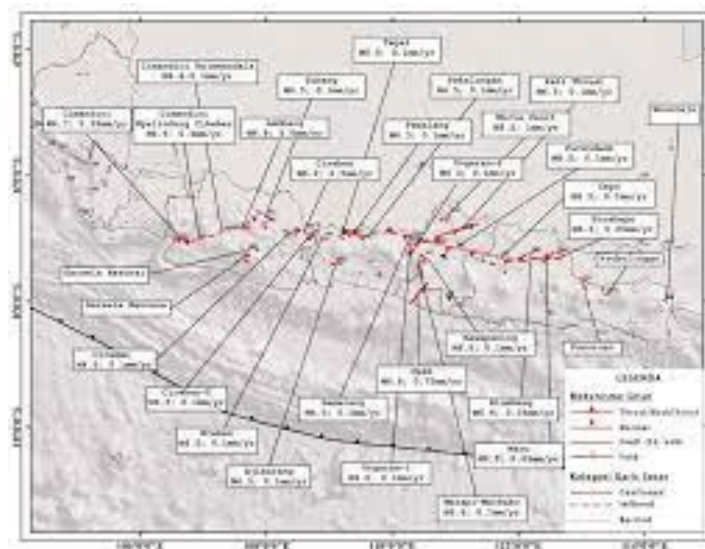
Pada penelitian ini dilakukan di wilayah Sendowo, Sinduadi, Kec Sleman, Kota Yogyakarta, karena di wilayah tersebut banyak bangunan perkuliahan, perkantoran maupun hunian. Di tempat penelitian sendiri memiliki tingkat risiko yang tinggi terhadap bencana gempa karena letaknya yang relatif dekat dengan sumber gempa dan tingkat kepadatan penduduk yang cukup tinggi. Daerah penelitian rawan terhadap gempa yang

berasal dari zona subduksi lempeng Indo-Australia dengan lempeng Eurasia di sebelah selatan Pulau Jawa. Kecepatan penyusupan lempeng tektonik di selatan Pulau Jawa sekitar $6,7 \pm 0,7$ cm/ tahun.



Gambar 2. Sketsa tektonik Indonesia (Pusgen, 2017)

Gambar 2 menunjukkan penyusupan antara lempeng Indo-Australia dengan lempeng Eurasia di sepanjang barat Sumatra dan selatan Pulau Jawa. Daerah penelitian juga rawan terhadap bencana gempa yang diakibatkan aktivitas sesar (*shallow crustal*) (Gambar 3).



Gambar 3. Shallow Crustal di Pulau Jawa (Pusgen, 2017)

Sesar Opak merupakan sesar terdekat dengan daerah Sleman dengan jarak ± 15 km. Laju pergerakan (*slip rate*) sekitar 0,75 mm/tahun dengan kekuatan maksimum yang mungkin ditimbulkan sebesar 6,6 (Pusgen, 2017). Gempa Yogyakarta 27 Mei 2006 merupakan contoh gempa yang diakibatkan oleh aktivitas sesar tersebut. Gempa tersebut menimbulkan korban jiwa sekitar 6.000 orang, lebih dari 50.000 orang luka-luka, 600.000 orang mengungsi, lebih dari 127.000 rumah hancur, dan 451.000 rusak.

Tujuan dilakukan penelitian analisis deagregasi *hazard* gempa ini adalah sebagai acuan untuk melakukan pemilihan terhadap data gerak tanah riwayat waktu yang sesuai dengan wilayah bangunan di Indonesia, khususnya di wilayah Sendowo, Sinduadi, Kab.Sleman, Kota Yogyakarta. Sehingga hasil penelitian tersebut dapat dimanfaatkan dalam perencanaan bangunan tahan gempa untuk pemenuhan kebutuhan beban gempa yang akan diaplikasikan dalam analisis struktur. Penentuan *Uniform Hazard Spectrum (UHS)* dilakukan dengan *metode probabilistic seismic hazard analysis (PSHA)*.

TINJAUAN PUSTAKA

Probabilistic Seismic Hazard Analysis (PSHA)

Metode *Probabilistic Seismic Hazard Analysis (PSHA)* merupakan salah satu metode yang paling umum digunakan dalam penentuan tingkat ancaman gempa. Kejadian gempa bumi yang tidak dapat ditentukan dengan pasti baik itu besaran energi, lokasi kejadian, dan waktu kejadian. Metode PSHA dikembangkan pertama kali oleh Cornell (1968) yang merupakan perpaduan aspek seismisitas yang memperhitungkan dan menggabungkan ketidakpastian dari skala kejadian gempa, lokasi dan frekuensi kejadian yang untuk mendapatkan gambaran yang menyeluruh mengenai tingkat *hazard* lokasi yang ditinjau dengan metode penentuan gempa bumi berdasarkan data kejadian gempa dan informasi geologi pada zona patahan yang ada. Analisis tingkat kerawanan seismik sangat diperlukan dalam melakukan perkiraan *ground motion* untuk potensi gempa bumi yang paling mungkin terjadi secara global di suatu daerah. Masukan dasar pada analisis berupa data seismisitas, tektonik, informasi kondisi geologi di suatu wilayah dengan memperhatikan karakteristik atenuasi parameter pergerakan.

Metode probabilistik adalah metode penentuan gempabumi yang memadukan aspek seismisitas berdasarkan data kejadian gempa dan informasi geologi pada zona patahan tertentu. Metode deterministik adalah penilaian bahaya gempa bumi dengan menggunakan skenario gempabumi pada lokasi dan magnitudo tertentu. Kedua metode ini dipergunakan untuk memperkirakan *ground motion* dari persamaan hubungan atenuasi secara empiris, yang dinyatakan dengan magnitudo gempabumi, jarak ke tempat tertentu, kondisi tempat yang berkaitan dengan kondisi tanah dan geologi.

Metode probabilistik (PSHA) memberikan pertimbangan magnitudo gempa bumi yang berbeda dengan distribusi ruang yang tepat sekitar tempat yang dipilih dan tidak hanya sebuah gempa bumi tunggal. PSHA memperhitungkan efek-efek seismisitas total yang diharapkan atas periode ukur yang ditetapkan, sifat acak kejadian gempabumi, dan atenuasi gelombang seismik dengan jarak. Analisis bahaya gempa (*seismic hazard analysis*) bertujuan untuk memperoleh estimasi kuantitatif dari guncangan tanah (*ground-shaking*) pada suatu wilayah tertentu. Metode PSHA dikembangkan oleh Cornell (1968), kemudian Kramer (1996) melakukan analisis *seismic hazard* dengan menggunakan teori probabilitas total. Dalam beberapa penelitian tersebut hanya ketidakpastian dari parameter saja yang diukur.

Rumus dasar penelitian dari Kramer (1996) adalah sebagai berikut :

$$P(Y > \dot{y}) = \iint P(Y > \dot{y}|m, r) f_M(r) f_R(r) dr dm \quad (1)$$

dimana :

f_M = fungsi probabilitas dari magnitudo

f_R = fungsi probabilita dari jarak ke sumber

$P[Y > \dot{y}; m, r]$ = probabilitas berkondisi dari karakteristik gempa Y yang lebih besar dari karakteristik gempa \dot{y} di suatu lokasi dengan kekuatan gempa M dan jarak sumber R .

Dengan metode *Probabilistic Seismic Hazard Analysis* (PSHA) merupakan yang suatu metode yang digunakan dalam analisis bahaya kegempaan berdasarkan fungsi distribusi probabilitas yang memperhitungkan dan menggabungkan ketidakpastian dari skala kejadian gempa, lokasi dan frekuensi kejadiannya, untuk mendapatkan gambaran yang menyeluruh mengenai tingkat *hazard* suatu lokasi yang ditinjau. Hasil perhitungannya ditampilkan dalam bentuk kurva bahaya kegempaan ini yang kemudian digunakan untuk menghitung probabilitas suatu parameter getaran terjadi selama periode waktu tertentu.

Fungsi Atenuasi

Di dalam penilaian bahaya kegempaan dapat ditampilkan dalam dua bentuk yaitu secara deterministik (dengan mengambil skenario nilai gempa tertentu) dan secara probabilistik (yang mengambil semua gempa dengan kemungkinan keberulangnya secara khusus). Kedua pendekatan ini memerlukan model atenuasi gerakan tanah dalam penggunaannya. Fungsi atenuasi merupakan persamaan matematika sederhana yang menghubungkan antara parameter kegempaan di lokasi pusat gempa (Magnitudo M dan jarak R) dengan parameter pergerakan tanah (spektra percepatan) di lokasi yang ditinjau. Fungsi atenuasi cenderung spesifik untuk setiap wilayah dan untuk suatu tipe patahan, misalnya atenuasi untuk *strike-slip* berbeda dengan untuk *reverse* atau *thrust fault* (Sunardi, 2013).

Salah satu data yang digunakan untuk menurunkan fungsi atenuasi adalah data *time history* yang didapatkan dari hasil pencatatan alat *accelerograph* saat kejadian. Penurunan semua model atenuasi didasarkan pada analisis statistik dan gerakan tanah terekam. Model atenuasi yang telah didapat dari penurunan ini dapat di *update* ketika data rekaman gerakan tanah terbaru telah tersedia. Bentuk *updating* terhadap beberapa fungsi atenuasi yang ada telah dapat dilihat dengan munculnya model atenuasi tahun 2006/2007 dalam kelompok *Next Generation Attenuation* (NGA). Model atenuasi yang termasuk dalam kelompok NGA antara lain Boore and Atkinson (2006), Chiou and Youngs (2006), Campbell dan Bozorgnia (2006), Idriss (2007), Boore and Atkinson PEER-NGA (2007) serta Abrahamson dan Silva (2007).

Meski saat ini banyak persamaan atenuasi yang dihasilkan, namun Indonesia sampai dengan saat ini belum memiliki data *ground motion* yang cukup untuk pembuatan fungsi atenuasi. Oleh karena itulah, pemakaian fungsi atenuasi yang diturunkan dari negara lain tidak dapat dihindari. Pemilihan fungsi atenuasi didasarkan pada kesamaan kondisi geologi dan tektonik dari wilayah dimana rumus atenuasi itu dibuat. Dalam dua dekade terakhir banyak persamaan atenuasi yang dihasilkan, namun hingga saat ini belum ada persamaan atenuasi yang dibuat berdasarkan data gempa yang terjadi di Indonesia sehingga persamaan atenuasi yang digunakan di Indonesia masih mengacu pada data gempa yang terjadi di negara lain. Persamaan atenuasi yang digunakan harus sesuai dengan mekanisme sumber gempa yang ditinjau. Dalam hal ini fungsi atenuasi yang dipilih adalah fungsi atenuasi Atkinson-Boore (2003) dan Youngs et al (1997) pada sumber gempa subduksi, serta fungsi atenuasi Boore-Atkinson (2006) NGA dan Sadigh (1997) pada sumber gempa *shallow crustal*.

Spektra Hazard Seragam (Uniform Hazard Spectrum)

Pada penelitian ini menggunakan program SR-Model (Makrup, 2009). Dalam program ini dapat menganalisis tingkat risiko gempa dengan model 3D dengan metode probabilistik dan mempertimbangkan ketidakpastian penggunaan beberapa parameter input. Ketidakpastian (*uncertainty*) ini terbagi menjadi 2 jenis yaitu *aleatory uncertainty* dan *epistemic uncertainty*. Ketidakpastian epistemic dapat diatasi dengan menerapkan model *logic tree* dalam analisis metode PSHA (Widodo, 2018). Bila nilai SA di setiap periode T telah diperoleh maka hasilnya akan disajikan dalam bentuk UHS, setiap nilai percepatan spectral (SA) pada grafik UHS yang merupakan kontribusi dari kemungkinan jenis sumber, jarak gempa dan magnitudo (Widodo, 2020).

Deagregasi Hazard

Dasar dari perhitungan *seismic hazard* probabilistic (PSHA) yaitu menghitung ancaman gempa berdasarkan pada kumpulan hasil dari semua kejadian gempa dan gerakan tanah yang mungkin dapat terjadi di masa yang akan datang. Sedangkan analisis dengan kemungkinan magnitudo dan jarak dari *site* ke sumber gempa yang mana akan memberikan *hazard* terbesar pada *site* tidak terlihat jelas dalam PSHA. Tingkat ancaman gempa yang direpresentasikan dalam nilai percepatan dapat ditentukan dengan analisis metode PSHA. Dengan kondisi seperti ini maka PSHA menjadi kurang lengkap memberi informasi tentang magnitudo (M) dan jarak (R) yang memiliki pengaruh dominan terhadap lokasi tinjauan belum dapat ditentukan dalam desain gempa (Makrup, 2013).

Makrup, L., (2009) mengatakan analisis *seismic hazard* probabilistic (PSHA) memiliki keuntungan karena berbagai asumsi tentang sumber gempa potensial dan keberulangan gempa diintegrasikan menjadi satu dengan tiap-tiap asumsi memiliki kesempatan relatif untuk berpartisipasi dalam analisis. Di sisi lain, diperlukan untuk selalu dapat menyediakan gempa desain untuk tujuan membuat keputusan dalam memilih *time history* yang tepat untuk analisis yang didasarkan pada *spectra hazard* seragam, kemudian menghitung parameter yang berupa durasi gerak dan lain-lain.

Kelemahan dari metode ini adalah ketidakmampuan membuat ground motion untuk analisis gempa lanjut seperti interaksi tanah bangunan, stabilitas lereng dan likuifaksi yang menggambarkan satu kejadian gempa. Oleh sebab itu, gempa tidak akan terjadi dalam satu kejadian gempa (dengan sebuah magnitudo dan jarak tertentu) dengan satu respon spektra. Respon spektra yang dihasilkan dari PSHA menunjukkan bahwa struktur pada suatu lokasi akan menerima berbagai gempa dari berbagai sumber dengan berbagai magnitudo dan jarak secara simultan dan hal ini tidak mungkin terjadi di kenyataan.

METODE PENELITIAN

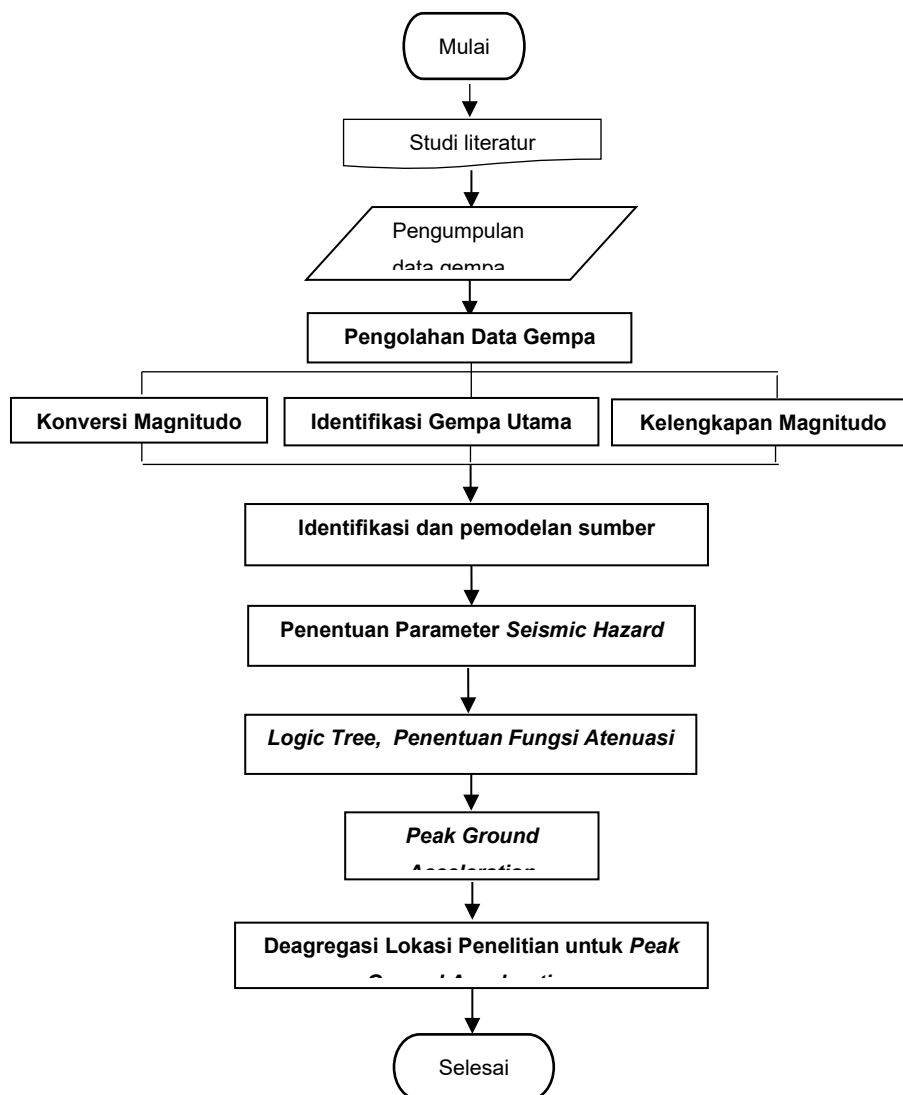
Dalam penentuan nilai-nilai parameter seismik dibutuhkan data catatan kejadian gempa. Data kejadian gempa yang dikumpulkan dalam penelitian ini diperoleh dari USGS (United States of Geological Surveys (USGS) dengan rentang waktu pengambilan dari tahun 1900 sampai dengan 2022. Data yang diperoleh dari USGS memiliki skala magnitudo bervariasi. Dari magnitudo *surface*, magnitudo *body*, atau magnitudo lokal. Oleh karena itu, digunakan analisis yang mengkonversi menjadi satu skala magnitudo yaitu magnitudo momen (M_w) karena dianggap lebih konsisten menggunakan persamaan empirik (Asrurifak et al., 2010). Tahapan penelitian dapat dilihat pada Gambar 4.

Pengumpulan dan Pengolahan Data Gempa

Setelah dikonversi jadi magnitudo momen (M_w), masih diperlukan pengolahan data gempa lebih lanjut yaitu memisahkan dapat gempa utama dan susulan dengan menggunakan bantuan program ZMAP (Wiemer, 2001). Memasukkan data gempa susulan dalam analisis PSHA akan menyebabkan peningkatan nilai seismik hazard (Makrup, 2013).

Pemodelan Sumber Gempa

Terdapat 2 jenis sumber yang akan dimodelkan dalam penelitian ini yaitu sumber gempa subduksi dan sumber gempa fault/patahan. Model sumber gempa dibutuhkan untuk mendapatkan hubungan antara data kejadian gempa dan model hitungan yang akan digunakan dalam analisis PSHA untuk menentukan tingkat risiko gempa (Sunardi, 2013). Model sumber gempa memberikan gambaran frekuensi kejadian gempa, distribusi kejadian gempa, dan pergeseran relatif sumber gempa (slip-rate) dari suatu sumber gempa (Irsyam et al., 2010).



Gambar 4. Tahapan Penelitian

Penentuan Parameter Sumber Gempa

Parameter sumber gempa merupakan representasi dari karakteristik sumber gempa yang diperoleh dari analisis data frekuensi kejadian gempa (Sunardi, 2013). Adapun parameter-parameter sumber gempa yang diperlukan dalam analisis PSHA seperti magnitudo maksimum, *slip rate*, nilai *a* dan nilai *b*, dan *rate*.

Penentuan Uniform Hazard Spectrum

Penentuan nilai percepatan dan uniform hazard spectrum (UHS) pada penelitian menggunakan bantuan program SR-Model (Makrup, 2009). Program ini menganalisis tingkat risiko gempa dengan model 3D dengan metode probabilistik dan mempertimbangkan ketidakpastian penggunaan beberapa parameter input. Ketidakpastian (*uncertainty*) dibagi menjadi jenis yaitu *aleatory uncertainty* dan *epistemic uncertainty*. Dalam analisis menggunakan metode PSHA, ketidakpastian *epistemic* dapat diatasi dengan menerapkan *modellogic tree* (Pawirodikromo, 2018).

Analisis Deagregasi Hazard

Hasil yang diperoleh dari analisis PSHA adalah mendapatkan tingkat ancaman gempa pada titik tertentu yang direpresentasikan dalam bentuk nilai percepatan, untuk mengetahui kontribusi sumber gempa terbesar dari suatu titik ke lokasi sumber gempa dan begitu juga untuk magnitudo dan jarak dominan belum diketahui. Sedangkan untuk menyediakan gempa desain dalam bentuk time history diperlukan data salah satu diantaranya adalah magnitudo dan jarak dominan. Oleh karena itu diperlakukan analisis deagregasi hazard untuk mengetahui jarak dan magnitudo dominan. Dalam penelitian ini, analisis deagregasi dilakukan dengan menggunakan bantuan program SR-Model.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Batas administrasi wilayah pengambilan data gempa berada pada koordinat longitude $105.039^{\circ} - 115.146^{\circ}$ dan latitude $3.56^{\circ} - 12.47^{\circ}$. Berdasarkan data dari USGS diperoleh data kejadian yang tercatat dari tahun 1900 – 2020 dengan magnitudo ≤ 5 dan kedalaman < 300 km sebanyak ± 3000 kejadian gempa di daerah penelitian. Setelah pengumpulan data selesai, dilanjutkan dengan pengolahan data gempa yang diawali dengan mengkonversi menjadi satu skala magnitudo yaitu magnitudo momen (Mw). Setelah proses konversi selesai dilanjutkan dengan memisahkan data gempa utama dan ikutan. Dari hasil analisis menggunakan program ZMAP diperoleh bahwa dari 1678 kejadian gempa teridentifikasi, terdapat sebanyak 1309 data gempa susulan. Dari hasil disini diketahui bahwa data gempa susulan lebih dominan dari data gempa utama. Sumber-sumber gempa yang dimodelkan dalam penelitian ini terdiri dari sumber gempa subduksi dan patahan. Adapun sumber-sumber gempa yang memiliki kontribusi risiko terhadap bencana gempa bumi.

Parameter-parameter sumber gempa diperlukan sebagai parameter input dalam proses analisis PSHA. Penentuan nilai-nilai parameter PSHA dalam penelitian ini dilakukan dengan menggunakan bantuan program ZMAP dan juga berdasarkan penelitian terdahulu. Hasil analisis disajikan pada Tabel 1 dan Tabel 2.

Tabel 1. Parameter Sumber Gempa Subduksi (Pusgen, 2017)

No.	Pemodelan	a	b	α	β	Rate (v)	Mmax
1	Megathrust Jawa 1	6.11	1.36	14.07	3.132	0.977	8.9
2	Megathrust Jawa 2	6.25	1.42	14.39	3.270	0.724	8.9
3	Megathrust Jawa 3	6.21	1.33	14.30	3.063	1.679	8.9
4	Megathrust Jawa 4	6.14	1.27	14.14	2.925	2.661	8.9
5	Benioff Jawa 1	6.12	1.35	14.09	3.109	1.109	8.9

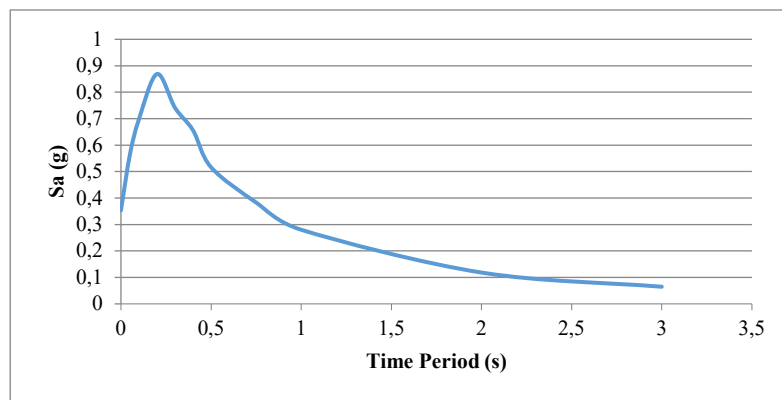
6	Benioff Jawa 2	6.13	1.31	14.12	3.017	1.718	8.9
7	Benioff Jawa 3	6.11	1.28	14.07	2.948	2.239	8.9
8	Benioff Jawa 4	6.55	1.43	15.08	3.293	1.303	8.9

Tabel 2. Karakteristik Data dan *Fault* (Pusgen, 2017)

No	Segmen	Slip Rate	Dip	Top	Bottom	b	a	Rate (v)
1	Cimandiri	0.55	45S	3	18	1	3.406	0.081
2	Nyalindung-Cibeber	0.4	45S	3	18	1	3.232	0.054
3	Rajamandala	0.1	90	3	18	1	2.648	0.014
4	Lembang	2	90	3	18	1	3.985	0.306
5	Subang	0.1	45S	3	18	1	2.630	0.013
6	Ciremai	0.1	90	3	18	1	2.630	0.013
7	Cirebon-1	0.1	45S	3	18	1	2.630	0.013
8	Cirebon-2	0.1	45S	3	18	1	2.630	0.013
9	Ajibarang	0.1	90	3	18	1	2.630	0.013
10	Pemalang	0.1	45S	3	18	1	2.630	0.013
11	Brebes	0.1	45S	3	18	1	2.630	0.013
12	Tegal	0.1	45S	3	18	1	2.630	0.013
13	Pekalongan	0.1	45S	3	18	1	2.630	0.013
14	Weleri	0.1	45S	3	18	1	2.630	0.013
15	Semarang	0.1	45S	3	18	1	2.630	0.013
16	Muria	0.1	45S	3	18	1	2.630	0.013
17	Ungaran-1	0.1	45S	3	18	1	2.630	0.013
18	Ungaran-2	0.1	45S	3	18	1	2.630	0.013
19	Rawapening	0.1	45S	3	18	1	2.630	0.013
20	Demak	0.1	45S	3	18	1	2.630	0.013
21	Purwodadi	0.1	45S	3	18	1	2.630	0.013
22	Pati Trust	0.1	90	3	18	1	2.630	0.013
23	Opak	0.75	60E	3	18	1	3.523	0.105
24	Merapi Merbabu	0.1	90	3	18	1	2.630	0.013
25	Cepu	0.1	45S	3	18	1	2.630	0.013
26	Blumbang	0.05	45S	3	18	1	2.347	0.007

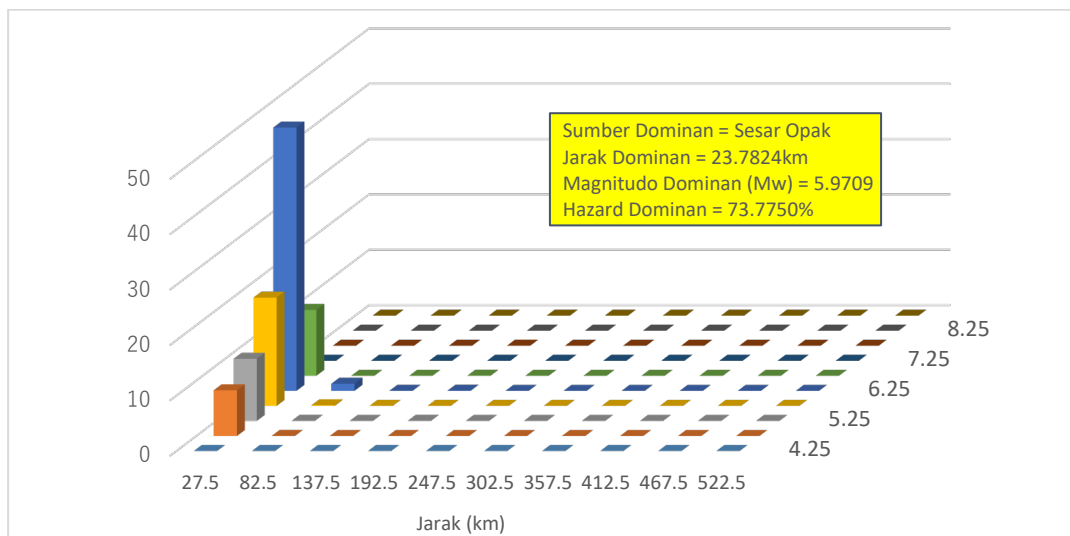
27	Waru	0.05	45S	3	18	1	2.329	0.007
28	Surabaya	0.05	45S	3	18	1	2.329	0.007
29	Bawean	0.5	90	3	18	1	3.527	0.106
30	RKMS East	1.5	90	3	18	1	4.040	0.347

Setelah karakteristik masing-masing sumber gempa diketahui, maka data tersebut selanjutnya diinput ke dalam program SR-Model untuk menentukan *Uniform Hazard Spectrum* Bangunan di wilayah Sendowo, Sinduadi, Kab. Sleman, Kota Yogyakarta. Tingkat bahaya gempa suatu wilayah direpresentasikan dalam bentuk nilai percepatan. Penentuan nilai percepatan pada penelitian ini menggunakan metode probabilistik (PSHA) dengan menggunakan bantuan SR-Model. Output analisis percepatan pada penelitian ini bukan berupa nilai distribusi percepatan melainkan *Uniform Hazard Spectrum* (UHS) pada titik tertentu yang nantinya akan digunakan dalam pembuatan sintetik ground motion. Titik lokasi yang digunakan dalam menentukan UHS berada pada koordinat Longitude 110.3723° dan Latitude -7.7653° . Hasil dari UHS dengan probabilitas terlampaui 2% dalam 50 tahun adalah sebagai berikut (Gambar 5).



Gambar 5. *Uniform Hazard Spectrum* (UHS) di Lokasi Penelitian

Berdasarkan Gambar 5, nilai percepatan untuk Bangunan Gedung di lokasi penelitian pada UHS memiliki nilai percepatan $T = 0$ detik adalah 0.3537, $T = 0.2$ detik adalah 0.8689, dan $T = 1$ detik adalah 0.2802.



Gambar 6. Deagregasi Hazard Gempa Bumi

Gambar 6 merupakan hasil *deagregasi hazard* Bangunan Gedung di wilayah Sendowo, Sinduadi, Kab.Sleman, Kota Yogyakarta pada periode $T = 0$ detik untuk probabilitas terlampaui 2% dalam 50 tahun dan menunjukkan hasil bahwa sumber gempa pada daerah penelitian yang memiliki pengaruh paling besar terhadap risiko gempa adalah sumber gempa patahan atau patahan/sesar Opak dengan kontribusi pengaruhnya sebesar 73,77% . Hasil penelitian ini sejalan dengan hasil penelitian yang dilakukan oleh (Pawirodikromo et al., 2020) di Yogyakarta dimana kontribusi terbesar sumber gempa ada di sumber gempa *shallow crustal* atau patahan dikarenakan memiliki jarak sumber gempa yang lebih dekat. Sesar Opak merupakan salah satu sesar yang terletak di Jawa yang berada di Daerah Istimewa Yogyakarta. Nilai laju geser Sesar Opak berkisar 0,75 mm/tahun (PuSGeN, 2017). Selain mengetahui sumber gempa dominan, juga diketahui dominasi magnitudo dan jarak dari sumber gempa ke lokasi penelitian.

Pada Gambar 6 dapat dilihat bahwa nilai magnitudo dominan di lokasi penelitian berada pada besaran 5.97 Mw dan jarak dominan berada pada besaran 23,78 km. Hasil-hasil dari analisis ini seperti magnitudo dominan, jarak dominan dan jenis sumber gempa dominan akan dijadikan sebagai acuan dalam pemilihan rekaman kejadian gempa (*time history*). Hasil analisis deagregasi dijadikan sebagai penentu dalam pemilihan kesesuaian *ground motion* pada lokasi tinjauan. magnitudo dominan dan jarak dominan yang telah teridentifikasi akan dimanfaatkan dalam pemilihan rekaman-rekaman gempa. Analisis ini dilakukan untuk memperoleh *controlling earthquake* atau gempa yang memberikan kontribusi terbesar terhadap *hazard* gempa pada suatu daerah. Informasi yang disajikan berupa sumber gempa dominan, dominan dan jarak dominan.

KESIMPULAN

Hasil dari penelitian ini diperoleh risiko gempa yang direpresentasikan dalam bentuk nilai percepatan di lokasi penelitian pada UHS memiliki nilai percepatan $T = 0$ detik adalah 0.3537, $T = 0.2$ detik adalah 0.8689, dan $T = 1$ detik adalah 0.2802. Berdasarkan hasil analisis deagregasi hazard gempa bumi, sumber gempa Sesar Opak dominasi sebesar 73,775% yang diprediksi memiliki kontribusi terbesar terhadap risiko gempa. Nilai

magnitudo dominan di lokasi penelitian berada pada besaran 5.97 Mw dan jarak dominan berada pada besaran 23,78 km.

SARAN

1. Hasil dari penelitian yang diperoleh bahwa lokasi yang memiliki jarak cukup dekat dengan sumber gempa pada probabilitas terlampaui (PE) 2% dalam 50 tahun memiliki nilai percepatan lebih tinggi untuk 3 periode waktu (0 detik, 0.2 detik, dan 1 detik) apabila dibandingkan dengan PE 10%. Penyebab dari perbedaan adalah perhitungan nilai Rate (v) pada setiap subduksi dan *shallow crustal* yang tidak dicantumkan pada PusGen 2017 sehingga disarankan untuk melakukan penelitian lebih lanjut lagi.
2. Pada penelitian yang akan dilakukan selanjutnya disarankan analisis PSHA dengan menggunakan software yang berbeda, sehingga tingkat keakuratan software dalam menganalisis bisa diketahui,

DAFTAR PUSTAKA

- Asrurifak M., Irsyam M., Budiono B., Triyoso W., dan Hendriyawan., (2010). Development of Spectral Hazard Map for Indonesia with a Return Period of 2500 Years using Probabilistic Method. *Civil Engineering Dimension*, Vol, 12 No. 1, 52–62. <https://doi.org/10.9744/ced.12.1.52-62>.
- Atkinson, G.M. dan D.M. Boore, (2003). Empirical Ground Motion Relations for Subduction-Zone Earthquakes and Their Application to Cascadia and Other Region, *Bulletin of the Seismological Society of America*, Vol. 93, No. 4, pp. 1703-1729.
- Badan Nasional Penanggulangan Bencana. 2022. InaRisk peta risiko bahaya gempa bumi. Di akses 8 Mei 2022 dari <http://inarisk.bnpb.go.id/>.
- Badan Standarisasi Nasional, Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung SNI, 1726, (2019), 251 p.
- Badan Standarisasi Nasional, Tata cara pemilihan dan modifikasi gerak tanah permukaan untuk perencanaan gedung tahan gempa SNI, 8899:2020, (2020).
- Boore D. M. dan Atkinson G.M., NGA (Next Generation Attenuation), (2007). Ground Motion Relations for Geometric Mean Horizontal Component of Peak and Spectral Ground Motion Parameters, PEER Report 2007, Pacific Earthquake Engineering Research Center, College of Engineering University of California, Barkeley, May 2007, California, USA.
- Cornell, C.A. (1968). Engineering seismic risk analysis, *Bull.Seism. Soc. Am.*, Vol. 58, 1583-1606.
- Gardner, J. K. and Knopoff, L., (1974), Is the sequence of earthquakes in southern California, with aftershocks removed, Poissonian?, *Bulletin of the Seismological Society of America*, Vol. 64, 1363–1367.
- Kramer, S.L., (1996), *Geotechnical Earthquake Engineering*, Upper Saddle River, New Jersey 07458: Prentice Hall, Inc.
- Makrup, L. (2009). Pengembangan Peta Deagregasi Hazard untuk Indonesia Melalui Pembuatan Software dengan Pemodelan Sumber Gempa Tiga Dimensi. Institut Teknologi Bandung.
- Makrup, L. (2013). *Seismic Hazard untuk Indonesia (Edisi Pert)*. Graha Ilmu.
- M.Irsyam, S Widyantoro, D.H.Natawijaya, I.Meilano, A.Rudyanto, S.Hidayati, W.Triyoso, N.R Hanifa, D.Djarwadi, L.Faisal, Sunarjito, *Peta Sumber dan Bahaya Gempa*

- Indonesia 2017, Pusat Studi Gempa Nasional Pusat Litbang Perumahan dan Pemukiman, 376p, (2017)
- Pawirodikromo, W. (2018). The estimated pga map of the Mw6.4 2006 yogyakarta Indonesia earthquake, constructed from the modified mercalli intensity imm. Bulletin of the New Zealand Society for Earthquake Engineering, Vol. 51 No. 2, 92–104. <https://doi.org/10.5459/bnzsee.51.2.92-104>
- Pawirodikromo, W., Makrup, L., Teguh, M., & Suryo, B. (2020). Development of synthetic ground motion at a specific site in Yogyakarta town, Indonesia utilizing the PSHA Method. E3S Web of Conferences, No. 156. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202015602011>
- PEER. (2013). PEER Ground Motion Database - PEER Center. <https://ngawest2.berkeley.edu/>
- PuSGeN. (2017). Peta Sumber Daya dan Bahaya Gempa Indonesia Tahun 2017 (Cetakan Pe). Pustlitbang PUPR.
- Sadigh K., Chang C.Y., Egan J.A., Maksidi F., dan Young R.R., (1997), Attenuation Relationship for shallow Crustal Earthquake Based on California Strong Motion Data, Seismological Research Letters, Vol. 68 Januari/Pebruary 1997, Seismological Society of America.
- Seismosoft. (2009). SeismoMatch (1.0.3.). <https://seismosoft.com/products/seismomatch/>
- Sunardi, B. (2013). Peta Deagregasi Hazard Gempa Wilayah Jawa dan Rekomendasi Ground Motion di Empat Daerah. Universitas Islam Indonesia.
- USGS. (n.d.). Search Earthquake Catalog. Retrieved September 29, (2022), from <https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/search/>
- Youngs, R.R., Chiou, S.J., Silva, W.J., dan Humphrey, J.R., (1997), Strong ground motion attenuation relationships for subduction zone earthquakes. Seismol. Res. Lett. Vol. 68, 58–73.
- Wiemer, S. (2001). A software package to analyze seismicity: ZMAP. Seismological Research Letters, Vol. 72 No. 3, 373–382. <https://doi.org/10.1785/gssrl.72.3.373>

PEMANFAATAN FLY ASH DAN KAPUR ALAM SEBAGAI BAHAN PENGGANTI SEMEN TERHADAP KARAKTERISTIK BATA RINGAN CELLULAR LIGHTWEIGHT CONCRETE (CLC)

Wiku Ananda Sugianto^{1*}, Jafar¹

¹ Departemen Teknik Sipil, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta

^{1*}Email: 18511081@students.uui.ac.id

¹Email: jafar@uui.ac.id

ABSTRAK

Bata ringan merupakan komponen non struktural penyusun dinding yang terbuat dari campuran semen, agregat halus, dan foam. Menurut Bilim et al., (2009) tercatat sekitar 3 miliar ton bahan baku tiap tahunnya digunakan untuk produksi semen di seluruh dunia sehingga dibutuhkan alternatif yang lebih ramah lingkungan. Penelitian ini hendak memberikan referensi baru tentang bata ringan ramah lingkungan yang menggunakan lebih sedikit semen. Fly ash merupakan salah satu material limbah yang memiliki sifat pozzolanik yang dapat menjadi pengganti semen. Untuk menghasilkan ikatan senyawa kalsium silikat hidrat (CSH) layaknya semen perlu ditambahkan kapur sehingga digunakan lah kapur alam (CaCO_3). Adapun campuran direncanakan dengan persentase fly ash sebanyak 10%, 20%, 30%, dan 40% sedangkan kapur alamnya sebanyak 5% untuk setiap variasi dengan total sampel sebanyak 35 benda uji berukuran $60 \times 20 \times 10$ cm. Selanjutnya sejumlah 5 sampel bata ringan diuji tekan lalu satu sampel yang berbeda digunakan untuk uji densitas dan penyerapan air sesuai dengan SNI 8640:2018. Didapat hasil kuat tekan maksimum sebesar 2,02 MPa pada persentase fly ash 10% dan penambahan kapur 5%. Dari hasil pengujian densitas didapat nilai terbesar 889,608 kg/m³ dan yang terendah 575,326 kg/m³ dari variasi 1 ke variasi 5 sedangkan pada hasil uji penyerapan air yaitu sebesar 16,86% - 40,38%. Untuk campuran optimum bata ringan diperoleh pada persentase fly ash 10% dan kapur alam 5%.

Kata kunci: Bata Ringan, Fly Ash, Kapur Alam, Kuat Tekan, Densitas, dan Penyerapan Air

PENDAHULUAN

Latar Belakang

Bidang konstruksi kini berkembang semakin pesat khususnya pada inovasi material yang semakin beragam dan hadir untuk menjawab semua permasalahan di lapangan. Salah satunya adalah inovasi material pasangan dinding, yaitu bata ringan yang mulai umum digunakan sebagai alternatif dari bata merah dan batako. Ada dua jenis bata ringan yang umum dijumpai, yaitu *Autoclaved Aerated Concrete* (AAC) dan *Cellular Lightweight Concrete* (CLC). Bata ringan dibuat menggunakan bahan yang mirip dengan bahan pembuatan beton dimana agregat menjadi material utama sedangkan semen menjadi bahan pengikatnya. Namun efek yang ditimbulkan dari produksi semen adalah gas emisi CO_2 yang secara akumulatif mengancam lingkungan, hampir 2,5% gas emisi CO_2 dalam skala global dilepaskan dari pusat industri semen (Çakır & Aköz, 2008).

Dari permasalahan di atas dibutuhkan bahan alternatif sebagai substitusi dari semen yang bersifat pozzolanik. Menurut SNI 15-0302-2004, bahan yang mempunyai sifat pozolan adalah bahan yang mengandung material silika aluminium dimana bentuknya halus. Fly ash adalah salah satu bahan yang tinggi kandungan silika SiO_2 ukurannya sangat lembut sehingga dapat digunakan sebagai filler sekaligus menjadi pengikat

agregat. Selain fly ash ditambahkan juga kapur alam sebagai alternatif bahan pengikat pengganti semen. Apabila kapur bertemu dengan fly ash yang kaya akan kandungan silika dan kemudian bereaksi dengan air maka akan terbentuk kalsium silikat hidrat (C-S-H) (Haryanti & Wardhana, 2017). Hasil dari reaksi kedua bahan ini dapat menghasilkan ikatan layaknya pada campuran semen dengan air.

Pengertian Bata Ringan

Bata ringan adalah material yang menyerupai bata beton namun dengan berat yang lebih ringan. Pada Suryani & Munasir (2015) ada yang mendefinisikan bata ringan sebagai bata dengan densitas antara 2000 kg/m³ atau lebih rendah. Bata ringan memiliki komposisi semen, agregat halus, dan foam agent sebagai pengembang adonan pasta semen.

Bahan Penyusun Bata Ringan

Semen Portland

Semen portland merupakan butiran halus hasil penggilingan terak/klinker yang mengandung kalsium silikat hidrolis dan digiling bersama dengan beberapa kristal senyawa kalsium sulfat SNI 15-2049-2004. Menurut Jusi et al. (2021) semen portland tersusun dari bahan oksida seperti silika oksida (SiO₂) 20%-25%, kapur (CaO) 60%-65%, besi oksida (Fe₂O₃), dan alumina (Al₂O₃) 7%-12%.

Agregat Halus

Agregat halus adalah agregat berbutir halus dengan ukuran maksimum 4,76 mm yang berasal dari alam ataupun dari hasil olahan (SNI-03-6820-2002). Agregat halus berfungsi sebagai pengisi dari bata ringan yang kemudian diikat dengan semen atau bahan pengikat sejenis sehingga terbentuk suatu material yang keras dan padat.

Air

Air merupakan bahan pencampur dalam pembuatan bata ringan yang membantu proses pencampuran semua bahan sampai menjadi pasta semen. Air berperan dalam reaksi hidrasi semen sehingga semen dapat mengikat agregat halus dan mengeras. Dalam Tjaronge et al. (2018) hidrasi adalah reaksi kimia antara semen dengan air yang menimbulkan panas akibat adanya kalor yang dilepaskan (eksotermik) selama proses pengerasan berlangsung. Dikarenakan hidrasi merupakan reaksi kimia maka akan berlangsung baik apabila air yang digunakan adalah air bersih bebas zat kimia.

Bahan Pengganti Semen

Bahan pengganti semen merupakan bahan lain yang memiliki karakteristik serupa dengan semen sebagai bahan pengikat campuran. Pada penelitian ini bahan pengganti semen yang digunakan adalah *fly ash* dan kapur alam.

Fly ash

Abu terbang merupakan produk residu dari proses pembakaran batu bara. Abu terbang mengandung unsur kimia seperti, silika, besi oksida, alumina, dan kalsium oksida. Dalam Bella et al. (2017) abu terbang memiliki kadar (SiO₂+Al₂O₃+Fe₂O₃) >70 % sehingga efektif digunakan untuk pengganti semen sebagai pengikat pada bata ringan.

Kapur Alam

Kapur adalah bahan pengikat yang telah lama digunakan sejak zaman dahulu sebelum ditemukannya semen. Menurut Ningrum & Sofianto (2018) penambahan kapur pada

bata ringan dapat menghasilkan berat yang lebih ringan yaitu, antara 0,6-0,7 kg dibanding tanpa kapur.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilaksanakan tahap demi tahap mulai dari persiapan bahan-bahan dan peralatan yang digunakan. Kemudian dilanjut dengan pengujian agregat untuk mengetahui kelayakan material yang digunakan. Apabila agregat dinilai layak sesuai persyaratan SNI maka langkah berikutnya adalah perencanaan campuran bata ringan sesuai dengan jumlah benda uji yang dibutuhkan. Sebanyak 35 benda uji dibuat dengan variasi *fly ash* 10%, 20%, 30%, dan 40% serta kapur alam 5% dimana terdapat 5 variasi dengan setiap variasi dibutuhkan 7 benda uji Setelah melalui masa *curing* selama 28 hari bata ringan diuji tekan, densitas dan penyerapan airnya. Lalu, dari pengujian tadi data yang didapat dianalisis untuk mengetahui kelayakannya berdasarkan syarat SNI 8640-2018. Hasil analisis diuraikan secara mendalam lewat pembahasan kemudian dengan parameter penelitian yang telah ditetapkan ditarik lah kesimpulan serta ditambahkan juga saran sebagai penutup.

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Hasil Pengujian Agregat

Sebelum digunakan agregat diperiksa terlebih dahulu untuk mengetahui karakteristiknya agar sesuai dengan persyaratan *mix design*. Apabila agregat telah memenuhi syarat maka diperbolehkan untuk digunakan.

Pemeriksaan yang akan dilakukan antara lain, pengujian berat jenis agregat halus, analisis saringan agregat halus, kandungan lumpur agregat halus, dan berat volume padat seperti pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil Pengujian Agregat Halus

Jenis Pengujian	Hasil	Keterangan
Berat Jenis Curah	2,534	
Berat Jenis SSD	2,591	
Berat Jenis Semu	2,688	
Penyerapan Air	2,26	%
Modulus Halus Butir	2,345	
Gradasi	II	Pasir agak kasar
Berat Volume Padat	1,67	gram/cm ³
Berat Volume Gembut	1,44	gram/cm ³
Lolos Ayakan N0. 200	1,5%	%

Hasil Perencanaan Campuran Bata Ringan

Adapun pada perencanaan kali ini digunakan densitas basah rencana sebesar 800-900 kg/m³ berdasarkan syarat SNI 840-2018. Untuk kebutuhan bahan yang digunakan setiap variasi dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil *Mix Design*

No	Vol per Variabel	Air (Liter)	Perekat (Kg)			Semen (%)	Pasir (Kg)	Foam (Liter)
			Semen	Fly Ash	Kapur			
1	0,084	15,708	23,1	0	0	100	33,264	0,2478
2	0,084	15,708	19,635	2,31	1,155	85	33,264	0,2478
3	0,084	15,708	17,325	4,62	1,155	75	33,264	0,2478
4	0,084	15,708	15,015	6,93	1,155	65	33,264	0,2478
5	0,084	15,708	12,705	9,24	1,155	55	33,264	0,2478
Total	0,42	78,54	87,78	23,1	4,62	380	166,32	1,239

Hasil Pengujian Bata Ringan

Bata ringan diuji pada dua kondisi yaitu, pada saat proses *mixing* dan pada saat *masacuring* telah selesai. Adapun masing-masing pengujian bata ringan dapat dilihat di bawah.

Pada Saat *Mixing*

Pada saat proses *mixing* diambil sampel campuran sebanyak satu liter untuk dicek densitas basahnya. Kemudian sampel tadi ditimbang sampai tercapai densitas basah rencana sebesar 800-900 kg/cm³.

Setelah *Curing*

Setelah selesai masa *curing* bata ringan dapat diuji karakteristik fisik dan mekaniknya yaitu dengan pengujian kuat tekan, densitas, dan penyerapan air. Keseluruhan pengujian didasarkan pada peraturan SNI 8640-2018.

Hasil pengujian densitas

Densitas bata ringan merupakan perbandingan massa benda terhadap volumenya sendiri. Perhitungan densitas dapat dilakukan menggunakan rumus di bawah ini.

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (1)$$

Keterangan:

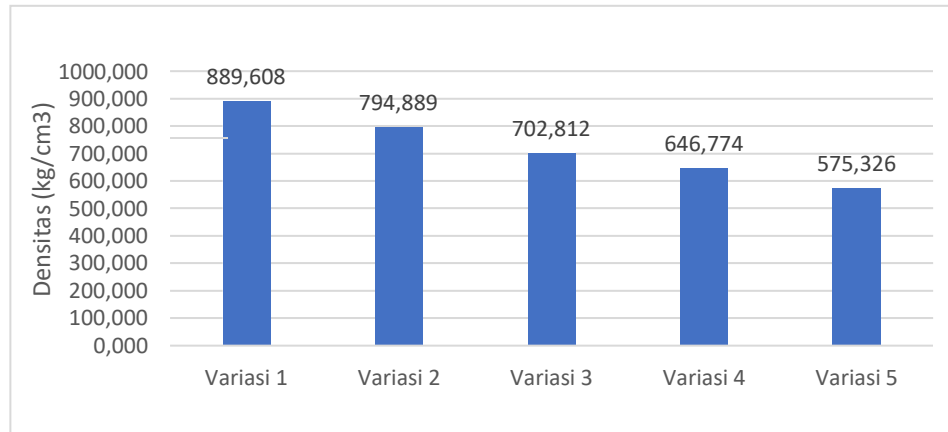
ρ = densitas (kg/m³)

m = massa bata ringan (kg)

V = volume bata ringan (m³)

Pengujian densitas bata ringan dilakukan setelah melewati masa *curing* 28 hari. Pengujian dilakukan dengan cara melakukan pengukuran dimensi dan penimbangan bata ringan

untuk mengetahui volume serta berat dari 35 benda uji. Berikut hasil analisis densitas bata ringan yang dapat dilihat pada Gambar 1. di bawah.



Gambar 1. Grafik Hasil Uji Densitas

Berdasarkan dari grafik di atas didapat bahwa hasil uji densitas bata ringan setiap variasi mengalami penurunan seiring dengan penambahan persentase *fly ash* dan kapur. Hal ini disebabkan oleh berat jenis *fly ash* yang lebih ringan daripada semen sebagaimana yang dijelaskan dalam penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Bella et al., (2017). Nilai densitas tertinggi 889,608 kg/m³ dan yang terendah 575,326 kg/m³. Berdasarkan SNI 8640:2018 nilai densitas benda uji setiap variasi sudah memenuhi syarat untuk bata non struktural kelas IIA.

Berdasarkan dari grafik di atas didapat bahwa hasil uji densitas bata ringan setiap variasi mengalami penurunan seiring dengan penambahan persentase *fly ash* dan kapur. Hal ini disebabkan oleh berat jenis *fly ash* yang lebih ringan daripada semen sebagaimana yang dijelaskan dalam penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Bella et al., (2017). Nilai densitas tertinggi 889,608 kg/m³ dan yang terendah 575,326 kg/m³. Berdasarkan SNI 8640:2018 nilai densitas benda uji setiap variasi sudah memenuhi syarat untuk bata non struktural kelas IIA.

Kuat tekan bata ringan

Nilai kuat tekan didapat dari uji tekan bebas dengan memberikan beban persatuan luas sampai benda uji hancur. Syarat kuat tekan dari bata ringan diatur dalam SNI 8640:2018 bersama dengan syarat fisis lainnya.

$$\text{Kuat tekan} = \frac{P}{A} \quad (2)$$

Keterangan:

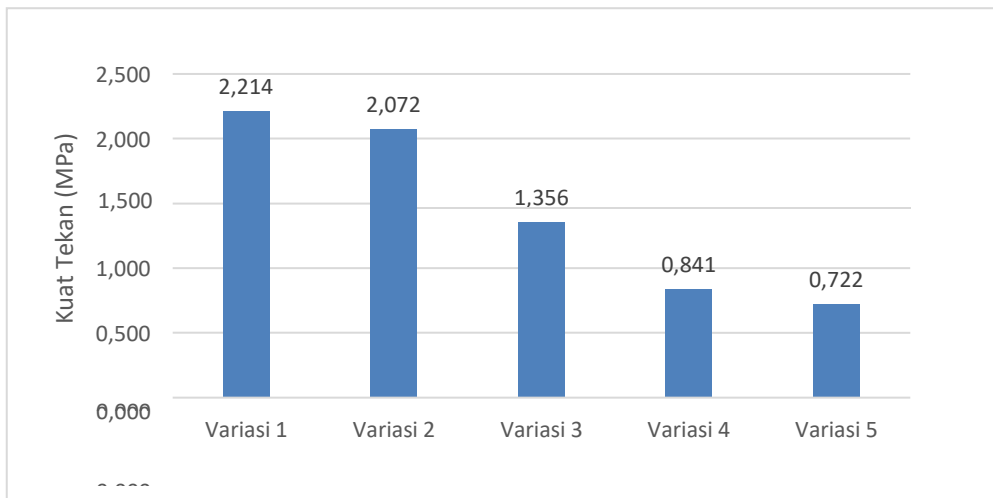
Kuat tekan = kuat tekan bata ringan (MPa)

P = beban maksimum (N)

A = luas penampang benda uji (mm²)

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui nilai kekuatan bata ringan berdasarkan besarnya beban yang diberikan per luasan permukaan. Pengujian dilakukan menggunakan alat *Universal Testing Machine* (UTM) dengan jumlah sampel sebanyak

25 benda uji yang mengacu kepada SNI 8640:2018. Berikut hasil analisis kuat tekan bata ringan yang dapat dilihat pada Gambar 2. di bawah.



Gambar 2. Grafik Hasil Uji Kuat Tekan

Dari hasil pengujian kuat tekan di atas diperoleh nilai rata-rata terbesar dari variasi 2 sebesar 2,02 MPa, sedangkan nilai yang terkecil ada pada variasi 5 sebesar 0,70 MPa. Hanya pada sampel variasi 2 yang memenuhi syarat bata non struktural pada SNI 8640:2018 yaitu sebesar 2 MPa dan tergolong dalam tingkat mutu IIA. Hal ini disebabkan oleh pembuatan *foam* yang dilakukan dengan menggunakan *mixer* manual sehingga tidak dapat menghasilkan molekul *foam* yang sempurna. Karakteristik benda uji yang mudah hancur ketika diuji tekan dan tidak mencapai persyaratan menandakan bahwa struktur bata ringan tidak begitu kuat. Untuk campuran optimum bata ringan diperoleh pada persentase *fly ash* 10% dan kapur 5%. Hasil dari penelitian ini sejalan dengan penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Bella et al., (2017) dimana pada benda uji dengan persentase *fly ash* 10% - 40% mengalami penurunan nilai kuat tekan dibanding benda uji normal.

Hasil pengujian penyerapan air

Permukaan bata ringan yang berpori memungkinkan untuk menyerap air dari luar kedalam. Penyerapan air secara berlebihan dapat mempengaruhi bata ringan sehingga mengakibatkan struktur penyusunnya rapuh. Oleh karena itu persentase penyerapan air pada bata ringan diatur dalam SNI 8640:2018.

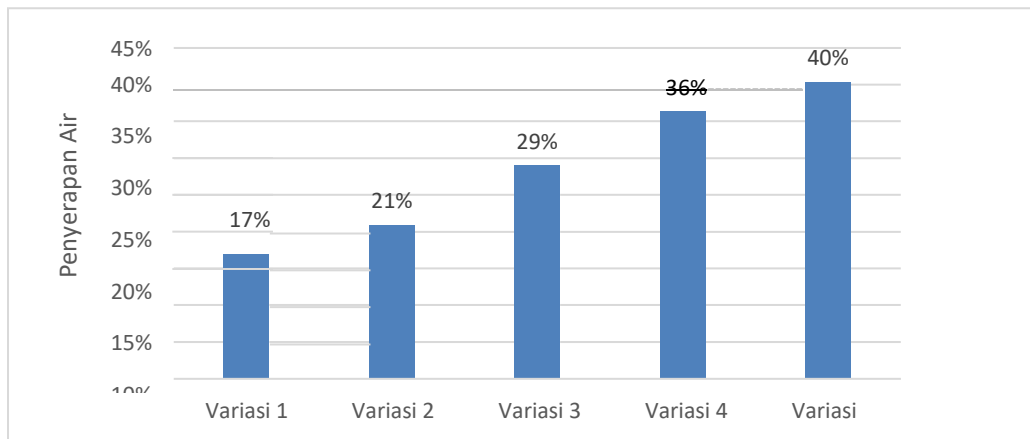
$$\text{Penyerapan air} = \frac{B-A}{A} \quad (3)$$

Keterangan:

A = berat bata ringan kondisi kering (setelah dioven) (kg)

B = berat bata ringan kondisi basah (kg)

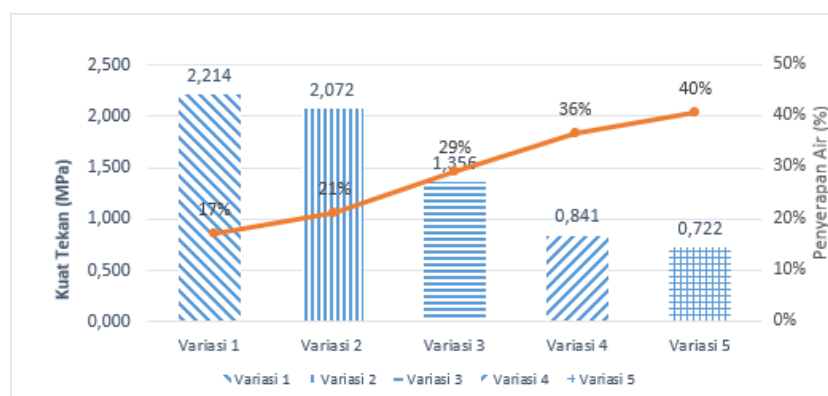
Bata ringan tergolong sebagai beton berpori yang artinya memiliki kemampuan untuk menyerap air lewat pori pada permukaannya. Pengujian dilakukan dengan merendam sebanyak 5 benda uji kering oven selama 24 jam. Setelah dilakukan perendaman selanjutnya benda uji diangkat dan dikeringkan permukaannya kemudian ditimbang untuk dibandingkan berat sebelum.



Gambar 3. Grafik Hasil Penyerapan Air

Berdasarkan hasil analisis di atas diperoleh nilai absorpsi berkisar antara 16,86% - 40,38%. Pada SNI 8640:2018 nilai penyerapan air maksimum untuk kelas IIA sebesar 25% sehingga sampel bata ringan yang masuk dalam persyaratan tersebut hanya pada variasi 2. Untuk variasi 3, 4 dan 5 tidak lolos persyaratan. Peningkatan nilai penyerapan air pada bata ringan dipengaruhi oleh permukaannya yang berpori akibat dari komposisi material dalam campuran. Hal ini linier dengan penurunan nilai densitas akibat penambahan *fly ash* yang artinya kerapatannya berkurang sehingga semakin banyak pori pada struktur bata ringan tersebut.

Fly ash dan kapur alam yang digunakan sebagai bahan pengikat pengganti semen secara garis besar mengakibatkan struktur bata ringan lebih rapuh berdasarkan nilai kuat tekan yang mengalami penurunan. Selain itu juga banyaknya rongga udara/pori yang ditandai dengan besarnya penyerapan air juga menjadi penyebab daya ikat yang rendah sehingga ikut mempengaruhi kekuatan bata ringan. Dari penjelasan tersebut dapat ditentukan hubungan antara nilai penyerapan air dengan nilai kuat tekan bata ringan. Semakin besar nilai penyerapan air maka nilai kuat tekan bata ringan akan menurun sebagaimana yang dapat dilihat pada gambar 4. di bawah ini



Gambar 4. Grafik Hubungan Kuat Tekan dengan Penyerapan A

KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian dan analisis yang telah dilakukan sebelumnya dapat disimpulkan sebagai berikut.

1. Penggunaan *fly Ash* dan kapur alam sebagai bahan pengganti semen pada campuran bata ringan akan menurunkan nilai kuat tekan dan densitas bata ringan tapi nilai penyerapan airnya meningkat. Semakin banyak *fly ash* dan kapur alam yang digunakan hasil yang diperoleh akan semakin menurun.
2. Nilai kuat tekan tertinggi sebesar 2,02 MPa serta nilai densitas tertinggi sebesar 889,608 kg/cm³ terjadi pada campuran fly ash sebesar 10 % dan kapur alam sebesar 5% tergolong kedalam bata non struktural kelas IIA. Sedangkan nilai penyerapan air tertinggi sebesar 40,38% terjadi pada campuran fly ash sebesar 40 % dan kapur alam sebesar 5% tidak masuk kedalam persyaratan SNI 8640-2018.

SARAN

Adapun saran dari penelitian ini guna menyempurnakan penelitian selanjutnya dapat dilihat di bawah ini.

1. Persentase *fly ash* sebagai bahan pengganti semen dapat dikerucutkan lagi intervalnya guna mengetahui berapa persen yang secara hasil pengujian lebih efisien.
2. Diperlukan pengujian fly ash sebagai material pengganti semen dan kapur sebagai material tambahan dalam campuran agar dapat diketahui perilaku tiap material yang digunakan.
3. Pada penelitian selanjutnya pembuatan foam sebaiknya menggunakan foam generator untuk memaksimalkan hasil foam dengan kualitas dan kuantitas yang jauh lebih baik lagi.

DAFTAR PUSTAKA

- Aziz, M., & Ardha, N. (2006). Percobaan Pendahuluan Pembuatan Refratori Cor dari Abu Terbang PLTU Suralaya. *Jurnal Teknologi Mineral Dan Batubara*, 37(14), 18–28.
- Bella, R. A., Pah, J. J. S., & Ratu, A. G. (2017). Perbandingan Presentase Penambahan Fly Ash terhadap Kuat Tekan Bata Ringan Jenis CLC. *Jurnal Teknik Sipil*, VI(2).
- Bilim, C., Atiş, C. D., Tanyildizi, H., & Karahan, O. (2009). Predicting the compressive strength of ground granulated blast furnace slag concrete using artificial neural network. *Advances in Engineering Software*, 40(5), 334–340.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.advengsoft.2008.05.005>
- Çakır, Ö., & Aköz, F. (2008). Effect of curing conditions on the mortars with and without GGBFS. *Construction and Building Materials*, 22(3), 308–314.
- Caroles, J. D. S. (2019). Ekstraksi silika yang terkandung dalam limbah abu terbang batu bara. *Fullerene Journ. Of Chem*, 4(1), 5–7. <http://digilib.its.ac.id>.
- Faizah, R. (2015). Pengaruh Frekuensi Gempa Terhadap Respon Bangunan Bertingkat. *Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta*.
- Haryanti, N. H., & Wardhana, H. (2017). Pengaruh Komposisi Campuran Pasir Silika dan Kapur Tohor Pada Bata Ringan Berbahan Limbah Abu Terbang Batubara.
- Jitchaiyaphum, K., Sinsiri, T., & Chindaprasirt, P. (2011). Cellular lightweight concrete containing pozzolan materials. *Procedia Engineering*, 14, 1157–1164.
<https://doi.org/10.1016/j.proeng.2011.07.145>

- Jusi, U., Maizir, H., Ilham, M., & Saily, R. (2021). PENGARUH PENAMBAHAN KAPUR TOHOR TERHADAP SIFAT MEKANIS BATA RINGAN. *INDONESIAN JOURNAL OF CONSTRUCTION ENGINEERING AND SUSTAINABLE DEVELOPMENT (CESD)*, 4(1), 21–26.
- Legowo, A. K., & Sunaryo, V. (2003). *Pemanfaatan fly ash batubara sebagai mineral filler pada campuran aspal beton*.
- Mustapure, N., & Eramma, H. (2014). EXPERIMENTAL INVESTIGATION ON CELLULAR LIGHTWEIGHT CONCRETE BLOCKS FOR VARYING GRADES OF DENSITY. *International Journal of Advanced Technology in Engineering and Science*. www.ijates.com
- Ningrum, D. K., & Sofianto, M. F. (2018). Pengaruh Penggunaan Kapur Sebagai Bahan Pengganti Sebagian Semen Terhadap Berat Volume, Kuat Tekan dan Penyerapan Air Pada Bata Beton Ringan Seluler Berbahan Dasar Bottom Ash. *Rekayasa Teknik Sipil*, 3(3).
- SNI 15-0302-2004. (2004). *Semen Portland Pozzolan*.
- SNI 15-2049-2004. (2004). *Semen Portland*.
- SNI 8640:2018. (2018). *Spesifikasi Bata Ringan Untuk Pasangan Dinding*.
- SNI-03-6820-2002. (2002). *Spesifikasi Agregat Halus Untuk Pekerjaan Adukan dan Plesteran dengan Bahan Dasar Semen*.
- Suryani, N., & Munasir. (2015). FABRIKASI BATA RINGAN TIPE CELLULER LIGHTWEIGHT CONCRETE DENGAN BAHAN DASAR PASIR VULKANIK GUNUNG KELUD SEBAGAI PENGGANTI FLY ASH. *Inovasi Fisika Indonesia*, 4(3).
- Taufik, H., Kurniawandy, A., & Arita, D. (2017). Tinjauan Kuat Tekan Bata Ringan Menggunakan Bahan Tambah Foaming Agent The analysis of Lightweight Compressive Strength by adding Form Agent Material. *Jurnal Saintis*, 17(1), 52–62.
- Tjaronge, M. W., Djamaluddin, R., & Amiruddin, dan A. (2018). *PANAS HIDRASI BETON MASSA YANG MENGGUNAKAN SEMEN PORTLAND KOMPOSIT*.
- Tjokrodimulyo, K. (2007). *Teknologi Beton*. Biro Penerbit KMTS FT UGM

KAJIAN REKAYASA NILAI PADA PEKERJAAN STRUKTUR ATAS GEDUNG (Studi Kasus: Proyek Pembangunan Gedung DRC PT Bank BPD DIY)

Dwi Fajar Nugroho¹ dan Fitri Nugraheni²

¹ Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia
Jl. Kaliurang Km 14,5, Sleman, Daerah Istimewa Yogyakarta
Email: dwifajarnugroho9@gmail.com

ABSTRAK

Pengambilan keputusan atau metode yang tepat dalam perencanaan proyek konstruksi memiliki pengaruh yang besar terhadap tujuan dari proyek yaitu: biaya, mutu dan waktu. Perencanaan yang tidak tepat dapat menyebabkan tujuan dari proyek tidak dapat terlaksana dengan baik. Salah satu metode untuk mencapai tujuan dari perencanaan proyek konstruksi adalah rekayasa nilai (value engineering). Pada Proyek Gedung Disaster Recovery Center (DRC) PT BANK BPD DIY ini pekerjaan struktur atas (balok, kolom dan pelat) memakan biaya yang lebih besar dibandingkan biaya pekerjaan yang lain. Diharapkan dengan kajian rekayasa nilai pada struktur atas proyek ini dapat mengoptimalkan biaya secara efektif dan efisien tanpa mengurangi fungsi dan kualitas dari bangunan. Pada penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan desain alternatif terbaik pada pekerjaan struktur atas proyek Gedung Disaster Recovery Center (DRC) PT BANK BPD DIY, dengan metode rekayasa nilai melalui lima tahapan yaitu: tahap informasi, tahap spekulatif, tahap analisis, tahap pengembangan dan tahap penyajian. Pemilihan desain alternatif terbaik dari tahapan diatas didapatkan: pekerjaan balok dan kolom menggunakan beton bertulang, sedangkan pekerjaan pelat menggunakan pelat komposit (wiremesh dan floordeck). Desain alternatif yang direkomendasikan diperoleh penghematan biaya sebesar Rp1.208.914.986,69 atau 36,29 %.

Kata kunci : Rekayasa Nilai, Struktur Atas, Rencana Anggaran Biaya

PENDAHULUAN

Latar Belakang

Secara umum, semakin besar suatu proyek maka akan melalui beberapa tahapan yang kompleks dalam siklus hidup proyek. Dalam tahap perencanaan proyek memiliki pengaruh yang besar terhadap pelaksanaan proyek konstruksi, oleh karena itu perlu adanya pengambilan keputusan yang tepat dalam perencanaan proyek konstruksi untuk mencapai tujuan dari proyek yaitu: biaya, mutu dan waktu. Akan tetapi dalam pelaksanaannya sering terjadi masalah seperti sumber daya yang kurang terampil, pemakaian material yang tidak efektif dan efisien, serta waktu pelaksanaan proyek yang terlambat sehingga menyebabkan pembengkakan biaya. Pengambilan peninjauan kembali keputusan dan metode proyek yang digunakan merupakan cara untuk menilai ulang desain proyek terhadap jalannya pelaksanaan proyek sehingga dapat dilakukan penghematan biaya dengan caramengidentifikasi dan meminimalkan biaya yang tidak perlu tanpa mengurangi fungsi dan tujuan dari proyek itu sendiri cara tersebut disebut dengan rekayasa nilai (*value engineering*).

Pada penelitian ini, peneliti menerapkan rekayasa nilai pada Proyek Pembangunan Gedung *Disaster Recovery Center* (DRC) PT Bank BPD DIY yang berlokasi di Jalan Nasional III, Klewonan, Triharjo, Wates, Kulon Progo, Yogyakarta. Pada proyek ini pengerjaan strukturnya menggunakan desain umum yang digunakan yaitu struktur

konvensional pada pembangunan gedung. Penerapan rekayasa nilai akan dilakukan dengan mengubah struktur atas (balok, kolom, pelat) tanpa mengurangi fungsi dan secara perhitungan struktur masih dapat dipertanggungjawabkan.

Rumusan Masalah

Rumusan masalah pada penelitian ini adalah material apa yang direkomendasikan untuk struktur atas (kolom, balok, dan pelat) yang efektif dan efisien yang digunakan pada Proyek Pembangunan Gedung *Disaster Recovery Center* (DRC) PT Bank BPD DIY?

Tujuan Penelitian

Penerapan rekayasa nilai pada struktur atas Gedung *Disaster Recovery Center* (DRC) PT Bank BPD DIY bertujuan untuk mendapatkan alternatif desain terbaik terhadap struktur atas (kolom, balok, dan pelat).

TINJAUAN PUSTAKA

Arifta (2019) merencanakan rekayasa nilai terhadap Proyek Pembangunan Gedung Pemeriksaan Inspektur Daerah Sleman khususnya item pekerjaan struktur pondasi, balok, kolom, pelat dan tangga. hasil dari rekayasa nilai tersebut yaitu:

1. Didapatkan alternatif desain pelat dengan bondek dari desain awal menggunakan pelat beton bertulang.
2. Didapatkan alternatif desain tangga pelat cor dengan anak tangga bata dari desain awal tangga beton bertulang.
3. Untuk struktur pondasi, balok, dan kolom digunakan struktur sama dengan desain eksisting yaitu pondasi footplate, balok beton bertulang dan kolom beton bertulang.
4. Dari desain alternatif yang direkomendasikan didapatkan penghematan biaya yang lebih ekonomis yaitu sebesar 11,10279178 % atau Rp. 7.899.980.

Darajah (2019) merencanakan rekayasa nilai terhadap pekerjaan pondasi Proyek Pembangunan Gedung Fakultas Hukum Kampus Terpadu Universitas Islam Indonesia. hasil dari rekayasa nilai tersebut yaitu:

1. Didapatkan alternatif desain pelat dengan bondek dari desain awal menggunakan pelat beton bertulang.
2. Pondasi footplate dengan ukuran 3,5 x 3,5 meter memiliki bobot penilaian matrik evaluasi berdasarkan metode zero-one sebesar 35,53% dan dari segi biaya sebesar Rp. 394.181.027,46.

El-Nashar dan Elymany (2017) merencanakan rekayasa nilai untuk masalah pada saluran akhir di mesir. hasil dari rekayasa nilai tersebut yaitu:

1. Didapatkan alternatif desain dengan nilai tertinggi sebesar 4,602 berupa pipa terpisah untuk mengairi saluran akhir dan pipa plastik untuk menyediakan air pada saluran lapangan serta pompa pada saluran masuk untuk mendistribusikan air.
2. Didapatkan penghematan air sebesar 2,73 m³/s, dengan biaya sebesar 36,54 miliar
3. Pound Mesir.

LANDASAN TEORI

Rekayasa Nilai

Definisi rekayasa nilai (*value engineering*) secara umum merupakan sebuah teknik atau cara yang menganalisis fungsi dengan pendekatan yang terencana dan sistematis. Teknik/cara yang dimaksud yaitu dengan menekan penggunaan biaya semaksimal mungkin tanpa mengabaikan segi kualitas dan reliabilitas yang direncanakan. Adapun rencana kerja pada penelitian ini dibagi menjadi lima tahap diantaranya: tahap informasi, tahap spekulatif, tahap analisis, tahap pengembangan dan tahap penyajian.

Analisis Struktur

Proses analisis struktur dilakukan untuk menghitung kekuatan dan menentukan desain dari sebuah struktur. Proses analisis struktur dilakukan menggunakan bantuan *software* SAP 2000 dan peraturan-peraturan tentang bangunan gedung.

Permodelan dan Penggambaran Struktur

Proses permodelan dan penggambaran struktur dilakukan menggunakan bantuan *software* Tekla Struktur dalam bentuk tiga dimensi. Penggunaan *software* Tekla Struktur ini memiliki kemudahan dalam :

1. Pembuatan *output* gambar *Detail Engineering Design* (DED) dan volume pekerjaan.
2. Memudahkan apabila terjadi perubahan desain pada gambar.
3. Dapat dikembangkan ke dalam bentuk empat dimensi maupun lima dimensi.

Rencana Anggaran Biaya

Rencana Anggaran Biaya (RAB) merupakan perhitungan biaya yang dibutuhkan untuk material, upah pekerja, sewa alat dan biaya-biaya lain yang memiliki hubungan dengan pelaksanaan pembangunan proyek.

METODE PENELITIAN

Dalam pelaksanaan penelitian diuraikan langkah-langkah penelitian sebagai berikut :

1. Studi Literatur
Melakukan pembelajaran mengenai: rekayasa nilai, penelitian sebelumnya, *software*SAP 2000 dan *software* Tekla Struktur.
2. Menentukan Proyek
Melakukan penentuan lokasi proyek yang digunakan sebagai studi kasus penelitian.
3. Tahap Informasi
Pada tahap informasi dilakukan berbagai upaya guna mengumpulkan informasi sebanyak mungkin yang sesuai dengan objek penelitian yang akan dilaksanakan penelitian, selanjutnya informasi-informasi yang didapat diolah berdasarkan kebutuhan pada tahap berikutnya. Pada tahap ini terdapat dua langkah yang dilakukan yaitu:
 - a. Pengumpulan data informasi langkah untuk melakukan pengumpulan semua data informasi yang berkaitan dengan segala aspek kepentingan proyek.
 - b. Analisis fungsi
 - c. Analisis fungsi memiliki tujuan untuk mengidentifikasi dan menentukankomponen dan fungsi yang diperlukan maupun tidak diperlukan.
4. Tahap Spekulatif
Pada tahap spekulatif ini mempunyai tujuan untuk mengumpulkan alternatif desain sebanyak mungkin tanpa mengabaikan fungsi dasar dari item pekerjaan yang diteliti.

5. Tahap Analisis

Pada tahap analisis ini dilakukan proses analisis yang lebih mendalam dan menyeluruh sehingga dapat dikembangkan untuk nantinya didapat sebuah hasil rekomendasi yang paling optimal. Pada tahap analisis ini dilakukan menjadi tiga metode sebagai berikut.

a. Metode tingkat kelayakan

Adapun langkah analisis metode tingkat kelayakan sebagai berikut.

- 1) Penilaian terhadap ide alternatif yang dimunculkan berdasarkan kriteria yang ditetapkan.
- 2) Rekapitulasi nilai tingkat kelayakan ide alternatif terhadap ide alternatif yang dimunculkan.

Penilaian terhadap ide alternatif dilakukan dengan skala nol sampai sepuluh. Nol berarti terendah dan sepuluh berarti tertinggi.

b. Metode keuntungan dan kerugian

Adapun langkah analisis keuntungan dan kerugian sebagai berikut.

- 1) Penilaian terhadap keuntungan dan kerugian berdasarkan kriteria yang ditetapkan.
- 2) Dilaksanakan penjumlahan dan perhitungan nilai keuntungan dan kerugian disetiap alternatif.
- 3) Perankingan nilai dari langkah sebelumnya.

Penilaian terhadap kriteria yang ditetapkan dengan skala nol untuk penilaian terendah sampai tiga untuk penilaian tertinggi. Serta diberi tanda + untuk nilai yang memiliki nilai keuntungan dan tanda – untuk nilai yang memiliki nilai kerugian.

c. Metode zero-one

Adapun langkah analisis metode *zero-one* sebagai berikut.

- 1) Dilakukan analisis metode *zero one* untuk mencari bobot.
- 2) Dilakukan metode *zero one* untuk mencari indeks.
- 3) Menggabungkan bobot dan indeks yang udah diketahui ke dalam matriks evaluasi.

Prinsip yang digunakan pada metode *zero-one* yaitu dengan menentukan sebuah kriteria “lebih penting” (diberi nilai satu) atau kriteria “kurang penting” (diberi nilai nol) terhadap kriteria lainnya.

6. Tahap Pengembangan

Pada tahap pengembangan dilakukan perhitungan secara teknis dan memperhitungkan potensial biaya pada alternatif terpilih. Pada tahap pengembangan ini dilakukan menjadi tiga langkah yaitu.

a. Analisis Struktur

Proses analisis struktur menggunakan program aplikasi SAP 2000 disesuaikan dengan peraturan-peraturan untuk bangunan gedung sebagai berikut:

- 1) SKBI 1.3.53.1987 tentang Pedoman Perencanaan Pembebanan untuk Rumahdan Gedung.
- 2) SNI 2847-2013 tentang Persyaratan Beton Struktural Untuk BangunanGedung.

- 3) SNI 1726-2012 tentang Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung.
 - 4) SNI 1727-2013 tentang Beban Desain Minimum dan Kriteria Terkait Untuk Bangunan Gedung dan Struktur Lain
- b. Permodelan dan Penggambaran
- Proses permodelan dan penggambaran menggunakan program aplikasi Tekla Struktur sehingga didapatkan output berupa volume pekerjaan dan gambar struktur.
- c. Perhitungan Rencana Anggaran Biaya (RAB)
- Proses perhitungan RAB dilakukan dengan beberapa langkah sebagai berikut.
- 1) Menghitung volume pekerjaan.
 - 2) Menentukan satuan harga barang dan jasa.
 - 3) Menentukan analisis harga satuan pekerjaan.
 - 4) Menghitung Rencana Anggaran Biaya (RAB).
7. Tahap Penyajian
- Tahap akhir dari rekayasa nilai berupa penyajian hasil akhir dari tahapan tahapan sebelumnya.

ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Tahap Informasi

1. Data Umum Proyek

Tabel 1 Data Umum Proyek

No	Uraian	Keterangan
1	Nama proyek	Gedung DRC PT Bank BPD DIY
2	Pembangunan bangunan	Bangunan Perkantoran
3	Lokasi proyek	Kulon Progo
4	Pemilik proyek	PT Bank BPD DIY
5	Pelaksana proyek	PT Proporsi
6	Pelaksana proyek	PT Muara Mitra Mandiri
7	Nilai proyek	Rp 6.045.457.802,00
8	Metode pelaksanaan struktur atas	Beton Bertulang
9	Waktu pelaksanaan	9 Februari 2021 – 4 Agustus 2021
10	Status proyek	Selesai

2. Data Teknis

Data material yang dipakai pada Gedung DRC PT Bank BPD DIY menggunakan beton mutu (f_c') 26,4 Mpa, mutu baja 40 Mpa untuk tulangan ulir dan mutu baja 24 Mpa untuk tulangan polos. Adapun *properties* penampang untuk pekerjaan struktur sebagai berikut.

a. Desain *Ekisting* Pelat

Tabel 2 Desain *Eksisting* Pelat

Tipe Pelat	Tebal Pelat (mm)	Tulangan Atas	Tulangan Bawah
PL.01	120	D10-125	D10-125

b. Desain Eksisting Kolom

Tabel 3 Desain *Eksisting* Kolom

Tipe Kolom	Dimensi (mm)	Tulangan Pokok		Tulangan Geser	
		Tumpuan	Lapangan	Tumpuan	Lapangan
K1	500x600	24D-22	24D-22	6D10-100	2D10-100
K1.A	500x600	20D-22	20D-22	2D10-100	2D10-100
K.2	300x300	8D-19	8D-19	2D10-100	2D10-100
K.3	150x300	6D-13	6D-13	2P10-100	2P10-100

c. Desain Eksisting Balok

Tabel 4 Desain *Eksisting* Balok

Tipe Balok	Dimensi (mm)	Tulangan Pokok				Tulangan Pinggang	Tulangan Geser	
		Tumpuan		Lapangan			Tumpuan	Lapangan
		Atas	Bawah	Atas	Bawah			
B.1	350x650	8D-22	4D-22	4D-22	5D-22	2D-13	2D10-100	2D10-200
B.2	300x500	6D-22	4D-22	4D-22	4D-22	-	2D10-100	2D10-200
B.2A	300X500	6D-19	4D-19	4D-19	4D-19	-	2D10-100	2D10-200
B.3	300X600	6D-19	4D-19	4D-19	4D-19	2D-13	2D10-100	2D10-200
B.4	250x400	5D-19	4D-19	4D-19	4D-19	-	2D10-100	2D10-200
B.5	200x400	3D-16	2D-16	2D-16	3D-16	-	2D10-100	2D10-200
B.6	200x300	3D-16	2D-16	2D-16	3D-16	-	2D10-100	2D10-200

3. Data Anggaran Biaya Eksisting

Tabel 5 Anggaran Biaya *Eksisting*

No	Uraian	Biaya
1	Pekerjaan Balok	Rp 1.205.821.100,35
2	Pekerjaan Kolom	Rp 691.708.202,20
3	Pekerjaan Pelat	Rp 1.433.992.311,10

4. Analisis Fungsi

Tabel 6 Analisis Fungsi Struktur Atas

No	Pekerjaan	Kata		Jenis Fungsi
		Kerja	Benda	
1	Struktur Atas	Menerima	Beban	Primer
		Menahan	Beban	Primer
		Meneruskan	Beban	Primer

Tahap Spekulatif

Alternatif yang dimunculkan pada pekerjaan balok, kolom dan pelat berupa:

1. beton bertulang
2. baja
3. komposit
4. precast

Tahap Analisis

Analisis Tingkat Kelayakan

Pada pekerjaan balok didapatkan nilai tertinggi sebesar 41,25 pada alternatif beton bertulang, pada pekerjaan kolom didapatkan nilai tertinggi sebesar 42,75 pada alternatif beton bertulang, dan pada pekerjaan pelat didapatkan nilai tertinggi sebesar 46,5 pada pekerjaan pelat komposit (*wiremesh* dan *floordeck*).

Analisis Keuntungan dan Kerugian

Pada pekerjaan balok didapatkan nilai tertinggi sebesar 7,25 pada alternatif beton bertulang, pada pekerjaan kolom didapatkan nilai tertinggi sebesar 6,75 pada alternatif beton bertulang, dan pada pekerjaan pelat didapatkan nilai tertinggi sebesar 11,75 pada pekerjaan pelat komposit (*wiremesh* dan *floordeck*).

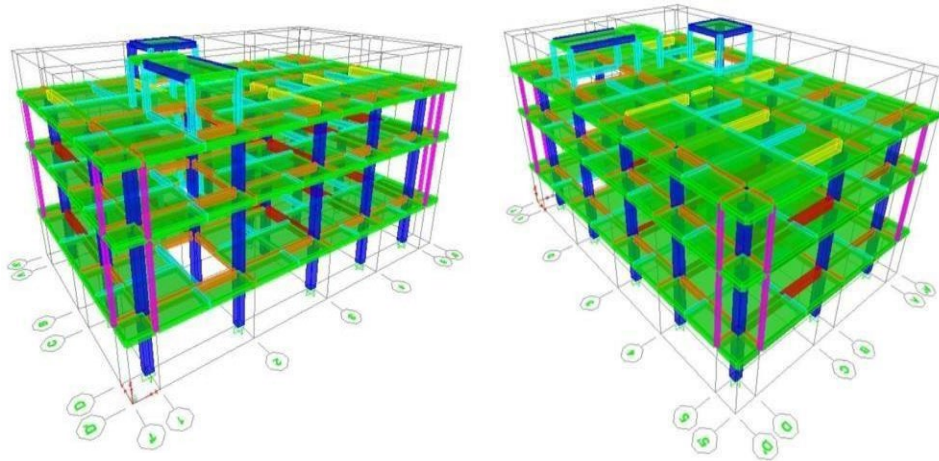
Analisis Metode Zero-One

Pada pekerjaan balok didapatkan nilai tertinggi sebesar 44,44 pada alternatif beton bertulang, pada pekerjaan kolom didapatkan nilai tertinggi sebesar 44,44 pada alternatif beton bertulang, dan pada pekerjaan pelat didapatkan nilai tertinggi sebesar 38,89 pada pekerjaan pelat komposit (*wiremesh* dan *floordeck*).

Tahap Pengembangan

Perhitungan Struktur

Setelah dilakukan perhitungan analisis struktur menggunakan *software* SAP 2000 dan Peraturan SNI yang ditetapkan didapatkan hasil sebagai berikut.



Gambar 2 Permodelan Struktur

a. Desain Penampang Pelat Alternatif

Tabel 7 Data Penampang Pelat Alternatif

Type Pelat	Ketebalan (mm)	Tulangan Atas	Tulangan Bawah
Komposit	120	Wiremesh M8	Floordeck 0,75 mm

b. Desain Penampang Kolom Alternatif

Tabel 8 Data Penampang Kolom Alternatif

Tipe Kolom	Dimensi (mm)	Tulangan Pokok	Tulangan Geser	
			Tumpuan	Lapangan
K1	500x500	24D22	6D100	2D100
K1.A	500x500	20D22	2D100	2D100
K2	300x300	8D19	2D100	2D100
K3	150x300	6D13	2P100	2P100

c. Desain Penampang Balok Alternatif

Tabel 9 Data Penampang Balok Alternatif

Tipe Balok	Dimensi (mm)	Tulangan Pokok				Tulangan Pinggangan	Tulangan Geser	
		Tumpuan		Lapangan			Tumpuan	Lapangan
		Atas	Bawah	Atas	Bawah			
B.1	350x650	7D-22	4D-22	4D-22	5D-22	4D-13	2D10-100	2D10-200
B.2	250x500	6D-22	3D-22	3D-22	3D-22	-	2D10-100	2D10-200
B.2A	250x500	6D-19	4D-19	4D-19	4D-19	-	2D10-100	2D10-200
B.3	300x600	6D-19	4D-19	4D-19	4D-19	4D-13	2D10-100	2D10-200

B.4	250x400	5D-19	4D-19	2D-19	4D-19	-	2D10-100	2D10-200
B.5	200x400	3D-16	2D-16	2D-16	3D-16	-	2D10-100	2D10-200
B.6	200x300	3D-16	2D-16	2D-16	3D-16	-	2D10-100	2D10-200

Permodelan dan Penggambaran Struktur

Pada permodelan dan penggambaran struktur menggunakan Tekla Struktur didapatkan kemudahan dalam:

1. Pembuatan *output* gambar *Detail Engineering Design* (DED) dan volume materialpekerjaan.
2. Memudahkan dilakukan perubahan apabila terjadi kesalahan pada desain gambar.
3. Dapat dikembangkan menjadi 4 dimensi maupun 5 dimensi.

Output pada permodelan dan penggambaran menggunakan Tekla Struktur didapatkam hasil berupa volume beton dan besi pada pekerjaan balok, kolom dan pelat sebagai berikut.

Tabel 10 Volume Pekerjaan Struktur Atas

Pekerjaan	Jumlah	Satuan	Pekerjaan	Jumlah	Satuan	Pekerjaan	Jumlah	Satuan
Pekerjaan Pelat			Pekerjaan Balok			Pekerjaan Kolom		
Beton	145,239	m ³	Beton	112,220	m ³	Beton	57,80	m ³
Wiremesh M8	207	lembar	Pembesian	24.589,60	Kg	Pembesian	17280,40	Kg
Floordeck	110	lembar	Bekisting	1.097,52	m ²	Bekisting	525,06	m ²

Perhitungan Rencana Anggaran Biaya (RAB)

Adapun Satuan Harga Barang dan Jasa (SHBJ) diperoleh dari PERBUB Kulon Progo No 26 Tahun 2019 dan harga realitas dilapangan, sedangkan Analisis Harga Satuan Pekerjaan (AHSP) diperoleh dari PERWAL Yogyakarta No 79 Tahun 2018, Sehingga dilakukan pengkalian antara volume pekerjaan dengan AHSP yang telah ditentukan didapatkan Rencana Anggaran Biaya (RAB) sebagai berikut.

Tabel 11 Rancangan Anggaran Biaya

No	Uraian	Biaya (Alternatif)	Biaya (Eksisting)	Penghematan	%Penghematan
1	Pekerjaan Balok	Rp1.116.455.570	Rp1.246.795.910	Rp130.340.340	10,45 %
2	Pekerjaan Kolom	Rp673.908.976	Rp715.345.037	Rp41.436.062	5,79 %
3	Pekerjaan Pelat	Rp484.092.371	Rp1.470.515.923	Rp986.423.552	67,08 %

4	Total Pekerjaan Struktur Atas	Rp2.274.456.917	Rp3.432.656.871	Rp1.158.199.954	33,74 %
---	-------------------------------	-----------------	-----------------	-----------------	---------

Pada perhitungan rencana anggaran biaya ini tidak dilakukan perhitungan terhadap waktu/durasi di setiap pekerjaan struktur atas sehingga tidak dicantumkan biaya tidak langsung berupa *overhead* dan profit.

Tahap Penyajian

Pekerjaan Pelat

Desain awal digunakan pelat beton konvensional dengan mutu 26,4 Mpa, ketebalan 120 mm, tulangan D10-125 mm dengan biaya Rp 1.470.515.923,12 Kemudian didapatkan usulan perubahan menggunakan pelat komposit (*wiremesh* M8 dan *floordeck* 0,75 mm) dengan biaya sebesar Rp 484.092.371 dengan penghematan sebesar Rp 1.044.503.808,38 atau dalam bentuk persentase 67,08 %.

Pekerjaan Kolom

Antara desain kolom *eksisting* dan kolom alternatif didapatkan perbedaan dimensi pada tipe kolom K1 dan K1.A, yang awalnya menggunakan dimensi 500 x 600 mm menjadi 500 x 500 mm. Desain *eksisting* kolom membutuhkan biaya sebesar Rp 715.345.037,65 sedangkan kolom alternatif didapatkan biaya sebesar Rp 673.908.976, sehingga didapatkan penghematan sebesar Rp 41.436.062,15 atau dalam bentuk persentase 5,79%.

Pekerjaan Balok

Antara desain balok *eksisting* dan balok alternatif didapatkan perbedaan dimensi pada tipe balok B2 dan B2.A, yang awalnya menggunakan dimensi 300 x 500 mm menjadi 250 x 500 mm, dan juga didapatkan perbedaan jumlah tulangan pada tipe balok B1 dan B3. Desain *eksisting* balok membutuhkan biaya sebesar Rp 1.246.795.910,62 sedangkan kolom alternatif didapatkan biaya sebesar Rp 1.116.455.570, sehingga didapatkan penghematan sebesar Rp 130.340.340,39 atau dalam bentuk persentase 10,45 %.

Pembahasan

Berdasarkan analisis terhadap alternatif desain yang dimunculkan melalui tiga metode analisis tingkat kelayakan, analisis keuntungan dan kerugian dan analisis *zero-one* didapatkan desain alternatif terbaik dengan nilai tertinggi berupa alternatif komposit untuk pekerjaan pelat dan alternatif desain beton bertulang untuk pekerjaan balok dan kolom. Terkait penjelasan detailnya sebagai berikut:

1. Desain awal pelat menggunakan beton tebal 120 mm dengan tulangan D10-125 mm didapatkan alternatif desain menggunakan material komposit berupa *wiremesh* m8 dan *floordeck* 0,75 mm, sehingga didapatkan penghematan biaya sebesar Rp986.423.552,30. Hal ini dikarenakan pada pekerjaan pelat menggunakan material komposit tidak membutuhkan material tulangan dan *bekisting* dengan jumlah banyak seperti yang terjadi pada pekerjaan pelat beton.
2. Desain awal kolom yang digunakan memiliki beberapa perbedaan pada material *properties* dengan kolom alternatif, sehingga didapat penghematan biaya sebesar Rp41.436.062,15.. Hal ini dikarenakan terdapat penghematan material yang

digunakan pada kolom alternatif sehingga berpengaruh terhadap penghematan biaya untuk pekerjaan kolom.

3. Desain awal balok yang digunakan memiliki beberapa perbedaan pada material *properties* dengan balok alternatif sehingga didapat penghematan biaya sebesar Rp131.055.127,32. Hal ini dikarenakan terdapat penghematan material yang digunakan pada balok alternatif sehingga berpengaruh terhadap penghematan biaya untuk pekerjaan balok.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Hasil dari rekayasa nilai didapatkan desain alternatif pada pekerjaan struktur atas pembangunan Gedung *Disaster Recovery Center* (DRC) PT Bank BPD DIY, meliputi: pada pekerjaan pelat didapatkan desain alternatif pelat menggunakan material komposit (*wiremesh* dan *floordeck*), sedangkan pada pekerjaan balok dan kolom didapatkan desain alternatif tetap menggunakan beton bertulang tetapi terdapat perbedaan pada dimensi penampang dan tulangan di beberapa balok maupun kolom. Desain alternatif pada struktur atas tersebut memperoleh biaya konstruksi yang lebih murah atau ekonomis, yaitu sebesar Rp1.396.296.809,63 atau 36,29 %.

Saran

Setelah dilakukan proses analisis dapat disampaikan beberapa hal yang sebaiknya dilakukan dalam kaitannya menerapkan rekayasa nilai (*value engineering*) pada pembangunan gedung diantaranya sebagai berikut.

1. Penerapan rekayasa nilai (*value engineering*) sebaiknya dilakukan pada tahap awal pembangunan (tahap desain), sehingga dapat menjadi bahan pertimbangan bagi pemilik proyek.
2. Penerapan rekayasa nilai (*value engineering*) tidak hanya dapat dilakukan pada pekerjaan struktur (pekerjaan dengan presentase biaya yang besar), akan tetapi dapat dilakukan untuk pekerjaan lainnya yang memiliki potensi penghematan seperti arsitektur, mekanikal, elektrikal dan *plumbing*.
3. Pada penelitian selanjutnya sebaiknya juga melakukan penerapan rekayasa nilai untuk tenaga kerja, peralatan, maupun metode yang digunakan.
4. Pada penelitian selanjutnya sebaiknya juga melakukan penerapan rekayasa nilai untuk waktu atau durasi pelaksanaan proyek sehingga didapat biaya tidak langsung berupa *overhead* dan profit.

DAFTAR PUSTAKA

- Arifta. (2019). Penerapan *Value Engineering* Pada Proyek Pembangunan Gedung (Studi Kasus Proyek Pembangunan Gedung Pemeriksaan Inspektor Daerah Sleman). Thesis. Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.
- Darajah. (2019). Kajian Pengambilan Keputusan Desain Pondasi Dengan Analisis Rekayasa Nilai Menggunakan Metode Zero-One (Studi Kasus Gedung Fakultas Hukum Universitas Islam Indonesia). Tugas Akhir. Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.
- Badan Standarisasi Nasional. (1987). Pedoman Perencanaan Pembebanan untuk Rumah dan Gedung. Jakarta: BSN

- Badan Standarisasi Nasional. (2013). Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung dan Penjelasan. Jakarta: BSN.
- Badan Standarisasi Nasional. (2012). Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Nongedung. Jakarta: BSN.
- Badan Standarisasi Nasional. (2013). Beban Desain Minimum dan Kriteria Terkait untuk Bangunan Gedung dan Struktur Lain. Jakarta: BSN.
- Chandra, S. (1988). Aplikasi Value Engineering & Analisis Pada Perencanaan dan Pelaksanaan untuk Mencapai Program Efisiensi. Jakarta.
- Soeharto, I. (2001). Manajemen Proyek Dari Konseptual Sampai Operasional. Erlangga. Jakarta.
- Larto. (2014). Penerapan Value Engineering pada Pekerjaan Pondasi Tiang Pancang dan Struktur Gedung untuk Optimalisasi Pembiayaan pada Proyek Konstruksi. Tugas Akhir. Universitas Sebelas Maret. Surakarta.
- Saragih, S.M.H dkk. (2013). Aplikasi Rekayasa Nilai(Studi Kasus: Proyek Jalan Tol Semarang-Solo Ruas Semarang-Bawen Sesi Penggaron-Beji). Jurnal Karya Teknik Sipil. Universitas Diponegoro. Semarang.
- Sudarmoko. (1996). Diagram Perancangan Kolom Beton Bertulang. Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada. Yogyakarta.
- Sudarmoko, (1996). Perencanaan dan Analisis Kolom Beton Bertulang. Biro Penerbit. Yogyakarta
- Sugiyono. (2019). Metode Penelitian Kuantitatif, Kualitatif, dan R&D. Alfabeta. Bandung.

ANALISIS INVESTASI ALAT BERAT PADA PROYEK SWAKELOLA YAYASAN BADAN WAKAF UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

Pratama Hajar Nur Rasid¹, Fitri Nugraheni¹, Faisol A M1, dan Tri Nugroho
Sulistyantoro^{1,*}

¹ Program Studi Teknik Sipil, Program Magister, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta

*195110502@uii.ac.id

ABSTRAK

Perkembangan zaman menuntut banyak perbaikan dan inovasi kepada setiap orang yang akan berkembang. Dalam perjalanan proyek konstruksi yang selalu berkembang setiap waktu akan dibutuhkan sarana penunjang kebutuhan proyek konstruksi. Salah satu penunjang proyek konstruksi adalah alat berat. Alat berat akan mempermudah dan mempercepat proses penyelesaian proyek konstruksi. Excavator merupakan salah satu alat berat yang dapat menunjang pelaksanaan proyek konstruksi. Sering dijumpai proyek konstruksi yang menggunakan alat berat berupa excavator. Adapun sistem penggunaan excavator dalam suatu proyek konstruksi diantaranya dengan sistem sewa maupun membeli baru. Hal tersebut membuat penulis melakukan penelitian ini untuk membandingkan sistem pemakaian alat berat antara sewa dan beli. Kemudian penelitian dilakukan dengan cara menganalisis kelayakan pembelian excavator dan sewa excavator. Adapun analisis kelayakan beli dilakukan dengan menghitung kelayakan investasi dengan 4 (empat) metode. Metode kelayakan investasi yang dipakai adalah Net Present Value (NPV), Break Even Point (BEP), Internal Rate of Return (IRR), Payback Period (BEP). Dari analisis tersebut akan dinilai titik balik modal dan tingkat kelayakan investasi. Kemudian dilakukan perbandingan antara sewa dan beli excavator. Hasil dari analisis menunjukkan bahwa investasi excavator layak untuk dijalankan.

Kata kunci: Excavator, Sewa, Beli, Net Present Value (NPV), Break Even Point (BEP), Internal Rate of Return (IRR), Payback Period (PP).

PENDAHULUAN

Salah satu fasilitas proyek yang sangat dibutuhkan oleh suatu tim pelaksana proyek adalah alat berat. Alat berat menjadi sangat vital bagi bangunan gedung yang memiliki basement serta gedung yang tinggi. Menurut Rostiyanti (2008), tujuan penggunaan alat-alat berat tersebut untuk memudahkan manusia dalam mengerjakan pekerjaannya sehingga hasil yang diharapkan dapat tercapai dengan lebih mudah pada waktu yang relatif lebih singkat.

Bagi *owner* yang tidak memiliki proyek berkelanjutan dan dengan modal yang tidak terlalu besar, menyewa adalah suatu pilihan yang cukup realistis dibandingkan harus membeli alat baru. Sedangkan untuk *owner* yang memiliki proyek jangka panjang serta memiliki modal yang cukup, kepemilikan alat berat dapat menjadi investasi yang menguntungkan. Karena alat berat yang dimiliki dapat digunakan untuk pelaksanaan proyek yang selanjutnya.

Alat berat yang dipakai pada proyek Yayasan Badan Wakaf Universitas Islam Indonesia antara lain: excavator, dump truck, lift barang, mobil crane dan tower crane. Dilihat dari *history* proyek Pengurus Yayasan Badan Wakaf Universitas Islam Indonesia sebagian besar pemakaian alat berat adalah excavator, pengadaan alat berat untuk pekerjaan tanah ini biasanya bekerjasama dengan pihak ketiga/ vendor menggunakan sistem sewa



alat berat. Dalam penelitian ini akan dicoba menganalisa apabila pengadaan alat berat dilakukan dengan cara membeli untuk proyek yang bersifat swakelola dianalisa menggunakan pendekatan dengan menghitung Net Present Value (NPV), Internal Rate of Return (IRR), Payback Period (PP) dan Break Even Point (BEP).

Proyek swakelola merupakan proyek yang dikelola owner sendiri. Dalam Perpres Nomor 16 Tahun 2018 tentang Pengadaan Barang/Jasa Pemerintah disusun tentang Pedoman Pelaksanaan Swakelola. Pedoman ini disusun sebagai salah satu cara untuk penyelenggaraan sistem Swakelola di Kementerian/Lembaga/Perangkat Daerah yang bertujuan untuk mewujudkan penyelenggaraan Swakelola yang mudah dengan tata kelola yang jelas.

Alat berat merupakan sebuah mesin dengan kapasitas yang besar yang difungsikan salah satunya untuk membantu pekerjaan konstruksi seperti pekerjaan tanah, konstruksi jalan, konstruksi bangunan, perkebunan dan pertambangan yang diharapkan dapat membantu untuk mempercepat dan mempermudah pekerjaan sehingga dapat membuat waktu yang digunakan lebih efisien. Salah satu yang sering digunakan pada proyek konstruksi adalah excavator.

Menurut Suratman (2001), investasi adalah penanaman modal di dalam perusahaan tidak lain adalah menyangkut penggunaan sumber-sumber yang diharapkan akan memberikan imbalan (pengambilan) yang menguntungkan di masa yang akan datang. Investasi dapat berupa beli (investasi yang cocok untuk jangka panjang) dan sewa (mempertimbangkan kemampuan keuangan, volume pekerjaan dan waktu pemakaian yang relatif singkat sebagai pengembalian modal).

Menurut Harahap (2002), depresiasi adalah pengalokasian harga pokok aktiva tetap selama masa penggunaannya atau dapat juga disebut sebagai biaya yang dibebankan terhadap produksi akibat penggunaan aktiva tetap itu dalam proses produksi.

Penelitian ini bertujuan mengetahui nilai kelayakan investasi pada pengadaan alat berat excavator pada proyek konstruksi dengan sistem swakelola Yayasan Badan Wakaf Universitas Islam Indonesia serta mengetahui perbandingan investasi antara menggunakan metode pembelian dengan metode sewa dari vendor penyedia penyewaan alat berat.

METODOLOGI

Metode analisis yang digunakan pada penelitian ini ialah sebagai berikut:

1. Menyusun kegiatan pengadaan alat berat yang ada di proyek konstruksi
2. Pengumpulan data berupa:
 - a. Data sewa alat berat yang digunakan pada proyek pembangunan gedung Fakultas Hukum Universitas Islam Indonesia
 - b. Data spesifikasi dan harga jual alat berat dari PT. United Tractors
 - c. Data harga sewa alat berat dari beberapa vendor penyewaan alat berat di provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta
3. Analisis kelayakan investasi berupa pembelian alat berat dengan parameter berikut:
 - a. *Net Present Value* (NPV)
Metode Net Present Value merupakan metode untuk menilai kelayakan investasi dengan cara menghitung selisih antara nilai investasi sekarang dengan nilai penerimaan yang akan pada masa yang akan datang. Rumus perhitungan NPV adalah sebagai berikut.

$$Dt = \sum^t ((Bt / (1 + i)^n - (Ct(1 + i)^n)) \quad (1)$$

b. *Break Even Point* (BEP)

Menurut Kasmir (2011) mengatakan bahwa analisis titik impas adalah suatu keadaan dimana perusahaan beroperasi dalam kondisi tidak memperoleh pendapatan (laba) dan tidak pula menderita kerugian. Menurut Riyanto (2011) perhitungan *Break Even Point* atas dasar unit dapat dilakukan dengan menggunakan rumus:

$$BEP (Q) = FC/(P-V) \quad (2)$$

c. *Payback Period* (PP)

Menurut Umar (2003), *payback period* merupakan rasio antara *initial cash investment* dengan *cash inflownya* apabila aliran kas setiap tahun sama jumlahnya, maka *payback period* dari suatu investasi dapat dihitung dengan cara membagi jumlah investasi dengan aliran kas tahunan.

$$PP = NPV \text{ pemasukan}^n - NPV \text{ pengeluaran}^n \quad (3)$$

d. *Internal Rate of Return* (IRR)

Analisis IRR digunakan untuk mencari nilai tingkat bunga yang akan menyamakan jumlah nilai sekarang dari penerimaan yang diharapkan diterima (*present value of future proceeds*) dengan jumlah nilai sekarang dari pengeluaran untuk investasi.

$$IRR = \sum_{t=0}^n \left(\frac{Ct}{(1+i)^t} \right) - \sum_{t=0}^n \left(\frac{C0t}{(1+i)^t} \right) \quad (4)$$

4. Analisis kelayakan menggunakan perhitungan sewa alat berat
5. Analisis perbandingan kelayakan antara beli dan sewa alat berat

HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis dalam penelitian ini merupakan perhitungan untuk mengukur tingkat kelayakan investasi dari sisi beli dan sewa alat berat.

Proses Pengambilan Data

Data pembelian alat berat didapatkan dengan cara observasi langsung melalui marketing dan brosur penjualan excavator merk Komatsu dari PT. United Tractors, Tbk. Data berupa informasi harga excavator kemudian dijadikan dasar analisis untuk menghitung investasi awal dan dijadikan dasar untuk menghitung analisis berikutnya dapat dilihat pada Tabel 1 berikut.

Tabel 3 Data Informasi Excavator

No.	Data Informasi	
1.	Merk	Komatsu
2.	Tipe / jenis	PC210-10M0
3.	Harga PC210-10M0	Rp. 1.600.000.000 / unit
4.	Harga <i>bucket cap</i> 1,2 m ³	Rp. 160.000.000 / unit

Data sewa yang dipakai dalam penelitian ini adalah data sewa alat berat berupa excavator Komatsu PC210-10M0. Data excavator yang dipakai pada proyek *owner* dapat dilihat pada Tabel 2 di bawah ini.

Tabel 2 Data Sewa Excavator (Sumber: Proyek UII)

No.	Data Informasi	
1.	Merk	Komatsu
2.	Tipe / jenis	PC200-8
3.	Harga	Rp. 380.000,00 / jam

Untuk menentukan harga penyewaan per jam, diambil harga median sewa per jam dari vendor yang sudah ada. Kemudian harga penyewaan ditentukan Rp 450.000,00 per jam.

Pengeluaran

Investasi awal merupakan modal yang harus dikeluarkan oleh *owner* pada tahun pertama investasi

Beli Excavator

Owner memerlukan data awal sebagai modal yang harus dikeluarkan pada tahun ke-0. Adapun modal yang harus dikeluarkan dapat dilihat dari Tabel 3 berikut.

Tabel 3 Investasi Awal Beli Excavator (Sumber: United Tractors, Tbk)

No	Item	Vol.	Sat.	Harga Sat (Rp)
1.	PC210-10M0	1	unit	1.600.000.000
2.	Bucket Cap 1,2 m ³	1	unit	160.000.000
Total				1.760.000.000

Biaya Operasional Alat

Dalam menghitung analisis awal dilakukan perhitungan untuk mengetahui kebutuhan bahan bakar dan pelumas sesuai dengan spesifikasi alat. Perhitungan Koefisien bahan bakar dan pelumas didapat hasil 17 liter/jam. Adapun perhitungan biaya operasional per jam untuk excavator didapat dari koefisien dikali biaya bahan bakar, sehingga didapat hasil sebesar Rp183.600/jam.

Biaya Operasional Kantor

Biaya operasional kantor merupakan proses investasi untuk memenuhi kebutuhan kantor. Diantaranya adalah gaji karyawan, pajak penghasilan dan biaya antisipasi perbaikan alat diambil 1% dari total nilai biaya operasional alat. Adapun total biaya operasional dapat dilihat pada Tabel 4 berikut ini.

Tabel 4 Rekapitulasi Perhitungan Biaya Operasional Per Tahun

No.	Uraian	Vol.	Sat.	Harga Total (Rp)
1	Biaya Bahan Bakar	12	bulan	385.560.000,00
2	Biaya <i>Coolant</i>	12	bulan	4.572.506,40
3	Biaya <i>Engine</i>	12	bulan	4.192.573,77
4	Biaya <i>final drive</i>	12	bulan	1.455.300,00
5	Biaya <i>Swing Drive</i>	12	bulan	1.142.271,90
6	Biaya <i>Hydraulic Tank</i>	12	bulan	24.227.910,00
7	Biaya Perbaikan	12	bulan	3.390.405,62
8	Gaji Operator	12	bulan	34.615.371,00
9	Gaji Admin	12	bulan	48.000.000,00
10	Pajak	12	bulan	47.250.000,00
Total				556.612.067,69

Depresiasi

Depresiasi digunakan sebagai penyisihan aliran kas untuk penggantian nilai investasi alat pada akhir investasi untuk mendapatkan alat yang baru. Dalam penelitian ini depresiasi dihitung selama 15 tahun optimal pemakaian alat. Berdasarkan investasi awal beli alat senilai Rp1.760.000.000 didapatkan depresiasi Rp117.333.333/tahun. Perhitungan nilai alat tahunan dilakukan dengan cara mengurangi nilai alat dengan nilai depresiasi per tahun. Perhitungan nilai sisa alat tahun ke-1 didapatkan hasil Rp1642.666.667. Rekapitulasi perhitungan depresiasi dapat dilihat pada Tabel 5 berikut.

Tabel 5 Rekapitulasi Perhitungan Biaya Operasional Per Tahun

Tahun ke-	Depresiasi per tahun (Rp)	Depresiasi alat tahun ke-n (Rp)
0	1.760.000.000,00	1.760.000.000,00
1	117.333.333,33	1.642.666.666,67
2	117.333.333,33	1.525.333.333,33
3	117.333.333,33	1.408.000.000,00
4	117.333.333,33	1.290.666.666,67
5	117.333.333,33	1.173.333.333,33
6	117.333.333,33	1.056.000.000,00
7	117.333.333,33	938.666.666,67
8	117.333.333,33	821.333.333,33
9	117.333.333,33	704.000.000,00
10	117.333.333,33	586.666.666,67

Kontingensi

Dalam penelitian ini kontingensi merupakan dana yang disisihkan untuk kebutuhan yang tidak terduga. Kontingensi diambil 5% target pemasukan menyewakan excavator, sehingga didapat nilai kontingensi sebesar Rp47.250.000.

Dari biaya beli excavator, biaya operasional, depresiasi alat dan kontingensi didapatkan total pengeluaran. Adapun total pengeluaran per tahun dapat dilihat pada Tabel 6 dibawah ini.

Tabel 6 Total Pengeluaran Per Tahun

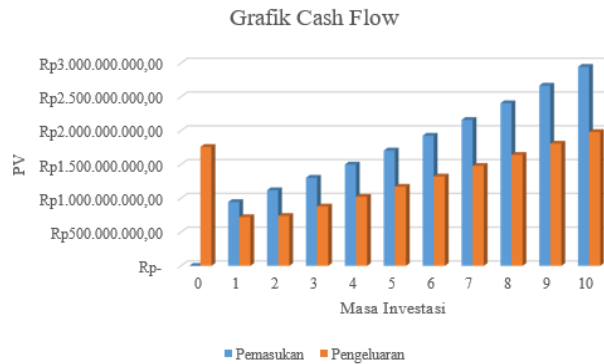
No	Item	Harga
1	Biaya Operasional	117.333.333,33
2	Depresiasi	556.612.067,69
3	Kontingensi	47.250.000,00
Total		721.195.401,02

Pembahasan

Kelayakan investasi pada penelitian ini ditinjau dari perhitungan NPV, BEP, IRR dan PP. Kemudian hasil dari analisis dijadikan penilaian kelayakan investasi. Hasil dari analisis perhitungan investasi adalah sebagai berikut.

Cash Flow

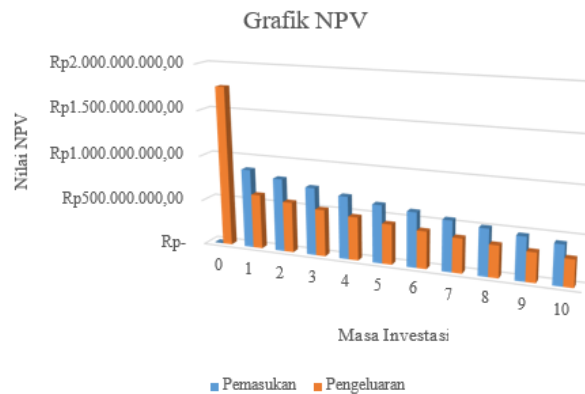
Perhitungan *cash flow* akan diketahui hasil layak dan tidak layak dengan cara mencari selisih nilai pemasukan dan pengeluaran. Dalam penelitian ini didapatkan *cash flow* senilai Rp 4.150.742.602,67 atau LAYAK untuk dijalankan.



Gambar 2 Grafik Cash Flow

Net Present Value (NPV)

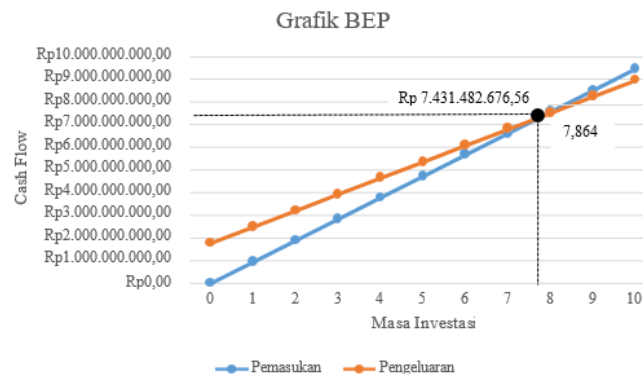
Dari hasil analisis perhitungan NPV yang bernilai Rp 881.751.764,56 tersebut adalah hasil dengan nilai positif (IRR > 0) maka dinyatakan LAYAK.



Gambar 2 Grafik NPV

Break Even Point (BEP)

Dari analisis perhitungan BEP didapatkan hasil perhitungan 7,864 tahun atau BEP terjadi pada penggunaan excavator tahun ke-7 (tujuh) bulan ke-10 (sepuluh) dan 9 (sembilan) hari investasi atau excavator beroperasi selama 16.514,40 jam. Titik impas terjadi saat $PM - PK = 0$ atau $PM = PK = Rp 7.431.482.676,56$.



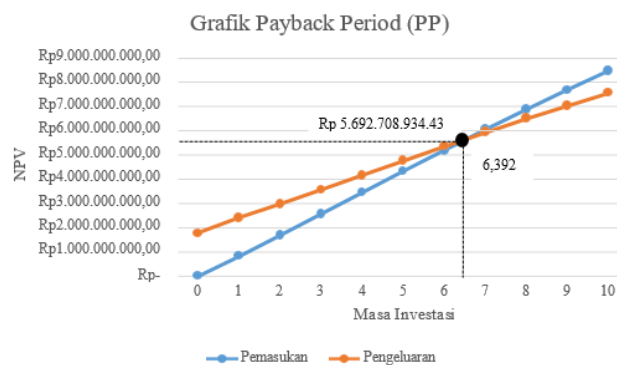
Gambar 3 Grafik BEP

Internal rate of return (IRR)

Nilai *internal rate of return* (IRR) didapatkan 23,49%. Kemudian nilai IRR dibandingkan dengan tingkat pengembalian modal tahunan (MARR) yang memiliki nilai 14,25%. Dengan demikian $IRR > MARR = 23,49\% > 14,25\%$ atau dikatakan menurut perhitungan IRR investasi ini LAYAK untuk dijalankan.

Payback Period (PP)

Titik balik investasi terjadi pada tahun ke-6,392 atau tahun ke-6 (enam) bulan ke-4 (empat) dan hari ke-17 (tujuh belas) dan terjadi saat $PM - PK = 0$ pada nilai Rp 5.692.708.934,43. Dapat diartikan bahwa untuk investasi dalam jangka waktu 10 tahun adalah LAYAK.



Gambar 4 Grafik PP

Ketersediaan Excavator

Dari data proyek yang dimiliki *owner* didapatkan rata-rata pemakaian 2.111 jam per tahun. Dari hasil tersebut dijadikan asumsi perhitungan menjadi 2.100 jam per tahun dengan perhitungan pemakaian 7 jam per hari untuk 25 hari per bulan selama 12 bulan per tahun ($25 \text{ hari} \times 12 \text{ bulan} = 300 \text{ hari}$), didapatkan kebutuhan untuk *owner* 82% (300 hari) pemakaian per tahun dan tersedia 18% (65 hari) per tahun untuk disewakan ke luar proyek *owner*.

Kelayakan Investasi Dibanding Sewa

Perhitungan ini digunakan untuk mencari titik terlama total biaya sewa untuk dapat digunakan membeli *excavator* baru. Analisis hasil perhitungan sewa *excavator* selama 2 tahun 2,5 bulan 15 hari atau sewa selama 4.641 jam akan didapatkan 1 unit baru *excavator*. Tabel perbandingan sewa dan beli dapat dilihat pada Tabel 7.

Tabel 7 Data Perbandingan Sewa dan Beli

Periode	Volume
Tahun ke-	2
Bulan ke-	2
Hari ke-	15

Dari perhitungan di atas disimpulkan bahwa biaya sewa dalam 2 tahun 2 bulan 15 hari dapat dipakai untuk membeli *excavator* baru.

Jam Minimum Pemasukan Excavator per Tahun

Untuk mengantisipasi kejadian diluar rencana maka ditentukan batas minimum jam sewa per tahun. Jumlah jam minimum yang harus terpenuhi adalah 1.805,74 jam per tahun atau dapat diartikan investor memiliki *spare* waktu maksimal untuk tidak tersewa $2.100 - 1.805,74 = 294,26$ jam per tahun. Atau dapat dikatakan diturunkan sebesar 14,01% menjadi 85,99% dari target waktu per tahun.

Harga Kebutuhan Minimum Sewa per Jam Excavator

Perhitungan menunjukkan harga sewa minimum dapat diturunkan sampai dengan Rp 424.707,00 per jam dari harga normal Rp 450.000,00 per jam atau dapat disebut turun 5,62% dari harga normal. Dengan perhitungan tersebut rencana investasi dapat terus dilanjutkan tanpa mengganggu rencana aliran kas investasi.

Penyewaan Excavator Borongan Pekerjaan

Pemasukan *excavator* saat mendapatkan opsi borongan proyek didapatkan hasil perhitungan per jam senilai Rp 640.000,00. Nilai tersebut lebih besar dari sistem tarif sewa per jam yang didapatkan, yaitu Rp 450.000,00 per jam. Dengan kebutuhan borongan 1.476,56 jam per tahun untuk mencapai target pemasukan per tahun sebesar Rp 945.000.000,00, maka sisa jam target operasional sebesar 623,44 jam atau turun 29,69% per tahun.

Perbandingan 5 Skenario Pemasukan Investasi

Dari lima skenario pemasukan investasi yang sudah didapat, maka didapatkan perbandingan seperti pada Tabel 8 berikut ini.

Tabel 8 Komparasi Skenario Pemasukan Investasi

Skenario Pemasukan	NPV	BEP	IRR (%)	PP
		(tahun)		(tahun)
Optimis	881.751.764,56	7,864	23,4	6,3920
Pesimis	520.631.647,91	10	19,4	7,6965
Tarif Minimum	572.671.036,61	10	20,0	7,5626
Borongan	-4.495.999.919,04	> 10,0000	7,43	> 10,0000
Borongan dan Sewa	991.058.331,44	4,5905	27,2	4,5668

Dari perbandingan analisis pada tabel diatas, tingkat kelayakan investasi terbaik dapat diperoleh dengan cara borongan proyek dengan sisa jam target pemasukan. Apabila perhitungan dilakukan dengan ketersediaan yang ada di area penelitian (DIY), maka sistem pemasukan dengan sistem borong kombinasi sewa adalah sistem pemasukan terbaik. Grafik perbandingan analisis investasi dapat dilihat pada Gambar dibawah ini.

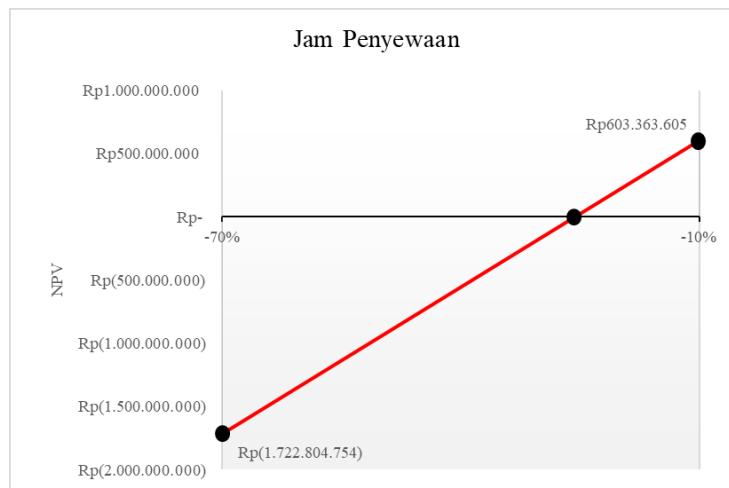
Analisis Sensitivitas Skenario Pemasukan

Dari hasil perhitungan 5 skenario pemasukan diperoleh hasil skenario terbaik. Skenario pemasukan terbaik diperoleh dengan sistem pemasukan penyewaan *excavator* borongan murni kombinasi sewa. Perhitungan sensitivitas mengambil salah satu metode kelayakan yaitu NPV.

Kemudian hasil perhitungan NPV dipakai untuk mencari nilai 0 sensitivitas dengan cara interpolasi, sehingga didapatkan sensitivitas dari JAM PENYEWAAN sebesar -25,56%. Hasil perhitungan dapat dilihat pada Tabel 9 dan Gambar 5 berikut.

Tabel 9 Komparasi Skenario Pemasukan Investasi

No	Skenario	NPV	
		(-70%)	(+70%)
1	Jam Penyewaan	-1.722.804.754	3.704.921.417
2	Tarif Borong	-1.434.716.662	3.416.833.324
3	Tarif Sewa	-1.152.621.964	3.134.738.627
4	Biaya Perbaikan	1.007.969.461	974.147.202
5	Pajak	801.327.879	1.180.788.784
6	Gaji Karyawan	1.039.243.843	653.759.750



Gambar 5 Grafik Faktor Sensitivitas Jam Penyewaan

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis dan pembahasan analisis investasi alat berat berupa excavator dapat disimpulkan sebagai berikut.

1. Investasi pengadaan alat berat excavator LAYAK untuk Skenario 1 (Optimis) dengan NPV senilai 881.751.764,56 , BEP selama 7,8640 tahun pada 7.431.482.676,56 , IRR sebesar 23,49% dan PP pada tahun ke-6,392 pada 5.692.708.934,43 ; Skenario 2 (Pesimis) LAYAK dengan NPV senilai 520.631.647,91 , BEP selama 10 tahun pada 8.125.701.077,66 , IRR sebesar 19,44% dan PP pada tahun ke-7,696 pada 6.088.589.984,99 ; Skenario 3 (Tarif Minimum) LAYAK dengan NPV senilai 572.671.036,61 , BEP selama 10 tahun pada 8.918.804.992,62 , IRR sebesar 20,04% dan PP pada tahun ke-7,562 pada 6.374.759.264,93 ; Skenario 4 (Borongan Murni) TIDAK LAYAK dengan NPV senilai -4.495.999.919,04 , BEP > 10 tahun , IRR sebesar 7,43% dan PP pada tahun ke > 10 ; Skenario 5 (Borongan Kombinasi Sewa) LAYAK dengan NPV senilai 2.675.200.884,83 , BEP selama 4,5905 tahun pada 7.431.482.676,56 , IRR sebesar 27,20% dan PP pada tahun ke-3,638 pada 4.336.037.121,07.
2. Dari analisis dan pembahasan didapatkan apabila dilakukan sewa excavator dalam jangka waktu 2 tahun 2,5 bulan atau 4.641 jam akan didapatkan biaya untuk membeli 1 unit excavator dengan merk Komatsu tipe PC210-10M0.

DAFTAR PUSTAKA

- Chaerul D. Djakman. (2000). Dasar-Dasar Manajemen Keuangan, Edisi Kedua, Salemba Empat, Jakarta.
- Dipohusodo. (1996). Manajemen Proyek dan Konstruksi, jilid 1 dan 2, Kanisius, Yogyakarta.
- Djarwanto, P.S. (1993). Capital Budgeting, Edisi Kedua, BPFE, Yogyakarta.
- Harahap, Sofyan Safri. (2002). Akuntansi Aktiva Tetap, Akuntansi Pajak, Revaluasi Leasing. PT. Raja Grafindo Persada. Jakarta.

- Umar, Husein. (2003). Studi Kelayakan dalam Bisnis Jasa. PT Gramedia Pustaka Utama: Jakarta.
- Umar, Husein. (2009). Rencana Kerja Perusahaan Yang Baik. Jakarta: Rajawali.
- Kasmir. (2011). Analisis Laporan Keuangan, Raja Grafindo Persada: Jakarta.
- Khalwati, Tajul. (2000). Inflasi dan Solusinya. PT. Raja Persada Grafindo. Jakarta.
- Keynes, J.M. (1936). dikutip Darling (2008) : 18. The General Theory of Employment, Interest and Money, Brace and World. Harcourt.
- Maryati. (2018) Analisis Kelayakan Investasi Pembelian Kendaraan pada PT. Tigaraksa Satria Tbk Cabang Samarinda. Universitas Mulawarman, Kalimantan Timur.
- Muana, Nanga. (2001). Makro Ekonomi, Teori, Masalah dan Kebijakan. Edisi Perdana. Jakarta: PT. Raja Grafindo Persada.
- Newman, Donald G. (1990). Economic Engineering Analysis. California: Engineering Press, Inc.
- Republik Indonesia. (2018). Peraturan Presiden No. 16 Tahun 2018 tentang Pengadaan Barang/Jasa Pemerintah, Sekretariat Negara. Jakarta.
- Riyanto. (1997). Dasar-dasar Pembelian Perusahaan, Edisi 4. BPFE, Yogyakarta.
- Riyanto. (2011). Dasar-Dasar Pembelian Perusahaan. Edisi Kedua, Cetakan Kedelapan, Yogyakarta: Fakultas Ekonomi, UGM.
- Rumengan, dkk. (2017). Analisa Kelayakan Investasi Alat Berat Stone Crusher di Kelurahan Kumersot Kota Bitung, Universitas Sam Ratulangi Manado, Sulawesi Utara.
- Soeharto. (1999). Manajemen Proyek, Jilid 1, Erlangga, Semarang.
- Soeharto. (2001). Manajemen Proyek, Jilid 2, Erlangga, Semarang.
- Suratman. (2001). Studi Kelayakan Proyek (Teknik dan Prosedur Penyusunan Laporan), Edisi Pertama, Learning J&J, Yogyakarta.
- Wilopo. (2009). Metode konstruksi dan Alat Berat, Jakarta : Universitas Indonesia.
- Winarno. (2013). Bahan Ajar Kuliah S1. Analisis Investasi. Jurusan Teknik Sipil. Universitas Islam Indonesia.
- Zikri, dkk. (2014). Analisis Investasi Pengadaan Alat Berat di PT. Karbindo Abesyapradhi dengan Metode NPV dan IRR, Universitas Negeri Padang, Sumatera Barat.

[C]
**Manajemen Sumber Daya
Berkelanjutan**



EVALUASI TINGKAT KEBERLANJUTAN (*Sustainability*) INTALASI PENGOLAHAN AIR LIMBAH (IPAL) BALIKPAPAN MENGGUNAKAN INDEKS KEBERLANJUTAN

Bagas Hadi Pratomo¹, Awaluddin Nurmiyanto¹, dan Adelia Anju Asmara¹

¹ Program Studi Teknik Lingkungan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta
Corresponding Author: awaluddin@uii.ac.id

ABSTRAK

Instalasi Pengolahan Air Limbah merupakan salah satu bentuk dari penerapan Sustainable Development Goals poin 6.3 yang berbunyi proporsi air limbah yang tidak diolah harus dikurangi setengahnya pada tahun 2030. Beberapa studi kasus tertentu menemukan instalasi pengolahan air limbah (IPAL) skala kecil, yang umumnya tidak memiliki mekanisme keuangan yang diperlukan, keahlian teknis, dan organisasi manajemen terstruktur (misalnya untuk operasi, pemeliharaan, dan administrasi mereka) Maka dari itu perlu mengevaluasi untuk memastikan keberlanjutan IPAL dari segi kelayakan ekonominya, lingkungan, maupun social. Dalam mengkaji aspek keberlanjutan dibutuhkan instrument keberlanjutan yang dimana instrument ini di bobot disetiap aspek. Pembobotan dilakukan dengan skala likert. Berdasarkan hasil evaluasi IPAL Margasari mendapat skor 58,25% yang dikategorikan dalam status cukup berkelanjutan. IPAL Margasari pada dasar bisa berkelanjutan namun ada hal yang masih perlu diperbaiki

Kata kunci: Studi Keberlanjutan, Instalasi Pengolahan Air Limbah, IPAL Margasari

PENDAHULUAN

Peningkatan jumlah penduduk berbanding lurus dengan peningkatan jumlah limbah yang di hasilkan. 67,89% rumah tangga yang ada di Indonesia memiliki akses sanitasi layak, yang artinya masih terdapat sekitar 80 juta lebih rumah tangga yang langsung membuang air limbahnya ke saluran drainase atau sungai (Prinajati, 2020). Instalasi Pengolahan Air Limbah merupakan salah satu bentuk dari penerapan *Sustainable Development Goals* poin 6.3 yang berbunyi proporsi air limbah yang tidak diolah harus dikurangi setengahnya pada tahun 2030 (UN,2017).

Menurut Profil Kesehatan Kota Balikpapan tahun 2018 yang memperlihatkan bahwasannya Permukiman Kumuh Kelurahan Margasari ini ialah sebagai suatu kelurahan yang persentase untuk akses akan sanitasi yang memadai ini memiliki nilai di bawah rata-rata Kota Balikpapan, yakni dengan persentase 35,8%, data ini memperlihatkan bahwasannya akses untuk fasilitas sanitasi yang memadai (jamban sehat) untuk Permukiman Kumuh Kelurahan Margasari ini memiliki persentase yang lebih rendah diperbandingkan dengan permukiman yang terdapat pada wilayah lainnya yang ada di Kota Balikpapan. Satu dari berbagai upaya guna menyelesaikan permasalahan ini ialah dengan pembuatan jaringan air limbah perkotaan dengan mempergunakan Instalasi Pengelolaan Air Limbah (IPAL) di Kota Balikpapan.

Beberapa studi kasus tertentu menemukan instalasi pengolahan air limbah (IPAL) skala kecil, yang umumnya tidak memiliki mekanisme keuangan yang diperlukan, keahlian teknis, dan organisasi manajemen terstruktur (misalnya untuk operasi, pemeliharaan, dan administrasi mereka) (Cossio et al., 2017). Maka dari itu perlu mengevaluasi untuk memastikan keberlanjutan IPAL dari segi kelayakan ekonominya, lingkungan, maupun sosial (Campos et al., 2016). Dalam mengkaji aspek keberlanjutan dibutuhkan instrument keberlanjutan yang dimana instrument ini di bobot disetiap aspek.

Pembobotan dilakukan dengan skala *likert*. Nilai atau skor yang paling tinggi merupakan alternatif yang yang digunakan. Oleh karena itu penelitian ini berfokus untuk pembobotan indikator keberlanjutan dan mengevaluasi IPAL Margasari. Hasil analisa juga diharapkan dapat mempermudah bagi pihak terkait dalam memberi rekomendasi yang berkelanjutan.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan pada Bulan Januari 2022 hingga Bulan Juli 2022. Lokasi penelitian dan pengambilan data dilakukan di IPAL Margasari dan masyarakat sekitar IPAL Margasari yang terletak di Kelurahan Margasari, Kecamatan Balikpapan Barat, Kota Balikpapan, Provinsi Kalimantan Timur. Data yang dibutuhkan untuk penelitian ini terdiri dari Data Primer dan Data Sekunder. Pada data primer didapatkan langsung dari observasi langsung dan pengisian kuesioner yang ditujukan kepada masyarakat sekitar IPAL dan petugas pengelola IPAL. Sedangkan data sekunder didapatkan dengan dari instansi dan dinas terkait di Kota Balikpapan seperti dinas lingkungan hidup.

Analisis dilakukan dengan pembobotan indikator dari masing-masing variabel penelitian. Skala pengukuran analisis yang digunakan yaitu skala *likert*. Skala *likert* digunakan untuk mengukur sikap, pendapat dan persepsi seseorang mengenai fenomena sosial yang ada. Dalam kuesioner memiliki jawaban pilihan ganda dengan nilai *rating scale* jawaban 1 sampai 5.

Langkah selanjutnya yaitu menentukan nilai indeks keberlanjutan sesuai dengan kategori indeks keberlanjutan. Menurut penelitian Prianto (2015) dalam penelitian Puji (2018), indeks keberlanjutan diklasifikasikan menjadi lima kategori. Yaitu

0% - 20%	Tidak ada keberlanjutan
20% - 40%	Kurang berkelanjutan
40% - 60%	Cukup berkelanjutan
60% - 80%	Berkelanjutan
80% - 100%	Sangat Berkelanjutan

Dalam menentukan indeks keberlanjutan, bisa didapatkan dengan menghitung merata rata nilai dari nilai sub faktor dan faktor dari aspek indeks keberlanjutan. Hasil penilaian masing masing faktor digambarkan dalam radar chart. Data didalam radar chart di kelompokkan menjadi masing masing faktor keberlanjutan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Aspek Ekonomi

Identifikasi keberlanjutan aspek ekonomi dilakukan untuk mengetahui bagaimana peran iuran sebagai pembiayaan dan mengetahui apakah iuran tersebut mampu membiayai operasional pemeliharaan IPAL Margasari. Berikut merupakan nilai masing masing sub faktor keberlanjutan dari aspek ekonomi IPAL Margasari :

Table 4 Penilaian Aspek Ekonomi

Aspek	Faktor	Sub-faktor	Rating Scale					R*	Jumlah Nilai	Jumlah Nilai Maks	Indek (%)
			1	2	3	4	5				
Ekonomi	Iuran	Keberadaan iuran masyarakat	0	0	9	14	8	31	123	155	79.35
		Keterjangkauan iuran	0	7	18	6	0	31	92	155	59.35
	Biaya Operasional	Kesuaian iuran dengan biaya operasional dan pemeliharaan	1	0	0	0	0	1	1	5	20.00
		Keberadaan biaya pengembangan	1	0	0	0	0	1	1	5	20.00

*R merupakan jumlah responden

Biaya iuran pengolahan air limbah

Menurut SK Direksi PDAM Kota Balikpapan No66 tahun 2017 tentang Penetapan Besarnya Tarif Pengelolaan Air Limbah Domestik, Tarif iuran IPAL setiap bulannya sebesar 20% dari besarnya harga pemakaian air PDAM Kota Balikpapan. Adanya penarikan iuran pelanggan IPAL merupakan sumber pendanaan untuk memenuhi kebutuhan biaya operasional dan perawatan IPAL. Perbedaan cara penarikan tersebut merupakan salah satu cara yang dilakukan oleh pengelola supaya masyarakat rutin membayar IPAL.

Berdasarkan analisis diketahui bahwa rata-rata masyarakat membayar IPAL Margasari sebesar Rp.20.000-45.000. Hasil observasi yang dilakukan IPAL Sewon Bantul membayar iuran sebesar Rp 5.000. Sehingga jika di bandingkan tariff di IPAL Sewon, tarif tersebut masuk kategori mahal. Hasil observasi dan wawancara, mayoritas masyarakat pengguna IPAL berprofesi sebagai pedagang yang penghasilnya dengan *range* Rp.2.000.000-3.000.000. Berdasarkan wawancara masyarakat sekitar IPAL terkait biaya iuran mayoritas warga tidak keberatan dalam membayar iuran.

Biaya operasional pengolahan air limbah

Penerapan tarif pelanggan sebesar 20% biaya PDAM, masih belum dapat menutupi biaya operasional IPAL. Berdasarkan perhitungan biaya yang dikeluarkan perbulan yaitu sebesar Rp 160.000.000. Biaya operasional IPAL untuk listrik, bensin dan lain lain, sebesar Rp 35.000.000. Biaya gaji karyawan untuk 15 orang per bulan sebesar Rp 125.000.000. Sedangkan untuk pemasukan dari iuran pelanggan IPAL sebanyak 800 pelanggan sebanyak Rp 25.000.000. Sehingga dalam satu bulan IPAL Margasari belum bisa mendapat untung dan mendapatkan kerugian yang cukup banyak. Walaupun rugi IPAL Margasari tetap bisa berjalan dikarenakan mendapat subsidi dari pihak PDAM berdasarkan SK Walikota Balikpapan Nomor 188.45-49/2005 tentang penunjukan Perumda Tirta Manuntung sebagai pengelola IPAL Margasari.



Keberlanjutan dari suatu IPAL dapat dilihat dari pengembangan segi teknologi, dan pelayanan. Adanya biaya pengembangan merupakan faktor penting untuk keberlanjutan suatu IPAL. Berdasarkan observasi IPAL Margasari sendiri tidak memiliki biaya pengembangan dan tidak ada rencana pengembangan teknologi IPAL. Hal tersebut dikarenakan kapasitas unit pengolahan yang digunakan saat ini masih kurang dari 25% kapasitas yang terpasang. Sehingga dari pihak IPAL Margasari masih belum berencana untuk mengembangkan IPAL dari segi teknologi.

Untuk menjadi kondisi ideal keberlanjutan suatu IPAL perlu adanya perbaikan dari segi ekonomi. Pertama, perlu ada pertemuan diskusi dengan masyarakat terkait kenaikan biaya iuran untuk menunjang kebutuhan operasional IPAL. Adanya peninjauan kembali terkait keuangan supaya keuangan pada IPAL Margasari bisa mendapatkan keuntungan secara ekonomi. Selain itu perlu adanya penganggaran biaya pengembangan untuk menunjang perbaikan teknologi pengolahan air limbah.

Aspek Lingkungan

Evaluasi keberlanjutan aspek lingkungan pada IPAL digunakan untuk mengetahui pengaruh IPAL terhadap kondisi lingkungan sekitar IPAL. Pada aspek lingkungan terdapat beberapa sub aspek yaitu teknologi pengolahan air limbah dan energi yang dibutuhkan untuk pengolahan air limbah. Berikut merupakan nilai masing masing sub faktor keberlanjutan dari aspek lingkungan IPAL Margasari:

Table 5 Penilaian Aspek Lingkungan

Aspek	Faktor	Sub-faktor	Rating Scale					R	Jumlah Nilai	Jumlah Nilai Maks	Indek (%)
			1	2	3	4	5				
Lingkungan	Teknologi pengolahan	Penaatan Baku Mutu Lingkungan	0	0	1	0	0	1	3	5	60.00
		Usaha 3R Terhadap Effluen IPAL	0	0	1	0	0	1	3	5	60.00
	Energi	Penggunaan Energi	7	0	0	0	0	7	7	35	20.00
		Sumber energi lain	7	0	0	0	0	7	7	35	20.00

Teknologi pengolahan air limbah

Analisis penataan baku mutu effluent air limbah bertujuan untuk mengetahui besarnya kemampuan teknologi pengolahan dalam mengolah air limbah. Untuk mengetahui kinerja teknologi suatu IPAL bisa dilihat dari kualitas effluent air limbah. Pengolahan air limbah domestik yang dibuang pada badan air harus memenuhi standar baku mutu air limbah domestik berdasarkan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia Nomor 68 Tahun 2016 mengenai Baku Mutu Air Limbah Domestik.

Hasil uji kualitas air olahan IPAL pada laboratorium dan lingkungan PDAM Balikpapan menunjukkan dalam 2 tahun rata-rata kualitas air hasil olahan memenuhi baku mutu sesuai dengan Permen LH no 68/2016. Namun demikian, dalam 2 tahun terakhir terdapat 11 kali kualitas air limbah tidak memenuhi baku mutu. Parameter yang tidak memenuhi syarat yaitu Total Coliform, COD, BOD, minyak dan lemak, serta amoniak. Menurut peraturan kandungan air olahan IPAL tidak boleh memiliki kandungan total coliform melebihi sebesar 3000 MPN/100 ml, COD sebesar 100 mg/L, BOD sebesar 30 mg/L, minyak dan lemak sebesar 5 mg/L, dan ammonia sebesar 10 mg/L.

Pada kota Balikpapan terdapat pemda yang mengatur baku mutu air limbah yaitu Perda Provinsi Kalimantan Timur no 02 tahun 2011 tentang Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air. Menurut Perda kandungan air olahan IPAL tidak boleh memiliki kandungan total coliform melebihi sebesar 10000 MPN/100 ml, COD sebesar 150 mg/L, BOD sebesar 100 mg/L, minyak dan lemak sebesar 10 mg/L, dan ammonia sebesar 10 mg/L. Jika di dibandingkan Permen LH, Perda tersebut masih longgar dalam mengatur baku mutu air limbah.

Berdasarkan hasil wawancara dengan pihak IPAL Margasari, faktor dari kadar effluent IPAL yang tidak memenuhi baku mutu karena kurang memanfaatkan unit pengolahan yang ada di IPAL Margasari. Diketahui pada tabel 4.3 dalam 2 tahun Total Coliform melebihi baku mutu sebanyak 11 kali, COD sebanyak 6 kali, BOD sebanyak 1 kali, Minyak dan lemak sebanyak 2 kali dan Amonia sebanyak 1 kali. Total coliform pada effluent sering melebihi baku mutu disebabkan petugas kurang memanfaatkan unit desinfeksi.

Menurut penelitian bahri, (2013) pemanfaatan air hasil olahan IPAL digunakan untuk pengairan pada pertanian di California. Namun di Indonesia sebagian besar hasil olahan air limbah masih di buang ke badan air. Pada IPAL Margasari rata-rata menghasilkan air olahan sebesar 14.000 m³ perbulan dan 1.215 m³ lumpur padatan. Upaya 3R hasil olahan air limbah yang diolah oleh IPAL Margasari didistribusikan ke beberapa dinas seperti dinas pemadam kebakaran dan digunakan untuk penyiraman tanaman sekitar IPAL. Sedangkan lumpur hasil olahan dimanfaatkan sebagai pupuk untuk tanaman yang tumbuh disekitar IPAL. Penggunaan air olahan limbah pada IPAL Margasari dalam sebulan kurang dari 1000 m³. Sehingga, masih banyak air yang dibuang ke badan air.

Energi yang dibutuhkan untuk pengolahan air limbah

Bioenergi menurut Dharmawan, (2018) yaitu energi yang didapat dari organisme biologis atau bahan organik. Penggunaan bioenergi pada suatu IPAL bisa salah satu upaya yang bisa digunakan untuk menekan upaya penggunaan listrik. Bioenergi sendiri pada sebuah IPAL bisa menggunakan dari hasil lumpur olahan IPAL.

Menurut hasil wawancara dengan petugas, IPAL Margasari masih menggunakan energi yang berasal dari listrik dan belum ada rencana untuk menggunakan bioenergi seperti biogas. Hasil observasi di lapangan diketahui bahwa penggunaan listrik pada IPAL Margasari sendiri yaitu sebesar 7.7976 kwh perbulan. Tingginya penggunaan listrik pada

IPAL menyumbang 38% dari total biaya operasional pada IPAL Margasari. Maka dari itu, perlunya penggunaan energi lain seperti pemanfaatan lumpur untuk dijadikan bioenergi, agar dapat menekan pengeluaran untuk biaya operasional.

Kondisi ideal suatu pengolahan air limbah yaitu air hasil olahan baik cairan maupun padatan yang di buang harus memenuhi baku mutu yang ditetapkan. Sehingga pengurus IPAL Margasari perlu untuk selalu mengontrol kualitas air limbah dan memaksimalkan proses pengolahan air limbah seperti waktu aerasi dan kadar klorin pada unit desinfektan. Pada IPAL juga harus merencanakan pemanfaatan dari hasil olahan IPAL seperti air dan lumpur. Untuk lumpur bisa dijadikan bioenergi yang bisa nantinya bisa jadi energi *alternative* IPAL Margasari.

Aspek Sosial

Setiap suatu lembaga IPAL tidak lepas dari dari peran serta masyarakat. Menurut Yung Savitri (2018) peran serta masyarakat dimulai dari tahap awal pembangunan IPAL, sehingga masyarakat dapat memahami hak dan kewajibannya sebelum sarana dan prasarana sanitasi terbangun. Hak masyarakat dalam pelayanan sanitasi skala permukiman adalah mendapatkan layanan sanitasi sesuai kesepakatan. Aspek sosial pada penelitian ini yaitu kesadaran sosial masyarakat sekitar IPAL. Berikut merupakan nilai masing masing sub faktor keberlanjutan dari aspek sosial IPAL Margasari:

Table 6 Penilaian Aspek Sosial

Aspek	Faktor	Sub-faktor	Rating Scale					R	Jumlah Nilai	Jumlah Nilai Maks	Indek (%)
			1	2	3	4	5				
Sosial	Kondisi sosial sekitar IPAL	Pemahaman terkait fungsi IPAL	0	0	31	0	0	31	93	155	60
		Keinginan masyarakat dalam merawat SR	18	11	2	0	0	31	46	155	29.68

Kesadaran sosial masyarakat sekitar IPAL

Dalam operasional sebuah IPAL tidak lepas dari peran serta masyarakat. Sudah seharusnya masyarakat yang bertempat tinggal di sekitar memahami fungsi serta dari suatu IPAL. Berdasarkan hasil observasi dan wawancara masyarakat sekitar IPAL Margasari, masyarakat di sekitar IPAL cenderung tidak peduli terhadap operasional IPAL. Menurut hasil wawancara dan survey yang telah dilakukan, masyarakat pengguna IPAL tidak mengetahui proses pengolahan limbah dan perawatan jaringan IPAL secara detail. Hal tersebut dikarenakan, dari pihak IPAL Margasari belum melaksanakan sosialisasi terkait peran fungsi IPAL secara berkala. Sehingga ketika terdapat masalah pada jaringan IPAL masyarakat cenderung memilih untuk melaporkan permasalahan ke petugas.

Partisipasi masyarakat tidak hanya memungkingkan kesediaan untuk membayar, tetapi juga keterlibatan pengoperasian dan pemeliharaan menjadi kunci untuk keberlanjutan jangka panjang (Al Djono, 2011). Salah satu pemasalahan yang sering terjadi yaitu pipa saluran IPAL tersumbat baik lemak maupun bungkus plastik. Hal tersebut disebabkan karena masih rendahnya kesadaran pelanggan dalam menjaga saluran IPAL dengan tidak membuang sampah kedalam saluran IPAL. Selain itu, berdasarkan hasil wawancara dengan masyarakat pengguna IPAL juga merasa terbebani jika harus tetap membayar perawatan IPAL.

Untuk menjadi kondisi ideal keberlanjutan suatu IPAL perlunya ada pebaikan dari segi sosial. Perlunya untuk pengurus IPAL untuk lebih dekat dengan masyarakat sekitar IPAL. Pendekatan masyarakat bisa dengan cara sering melakukan sosialisasi dan sering mengadakan forum forum FGD dengan masyarakat.

Aspek Lembaga

Dalam suatu IPAL dibutuhkan lembaga yang untuk mengurus adminitrasi, pengolahan dan pelayanan pada IPAL. Faktor dari aspek lembaga pada penelitian ini yaitu keberadaan kepengelolaan IPAL Margasari dan kepuasan pelanggan terhadap petugas IPAL. Berikut merupakan nilai masing masing sub faktor keberlanjutan dari aspek lembaga IPAL Margasari:

Table 7 Penilaian Aspek Lembaga

Aspek	Faktor	Sub-faktor	Rating Scale					R	Jumlah Nilai	Jumlah Nilai Maks	Indek (%)
			1	2	3	4	5				
Lembaga	Kepengelolaan IPAL	Keberadaan struktur pengelola	0	0	0	0	7	7	35	35	100
		Kinerja Pengelola	0	0	0	3	28	31	152	155	98.06
	Kepuasan Penggunaan	Kepuasan Pengguna	0	0	1	2	28	31	151	155	97.42
		Tanggap menghadapi pengaduan	0	0	0	0	31	31	155	155	100

Keberadaan kepengelolaan IPAL Margasari

Pada tahun 2005, sesuai dengan SK walikota Balikpapan Nomor 188.45-49/2005 tentang penunjukan Perumda Tirta Manuntung sebagai pengelola IPAL Margasari. Perumda Tirta Manuntung di pimpin dalam yaitu direktur utama yang membawahi 3 direksi yaitu direktur bagian umum, direktur bagian teknik, dan direktur air limbah.

Struktur kepengurusan IPAL Margasari dibawah langsung direksi (Direktur bidang air limbah Perumda Tirta Manuntung Kota Balikpapan).

Salah satu penilaian kinerja pengelola dapat diketahui dari tingkat keaktifan pengelola melakukan kegiatan rutin seperti pertemuan-pertemuan, mengumpulkan pendanaan dari pengguna, menetapkan peraturan pengguna air dan melaksanakan pemeliharaan dan pekerjaan perbaikan (Whaley & Cleaver, 2017). Penilaian kinerja pengelola IPAL Margasari dapat dilihat dari tanggapan masyarakat terhadap sikap tanggapnya dan profesionalisme pengelola dalam menghadapi pengaduan masyarakat. Berdasarkan hasil wawancara masyarakat sekitar IPAL, kinerja petugas IPAL bisa ramah dan baik ke seluruh masyarakat. Jika ada permasalahan jaringan petugas langsung tanggap memperbaiki permasalahan tersebut.

Kepuasan pelanggan IPAL

Masduqi A (2010) menyatakan salah satu variabel keberlanjutan yaitu kepuasan pelanggan. Berdasarkan hasil wawancara, masyarakat pengguna IPAL Margasari puas dengan pelayanan petugas. Ketika ada permasalahan pada jaringan petugas secara langsung datang untuk menyelesaikan permasalahan tersebut.

Pada IPAL Margasari terdapat fasilitas pengaduan terhadap gangguan atau masalah jaringan IPAL. Unit pelayanan siap melayan selama 24 jam dan sesegera mungkin untuk ditanggapi oleh pihak IPAL Margasari. Berdasarkan laporan IPAL Margasari Bulan Februari tahun 2022, terdapat 6 kasus pengaduan dan semua kasus pengaduan diatasi oleh petugas dengan tanggap dan baik. Hasil wawancara masyarakat sekitar IPAL, semua responden menyatakan bahwa pengelola menyelesaikan masalah dengan cepat dan tanggap.

Hal yang perlu diperbaiki dari aspek kelembagaan ini yaitu kurangnya komunikasi antara petugas dengan masyarakat sekitar IPAL. Hal tersebut bisa dilihat dari banyak masyarakat yang kurang paham dan mengerti dari pentingnya menjaga lingkungan melalui IPAL. Maka dari itu petugas IPAL perlu untuk lebih mendekati diri kepada masyarakat sekitar, seperti mengadakan sosialisasi ataupun forum FGD dengan masyarakat sekitar.

Aspek Teknis

Berikut merupakan nilai masing masing sub faktor keberlanjutan dari aspek teknis IPAL Margasari:

Table 8 Penilaian Aspek Teknis

Aspek	Faktor	Sub-faktor	Rating Scale					R	Jumlah Nilai	Jumlah Nilai Maks	Indek (%)
			1	2	3	4	5				
Teknis	Desain dan penerapan infrastruktur distribusi	Kinerja unit pengolahan	0	0	0	0	7	7	35	35	100
		Penambahan Pelanggan	0	1	0	0	0	1	1	5	20
		Cakupan Pelayanan	0	1	0	0	0	1	1	5	20

Aspek	Faktor	Sub-faktor	Rating Scale					R	Jumlah Nilai	Jumlah Nilai Maks	Indek (%)
			1	2	3	4	5				
		Pengaruh kinerja IPAL	0	0	11	18	2	31	115	155	74.19
	Perawatan Teknologi	Perawatan secara berulang	0	0	0	0	7	7	35	35	100

Desain dan penerapan infrastruktur distribusi

Kinerja unit pengolahan merupakan faktor penting dalam mengolah limbah domestik. Unit yang tidak lengkap dan tidak terawat bisa menyebabkan permasalahan seperti permasalahan lingkungan karena air olahan tidak memenuhi baku mutu dan lain sebagainya. Hasil observasi dan wawancara dengan pihak pengelola menunjukkan bahwa seluruh unit IPAL Margasari menunjukkan masih, lengkap dan berfungsi. Hal tersebut dapat dilihat dari air hasil pengelolaan yang sudah memenuhi baku mutu.

Penambahan pelanggan IPAL merupakan salah satu faktor keberlanjutan dari suatu IPAL. Penambahan pelanggan juga menandakan bahwa banyak masyarakat yang tertarik dengan pengolahan IPAL. Begitu juga sebaliknya ketika terdapat pengurangan pelanggan menandakan kualitas pelayanan yang kurang baik. Hasil observasi dan wawancara diperoleh informasi bahwa pada selama 2 tahun terakhir terdapat penambahan sebanyak 5 SR dan pengurangan sebanyak 30 SR. Pengurangan jumlah pelanggan ini terjadi karena masyarakat banyak yang masih beranggapan membuang limbah ke laut lebih efektif daripada harus membayar IPAL. Selain itu, dari pihak IPAL Margasari belum melaksanakan sosialisasi terkait pentingnya penggunaan IPAL untuk menjaga lingkungan. Menurut hasil wawancara menyatakan dalam 2 tahun terakhir tidak ada tambahan cakupan. Pada IPAL Margasari melayani 2 kelurahan yaitu kelurahan Margasari dan kelurahan Kampung Baru Tengah.



Gambar Peta Perencanaan Wilayah IPAL

Sumber: Dokumen IPAL Margasari

Pada saat ini petugas pelayanan IPAL Margasari fokus melayani zona pelayan (zona 1, 2, 3, dan 4) sebelum ke zona perencanaan (zona 5). Hal tersebut dari ke 4 zona masih banyak rumah yang belum berlangganan IPAL. Sehingga dalam waktu dekat petugas pelayanan IPAL Margasari belum berencana untuk mengembangkan pelayanan ke zona perencanaan.

Salah satu kelebihan dalam pengolah air limbah pada IPAL Margasari yaitu tidak menghasilkan bau busuk. Hal tersebut juga searah dengan mayoritas pendapat masyarakat yang menyatakan bahwa pengolahan IPAL tidak ada bau busuk. Namun beberapa masyarakat juga mengatakan bahwa pipa sambungan dari rumah yang lepas bisa menyebabkan bau yang tidak enak. Hal tersebut karena mayoritas masyarakat sekitar IPAL tinggal di rumah kayu yang berada diatas air. Ketika air pasang dan ombak kencang, menyebabkan pipa sambungan lepas dan limbah keluar begitu saja dari pipa, sehingga menyebabkan timbul bau yang tidak sedap.

Perawatan unit IPAL

Berdasarkan observasi IPAL Margasari memiliki buku petunjuk teknis operasi dan pemeliharaan pipa untuk instalasi pengolahan air limbah. Operasional instalasi berjalan sesuai dengan aturan yang ada. Setiap unit pada IPAL Margasari memiliki jadwal rutin perawatan dan pembersihan.

Untuk menjadi kondisi ideal keberlanjutan suatu IPAL perlu adanya pebaikan dari segi teknis yaitu mengadakan rapat dengan beberapa dinas terkait untuk membantu memasang sambungan rumah bagi masyarakat yang belum terpasang saluran IPAL. Selain itu, bisa dengan mengadakan sosialisasi ke masyarakat yang belum memasang IPAL.

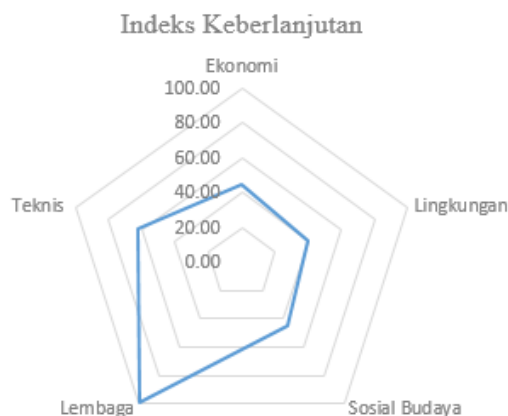
Tingkat Keberlanjutan IPAL Margasari

Indeks keberlanjutan IPAL Margasari didapat dari pembobotan pada masing masing sub faktor. Berdasarkan identifikasi tingkat keberlanjutan dari masing-masing faktor keberlanjutan, maka didapatkan rekapitulasi tingkat keberlanjutan untuk setiap aspek. Untuk mendapatkan tingkat keberlanjutan aspek maka perlu merata-rata tingkat keberlanjutan setiap faktor. Tingkat keberlanjutan setiap aspek pada IPAL Margasari sebagai berikut:

Tabel 1. Rekapitulasi aspek keberlanjutan

Aspek	Faktor	Indek Faktor (%)	Indeks Aspek (%)
Ekonomi	Iuran	69.35	44.68
	Biaya Operasional	20.00	
Lingkungan	Teknologi pengolahan	60.00	40.00
	Energi	20.00	
Sosial	Kondisi sosial sekitar IPAL	44.84	44.84
Lembaga	Kepengelolaan IPAL	99.03	98.87
	Kepuasan Penggunaan	98.71	
Teknis	Desain dan penerapan infrastruktur distribusi	53.55	62.84
	Perawatan Teknologi	100	

Pemetaan status keberlanjutan aspek keberlanjutan pada IPAL Margasari digambarkan menggunakan grafik berbentuk radar terlihat pada gambar dibawah



Gambar Pemetaan Nilai Aspek Keberlanjutan

Pada gambar diketahui bahwa terdapat perbedaan yang signifikan hasil penilaian aspek keberlanjutan IPAL Margasari. Aspek lembaga pada IPAL Margasari mendapat nilai yang cukup tinggi di bandingkan aspek yang lain. Hasil penilaian keberlanjutan ditinjau dari aspek teknis, ekonomi, lingkungan, dan sosial budaya menunjukkan hasil cukup berkelanjutan. Sedangkan, aspek kelembagaan menunjuk hasil sangat berkelanjutan.

Berdasarkan ke lima aspek maka didapatkan nilai indeks keberlanjutan IPAL Margasari yaitu 58,25%. Berdasarkan pengkategorian indeks keberlanjutan ditentukan mengacu kepada Prisanto (2015), dalam penelitian Puji (2018), IPAL Margasari berstatus cukup berkelanjutan.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil evaluasi IPAL Margasari mendapat skor 58,25% yang dikategorikan dalam status cukup berkelanjutan. IPAL Margasari pada dasar bisa berkelanjutan namun ada hal yang masih perlu diperbaiki

DAFTAR PUSTAKA

- Al Djono, T.P. (2011), Analisis Keberlanjutan Sistem Penyediaan Air Minum Pedesaan (Kajian Sistem Penyediaan Air Minum Berbasis Masyarakat di Kabupaten Karanganyar, Provinsi Jawa Tengah sebagai Model Generik Keberlanjutan Sistem Penyediaan Air Minum Pedesaan). Tesis, Program Pascasarjana Program Studi Kajian Lingkungan Universitas Indonesia, Jakarta.
- Campos, J. L., Heredia-Valenzuela, D., Pedrouso, A., Val del Rio, A., Belmonte, M. & Mosquera-Corral, A. (2016). Greenhouse Gases Emissions from Wastewater Treatment Plants: Minimization, Treatment, and Prevention. *Journal of Chemistry*, Article ID 3796352. <http://dx.doi.org/10.1155/2016/3796352>.
- Claudia Cossio , Jenny Norrman , Jennifer McConville , Alvaro Mercado , Sebastien Rauch. (2020). *Indicators for sustainability assessment of small-scale wastewater treatment plants in low and lower-middle income countries*. Sweden.. *Environmental and Sustainability Indicators* 6. 100028
- Cossio, C., McConville, J., Rauch, S., Wilen, B.M., Dalahmeh, S., Mercado, A., et al., (2017). *Wastewater management in small towns – understanding the failure of small treatment plants in Bolivia*. *Environ. Technol.* 39, 1–11
- Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, Direktur Jenderal Cipta Karya (2016). *Sistem Pengolahan Air Limbah Domestik-Terpusat Skala Permukiman*. Jakarta: Kementerian Pekerjaan Umum.
- Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat; (2016). In *Sistem Pengolahan Air Limbah Domestik - Terpusat Skala Permukiman (Buku 3)*. Jakarta.
- Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat (2016). *Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Republik Indonesia Nomor 33/PRT/M/2016 Tentang Petunjuk Teknis Penyelenggaraan Dana Alokasi Khusus Bidang Infrastruktur*. Jakarta.
- Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat (2017). *Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat No. 04/PRT/M/2017 Tentang Penyelenggaraan Sistem Pengelolaan Air Limbah Domestik*. Jakarta.
- Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia (2016). *Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia Nomor P.68/Menlhk/Setjen/Kum.1/8/2016 Tentang Baku Mutu Air Limbah Domestik*. Jakarta.
- Metcalf dan Eddy. (2005) *Wastewater Engineering - Treatment, Disposal and Reuse, 5 Edition*. New Delhi: Tata McGraw Hill Publishing Co. Ltd.
- Prisanto, D. (2015), Studi Pengelolaan IPAL (Instalasi Pengolahan Air Limbah) Domestik Komunal di Kota Blitar, Jawa Timur. Tesis Magister, Universitas Brawijaya, Malang
- Ranudi, R. S. E., 2018. *Evaluasi Pengelolaan IPAL Komunal di Kabupaten Sleman*. Sustainable Development Solutions Network, (2015). *Indicators and a Monitoring Framework for the Sustainable Development Goals: Launching a Data Revolution for the SDGs*. Report by the Leadership Council of the Sustainable Development Solutions Network.
- WCED (1987). *World Commission on Environment and Development, the so-called Brundtland report, Our common future*. New York: Oxford University Press



- Whaley, L. & Cleaver, F. (2017), *Can “functionality” save the community management model of rural water supply?*, *Water resources and rural development* 9 (2017) 56-66.
- Yung Savitri. (2018). *Evaluasi Instalasi Pengolahan Air Limbah Domestik Skala Permukiman di Kabupaten Lombok Barat*. Tesis Magister, Departemen Teknik Lingkungan. Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan Dan Kebumihan. Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Surabaya



IDENTIFIKASI KANDUNGAN MIKROPLASTIK PADA IKAN DI SUNGAI GAJAH WONG

Muhammad Ardimas Raharjo¹, Suphia Rahmawati^{2*}, Elita Nurfitriyani Sulistyo³,

¹ Prodi Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan,
Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta

²Laboratorium Analisis Risiko Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil dan
Perencanaan, Universitas Islam Indonesia

³Laboratorium Kualitas Udara, Fakultas Teknik Sipil dan
Perencanaan, Universitas Islam Indonesia

*corresponding author: 155131313@uii.ac.id

ABSTRAK

Mikroplastik merupakan partikel plastik yang memiliki ukuran kurang dari 5 mm. Mikroplastik memiliki dampak tidak hanya terhadap lingkungan akan tetapi juga berpotensi menimbulkan dampak pada kesehatan manusia. Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi adanya kandungan mikroplastik pada ikan di Sungai Gajah Wong Berdasarkan empat aspek diantaranya adalah jumlah, kelimpahan, jenis, dan warna. Sampel ikan diperoleh dari hasil pemancing ataupun empang tempat budidaya ikan yang berada di sepanjang Sungai Gajah Wong. Metode NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) digunakan sebagai acuan analisis sampel yaitu dimulai dengan teknik pengeringan sampel, Wet Peroxide Oxidation (WPO), pemisahan, densitas dan pengamatan mikroplastik dengan mikroskop. Berdasarkan hasil penelitian didapatkan bahwa jumlah partikel mikroplastik yang ditemukan pada sampel ikan nila, bawal, nilam, gabus, dan red devil di Sungai Gajah Wong yaitu berkisar 27 sampai 102 partikel dengan kelimpahan rata-rata yaitu 2,3 partikel/gram. Sedangkan karakteristik bentuk mikroplastik ditemukan empat jenis mikroplastik pada sampel ikan yaitu granula (29%), fragmen (26%), fiber (19%), film (16%), dan foam (10%). Terdapat sembilan jenis warna mikroplastik didominasi oleh hitam (24%), kemudian transparan (18%), merah (17%), biru (17%), orange (7%), kuning (6%), cokelat (5%), ungu (4%), dan hijau (2%)

Kata kunci: Ikan, Mikroplastik, Gajah Wong

PENDAHULUAN

Latar Belakang

Plastik memiliki sifat tidak mudah rusak, ringan dan dapat digunakan dalam kurun waktu yang lama. Plastik memiliki komponen zat aditif dan bahan sintesis polimer yang meliputi rantai panjang karbon, hidrogen, dan atom-atom seperti polietilena, polipropilena, polivinil klorida, dan polistirena (Hasibuan, 2021). Plastik digunakan secara luas di kehidupan sehari-hari terutama aktivitas domestik. Penggunaan plastik sekali pakai menyebabkan timbulan sampah plastik semakin lama semakin meningkat jika tidak dikelola/diolah sebagai mana mestinya. Sifatnya yang tidak mudah terurai menyebabkan keberadaan plastik di lingkungan akan semakin lama. Sampah plastik adalah salah satu jenis sampah yang pada saat ini menimbulkan masalah yang cukup menarik perhatian salah satunya adalah sekitar 60-80% sampah plastik yang bersumber dari daratan menimbulkan pencemaran di laut (Sarasita dkk, 2020). Menurut Harpah dkk., (2020) kontribusi sampah plastik ke laut di Indonesia mencapai 0,48 sampai 1,29 juta metrik ton plastik per tahun. Limbah plastik di lingkungan akan mengalami perubahan salah satunya adalah perubahan ukuran yang lebih kecil (<5mm) yang dikenal dengan



mikroplastik. Mikroplastik berdasarkan beberapa penelitian dijumpai di sungai (Sulistyo et. al., 2020) dan sedimen laut (Cordova & Wahyudi, 2016) dan memiliki potensi untuk dimakan oleh ikan karena memiliki bentuk yang serupa dengan makanan ikan. Hasil penelitian Peters dan Bratton (2016) menunjukkan bahwa mikroplastik ditemukan di jeroan ikan sedangkan Yona et. al. (2020) menyatakan bahwa mikroplastik juga ditemukan di organ ikan seperti insang, saluran pencernaan dan lambung. Jika mikroplastik masuk ke rantai makanan dan termakan oleh manusia akan menyebabkan gangguan kesehatan (Hanif dkk, 2021).

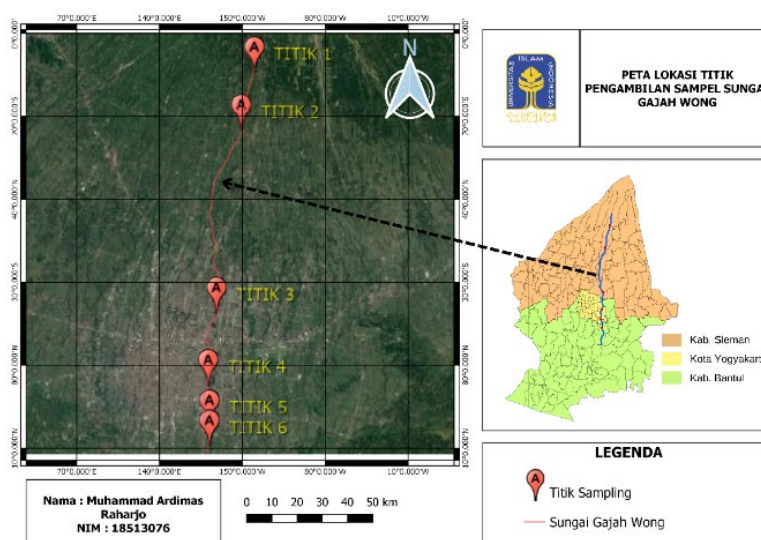
Sungai Gajah Wong adalah salah satu sungai besar yang terletak di Kota Yogyakarta disamping sungai Code, Opak dan Winongo. Berdasarkan penelitian yang dilakukan Ahdiaty dan Fitriana (2020), sungai Gajah Wong merupakan salah satu sungai yang mengalami penurunan kualitas akibat pencemaran buangan limbah industri, hotel, rumah sakit, dan rumah tangga. Walaupun demikian penelitian identifikasi mikroplastik di sungai Gajah Wong belum pernah dilakukan terutama pada ikan. Penelitian keberadaan mikroplastik pada ikan telah dilakukan di sungai Winongo (Fernanda, 2021) dan sungai Code (Sulistyo et. al., 2020), sehingga studi ini bertujuan untuk mengidentifikasi keberadaan mikroplastik pada ikan ditinjau dari kelimpahan, dan karakteristik mikroplastik sebagai studi awal untuk pengelolaan lebih lanjut.

METODE PENELITIAN

Pengambilan Sampel

Penelitian dilaksanakan di Sungai Winongo dari bulan Februari-Maret 2022. Sampel ikan diperoleh secara langsung dari pemancing dan dari pemeliharaan ikan (empang) yang menggunakan air sungai Winongo sebagai sumber airnya. Terdapat 6 titik sampling dari hulu ke hilir sungai Winongo (Gambar 1). Titik 1 dan 2 adalah lokasi budidaya ikan di empang yang menggunakan air sungai Winongo, sedangkan titik sampling (titik 4-6) adalah titik dimana lokasi pemancing.

Sampel ikan disimpan di dalam cool box yang berisi blue ice sebagai pengawetan sebelum dianalisis di laboratorium. Persiapan analisis sampel dilaksanakan di Laboratorium Kualitas Lingkungan, Jurusan Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil dan perencanaan. Sampel yang belum dianalisis disimpan di freezer dengan suhu -20°C.



Gambar 1 Peta lokasi penelitian

Analisis Sampel

Sampel ikan diberi kode, jenis ikan dicatat, berat dan panjang ikan diukur, kemudian organ ikan yaitu insang dan jeroan dipisahkan. Kemudian jeroan dan insang ikan dikeringkan menggunakan oven pada temperatur 90°C selama 48 jam. Setelah dingin, ditimbang sampai hasil timbangan stabil. Pengujian sampel dilakukan berdasarkan *National Oceanic and Atmosphere Administration* (NOAA) yang terdiri beberapa tahap yaitu:

1. *Wet Peroxide Oxidation* (WPO) untuk memisahkan mikroplastik dengan zat organik. Sampel yang telah ditimbang ditambahkan 20 ml hidrogen peroxide (30%), dipanaskan (75°C) dan diaduk menggunakan magnetic stirrer dengan kecepatan 120 rpm selama 30 min. sampel kemudian ditiriskan dengan penambahan NaCl sebanyak 12 gram.
2. Pemisahan densitas (*density separation*), penyaringan sampel menggunakan *vacum filter* menggunakan *glass microfiber filter papers* diameter 25 mm sampai semua larutan sampel tersaring habis
3. Identifikasi mikroplastik menggunakan mikroskop terhadap kertas saring yang terbagi dalam beberapa aea (zona). Pengujian dilakukan menggunakan *Nikon SMZ445 46 Stereoscopic Microscope* tipe *twin zooming objective optical system* dengan perbesaran 10 kali. Identifikasi dilakukan berdasarkan jumlah, bentuk dan warna mikroplastik.

Data jumlah, bentuk dan warna mikroplastik disajikan menggunakan analisis statistik deskriptif dan penyajiannya dalam bentuk grafik agar lebih mudah dipahami.

HASIL DAN PEMBAHASAN

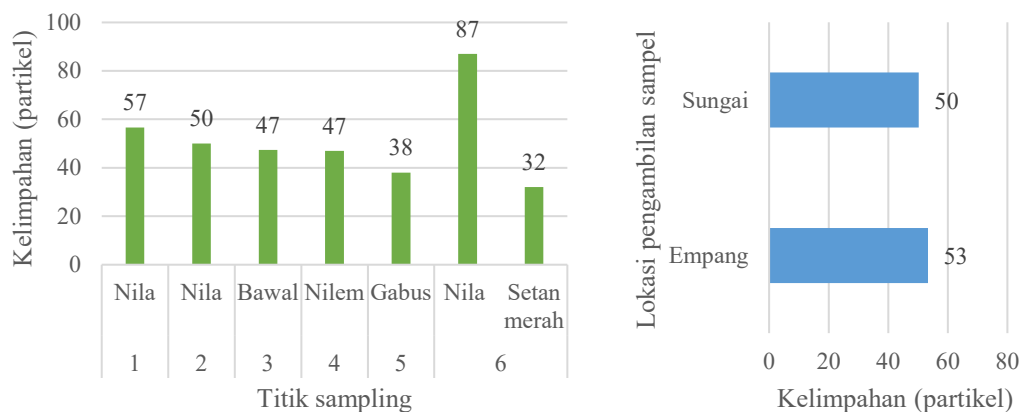
Dari 6 titik sampling di Sungai Winongo diperoleh sebanyak 18 sampel ikan yang terbagi menjadi 5 jenis ikan (Tabel 1).

Tabel 1 Jenis dan jumlah sampel ikan

Nama lokal	Nama Ilmiah	Jumlah	Klasifikasi	Berat (gr)
Nila	<i>Oreochromis niloticus</i>	8	Omnivora	96-233
Bawal	<i>Colossoma macropomum</i>	3	Omnivora	165-254
Nilem	<i>Osteochilus vittatus</i>	3	Herbivora	47-81
Gabus	<i>Channa striata</i>	3	Omnivora	16-23
Setan Merah	<i>Cichlosoma labiatum</i>	1	Karnivora	24

Dari Tabel 1, ikan Nilem dan Gabus memiliki kecenderungan hidup dasar sungai sedangkan ikan Nila, Bawal dan Red Devils memiliki habitat di kedalaman tengah sungai. Sebanyak 6 buah sampel ikan nila diperoleh dari empang budidaya ikan di bagian hulu (titik 1&2) sungai Gajah Wong. Sedangkan sisanya diperoleh dengan membeli langsung kepada pemancing yang sedang memancing di sepanjang sungai Gajah Wong. Sebagian besar sampel ikan adalah omnivora kecuali ikan Nilem (herbivora) dan Setan Merah (karnivora).

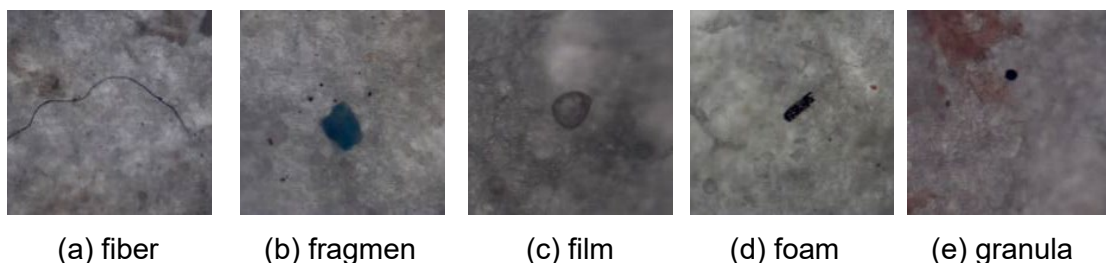
Hasil analisis sampel berdasarkan jumlah kelimpahan mikroplastik untuk setiap jenis ikan dan titik sampling dapat dilihat pada Gambar 2 (kanan) sedangkan rata-rata kelimpahan mikroplastik berdasarkan lokasi pengambilan sampel dapat dilihat pada Gambar 2 (kiri)



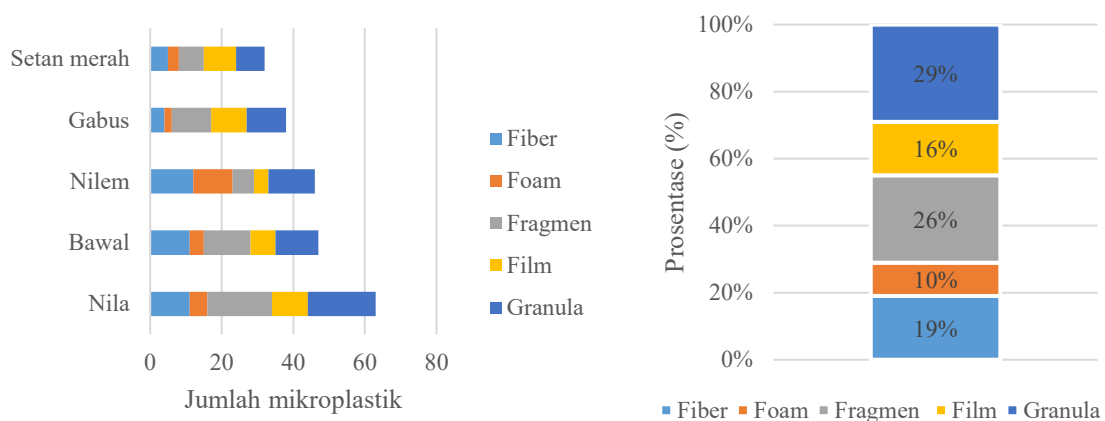
Gambar 2 Rata-rata kelimpahan mikroplastik pada jeroan ikan pada setiap jenis ikan dan titik sampling (kiri) dan kelimpahannya berdasarkan jenis titik sampling (kanan)

Kelimpahan mikroplastik pada jeroan sampel ikan memiliki rentang antara 27-102 partikel dengan rata-rata adalah 51 partikel. Berdasarkan Gambar 2 rata-rata kelimpahan mikroplastik pada ikan Nila adalah paling tinggi diikuti oleh Bawal, Nilem, Gabus dan Setan Merah. Diantara jenis ikan lainnya, ikan Nila memiliki bentuk dan organ pencernaan yang lebih besar (Budiman, 2010). Ikan Nila merupakan jenis ikan demersal yang memiliki kecenderungan untuk hidup dan mencari makan di dasar permukaan air, sehingga kondisi kualitas air dan sedimen berpengaruh terhadap makanan ikan Nila (Ling, 2018). Keberadaan mikroplastik di air dan sedimen sungai Winongo berpengaruh pada kelimpahan mikroplastik pada jeroan ikan. Kelimpahan mikroplastik antara ikan Nila yang dipelihara di empang maupun yang diperoleh dari pemancing tidak memiliki perbedaan yang cukup signifikan, hal ini menunjukkan bahwa walaupun ikan tersebut dipelihara di empang, akan tetapi air yang digunakan bersumber dari air sungai Winongo dengan kandungan mikroplastik.

Hasil pengamatan menggunakan mikroskop terhadap sampel jeroan ikan, terdapat beberapa klasifikasi bentuk mikroplastik yang dapat dilihat pada Gambar 3. Sedangkan rata-rata jumlah mikroplastik berdasarkan bentuk dan titik sampling sampel ikan dapat dilihat pada grafik pada Gambar 4.



Gambar 3 Contoh bentuk mikroplastik pada sampel jeroan ikan di sungai Gajah Wong



Gambar 4 Bentuk mikroplastik (rata-rata) pada tiap jenis sampel ikan (kiri) dan prosentase bentuk mikroplastik pada total sampel ikan (kanan)

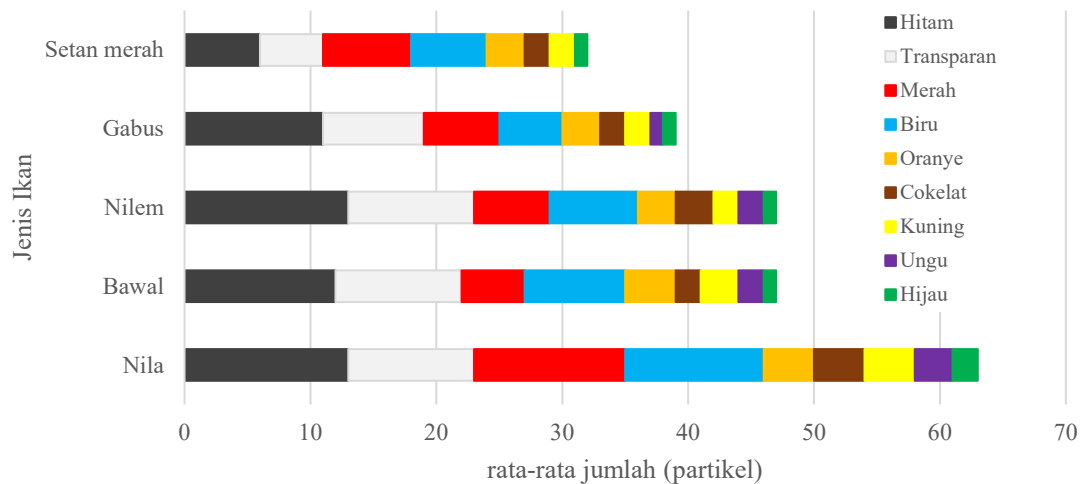
Komposisi bentuk mikroplastik pada jeroan sampel ikan Nila, Bawal, dan Gabus memiliki komposisi yang hampir serupa, sedangkan ikan Nilem dan Setan Merah berbeda dengan ikan lainnya. Perbedaan komposisi mikroplastik dipengaruhi oleh

beberapa faktor diantaranya jenis ikan, habitat, dan jenis mikroplastik (Victoria, 2017). Secara umum granule bentuk mikroplastik yang paling banyak ditemukan di sampel jeroan ikan (29%) diikuti oleh fragmen>fiber>film> foam. Salah satu sumber mikroplastik granula adalah microbeads yang terdapat pada produk kosmetik. Sedangkan bentuk fragmen secara umum berasal dari sampah plastik yang telah mengalami fragmentasi oleh beberapa proses misalnya radiasi UV sinar matahari, gelombang air, zat toksik yang berada pada badan air, dan air laut yang memiliki sifat hidrolisis. Proses ini juga dipengaruhi oleh lamanya waktu tinggal. Mikroplastik fragment yang telah lama dan berumur tua akan termakan oleh hewan air dan mengalami pengendapan pada dasar air bersama sedimen (Putri, 2017)

Jenis fiber merupakan jenis terbanyak setelah granula dan fragmen. Fiber berasal dari sumber serat fiber yang terdegradasi, beberapa sumber fiber diantaranya adalah jaring ikan, botol, dan tali plastik. Fragmentasi monofilament dari kain sintesis, alat pancing/jaring dan tali berbahan fiber. Menurut Katsanevakis dan Katsarou (2004), fiber menjadi salah satu sumber penyumbang mikroplastik di badan air yang diduga berasal dari aktivitas pengambilan ikan yang cukup tinggi di badan air. GESAMP (2015) juga menyatakan bahwa fiber dapat berasal dari limbah pencucian pakaian, kendaraan dan aktivitas domestik disekitar badan air.

Mikroplastik film walaupun tidak sebanyak granula, fragmen, dan fiber, ditemukan di semua jenis sampel ikan. Jenis mikroplastik ini berasal dari produk kemasan makanan yang memiliki bentuk dan warna yang transparan (Dewi et. al., 2015) dan memiliki sifat sangat rapuh sehingga dengan mudah terdegradasi (Browne, 2011). Mikroplastik film memiliki densitas yang rendah sehingga mudah terbawa arus air baik di sungai maupun lautan. Di lautan, mikroplastik film yang memiliki massa jenis lebih kecil dibanding air laut misalnya *polypropylene* akan mengapung dan dengan mudah menyebar luas di lautan sedangkan yang memiliki massa jenis yang lebih berat misalnya akrilik akan terakumulasi di dasar perairan (laut) dan mengganggu rantai makanan (Rochman et. al., 2015). Jenis mikroplastik yang paling sedikit ditemukan pada studi ini adalah mikroplastik jenis foam. Jenis ini dapat berasal dari polimer styrene sebagai bahan dalam pembuatan *styrofoam*. *Styrofoam* dapat ditemukan pada kemasan pelindung elektronik dan tempat makanan misalnya lemari pendingin. Limbah *Styrofoam* akan mengalami degradasi sehingga menjadi partikel kecil atau disebut foam (Istiqomah, 2020).

Karakteristik mikroplastik selain jumlah dan bentuknya adalah warna mikroplastik. Warna mikroplastik dapat digunakan sebagai indeks photodegradasi yang digunakan sebagai penentu berapa lama mikroplastik berada di lingkungan (perairan). Semakin lama plastik terombang-ambing di badan air maka plastik akan mengalami degradasi warna (Hildalgo et. al., 2012). Gambar 5 menunjukkan komposisi warna mikroplastik yang teridentifikasi pada sampel ikan di sungai Gajah Wong.

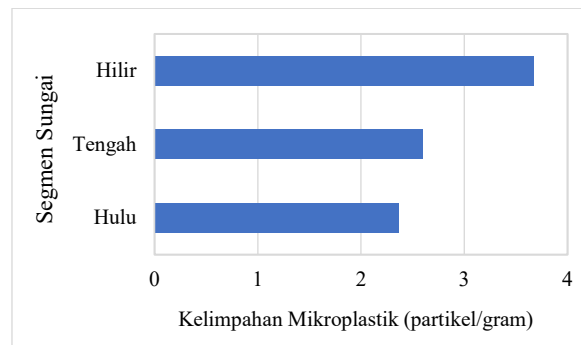


Gambar 5 Karakteristik warna mikroplastik pada tiap jenis ikan di Sungai Gajah Wong

Berdasarkan hasil studi, terdapat 9 warna yang ditemukan dalam sampel jeroan ikan di Sungai Gajah Wong dengan urutan kelimpahan adalah hitam>transparan>merah>biru>oranye>cokelat>kuning>ungu>hijau. Warna mikroplastik setiap sampel ikan memiliki komposisi yang berbeda, akan tetapi secara umum warna hitam, transparan dan merah mendominasi disetiap sampel ikan. Menurut Hiwari (2019), warna hitam memiliki kemampuan menyerap kontaminan dan partikel organik lain yang relative tinggi dan juga berpengaruh pada tekstur mikroplastik. Warna transparan merupakan identifikasi awal dari jenis *polimer polypropylene* (PP). Jenis PP adalah salah satu polimer yang sering dijumpai di perairan (Pedrotti, 2014). Mikroplastik berwarna transparan bisa menjadi indikasi bahwa mikroplastik tersebut telah lama berada dilingkungan perairan dan mengalami fotodegradasi oleh sinar UV (Hiwari, 2019).

Perbedaan warna mikroplastik dipengaruhi oleh sumber plastik, kondisi lingkungan dan iklim. Paparan sinar matahari terutama sinar UV secara terus menerus dapat berpengaruh pada perubahan warna partikel plastik (Putri, 2017). Sedangkan warna biru dan merah menunjukkan bahwa warna mikroplastik masih pekat dan belum terdegradasi secara signifikan. Warna pekat pada mikroplastik dapat berasal dari *polimer polyethylene* (PE) yang merupakan bahan pembuatan kantong plastik dan wadah plastik (GESAMP, 2015). Sisanya adalah warna kuning, cokelat, ungu dan hijau dengan prosentase <10%. Warna cokelat dapat bersumber dari plastik yang memiliki sifat *Low Density Polyethylene* (LDPE) dan memiliki potensi bisa di daur ulang (GESAMP, 2015).

Kelimpahan mikroplastik pada sampel ikan berdasarkan zona sungai dapat dilihat pada Gambar 6 berikut ini:



Gambar 6 Kelimpahan mikroplastik pada sampel ikan berdasarkan zona sungai

Gambar 6 menunjukkan bahwa kelimpahan mikroplastik pada sampel ikan di zona hilir>tengah dan hulu. Hal ini dapat dipengaruhi oleh aktivitas yang berada di sepanjang sungai Gajah Wong. Berdasarkan tata guna lahan zona tengah dan hilir didominasi oleh permukiman penduduk, industri, dan aktivitas domestik lainnya.

Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian ini terdapat 5 jenis ikan yang diperoleh yaitu ikan Nila, Bawal, Nilem, Gabus, dan Setan Merah. Jumlah mikroplastik yang ditemukan adalah 27-102 partikel dengan rata-rata kelimpahan yaitu 2,3 partikel/gram. Bentuk mikroplastik yang ditemukan adalah granula (29%)>fragmen (26%)>fiber (19%)>film (16%)>dan foam (10%), sedangkan jenis warna mikroplastik didominasi oleh hitam (24%)>transparan (18%)>merah (17%)>biru (17%)>orange (7%)>kuning (6%)>cokelat (5%)>ungu (4%), dan hijau (2%). Mikroplastik paling banyak ditemukan pada sampel ikan nila dan zona sungai bagian hilir

DAFTAR PUSTAKA

- Browne, M., P. Crump, S. Niven, E. Teuten, A. Tonkin, T. Galloway, dan R. Thompson. (2011). Accumulation of Microplastics on shorelines worldwide: Sources and Slnks. *Environ. Sci. Rechno.* Vol. 45, No. 21, 9175-9179.
- Cordova, M.R. dan Wahyudi, A.J. (2016) Microplastic In The Deep-Sea Sediment Of Southwestern Sumatera Waters. *Marine Research in Indonesia Journal.* Vol 41 No.1
- Daud, A., Suriati, dan Nuzulyanti. (2019). Kajian penerapan faktor yang mempengaruhi akurasi penentuan kadar air metode thermogravimetri. *Lutjanus.* Vol. 24, No. 2, 11-16.
- Dewi, I.S., A.A. Budiarsa, dan I.R. Ritonga. (2015). Distribusi mikroplastik pada sedimen di Muara Badak, Kabupaten Kutai Kartanegara. 121-121.
- Fernanda, D. A. (2021). Analisis Kandungan Mikroplastik Pada Ikan di Sungai Winongo Daerah Istimewa Yogyakarta. *Skripsi.* Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil Dan Perencanaan. Universitas Islam Indonesia. Yogyakarta.
- GESAMP. (2015). *Sources, Fate and Effects of Microplastics in the Marine Oceans: a global assessment.* International Maritime Organization. London.

- Hanif, K. H., J. Suprijanto, dan I. Pratikto. (2021). Identifikasi mikroplastik di Muara Sungai Kendal, Kabupaten Kendal. *Journal of Marine Research*. Vol. 10, No. 1, 1-6.
- Harpah, N., I. Suryati, R. Leonardo, A. Risky, P. Ageng, dan R. Addauwiyah. (2020). Analisa jenis, bentuk dan kelimpahan mikroplastik di Sungai Sei Sikaming Medan. *Jurnal Sains dan Teknologi*. Vol. 20, No.2, 108-115.
- Hasibuan, A. J., M. P. Patria, dan E. Nurdin. (2021). Analisis kelimpahan mikroplastik pada air, insang dan saluran pencernaan ikan mujair *Oreochromis mossambicus*. (Peters, 1852) di Danau Kenanga dan Danau Agathis, Universitas Indonesia, Depok, Jawa Barat. *Prosiding Seminar Nasional Aplikasi Sains & Teknologi (SNAST) 2021*. 1-10.
- Hidalgo-Ruz, V., L. Gutow, R.C. Thompson, dan M. Thiel. (2012). Microplastics in the marine environment: a review the methods used for identification and quantification. *Environmental Science & Technology*. Issue 3060-3075.
- Hiwari, H. (2019). Kondisi Sampah Mikroplastik di Permukaan Air Laut sekitar Kupang dan Rote, Provinsi Nusa Tenggara Timur. *PROS SEM NAS MASY BIODIV INDON*. Vol. 5, No.2, 165-171.
- Imanda, F. A. (2022). Identifikasi Karakteristik Fisik-Kimia Mikroplastik Pada Ikan Menggunakan Alat Mikroskop dan Fourier Transform Infra-Red (FT-IR) di Sungai Winongo Yogyakarta. Skripsi. Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil Dan Perencanaan. Universitas Islam Indonesia. Yogyakarta.
- Jayanti, Z. D., Herpandi, dan S. D. Lestari. (2018). Pemanfaatan limbah ikan menjadi tepung silase dengan penambahan tepung eceng gondok (*Eichhornia crassipes*). *Jurnal Teknologi Hasil Perikanan*. Vol. 7, No.1, 86-97.
- Katsanevakis, S. dan A. Katsarou. (2004). Katsanevakis Influences on the distribution of marine debris on the seafloor of shallow coastal areas in Greece (Eastern Mediterranean). *Influences on the distribution of marine debris Water Air Soil Pollutant*. Vol. 159, 325-327.
- Pandit, I. G. S. (2017). Penerapan teknik penanganan yang berbeda terhadap kualitas ikan segar sebagai bahan baku pembuatan Ikan Pindang. *Jurnal Perikanan Universitas Gadjah Mada*. Vol. 19, No.2, 89-96.
- Pedrotti, M. (2014). Plastic Fragments on the Surface of Mediterranean Waters. In *Marine Litter in the Mediterranean and Black Seas*. CIESM Workshop Monographs. CIESM Publisher. Monaco.
- Putri, C. (2017). Identifikasi Keberadaan dan Jenis Mikroplastik pada Ikan Bandeng (*Chanos chanos*, Forksal) di Tambak Lorok. Semarang.
- Putri, M. R. A., Y. Sugianti, dan Krismono. (2016). Beberapa aspek biologi ikan nilam (*Osteochillus vittatus*) di Danau Talaga, Sulawesi Tengah. *BAWAL*. Vol. 7, No.2, 111-120.
- Ratnasari, I. (2017). Identifikasi Jenis dan Jumlah Mikroplastik pada Ikan Nila Hltam (*Oreochromis niloticus*) di Perairan Air Payau Semarang. Skripsi. Program Studi Teknologi Pangan Fakultas Teknologi Pertanian Universitas Katolik Soegijapranata. Semarang.
- Rochman, C.M, A. Tahir, S.L. Williams, D.V. Baxa, R. Lam, J.T. Miller, dan S.J. Teh. (2015). Anthropogenic debris in seafood: plastic debris and fibers from textiles in fish and bivalves sold for human consumption. *Sci. Rep*. Vol. 5, No.1, 14340.
- Sarasita, D., A. Yunanto, dan D. Yona. (2015). Kandungan mikroplastik pada empat jenis ikan ekonomis penting di perairan Selat Bali. *Jurnal Aktologi Indonesia*. Vol. 20, No.1, 1-12.

- Sulistyo, E. N., S. Rahmawati, R. A. Putri, N. Arya, Y. A. Eryan. (2020). Identifikasi keberadaan dan jenis mikroplastik pada ikan Sungai Code Daerah Istimewa Yogyakarta. *Journal University Islam Indonesia*. Vol. 1, No.1, 85-91.
- Victoria, A. V. (2017). Kontaminasi mikroplastik di perairan tawar. *Teknik Kimia ITB*. 1-10.
- Yona, D., M. D. Maharani, M. R. Cordova, Y. Elvania, dan I. W. E. Dharmawan. (2020). Analisis mikroplastik di insang dan saluran pencernaan ikan karang di tiga pulau kecil dan terluar Papua, Indonesia: kajian awal. *Jurnal Ilmu dan Teknologi Kelautan Tropis*. Vol. 12, No.2, 495- 505



KAJIAN KAPASITAS SUMUR RESAPAN MENGGUNAKAN METODE SK SNI T-06-1990-F, SNI 8456:2017 DAN SUNJOTO (1988)

Nita Kurnita Sari¹, Sri Puji Saraswati¹ dan Nizam¹

¹ Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta

nitakurnita2020@mail.ugm.ac.id

ABSTRAK

Perubahan tata guna lahan dari yang semula merupakan lahan yang ditutupi tumbuh-tumbuhan (*vegetated*) menjadi permukaan yang dilapisi perkerasan (*paved*) memberikan dampak langsung terhadap peningkatan aliran permukaan (*surface runoff*) dan menurunnya peresapan (*infiltrasi*) air ke dalam tanah yang menyebabkan terjadinya banjir di musim hujan dan kekurangan air di musim kemarau sehingga perlu dilakukan pengelolaan terhadap air limpasan permukaan (*surface runoff*) saat musim hujan. Sumur resapan merupakan salah satu metode yang bertujuan untuk menambah peresapan dan sekaligus menurunkan debit banjir dengan cara meresapkan air limpasan permukaan (*surface runoff*) ke dalam tanah. Penelitian ini dimulai dengan melakukan pengujian tanah menggunakan alat infiltrometer untuk mengetahui nilai koefisien permeabilitas tanah di sekitar sumur resapan. Selanjutnya dilakukan perhitungan debit (Q) yang akan dialirkan ke dalam sumur resapan yang sudah ada di lapangan dengan kondisi sumur resapan berbentuk lingkaran yang terbuat dari pipa pvc dengan diameter 10 cm dan kedalaman 205 cm selama durasi waktu 2 jam untuk tiga metode yaitu metode SK SNI T-06-1990-F, SNI 8456:2017 dan Sunjoto (1988). Hasil penelitian nilai koefisien permeabilitas tanah (k) berdasarkan pengujian menggunakan alat infiltrometer adalah $4,8 \times 10^{-3}$ sehingga jenis tanah di lokasi sekitar sumur resapan dapat dikategorikan tanah kerikil halus/pasir yang memiliki permeabilitas atau kemampuan dalam meloloskan air sedang. Nilai debit aliran masuk (Q) untuk metode SK SNI T-06-1990-F, SNI 8456:2017 dan Sunjoto (1988) berbeda untuk masing-masing metode yaitu 0,123 m³/jam, 0,284 m³/jam, 1,248 m³/jam sehingga perlu dilakukan pengujian kapasitas sumur resapan untuk mengetahui metode perencanaan mana yang paling mendekati kondisi riil di lapangan.

Kata kunci: Perubahan tata guna lahan, Sumur resapan, Permeabilitas tanah, Aliran masuk, Kapasitas sumur resapan

PENDAHULUAN

Permasalahan banjir pada musim hujan dan kekeringan pada musim kemarau merupakan permasalahan yang sering dialami sebagian daerah di Indonesia khususnya di kota-kota besar yang merupakan daerah padat penduduk. Berkurangnya ruang terbuka hijau (RTH) yang berfungsi sebagai daerah resapan yang kini berubah menjadi daerah terbangun menyebabkan volume aliran permukaan (*surface runoff*) semakin besar dan volume air yang meresap ke dalam tanah semakin berkurang (Akan dan Houghtalen, 2013). Untuk mengatasi permasalahan ini maka perlu dilakukan pengelolaan terhadap aliran permukaan (*surface runoff*) pada saat musim hujan agar kelebihan air dapat disimpan dengan cara diresapkan ke dalam tanah dengan tujuan untuk mengisi ulang air tanah dan mengurangi debit banjir.

Sumur resapan merupakan salah satu metode yang dapat diterapkan untuk mengelola aliran permukaan (*surface runoff*) dengan cara meresapkannya ke dalam tanah. Sumur



resapan bertujuan untuk konservasi air yaitu mencegah atau meminimalkan air yang hilang sebagai aliran permukaan dan menyimpannya semaksimal mungkin ke dalam tanah secara buatan (*artificial recharge*) sehingga dapat meningkatkan kuantitas air tanah (Suhardjono dan Juwono, 2014). Sumur resapan berupa bangunan kosong yang berfungsi untuk menampung air terlebih dahulu sebelum kemudian air diresapkan ke dalam tanah. Dengan adanya tampungan, maka air hujan mempunyai cukup waktu untuk meresap ke dalam tanah, sehingga pengisian tanah menjadi lebih optimal (Suripin, 2004). Kapasitas tampungan sumur resapan adalah selisih jumlah volume air yang masuk dengan volume air yang keluar. Kapasitas tampungan dipengaruhi oleh beberapa faktor yaitu aliran air masuk, dimensi sumur resapan, jenis dinding sumur resapan, durasi hujan/waktu pengaliran dan permeabilitas tanah di sekitar sumur resapan (Badan Standardisasi Nasional, 1990; 2017; Sunjoto, 2020).

Koefisien permeabilitas tanah adalah kemampuan air untuk mengalir melalui pori-pori tanah yang secara langsung menentukan jumlah volume air yang mampu diresapkan ke dalam tanah (Keith Todd, 1959). Semakin besar nilai koefisien permeabilitas tanah maka kemampuan dalam meresapkan air ke dalam tanah juga akan semakin besar. Secara alami, tanah di alam dapat dibagi menjadi dua kondisi yaitu tanah berada pada kondisi jenuh sempurna (*fully saturated*) dan tanah dalam kondisi jenuh sebagian (*partially saturated*). Koefisien permeabilitas tanah berbeda pada kondisi jenuh dan tidak jenuh. Pada tanah dalam kondisi jenuh, koefisien permeabilitas dianggap konstan (Bowles, 1991), sedangkan pada kondisi tidak jenuh akan berubah-ubah seiring dengan perubahan tingkat kejenuhan yang terjadi. Metode-metode perencanaan sumur resapan yang selama ini menjadi acuan dalam penentuan dimensi sumur resapan mengasumsikan bahwa kapasitas sumur resapan akan tetap sama selama waktu pengaliran air ke dalam sumur sehingga air yang meresap ke dalam tanah dianggap tetap sama dari waktu ke waktu. Kemampuan tanah dalam meresapkan air akan berkurang seiring dengan lamanya waktu pengaliran yang pada akhirnya tanah akan menjadi jenuh atau tidak mampu lagi meloloskan air sehingga perlu dilakukan pengujian kapasitas sumur resapan terhadap metode-metode perencanaan yang ada untuk mengetahui metode yang menghasilkan desain kapasitas sumur resapan yang paling mendekati kondisi riil di lapangan.

LANDASAN TEORI

Laju Infiltrasi

Infiltrasi adalah proses masuknya air hujan ke dalam tanah (Harto, 2000). Proses infiltrasi merupakan proses yang sangat kompleks dan dipengaruhi oleh beberapa faktor yaitu sifat fisik tanah, keadaan tanah, jenis penutup lahan (*vegetal cover*) serta intensitas dan lamanya hujan (waktu pengaliran). Proses infiltrasi umumnya terjadi pada *zone of aeration*. Proses masuknya air ke dalam tanah melalui tiga proses yang terjadi secara berurutan yaitu proses masuknya air pada permukaan tanah (infiltrasi), selanjutnya proses aliran air dalam tanah (*water movement/water flow*), dan terjadi perubahan tampungan di dalam tanah (*change of storage*). Ketiga proses tersebut sangat berpengaruh terhadap laju infiltrasi. Dengan mengetahui besaran nilai laju infiltrasi tanah maka dapat diketahui pula nilai koefisien permeabilitas tanah yaitu kemampuan tanah dalam meloloskan air. Tanah dengan nilai koefisien permeabilitas tinggi dapat menaikkan laju infiltrasi.

Permeabilitas Tanah

Permeabilitas tanah adalah kemampuan tanah dalam meloloskan air. Permeabilitas tanah atau batuan sangat bergantung pada kemampuan dalam meloloskan cairan (Keith Todd, 1959). Setiap jenis tanah mempunyai nilai permeabilitas yang berbeda tergantung pada besar pori antar butir tanah. Besar pori antar butir tergantung dari diameter butir tanah dan kepadatannya. Laju infiltrasi sangat mempengaruhi kemampuan tanah dalam meloloskan air, semakin besar laju infiltrasi maka kemampuan tanah dalam meloloskan air (permeabilitas) akan semakin besar.

Aliran Masuk

Aliran masuk pada perencanaan sumur resapan biasanya merupakan aliran air hujan yang terjadi selama durasi waktu tertentu yang disalurkan ke dalam sumur resapan untuk kemudian diresapkan. Pada metode-metode yang ada aliran air masuk menggunakan parameter debit dan adapula yang menggunakan parameter volume. Untuk perhitungan aliran masuk menggunakan parameter debit biasanya dihitung dengan menggunakan persamaan rasional yaitu $Q = C.I.A$, biasa dipakai untuk perhitungan debit limpasan dengan cakupan luas bidang tadah yang kecil (dibawah 500 ha) seperti lahan pekarangan (Rifky dan Sri Amini, 2015). Dimana debit yang dialirkan ke dalam sumur resapan dipengaruhi oleh koefisien limpasan (tergantung pada jenis tutupan lahan), Intensitas hujan di kawasan tersebut dan luas area tangkapan hujan. Sementara untuk perhitungan menggunakan parameter volume menggunakan parameter debit air yang mengalir dalam durasi waktu tertentu, persamaan yang digunakan adalah $V = Q.T$ dimana Q merupakan debit dan T adalah durasi pengaliran.

METODE PENELITIAN

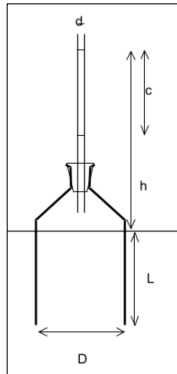
Lokasi Pengujian

Lokasi pengujian kapasitas sumur resapan dilakukan pada sumur resapan yang sudah terbangun pada tahun 2019 yang terletak di Wisdom Park, Karang Malang, Caturtunggal, Kec. Depok, Kabupaten Sleman, Daerah Istimewa Yogyakarta. Pengujian permeabilitas tanah dilakukan pada permukaan tanah di sekitar sumur resapan menggunakan alat infiltrometer untuk mengetahui nilai koefisien permeabilitas tanah yang menggambarkan kemampuan tanah dalam meloloskan air. Nilai koefisien permeabilitas tanah (k) kemudian digunakan untuk perhitungan aliran masuk (debit) menggunakan tiga metode yang sering menjadi acuan perencanaan sumur resapan di Indonesia yaitu metode SK SNI T-06-1990-F, SNI 8456:2017 dan Sunjoto (1988) selanjutnya dengan menggunakan debit masing-masing metode perlu dilakukan pengujian kapasitas sumur resapan untuk mengetahui metode mana yang paling mendekati kapasitas sumur resapan riil di lapangan.

Koefisien Permeabilitas Tanah

Pengujian permeabilitas tanah dilakukan di sekitar sumur resapan menggunakan infiltrometer pada permukaan tanah di berbagai kondisi dan waktu selama bulan juni sampai dengan juli. Pengujian daya resap tanah dilakukan melalui tahapan menyiapkan alat yang terbuat dari tabung baja kemudian dimasukkan kedalam tanah, selanjutnya memasukkan tabung kaca di atasnya. Tahap selanjutnya setelah alat disusun berdasarkan gambar 1 yaitu memasukkan air kedalam tabung kaca dan mengukur waktu

penurunan air di dalam tabung kaca sebesar “c”. Kemampuan tanah dalam meloloskan air dapat dihitung dari banyaknya air yang ditambahkan kedalam tabung per satuan waktu. Percobaan dihentikan jika nilai penurunan air sudah relatif konstan. Penyusunan alat untuk pengujian dan persamaan yang digunakan adalah sebagai berikut:



Gambar 1 Skema
Penyusunan Alat Percobaan

Dengan perhitungan menggunakan persamaan berdasarkan hukum darcy sebagai berikut:

$$k = \frac{d^2 \cdot L}{D^2 \cdot t} \cdot L_n \frac{h}{h-c} \quad (1)$$

Keterangan:

- k = Koefisien permeabilitas tanah
- d = Diameter tabung kaca
- D = Tinggi tabung aluminium masuk tanah (panjang lintasan air)
- t = Diameter tabung aluminium
- h = Waktu rata-rata dari percobaan
- c = Tinggi penurunan air

Debit Aliran Masuk

Perhitungan debit aliran masuk pada penelitian ini menggunakan tiga metode yaitu metode SK SNI T-06-1990-F, SNI 8456:2017 dan Sunjoto (1988) dengan data dimensi dan jenis sumur resapan sesuai dengan kondisi sumur resapan yang sudah ada di lapangan seperti kedalaman sumur, jari-jari dan jenis dinding sumur resapan, nilai koefisien permeabilitas tanah (k) berdasarkan pengujian di lapangan menggunakan *infiltrometer* serta durasi dominan hujan yang ditentukan 2 jam. Persamaan yang digunakan untuk perhitungan debit untuk masing-masing metode didasarkan pada persamaan perhitungan dimensi sumur resapan sebagai berikut:

Tabel 1 Persamaan Perhitungan Dimensi Sumur Resapan

Metode	Kedalaman Sumur (H)
SK SNI T-06-1990-F	$H = \frac{At IT - AsKT}{As + PKT}$
SNI 8456:2017	$H = \frac{Q}{\pi \omega r K}$
Sunjoto (1988)	$H = \frac{Q}{FK} \left\{ 1 - \exp \left(\frac{-FKT}{\pi R^2} \right) \right\}$

PENGOLAHAN DATA, HASIL DAN PEMBAHASAN

Nilai Koefisien Permeabilitas Tanah

Perhitungan nilai koefisien permeabilitas tanah (k) didasarkan pada konsep kecepatan aliran air dalam tanah mengikuti persamaan Darcy pada lapisan tanah jenuh sempurna (Darcy, H, 1856). Berdasarkan data percobaan dilakukan perhitungan untuk mendapatkan nilai koefisien permeabilitas menggunakan persamaan (1) dengan hasil perhitungan sebagai berikut:

Tabel 2 Hasil Pengujian Nilai Koefisien Permeabilitas Tanah (k)

Tanggal	Cuaca	Nilai k
20/06/2002	Cerah (sehari sebelumnya hujan)	0.0011
27/06/2022	Cerah	0.0048
04/07/2022	Cerah	0.0048
23/07/2022	Cerah	0.0052

Sumber: Data percobaan (2022)

Berdasarkan pengujian yang dilakukan selama bulan juni sampai dengan juli didapatkan nilai (k) yang berbeda-beda, hal tersebut dikarenakan kondisi awal tanah ketika dilakukan pengujian sangat berpengaruh terhadap kemampuan tanah dalam meloloskan air. Pada kondisi dimana turun hujan sehari sebelum dilakukan pengujian, nilai k menjadi sangat kecil yaitu 0.0011 cm/detik sedangkan pada kondisi tidak terjadi hujan nilai k berkisar antara 0.0048 – 0.0052 cm/detik. Hal tersebut dikarenakan pada kondisi setelah turun hujan tanah yang diuji sudah jenuh air sehingga ketika dilakukan pengujian kemampuan tanah dalam meresapkan air sudah berkurang. Berdasarkan data pengujian tersebut maka diambil nilai k tanah pada kondisi ideal yang mewakili yaitu 0.0048 cm/detik. Laju infiltrasi sangat mempengaruhi kemampuan tanah dalam meloloskan air, semakin besar laju infiltrasi maka kemampuan tanah dalam meloloskan air (permeabilitas) akan semakin besar. Klasifikasi jenis tanah dan kemampuan tanah dalam meloloskan air dapat dikelompokkan berdasarkan jenis tanah menurut harr dalam (Dake, 1985) adalah sebagai berikut:

Tabel 3 Jenis Tanah Berdasarkan Nilai k

Jenis tanah	K (cm/detik)
Kerikil bersih	1,0 dan lebih besar
Pasir kasar bersih	1,0-0,01
Pasir galian	0,01-0,005
Pasir halus	0,05-0,001
Pasir berlumpur	0,002-0,0001
Lumpur	0,0005-0,00001
Tanah liat	0,000001 dan lebih kecil

Sumber: Dake, 1985

Nilai koefisien permeabilitas tanah berdasarkan (Badan Standardisasi Nasional, 2017) yang menjadi acuan dalam perencanaan pembangunan sumur resapan air hujan adalah sebagai berikut:

Tabel 4 Nilai k Berdasarkan Jenis Tanah

Jenis tanah	Kategori	Nilai koefisien permeabilitas
Lanau	Sedang	2,0 - 3,6 cm/jam
Pasir halus	Agak cepat	3,6 - 36 cm/jam
Pasir kasar	Cepat	>36 cm/jam

Sumber: SNI 8456:2017

Klasifikasi jenis tanah dan kemampuan tanah menurut (Soedarmo, 2013) dalam meloloskan air dapat dikelompokkan berdasarkan tabel berikut:

Tabel 5 Nilai K Berdasarkan Jenis Tanah

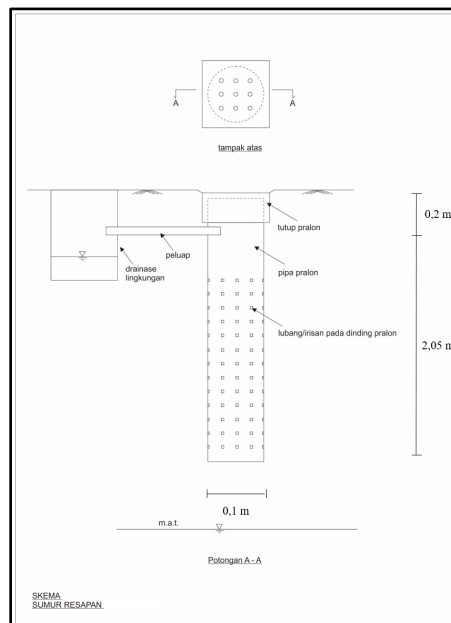
Jenis Tanah	k (cm/detik)	Kategori
Kerikil	$>10^{-1}$	High Permeability
Kerikil halus/Pasir	$10^{-1} - 10^{-3}$	Medium Permeability
Pasir sangat halus, Pasir lanau, lanau tak padat	$10^{-3} - 10^{-5}$	Low Permeability
Lanau padat, lanau lempung, lanau tidak murni	$10^{-5} - 10^{-7}$	Very low Permeability
lempung	$<10^{-7}$	Impervious

Sumber: Soedarmo, 2013

Nilai k berdasarkan pengujian di lapangan yaitu 4.8×10^{-3} cm/detik yang dapat dikategorikan menjadi jenis tanah kerikil halus/pasir yang dapat dikategorikan jenis tanah *medium permeability* atau kemampuan meloloskan air sedang sampai dengan agak cepat. Nilai k setiap lokasi berbeda-beda sesuai dengan faktor yang mempengaruhinya diantaranya kandungan fraksi tekstur (pasir, debu dan liat), bahan organik dan pengolahan tanah penggunaan lahan memberikan pengaruh terhadap besar kecilnya permeabilitas tanah (Mulyono, Rusydi dan Lestiana, 2019). Sedangkan menurut Bowles (1991) menyatakan bahwa aliran air dalam tanah sangat dipengaruhi oleh karakteristik tanah antara lain: jenis tanah, ukuran dan bentuk butiran, komposisi mineral, rongga pori (*void ratio*), derajat kejenuhan dan tipe aliran (Bowles, 1991).

Perhitungan Aliran Masuk (Q)

Pada penelitian ini perhitungan aliran air masuk (debit) dihitung menggunakan metode SK SNI T-06-1990-F, SNI 8456:2017 dan Sunjoto (1988) dengan data kedalaman, jari-jari dan jenis dinding sumur resapan berdasarkan kondisi sumur resapan eksisting di lapangan serta nilai koefisien permeabilitas tanah (k) sudah berdasarkan pengujian di lapangan menggunakan alat infiltrometer. Skema gambar sumur resapan dan data yang digunakan dalam perhitungan aliran masuk adalah sebagai berikut:



Gambar 2 Skema Sumur Resapan

- Kedalaman sumur = 2,05 m
- Koefisien permeabilitas tanah (k) = 0,174 m/j
- Durasi dominan hujan = 2 jam
- Radius sumur = 0,05 m

Berdasarkan data yang sudah ada kemudian dilakukan perhitungan aliran masuk untuk masing-masing metode sebagai berikut:

Sunjoto (1988)

Perhitungan desain perencanaan sumur resapan menggunakan metode Sunjoto sangat dipengaruhi oleh faktor geometri sumur. Nilai faktor geometrik (F) adalah suatu harga yang didasarkan pada bentuk ujung sumur, tampang, radius, kedalaman dinding serta perletakkannya dalam lapisan tanah (Sunjoto, 2011). Harga faktor geometri pertama kali dimunculkan oleh (Forchheimer, 1930) dalam penelitiannya untuk mencari nilai k dengan pengujian menggunakan sumur bor. Pada model sumur resapan yang akan dilakukan pengujian merupakan sumur resapan dengan jenis dinding sumur porous dan dasar sumur berbentuk rata, sehingga perhitungan nilai faktor geometri menggunakan persamaan (2):

$$F = \frac{2\pi H + 2\pi r \ln 2}{\ln \left\{ \frac{H + 2R}{2R} + \sqrt{\left(\frac{H}{2R}\right)^2 + 1} \right\}} \quad (2)$$

Sunjoto (1988) membangun persamaan untuk dimensi sumur resapan dengan asas debit air masuk kedalam sumur diasumsikan konstan sama dengan Q , debit keluar (meresap) adalah sama dengan faktor geometrik kali koefisien permeabilitas fungsi ketinggian air dalam sumur $Q_0 = F \cdot K \cdot h$ berdasarkan persamaan Forchheimer, 1930 untuk menghitung nilai permeabilitas tanah. Konsep persamaan yang dibangun Sunjoto yaitu kesetimbangan dinamis dimana volume air pada kondisi setimbang sama dengan selisih debit masuk dan keluar sumur terhadap fungsi waktu $dv = (Q - Q_0) dt$ dimana Q merupakan debit air yang masuk dan Q_0 merupakan debit air yang meresap. Sehingga formula perhitungan dimensi sumur resapan adalah sebagai berikut:

$$H = \frac{Q}{FK} \left\{ 1 - \exp\left(\frac{-FKT}{\pi R^2}\right) \right\} \quad (3)$$

Untuk menghitung aliran masuk digunakan persamaan berikut:

$$Q = \frac{HFK}{\left\{ 1 - \exp\left(\frac{-FKT}{\pi R^2}\right) \right\}} \quad (4)$$

Keterangan:

- H = tinggi muka air dalam sumur (m)
- Q = intensitas hujan (m/j)
- F = luas atap (m²)
- K = koefisien permeabilitas tanah (m/j)
- T_d = durasi dominan hujan (j)
- R = radius sumur (m)

SK SNI T-06-1990-F

Perhitungan menggunakan metode SK SNI T-06-1990-F pada dinding porous mengacu pada prinsip kesetimbangan statis dimana volume tampungan sama dengan volume air yang masuk dikurangi volume air yang meresap pada dasar dan dinding sumur (Badan Standardisasi Nasional, 1990). Nilai luas alas sumur (As) dan keliling penampang sumur (P) yang digunakan untuk menghitung nilai aliran masuk (debit) karena akan mempengaruhi volume air yang akan diresapkan ke dalam tanah dan bergantung pada bentuk sumur, pada penelitian ini sumur berbentuk lingkaran sehingga perhitungan luas bidang resapan menggunakan persamaan luas lingkaran pada dasar sumur dan selimut tabung untuk sekeliling sumur. Pendekatan kesetimbangan yang digunakan adalah sebagai berikut:

Volume tampungan = Volume air yang masuk – Volume air yang keluar melalui dasar + dinding sumur

$$H = \frac{AIT - ASKT}{AS+PKT} \quad (5)$$

Dengan:

- Volume tampungan = ASH
- Volume air masuk = AIT
- Volume air keluar (dasar) = ASTK
- Volume air keluar (dinding sumur) = PHTK

Sehingga untuk perhitungan aliran masuk (debit) adalah sebagai berikut:

$$Q = \frac{H (As+PKT)}{T} + As \quad (6)$$

Keterangan:

- H = tinggi muka air dalam sumur (m)
- I = intensitas hujan (m/j)

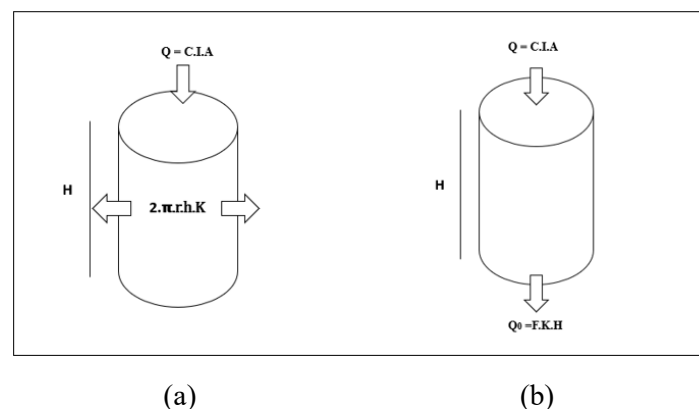
- A = luas atap (m²)
- A_s = luas tampang sumur (m²)
- P = keliling sumur (m)
- K = koefisien permeabilitas tanah (m/j)
- T = durasi hujan efektif/pengaliran (j)

SNI 8456:2017

Perencanaan sumur resapan menggunakan metode SNI 8456:2017 memasukan nilai koefisien jenis sumur (ω) kedalam perhitungan (Badan Standardisasi Nasional, 2017). Nilai ω merupakan nilai koefisien jenis sumur resapan berdasarkan metode yang dikembangkan oleh SNI 8456:2017 tentang sumur dan parit resapan air hujan yang merupakan revisi ketiga SNI 03-2453-2002 tentang tata cara perencanaan sumur resapan air hujan untuk lahan pekarangan dan SNI 06-2459-2002. Harga $\omega = 2$ untuk sumur kosong berdinding kedap air atau sumur tanpa dinding dengan batu pengisi dan $\omega = 5$ untuk sumur kosong berdinding porous. Pada perhitungan ini digunakan $\omega = 5$ karena jenis sumur serapan yang akan dilakukan pengujian merupakan sumur kosong yang berdinding porous. Pendekatan kesetimbangan yang digunakan yaitu debit air yang masuk = debit air yang keluar (meresap).

$$H = \frac{Q}{2\pi rK} \quad (6)$$

Jika dianalisis berdasarkan persamaan yang digunakan pada persamaan SNI 8456:2017 nilai $\omega = 2$ maka debit air yang masuk akan sama dengan debit air yang keluar melalui dinding sumur gambar (a). Namun jika persamaan dibangun dengan dasar menggunakan faktor geometrik untuk jenis sumur kedap air yaitu kondisi F4b = $2\pi r$ maka persamaan tersebut menjadi debit air yang masuk sama dengan debit air yang meresap yang dipengaruhi oleh jenis dinding dan bentuk sumur resapan (faktor geometrik) gambar (b). Skema pendekatan persamaan dapat dilihat pada gambar di bawah ini:



Gambar 4 Skema Pendekatan Persamaan Metode SNI 8456:2017

Sehingga untuk menghitung aliran masuk (debit) digunakan persamaan berikut:

$$Q = H (\pi \omega r K) \quad (5)$$

Keterangan

- Q = debit masuk (m³/jam)
r = radius sumur (m)
H = kedalaman sumur (m)
K = koefisien permeabilitas tanah (k) (m/jam)
ω = nilai koefisien jenis sumur

Tabel 6 Persamaan Perhitungan Debit Aliran Masuk (Q)

Metode	Q
SK SNI T-06-1990-F	$Q = \frac{H (As + PKT)}{T} + AsK$
SNI 8456:2017	$Q = H (\pi \omega r K)$
Sunjoto (1988)	$Q = \frac{HFK}{\left\{ 1 - \exp\left(\frac{-FKT}{\pi R^2}\right) \right\}}$

Dengan menggunakan asil perhitungan debit dengan masing-masing metode adalah sebagai berikut:

Tabel 7 Nilai Debit Aliran Masuk (Q)

Metode	Aliran masuk (Debit)	Nilai (m ³ /jam)
SK SNI T-06-1990-F	Q1	0,123
SNI 8456:2017	Q2	0,284
Sunjoto (1988)	Q3	1,248

Sumber: Hasil Perhitungan

Perhitungan debit aliran masuk (Q) berdasarkan nilai koefisien permeabilitas tanah (k) hasil pengujian di lapangan menggunakan *infiltrometer* untuk masing-masing persamaan SK SNI T-06-1990-F, SNI 8456:2017 dan Sunjoto (1988) menghasilkan nilai yang berbeda-beda yaitu 0,123 m³/jam, 0,284 m³/jam dan 1,248 m³/jam.

Debit aliran masuk yang mampu ditampung oleh sumur resapan dengan dimensi, nilai koefisien permeabilitas dan durasi pengaliran yang sama untuk ketiga metode berbeda karena pada masing-masing metode menggunakan pendekatan yang berbeda dalam membangun persamaan untuk menghitung dimensi sumur resapan. Untuk perencanaan dimensi sumur resapan pada persamaan Sunjoto dan SNI 8456:2017 menggunakan debit puncak yang dipengaruhi oleh intensitas hujan pada suatu kawasan dengan durasi hujan tertentu atau dengan menggunakan persamaan $Q = C.I.A$ yaitu C: koefisien *runoff*, I : Intensitas hujan (mm/jam) dan A : luas daerah tangkapan hujan (km²) sedangkan untuk persamaan SK SNI T-06-1990-F perhitungan aliran masuk menggunakan pendekatan volume air yang akan ditampung selama waktu dominan hujan atau dengan persamaan $V = Q.T = At.I.T$ dengan At: luas kawasan (m²) dan I: Intensitas hujan (mm/jam) dan T: durasi dominan hujan (jam). Selain itu persamaan yang dibangun Sunjoto menggunakan konsep kesetimbangan dinamis yaitu kesetimbangan yang berlandaskan pada proses aliran dari waktu ke waktu hingga tinggi air di dalam sumur resapan berpengaruh dalam derivasi formulanya sedangkan pada persamaan yang

dibangun pada metode SK SNI T-06-1990-F dan SNI 8456:2017 menggunakan konsep kesetimbangan statis yang didasarkan pada penurunan hukum kontinuitas yaitu volume tampungan merupakan selisih jumlah volume air yang masuk dengan yang keluar.

Kelebihan dan kekurangan masing-masing metode berdasarkan persamaan yang dibangun yaitu untuk persamaan Sunjoto memiliki kelebihan lebih fleksibel dalam penggunaan perancangan sumur resapan karena persamaan yang dibangun dapat digunakan pada berbagai bentuk sumur resapan seperti bentuk ujung sumur, tampang, radius, jenis dinding serta peletakkannya dalam lapisan tanah karena terdapat nilai faktor geometri sumur yang dapat digunakan sesuai dengan bentuk sumur, selain itu persamaan yang digunakan menggunakan konsep aliran tidak tetap dimana debit yang meresap tergantung dari debit yang masuk dan tinggi muka airnya yang lebih mendekati kondisi riil di lapangan karena tekanan yang diakibatkan oleh volume air di dalam sumur resapan akan mempengaruhi debit air yang akan meresap ke dalam tanah. Untuk kedua metode lainnya persamaan terbatas pada perencanaan sumur resapan yang bergantung pada bentuk dan jenis dinding sumur resapan yang sudah ditetapkan dan menggunakan konsep aliran tetap dimana menggunakan pendekatan bahwa volume tampungan adalah selisih air yang masuk dan meresap. Sedangkan kekurangan dari metode-metode tersebut yaitu pendekatan persamaan mengasumsikan bahwa kemampuan meresapkan air akan sama seiring dengan lamanya waktu pengaliran. Persamaan-persamaan yang ada menganggap nilai koefisien permeabilitas tanah akan tetap sama selama durasi pengaliran sehingga kemampuan tanah dalam meresapkan air dianggap akan sama selama waktu pengaliran namun pada kondisi riil di lapangan kemampuan tanah dalam meresapkan air akan berkurang seiring dengan lamanya waktu pengaliran dan pada akhirnya akan menjadi jenuh. Perubahan kemampuan tanah dalam meloloskan air (permeabilitas) tanah tidak dipertimbangkan dalam metode-metode perencanaan tersebut sehingga perlu dilakukan pengujian kapasitas pada sumur resapan yang ada untuk mengetahui metode perencanaan mana yang paling mendekati kondisi riil di lapangan.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian nilai koefisien permeabilitas tanah menggunakan infiltrometer diketahui bahwa tingkat kejenuhan tanah sangat mempengaruhi kemampuan tanah dalam meloloskan air. Hal tersebut dapat terlihat dari perbandingan pengambilan pada kondisi awal yang berbeda. Nilai k yang mewakili kondisi tanah di sekitar sumur resapan pada kondisi ideal atau tidak terganggu adalah sebesar 4.8×10^{-3} cm/detik yang dapat dikategorikan tanah di lokasi tersebut merupakan jenis tanah kerikil halus/pasir yang memiliki kemampuan meloloskan air sedang sampai dengan agak cepat. Untuk dimensi sumur resapan, nilai koefisien permeabilitas dan durasi pengaliran yang sama menghasilkan debit aliran masuk berbeda-beda untuk masing-masing metode. Perhitungan nilai debit untuk metode SK SNI T-06-1990-F, SNI 8456:2017 dan Sunjoto (1988) menggunakan nilai $k = 4.8 \times 10^{-3}$ cm/detik adalah 0,123 m³/jam, 0,284 m³/jam dan 1,248 m³/jam. Perbedaan hasil perhitungan debit yang akan dialirkan ke dalam sumur resapan dikarenakan terdapat perbedaan pendekatan persamaan yang dibangun untuk masing-masing metode sehingga perlu dilakukan pengujian kapasitas sumur resapan untuk mengetahui metode perencanaan sumur resapan yang paling mendekati dengan kondisi riil di lapangan agar didapatkan perencanaan sumur resapan yang efektif untuk mengurangi debit banjir dan menambah cadangan air tanah pada saat musim hujan yang kemudian dapat dimanfaatkan pada saat musim kemarau.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Laboratorium Teknik Penyehatan dan Lingkungan Universitas Gadjah Mada yang telah memberikan akses menggunakan alat untuk penelitian ini dan UGM Residence yang memberikan izin untuk melakukan pengujian pada sumur resapan di kawasan Wisdom Park UGM. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada keluarga dan semua rekan yang telah mendukung dan membantu untuk menyelesaikan penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Akan, A. O. dan Houghtalen, R. J. (2013) *Urban Hydrology, Hydraulics and Stormwater Quality*.
- Badan Standardisasi Nasional (1990) "Tata Cara Perencanaan Teknik Sumur Resapan Air Hujan Untuk Lahan Pekarangan." Indonesia.
- Badan Standardisasi Nasional (2017) "SNI 8256:2017 - Sumur dan Parit Resapan Air Hujan." Indonesia.
- Bowles, J. . (1991) *Sifat-sifat Fisis dan Geoteknis Tanah*. Erlangga.
- Dake, J. M. . (1985) *Hidrolika Teknik*. 2 ed. Jakarta: Erlangga.
- Darcy, H (1856) "Histoire des Fontaines Publiques de Dijon," in. Paris: Dalmont.
- Forchheimer (1930) *Hydraulik*. 3rd ed. Diedit oleh B. G. Teubner. Leipzig.
- Harto, S. (2000) *Hidrologi*. Yogyakarta: Nafiri Offset.
- Keith Todd, D. (1959) *Ground Water Hydrology*. New York and London: John Wiley & Sons, INC.
- Mulyono, A., Rusydi, A. F. dan Lestiana, H. (2019) "Permeabilitas Tanah Berbagai Tipe Penggunaan Lahan Di Tanah Aluvial Pesisir Das Cimanuk, Indramayu," *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 17(1), hal. 1. doi: 10.14710/jil.17.1.1-6.
- Rifky dan Sri Amini (2015) "Perbandingan Perencanaan Sumur Resapan Air Hujan Menggunakan Metode Sunjoto dan SNI 03-2453-2002 Pada Bangunan Komersial di Jalan Kaliurang KM 12 Sleman Yogyakarta," (1990), hal. 142–153.
- Soedarmo, D. (2013) "Mekanika Tanah, Jilid 1," *Penerbit Kanisius*, 53(9), hal. 1689–1699.
- Suhardjono., R. dan Juwono (2014) "Studi Pengendalian Banjir di Kecamatan Kepanjen dengan Sumur Resapan," 5((1)), hal. 79–90.
- Sunjoto (2011) *Teknik Drainase Pro-Air*. Yogyakarta: Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan-UGM.
- Sunjoto (2020) "Teknik Konservasi Sumberdaya Air," in. Yogyakarta: Jurusan Teknik Sipil dan Lingkungan Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada.
- Suripin (2004) *Pengembangan Sistem Drainase yang Berkelanjutan*. Yogyakarta: Andi Offset.

OPTIMALISASI PENYIMPANAN ISOLAT-ISOLAT BAKTERI UNTUK TERCAPAINYA LABORATORIUM BIOTEKNOLOGI YANG ADAPTIF, TANGGUH, DAN BERKELANJUTAN

Annisa Nur Lathifah^{1,2*}, Rina Isnikarita^{1,2}, Joni Aldila Fajri^{1,2}, Awaluddin Nurmiyanto^{1,2}
Dewi Wulandari^{1,2}

¹ Laboratorium Bioteknologi Lingkungan, Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia

² Prodi Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia

*corresponding author: annisa.lathifah@uii.ac.id

ABSTRAK

Laboratorium Bioteknologi merupakan salah satu laboratorium di Program Studi Teknik Lingkungan UII (PSTL UII) yang terus berupaya mendukung proses pendidikan dan penelitian, khususnya pada aplikasi mikrobiologi dalam penyelesaian masalah lingkungan. Penelitian-penelitian yang telah dan sedang dilakukan oleh para peneliti di Lab. Bioteknologi telah berhasil mengisolasi beberapa jenis bakteri yang menguntungkan. Sementara itu, penyimpanan isolat bakteri di Lab. Bioteknologi belum terkelola dengan baik. Isolat-isolat hasil penelitian-penelitian tersebut belum tercatat dengan baik dan terstruktur dalam sebuah sistem pencatatan. Isolat-isolat tersebut hanya disimpan pada media Nutrient Agar (NA) miring atau agar plates yang daya simpannya hanya berkisar 3-4 minggu di dalam refrigerator. Penelitian ini bertujuan untuk menginvestigasi metode untuk menyimpan isolat-isolat bakteri agar mempunyai daya simpan yang lama dan tidak mudah terkontaminasi dengan memanfaatkan media Gellan Gum. Metode yang digunakan pada penelitian ini yaitu dengan membandingkan pertumbuhan isolat-isolat uji pada media Nutrient Broth (NB)+ Agar (Nutrient Agar/NA miring) dengan pertumbuhannya pada media NB+Gellan Gum. Hasil penelitian menunjukkan bahwa setelah masa simpan 6 bulan, isolat-isolat uji mampu tumbuh dengan baik pada media Gellan Gum jika dibandingkan pertumbuhannya pada media Nutrient agar miring dan menunjukkan tidak adanya kontaminasi. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan insight baru tentang metode yang efektif untuk penyimpanan isolat bakteri dan tidak memerlukan penyimpanan di dalam refrigerator, cukup pada suhu ruang.

Kata kunci: Laboratorium Bioteknologi, PSTL UII, Bakteri, Gellan Gum, Adaptif

PENDAHULUAN

Laboratorium Bioteknologi merupakan salah satu laboratorium di Program Studi Teknik Lingkungan UII (PSTL UII) yang terus berupaya mendukung proses pendidikan dan penelitian, khususnya pada aplikasi mikrobiologi dalam penyelesaian masalah lingkungan. Penelitian-penelitian yang dikembangkan diarahkan menuju *roadmap* penelitian PSTL UII yaitu terwujudnya “Teknologi Lingkungan yang tangguh dan adaptif berbasis model risiko lingkungan”, diantaranya yaitu bioremediasi lingkungan tercemar, pengembangan teknologi tepat guna untuk pengolahan air limbah, dan kajian sanitasi sistem komunal berbasis masyarakat. Selain aktif mengembangkan penelitian, Lab. Bioteknologi juga memberikan jasa pelayanan kepada publik diantaranya yaitu monitoring kualitas air secara mikrobiologi, isolasi dan kultivasi mikroorganisme menguntungkan, identifikasi keragaman mikroorganisme pada lingkungan air dan tanah.

Penelitian-penelitian yang telah dan sedang dilakukan oleh para peneliti di Lab. Bioteknologi telah berhasil mengisolasi beberapa jenis bakteri yang menguntungkan. Penelitian yang dilakukan oleh Juliani *et al.* [1] berhasil mengisolasi bakteri pendegradasi



crude oil, yang berpotensi sebagai agen bioremediasi limbah hidrokarbon. Fajri *et al.* [2] dalam studinya tentang pengolahan limbah tenun dengan *floating wetland* berhasil mengisolasi bakteri endofit, bakteri indigenus yang berperan dalam proses remediasi limbah tersebut. Selain itu, Nurmiyanto *et al.* [3] dalam studinya tentang teknologi tepat guna untuk pengolah air limbah domestik khususnya *grey water* berhasil mengisolasi bakteri yang berperan dalam proses denitrifikasi, proses yang penting pada penguraian limbah Nitrogen. Lathifah *et al.* [4] dalam studi bioremediasi limbah Chromium menunjukkan bahwa bakteri *Arthrobacter* sp. yang diisolasi dari gunung Merapi mempunyai kemampuan mereduksi Cr (VI). Isolat-isolat hasil penelitian tersebut penting untuk terus dirawat karena akan menjadi kultur induk yang dapat diperbanyak sehingga dapat diaplikasikan pada skala lapangan atau bahkan skala industri guna meremediasi lingkungan tercemar.

Sementara itu, penyimpanan isolat bakteri di Lab. Bioteknologi belum terkelola dengan baik. Isolat-isolat hasil penelitian-penelitian tersebut belum tercatat dengan baik dan terstruktur dalam sebuah sistem pencatatan. Isolat-isolat tersebut hanya disimpan pada media *Nutrient Agar* (NA) miring atau *agar plates* yang daya simpannya hanya berkisar 3-4 minggu di dalam refrigerator [5]. Jika tidak dipindahkan ke media NA baru maka isolat akan menjadi kering sehingga tidak dapat digunakan. Hal tersebut terjadi pada bakteri hasil isolasi Juliani *et al.*[1]. Selain itu juga terjadi pada isolat-isolat yang digunakan untuk kepentingan pelayanan publik, keperluan praktikum seperti bakteri *E. coli* dan *S. aureus* yang dibeli pada sebuah *culture collection*, sehingga perlu dilakukan pembelian ulang ketika bakteri tersebut akan digunakan kembali.

Terdapat beberapa metode untuk penyimpanan isolat bakteri agar lebih tahan lama, dengan daya simpan s.d. 1 tahun, yaitu dengan teknik *freezing*, *free-drying*, dan *cryoprotectants* [5][6][7]. Namun metode tersebut membutuhkan penyimpanan pada suhu minimal -20°C, dimana fasilitas tersebut belum tersedia di Laboratorium Bioteknologi. Di sisi lain, beberapa penelitian telah menunjukkan bahwa *Gellan Gum* dapat digunakan sebagai *gelling agent* untuk menggantikan *bacto agar*. Studi pada bakteri sedimen tanah dan air tawar telah menunjukkan bahwa *Gellan Gum* dapat memungkinkan lebih banyak mikroorganisme untuk tumbuh dan membentuk koloni pada substrat padat dari pada substrat yang dipadatkan dengan agar [8][9] dan berhasil mengisolasi bakteri yang sebelumnya tidak dapat dikulturkan [10]. *Gellan Gum* yang merupakan produk fermentasi *Sphingomonas elodea* [11], mempunyai stabilitas termal yang tinggi, membuatnya ideal untuk isolasi dan pertumbuhan beberapa mikroorganisme termofilik [12]. Oleh karena itu penelitian ini bertujuan untuk menginvestigasi metode untuk menyimpan isolat-isolat bakteri agar mempunyai daya simpan yang lama dan tidak mudah terkontaminasi dengan memanfaatkan media *Gellan Gum*. Adanya penelitian ini diharapkan didapatkan metode yang efektif untuk penyimpanan isolat bakteri dan tidak memerlukan penyimpanan di dalam refrigerator, cukup pada suhu ruang.

METODE PENELITIAN

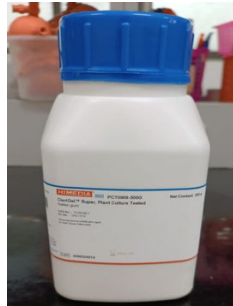
Lokasi penelitian

Laboratorium Bioteknologi, Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia.

Alat & Bahan



Alat-alat yang dibutuhkan di dalam penelitian ini adalah peralatan gelas (*erlenmeyer*, gelas ukur, *petridish*, dll.), tabung reaksi ulir dengan tutup untuk penyimpanan isolat, jarum inokulasi, spreader, bunsen, mikropipet, pH meter, autoclave, shaker incubator, inkubator 30°C, laminar airflow. Bahan yang dibutuhkan di dalam penelitian ini adalah media *Nutrient Broth* (NB), media *Nutrient Agar* (NA), media *Gellan gum* (Gambar 1.), media *Bacto Agar*, akuades, alkohol 70%. Media *Gellan Gum* memberikan karakteristik gel lembut, elastis dan transparan pada konsentrasi lebih tinggi dari 0,2%, dan resisten terhadap panas pada suhu 120°C.



Gambar 1. Sediaan *Gellan Gum Powder*

Analisis data

Pendataan isolat bakteri

Dilakukan pendataan isolat-isolat bakteri hasil penelitian yang dilakukan di laboratorium Bioteknologi dengan mencatat pada *log book* penelitian dan PC di laboratorium. Adapun data-data yang dicatat terlampir pada Lampiran 1. Selanjutnya dilakukan pemilihan sebanyak 10 isolat dengan jenis berbeda untuk dijadikan sampel pengujian.

Persiapan media

a. Pembuatan media semi solid NB + agar

Sebanyak 1.6 g sediaan media NB dilarutkan dalam akuades 200 ml. Selanjutnya larutan tersebut ditambahkan *bacto agar* sebanyak 0.2 g (0.2% volume media), dilarutkan dengan sedikit pemanasan, kemudian didistribusikan pada 30 tabung reaksi ulir dengan tutup masing-masing sebanyak 3 ml. Larutan media yang telah terdistribusi ke dalam tabung kemudian disterilisasi menggunakan autoklaf selama 15 menit pada suhu 121°C. Setelah suhu media turun $\pm 50^\circ\text{C}$, maka media semi solid NB+agar siap digunakan.

b. Pembuatan media semi solid NB+Gellan Gum

Sebanyak 1.6 g sediaan media NB powder dilarutkan dalam akuades 200 ml. Selanjutnya larutan tersebut ditambahkan *Gellan Gum powder* sebanyak 3,2 g, dilarutkan dengan sedikit pemanasan, kemudian didistribusikan pada 50 tabung reaksi ulir dengan tutup masing-masing sebanyak 3 ml. Larutan media yang telah terdistribusi ke dalam tabung kemudian disterilisasi menggunakan autoklaf selama 15 menit pada suhu 121°C. Setelah suhu media turun $\pm 50^\circ\text{C}$, maka media semi solid NB+Gellan Gum siap digunakan [9][10].

Inokulasi isolat bakteri pada media NB+agar dan media NB+Gellan Gum

Masing-masing isolat bakteri dinokulasikan pada media semi solid NB+agar dan media semi solid NB+Gellan Gum dengan tiga kali pengulangan pada setiap media untuk setiap

isolat. Sebagai kontrol negatif, digunakan kedua jenis media tersebut tanpa inokulasi isolat bakteri.

Pengamatan isolat bakteri berkala pada bulan ke-3 dan bulan ke-6

Isolat bakteri yang disimpan diuji ketahanan daya simpannya selama 6 bulan dengan dicek berkala setiap 3 bulan. Lebih detilnya, isolat dari media semi solid diambil sebanyak 10 µl kemudian diinokulasikan pada media NB cair, diinkubasi selama ±48 jam pada suhu 30°C dengan shaker incubator. Kultur bakteri yang tumbuh pada media NB cair tersebut kemudian di inokulasikan pada media NA dalam cawan petri dengan metode *streak plate*. Jika bakteri tumbuh pada goresan dan diluar goresan tidak terdapat koloni bakteri lainnya, dapat disimpulkan isolat bakteri tersebut tersimpan dengan baik dan tidak terkontaminasi (modifikasi [9][10]).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Telah dilakukan pendataan beberapa isolat bakteri yang tersimpan di refrigerator Lab. Bioteknologi (**Tabel 1.**).

Tabel 1. Data Isolat bakteri yang terdapat di Lab. Bioteknologi

No	Kode isolat	Sumber bakteri	Umur isolate
1	BRU 39	Deposit vulkanik Merapi	1 tahun
2	BRU 37	Deposit vulkanik Merapi	1 tahun
3	H0 NS1	Grey water	1 tahun
3	H0 NS2	Grey water	1 tahun
4	H0 NS3	Grey water	1 tahun
5	ATCC E. coli	Culture collection	1 tahun
6	<i>E. coli</i> limbah	Limbah di IPAL komunal	8 bulan
7	MPS MS 1	Sedimen muara sungai	8 bulan
8	MPS MS 2	Sedimen muara sungai	8 bulan
9	MPS MS 3	Sedimen muara sungai	8 bulan
10	MPS MS 4	Sedimen muara sungai	8 bulan
11	MPS MS 5	Sedimen muara sungai	8 bulan
12	Ra-5	Limbah tenun	1 tahun
13	Ra-1	Limbah tenun	1 tahun

14	Rb-2	Limbah tenun	1 tahun
15	Sb-4a	Limbah tenun	1 tahun

sebagian isolat belum terdata karena terkendala pada pencatatan label isolat yang tidak jelas oleh peneliti atau pemilik isolat tersebut.

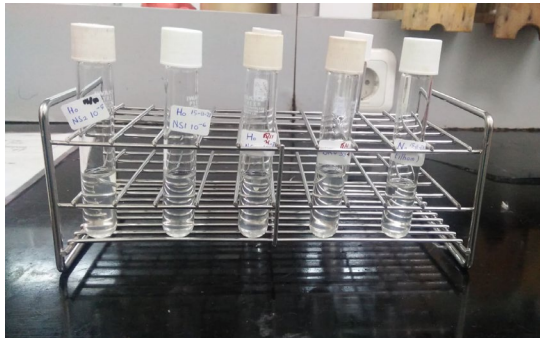
Hasil inokulasi isolat terpilih pada media NB+agar dan media NB+Gellan Gum

Beberapa isolat yang kondisinya masih baik (Gb 2a.) dipilih untuk pengujian pada penelitian ini. Isolat-isolat terpilih diinokulasikan pada media NB + agar dan media NB + *Gellan Gum* untuk diuji pertumbuhannya dan daya simpan pada masing-masing media tersebut. Setelah diinkubasi selama 2x24 jam, isolat-isolat tersebut mampu tumbuh pada media NB+agar (NA miring) (Gb 2b.) Isolat-isolat tersebut juga diinokulasikan pada media NB + *Gellan Gum* (Gb 2c.). Beberapa isolat mampu tumbuh pada media tersebut setelah diinkubasi selama 2x24 jam (Gb 2d.). Sedangkan isolat yang lain belum tumbuh sehingga masih dilanjutkan waktu inkubasinya.



Gb 2a. Beberapa isolat bakteri hasil penelitian di Lab. Bioteknologi, isolat tersimpan pada media NA miring. Media agar sudah mulai menipis (ditunjukkan oleh lingkaran hijau) dan beberapa isolat mengalami kontaminasi (kontaminan ditunjukkan oleh lingkaran merah)

Gb 2b. Isolat-isolat terpilih pada Gb 2a kemudian dipindahkan pada media NB + agar. Isolat terlihat mampu tumbuh pada media tersebut setelah inkubasi 2x24 jam.

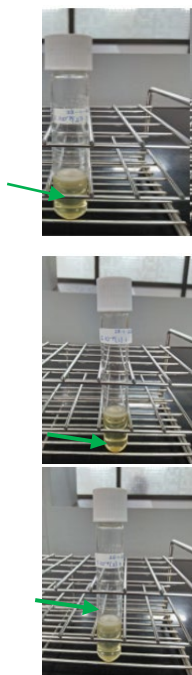


Gb 2c. Beberapa Isolat terpilih diujikan pada media NB+ *Gellan Gum* untuk dilihat pertumbuhannya dan daya simpan pada media tersebut.

Gb 2d. Beberapa isolat mampu tumbuh setelah diinkubasi selama 2x24 jam. Sedangkan isolat yang lain belum tumbuh sehingga masih dilanjutkan waktu inkubasinya.

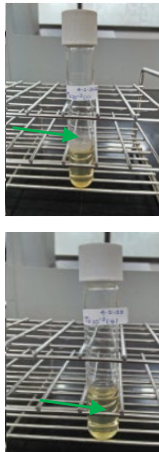
Isolat-isolat yang tumbuh pada media NB + *Gellan Gum* maupun pada media NA miring kemudian disimpan untuk mengetahui daya simpannya selama 3-6 bulan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa isolat-isolat yang disimpan pada media NB + *Gellan Gum* tetap tumbuh tanpa menunjukkan adanya pengurangan media yang signifikan. Sedangkan isolat-isolat yang disimpan pada media NA miring, beberapa isolat mulai mengering dan menunjukkan adanya pengurangan media yang cukup signifikan (**Gambar 3a Gambar 3b**).

Isolat pada media NB + Gellan Gum



Isolat pada media NA miring





Gambar 3a. Isolate uji yang ditumbuhkan pada media NB + Gellan Gum pada masa simpan 6 bulan mampu tumbuh (ditunjukkan panah hijau) dengan baik tanpa ada penyusutan media yang signifikan.



Gambar 3b. Isolat uji yang ditumbuhkan pada media NA miring pada masa simpan 6 bulan menunjukkan adanya penyusutan media (pada bagian dasar tabung, ditunjukkan panah merah) dan mulai mengering.

Pada penelitian ini isolat-isolat bakteri uji ditumbuhkan pada media kaya nutrisi yaitu media nutrient agar (NA) dan media minimal NB+ *Gellan Gum*. Media kaya nutrisi mengandung unsur carbon tersedia yang melimpah bagi bakteri. Pada kondisi tersebut bakteri akan cepat menggunakan unsur carbon tersebut untuk pertumbuhannya sehingga bakteri akan cepat tumbuh dan mencapai fase *log* pada fase pertumbuhannya [13]. Hal tersebut mengakibatkan nutrisi pada media tersebut akan cepat habis yang ditandai dengan mengeringnya media (**Gambar 3b.**). sedangkan pada media minimal seperti *Gellan Gum*, unsur carbon yang tersedia bagi bakteri kurang melimpah [10]. Pada kondisi tersebut bakteri akan tumbuh lambat dan berada pada fase lag yang cukup lama [13]. Hal tersebut mengakibatkan nutrisi pada media tidak akan cepat habis (**Gambar 3a.**). Sifat pertumbuhan bakteri pada media kaya dan minimal ini dan juga pengetahuan terkait fase pertumbuhan bakteri tersebut dapat diterapkan dalam upaya mencari metode yang efektif untuk penyimpanan kultur bakteri agar lebih tahan lama pada suhu ruang. Media *Gellan Gum* dapat menjadi alternatif untuk penerapan metode tersebut.

KESIMPULAN

Berdasarkan pada hasil penelitian ini, media *Gellan Gum* mempunyai potensi untuk dijadikan sebuah metode baru yang cukup efektif untuk menyimpan isolat-isolat bakteri di laboratorium tanpa memerlukan refrigerator, cukup pada suhu ruang. Perlu dilakukan penelitian selanjutnya untuk menganalisis keefektifan penyimpanan isolat pada media *Gellan Gum* dengan masa simpan 1-2 tahun.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Juliani, A., A.N. Lathifah, Winda NA. 2016. Pengaruh Penambahan Kosubstrat pada Biodegradasi Crude Oil. *Jurnal Sains dan Teknologi Lingkungan*, 8: 112-120.
- [2] Fajri *et al.* 2020. Efektivitas Bakteri Indigenous dalam Mereduksi Zat Warna pada Limbah Tenun. Under publication.
- [3] Nurmiyanto *et al.* 2021. Analisis Jumlah Bakteri Nitrosomonas sp. untuk Reduksi Amonia pada Teknologi Ecological Floating Bed. Under publication.
- [4] Lathifah, AN., AA. Asmara, F. Anisa, Fina, B.M. 2021. Potency of Indigenous Bacteria of Mt. Merapi, *Arthrobacter chlorophenolicus* for Chromium (VI) Bioremediation. IOP Conf. Ser.: *Earth Environ. Sci.* 933 012011.
- [5] She R, Petti C. 2015. Procedures for the Storage of Microorganisms, p 161-168. In Jorgensen J, Pfaller M, Carroll K, Funke G, Landry M, Richter S, Warnock D (ed), *Manual of Clinical Microbiology*, Eleventh Edition. ASM Press, Washington, DC.
- [6] Yamasato, K., Okuno, D., & Ohtomo, T. 1973. Preservation of bacteria by freezing at moderately low temperatures. *Cryobiology*, 10(5), 453–463.
- [7] Prakash, O., Nimonkar, Y., & Shouche, Y. S. 2012. Practice and prospects of microbial preservation. *FEMS Microbiology Letters*, 339(1), 1–9.
- [8] Janssen PH, Yates PS, Grinton BE, Taylor PM, Sait M. 2002. Improved culturability of soil bacteria and isolation in pure culture of novel members of the divisions Acidobacteria, Actinobacteria, Proteobacteria, and Verrucomicrobia. *Appl Environ Microbiol*, 68:2391-2396.
- [9] Tamaki H, Sekiguchi Y, Hanada S, Nakamura K, Nomura N, Matsumura M, Kamagata Y. 2005. Comparative analysis of bacterial diversity in fresh- water sediment of a shallow eutrophic lake by molecular and improved cultivation-based techniques. *Appl Environ Microbiol*, 71:2162–2169.
- [10] Tamaki H, Hanada S, Sekiguchi Y, Tanaka Y, Kamagata Y. 2009. Effect of gelling agent on colony formation in solid cultivation of microbial community in lake sediment. *Environ Microbiol*, 11:1827–1834.
- [11] Kang KS, Veeder GT, Mirrasoul PJ, Kaneko T, Cottrell IW. 1982. Agar-like polysaccharide produced by a *Pseudomonas* species: production and basic properties. *Appl Environ Microbiol*, 43:1086 –1091.
- [12] Lin CC, Casida LE, Jr. 1984. GELRITE as a gelling agent in media for the growth of thermophilic microorganisms. *Appl Environ Microbiol*, 47: 427– 429.
- [13] Madigan *et al.* 2012. *Brock Biology of Microorganism*. Benjamin Cummings, San Fransisco, pp: 125-127



ANALISIS PENGARUH PERUBAHAN PENGGUNAAN LAHAN TERHADAP KARAKTERISTIK BANJIR PADA DAS MASAMBA DI KABUPATEN LUWU UTARA

Raelly Harza Wiltianza¹, Karlina² dan Joko Sujono³

¹ Magister Teknik Pengelolaan Bencana Alam, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta

harza9d@mail.ugm.ac.id

² Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta

karlina.sipil@ugm.ac.id

³ Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta

jsujono@ugm.ac.id

ABSTRAK

Perubahan penggunaan lahan di DAS Masamba dari waktu ke waktu dan disusul dengan curah hujan yang tinggi pada tanggal 13 Juli 2020 menyebabkan luapan banjir yang terjadi pada aliran sungai yang melewati Kota Masamba. Luapan banjir mengakibatkan berbagai kerusakan infrastruktur, terputusnya akses transportasi serta kerugian materil. Adanya alih fungsi penggunaan lahan oleh masyarakat pada wilayah hulu sungai serta perluasan area pemukiman dan budidaya lahan disepanjang aliran sungai memperbesar dampak kerusakan dan kerugian yang ditimbulkan. Penelitian ini dilakukan untuk mengidentifikasi dan menganalisis pengaruh perubahan penggunaan lahan terhadap karakteristik banjir yang terjadi di DAS Masamba berbasis pada permodelan hidrologis yang ditinjau berdasarkan nilai Curve Number (CN) sebagai fungsi dari karakteristik DAS pada periode tahun 2000, 2010, dan 2020. Permodelan hidrologis menggunakan pengolahan data penggunaan lahan dan data jenis tanah untuk nilai nilai CN disertai data hujan satelit GPM selama 20 tahun (tahun 2000-2020) sebagai curah hujan efektif. Metode SCS-CN menggunakan model pengalihragaman hujan Unit Hidrograf Nakayasu sebagai Hidrograf Satuan Sintetis dalam perhitungan banjir dengan kala ulang 5 tahun. Berdasarkan titik kejadian banjir, dilakukan deliniasi menggunakan perangkat lunak HEC-GeoHMS di DAS Masamba sebagai batas dalam analisis Sub-DAS Hulu dan Sub-DAS Hilir. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan lahan di DAS Masamba selama dua puluh tahun mengalami berbagai perubahan. Perubahan penggunaan lahan yang signifikan di Sub-DAS Hulu terjadi pada semak belukar yang berkurang sebesar 15,85% dan terjadi penambahan pada lahan perairan sebesar 8,08 %, hutan primer sebesar 7,75% dan lahan terbangun sebesar 4,33%. Perubahan penggunaan lahan yang signifikan di Sub-DAS Hilir terjadi pada pertanian lahan kering yang berkurang sebesar 13,21% dan penambahan pada lahan sawah sebesar 14,53%. Hidrograf banjir pada permodelan hidrologis HEC-HMS dalam kondisi basah menunjukkan bahwa kenaikan nilai debit puncak selaras dengan kenaikan nilai CN. Nilai debit puncak di Sub-DAS Hulu sebesar 300,4 m³/s pada tahun 2000, 297,4 m³/s pada tahun 2010 dan 323,5 m³/s pada tahun 2020. Pada Sub-DAS Hilir memiliki debit puncak sebesar 1194,3 m³/s pada tahun 2000, 1195,2 m³/s pada tahun 2010 dan 1255,6 m³/s pada tahun 2020.

Kata kunci: Banjir, Penggunaan Lahan, CN, Debit Puncak

PENDAHULUAN

Kabupaten Luwu Utara yang terletak pada Provinsi Sulawesi Selatan mengalami bencana alam berupa kejadian banjir pada tanggal 13 Juli 2020. Banjir tersebut dipicu oleh adanya curah hujan yang tinggi yang terjadi di hulu Daerah Aliran Sungai (DAS) Masamba. Selain itu, bentuk lahan di wilayah hulu Sungai Masamba berupa perbukitan dengan kemiringan lereng yang relatif tinggi. Disusul dengan terdapatnya dataran



rendah hingga pesisir pada wilayah hilir DAS Masamba menimbulkan penggunaan lahan yang kompleks dan bervariasi. Perubahan tataguna lahan pada DAS baik wilayah hulu maupun hilir mengakibatkan meningkatnya debit banjir pada sungai yang mengelilingi suatu wilayah (Suherman and Firmansyah, 2017). Frekuensi dan besaran banjir dikendalikan dari interaksi berbagai variabel termasuk curah hujan, kondisi anteseden daerah tangkapan, jenis tanah dan distribusi spasial dari penggunaan lahan (El Alfy, 2016). Pembukaan dan alih fungsi penggunaan lahan oleh masyarakat pada wilayah perbukitan serta perluasan area pemukiman dan budidaya lahan diduga berpengaruh besar terhadap kejadian banjir yang terjadi di Kabupaten Luwu Utara.

Hasil limpasan curah hujan dapat diperkirakan berdasarkan hubungan empiris antara curah hujan dan infiltrasi atau limpasan, atau metode Curve Number yang diusulkan oleh *Soil Conservation Service (SCS-CN)* (Zhang *et al.*, 2021). Luapan banjir terjadi pada aliran sungai yang melewati Kota Masamba menyebabkan berbagai kerusakan dan juga mengakibatkan genangan banjir pada wilayah sekitar pemukiman dan infrastruktur publik. Bertambahnya pemukiman penduduk disekitar aliran sungai juga menyebabkan bertambahnya dampak kerusakan dan kerugian yang semakin besar.

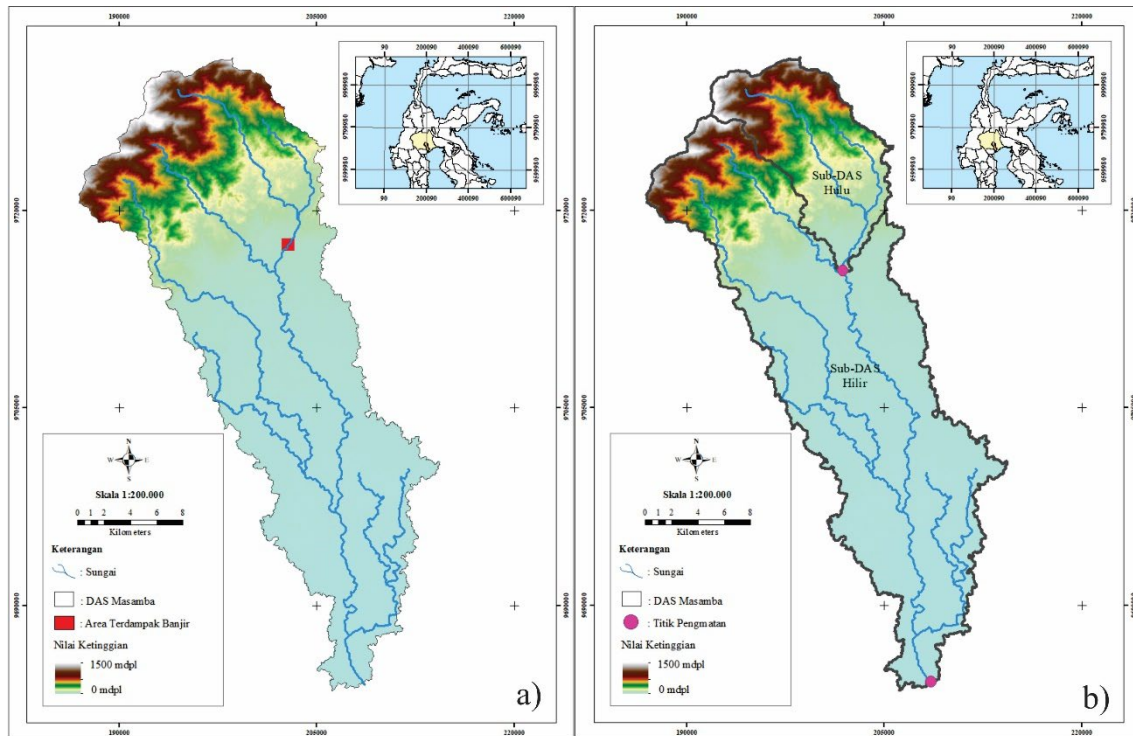
Penelitian ini dilakukan dengan tujuan mengidentifikasi dan menganalisis pengaruh perubahan penggunaan lahan terhadap karakteristik banjir dengan studi kasus banjir yang terjadi pada tanggal 13 Juli 2020 di DAS Masamba, Kabupaten Luwu Utara, Provinsi Sulawesi Selatan. Hasil analisis selanjutnya dapat dijadikan bahan evaluasi dalam upaya mitigasi dan pengelolaan bencana alam berupa banjir pada DAS Masamba secara berkelanjutan di masa mendatang.

Metode Penelitian

Lokasi penelitian

DAS Masamba berada di Kabupaten Luwu Utara dengan koordinat geografis antara 2°30'45" sampai 2°37'30" Lintang Selatan dan 119°41'15" sampai 121°43'11" Bujur Timur pada bagian utara Provinsi Sulawesi Selatan. Kabupaten Luwu Utara memiliki luas mencapai 7,502 km² atau sekitar 16,39% dari luas keseluruhan wilayah Provinsi Sulawesi Selatan. Batas wilayah penelitian ini mencakup keseluruhan DAS Masamba yang terletak di Kabupaten Luwu Utara dengan luas sebesar ± 527,87 km² dan panjang sungai utama ± 68 km. Peta keseluruhan DAS Masamba dapat dilihat pada Gambar 1.

Sungai Masamba memiliki karakteristik sungai yang panjang dan berkelok serta memiliki kemiringan lereng yang relatif terjal dengan bentuk lahan berupa perbukitan hingga pesisir. Letak kejadian banjir berada di Kota Masamba yang dilalui aliran sungai dimana jembatan Masamba menjadi salah satu infrastruktur yang ikut terdampak kerusakan akibat banjir. Berdasarkan hal tersebut, sebagai perbandingan batas identifikasi dan analisis di DAS Masamba kemudian dilakukan deliniasi batas Sub-DAS Hulu dan Sub-DAS Hilir. Lokasi jembatan Masamba menjadi titik pengamatan hidrograf banjir yang terjadi pada aliran sungai di Sub-DAS Hulu, serta titik pengamatan hidrograf banjir di Sub-DAS bagian Hilir terdapat pada bagian Selatan Sungai Masamba.



Gambar 1 a) Peta DAS Masamba; b) Peta Sub-DAS Hulu dan Hilir

Pengumpulan data

Penelitian ini menggunakan berbagai data yang diperlukan untuk mendukung hasil dan analisis. Dalam pengumpulan data yang diperlukan terdiri dari berbagai sumber sebagai berikut: a) Data pengamatan curah hujan pada penelitian ini menggunakan data hujan satelit *Global Precipitation Measurement* (GPM) dengan resolusi spasial sebesar 0.1° dan rentang waktu pengukuran 30 menit dalam periode tahun 2000-2020 (<https://disc.gsfc.nasa.gov/>). Perkiraan curah hujan berdasarkan penggunaan data satelit memiliki keunggulan dalam komponen cakupan spasial, akurasi, ketepatan waktu serta efisiensi penggunaan biaya (Vernimmen *et al.*, 2012); b) Peta topografi menggunakan data *Digital Elevation Model* (DEM) dengan resolusi spasial $8\text{ m} \times 8\text{ m}$ yang bersumber dari data DEMNAS (<https://tanahair.indonesia.go.id/>); c) Peta penggunaan lahan diperoleh dari dokumen peta klasifikasi penggunaan lahan Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan pada tahun 2000, tahun 2010, dan tahun 2020. d) Peta jenis tanah menggunakan data yang bersumber dari dokumen klasifikasi jenis tanah pada tahun 2016 Kementerian Pertanian Republik Indonesia.

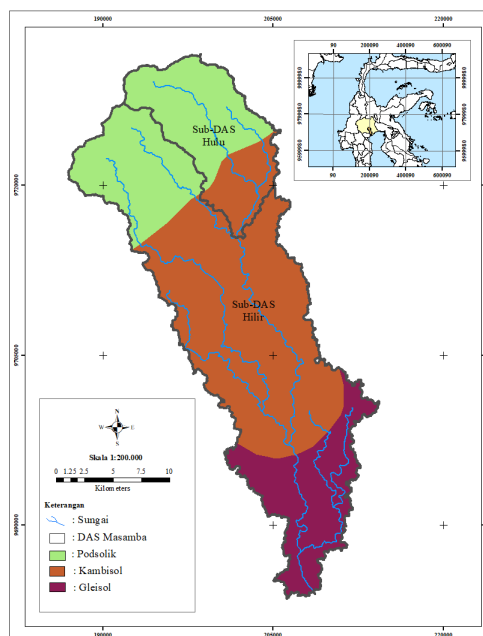
Tabel 1 Pengumpulan Data Penelitian

Tipe Data	Resolusi Spasial	Periode	Sumber Data
Peta Topografi	8 m×8 m	~	<i>Digital Elevation Model</i> Nasional

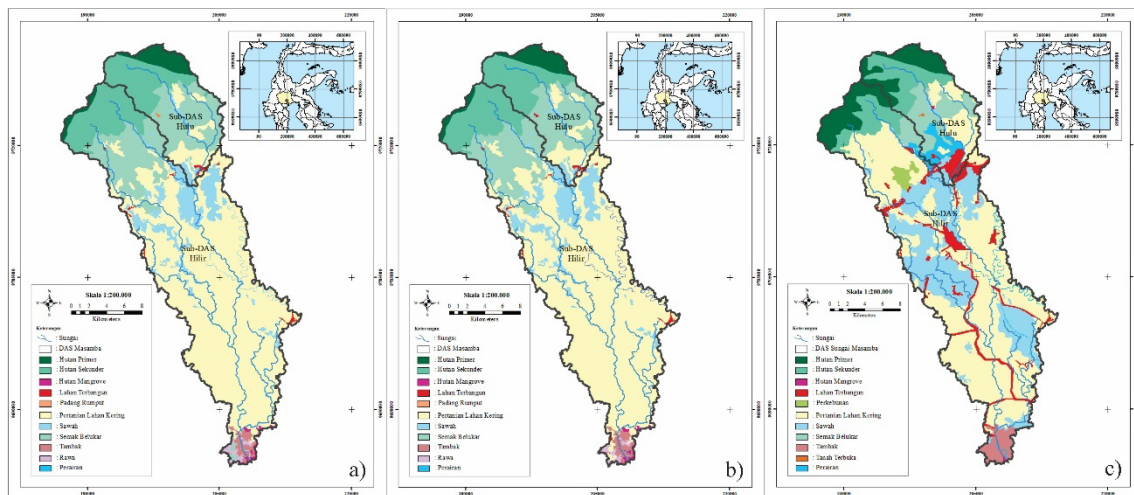
Peta Penggunaan Lahan	~	2000, 2010, 2020	Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan
Data Hujan Satelit	0,1°	2000-2020	GPM <i>Satelite</i>
Peta Jenis Tanah	~	2016	Kementerian Pertanian Republik Indonesia

Analisis geospasial

Analisis geospasial digunakan untuk membuat model geografis dan visualisasi data sebagai pemodelan dan prediksi *trend* yang akurat (Pahleviannur, 2019). *Digital Elevation Model* (DEM) pada dasarnya merupakan representasi numerik dari topografi dalam keadaan disamakan sebagai sel grid, masing-masing dengan nilai elevasi tertentu (Jalal *et al.*, 2020). Topografi merupakan parameter penting dalam memperkirakan luasan tangkapan hujan, arah aliran sungai dan batas DAS melalui teknik interpolasi yang didasarkan pada prinsip autokorelasi spasial. Pada tahap tersebut lebih dikenal sebagai tahap deliniasi. Data topografi yang digunakan memiliki ketinggian 0 mdpl sampai dengan 1500 mdpl dengan resolusi 8 m × 8 m. Deliniasi sungai dan DAS menggunakan data DEM sebagai sumber data yang diolah melalui aplikasi ArcMap dan HecGeo-HMS dengan tujuan membuat batas DAS. Hasil deliniasi menggambarkan karakteristik jaringan sungai, batas DAS serta Sub-DAS Hulu dan Hilir.



Gambar 2 Peta Jenis Tanah



Gambar 3 Peta Penggunaan Lahan a) Tahun 2000; b) Tahun 2010; c) Tahun 2020

Analisis hujan

Soil Conservation Service (SCS, 1978, dalam Chow *et al.*, 1998) mengembangkan metode untuk menghitung abstraksi pada curah hujan yang tinggi. Fungsi dari karakteristik DAS seperti tataguna lahan, tipe tanah, kondisi kelengasan, tanaman penutup terwakilkan dalam metode perhitungan CN (Triatmodjo, 2010). Dengan berbagai jenis penggunaan lahan, hujan yang jatuh diatas permukaan tanah nantinya akan menjadi limpasan langsung dan masuk kedalam sungai. Metode perhitungan SCS-CN dengan S adalah retensi maksimum air tanah serta Ia adalah kehilangan awal air hujan sebelum terjadi limpasan, maka dapat dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$S = \left[\frac{100}{CN} - 10 \right] 25,4 \quad (1)$$

$$Ia = 0,05S \quad (2)$$

$$CN_{III} = \frac{23CN}{10 - 0,13 CN} \quad (3)$$

Jumlah hujan yang jatuh di atas permukaan tanah dan menjadi aliran limpasan disebut dengan hujan efektif. Aliran limpasan selalu kurang dari atau sama dengan kedalaman curah hujan itu sendiri (Chow *et al.*, 1998). Menggunakan pengembangan metode SCS dimana P_e adalah kedalaman curah hujan efektif dan P adalah kedalaman curah hujan, maka curah hujan efektif dapat dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut:

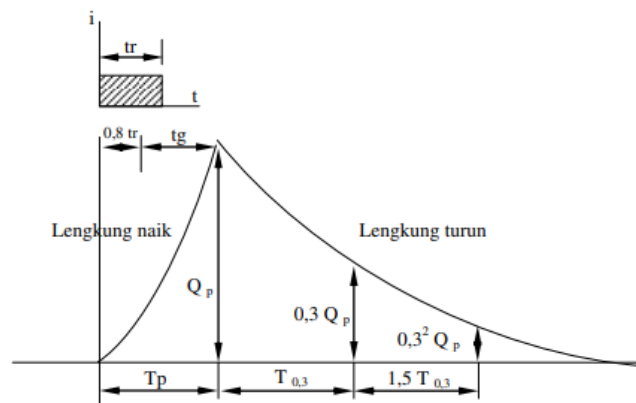
$$P_e = \frac{(P - Ia)^2}{P - Ia + S} \quad (4)$$

Analisis hidrograf satuan

Pada karakteristiknya, hidrograf menggambarkan semua karakteristik fisik pada DAS (bentuk lahan, luas, kemiringan, sifat tanah, tata guna lahan) dan karakteristik hujan (pola, intensitas, dan durasi) (Triatmodjo, 2010). Hidrograf satuan sintesis digunakan pada daerah yang memiliki keterbatasan dalam menurunkan hidrograf satuan yang mengacu pada karakteristik DAS itu sendiri. Transformasi curah hujan menjadi aliran limpasan pada DAS Masamba menggunakan metode hidrograf satuan sintesis dengan

persamaan Q_p sebagai debit puncak, A adalah luas DAS, R_e adalah curah hujan efektif, T_p adalah waktu permulaan banjir hingga sampai puncak hidrograf, dan $T_{0,3}$ adalah waktu yang diperlukan oleh penurunan puncak debit, dari debit puncak hingga 30% dari debit puncak.

$$Q_p = \frac{1}{3,6} \left(\frac{A R_e}{0,3 T_p + T_{0,3}} \right) \quad (5)$$



Gambar 4 Hidrograf Satuan Sintetis (HSS) *Nakayasu*

Analisis hujan dominan

Analisis hujan dominan digunakan untuk mengetahui lama hujan dominan yang terjadi pada DAS Masamba menggunakan perangkat lunak *Wind Rose Plot/Lakes Environmental (WRPLOT View)*. Pada dasarnya WRPLOT merupakan perangkat lunak yang digunakan dalam pengolahan data angin. Dalam pengolahan data tersebut menggambarkan frekuensi sebaran angin pada masing-masing sektor arah dan kecepatan angin pada lokasi serta satuan periode waktu tertentu. WRPLOT View juga dapat dikembangkan dalam pengolahan data hujan dengan menganalisis data curah hujan tanpa memisahkan durasi dan kedalaman curah hujan.

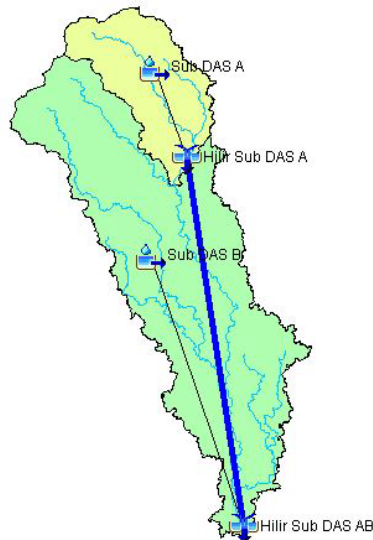
Hubungan antara persen curah hujan dan waktu (durasi) digambarkan melalui pola distribusi curah hujan (Sofia, 2017). Dari hasil data hujan jam-jaman dan durasi hujan dominan, maka dilakukan analisis pola distribusi curah hujan terukur. Pola rerata distribusi hujan digambarkan dalam kurva distribusi hujan terukur sehingga diketahui besaran pola rerata distribusi curah hujan pada DAS Masamba.

Analisis HEC-HMS

Dari hasil perolehan deliniasi berupa jaringan sungai dan DAS, serta hasil analisis perubahan penggunaan lahan dan data hujan selanjutnya menyiapkan komponen permodelan dan parameter dalam aplikasi HEC-HMS yaitu sebagai berikut:

1. Persiapan komponen permodelan basin. Pada komponen dipersiapkan permodelan batas DAS Masamba dan jaringan sungai. Terdapat juga beberapa parameter pada masing-masing Sub-DAS yang persiapan yaitu kehilangan (*loss*) dimana memerlukan *Curve Number (CN)* dan *Initial Abstraction (Ia)*.
2. Parameter *transform* menggunakan unit hidrograf sintetik *Nakayasu* yang berdasarkan pada luas DAS, panjang sungai utama dan kemiringan sungai (*slope*).
3. Aliran dasar (*baseflow*) menggunakan parameter debit awal (*initial discharge*) dan konstanta resesi (*recession constanta*) dengan nilai 1. Dalam menentukan debit

- awal menggunakan pendekatan perhitungan debit aliran terbuka (*open-channel flow*).
4. Penelusuran sungai (*routing*) menggunakan pendekatan dengan metode Muskingum dengan memodelkan volume tampungan banjir di alur sungai.



Gambar 4 Basin Model HEC-HMS

Hasil Dan Pembahasan

Perubahan penggunaan lahan

Berdasarkan hasil analisis geospasial data DEMNAS didapatkan batas dan luasan DAS Masamba serta pola aliran Sungai Masamba yang kemudian dibagi menjadi Sub-DAS Hulu dan Sub-DAS Hilir.

Tabel 2 Luas DAS Masamba

No.	DAS	Luas km ²
1	Sub-DAS A (Hulu)	109,64
2	Sub-Das B (Hilir)	418,23
Total		527,87

Distribusi penggunaan lahan dengan parameter *CN* dan *Ia* dilakukan pengamatan selama rentang periode 10 tahun yaitu pada tahun 2000, tahun 2010 dan tahun 2020. Setelahnya, mengidentifikasi penggunaan lahan secara bertahap dari masing masing periode dan dilakukan klasifikasi jenis tanah berdasarkan kelompok hidrologi tanah (KHT). Dari masing masing klasifikasi penggunaan lahan dan KHT kemudian dilakukan metode *overlay* untuk selanjutnya mendapatkan nilai keseluruhan klasifikasi penggunaan lahan dan kelompok hidrologi tanah DAS Masamba.

Tabel 3 Klasifikasi Nilai KHT Terhadap Laju Infiltrasi

No.	Jenis Tanah	Luas (Km ²)	%	Kelompok Hidrologi Tanah (KHT)	Laju Infiltrasi (mm/jam)
1.	Gleisol	94,78	18	D	0-1
2.	Kambisol	274,56	52	D	0-1
3.	Podsolik	158,53	30	C	1-4
Total		527,87	100		

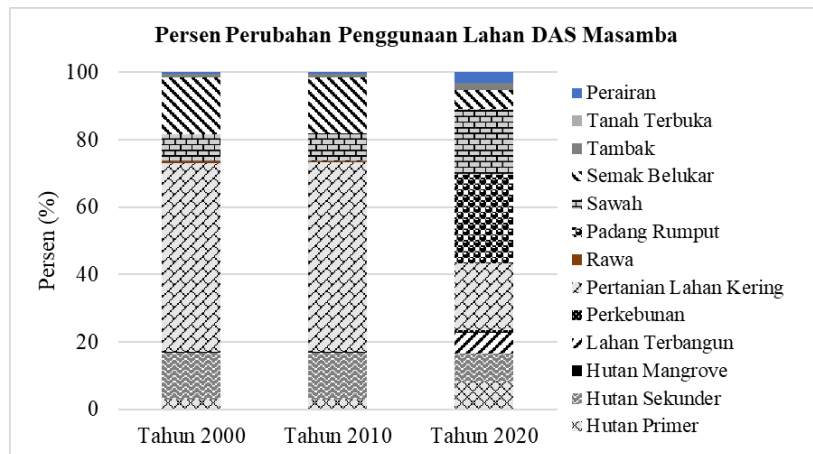
Tabel 4 Klasifikasi Penggunaan Lahan Sub-DAS Hulu

Penggunaan Lahan	2000		2010		2020		Perubahan	
	Luas (Km ²)	(%)	Luas (Km ²)	(%)	Luas (Km ²)	(%)	2000-2010 (%)	2000-2020 (%)
Hutan Primer	12,53	11,43	12,53	11,43	21,03	19,18	~	7,75
Hutan Sekunder	33,66	30,70	33,66	30,70	24,93	22,74	~	-7,96
Lahan Terbangun	0,60	0,55	0,60	0,55	5,35	4,88	~	4,33
Pertanian Lahan Kering	16,90	15,42	16,90	15,42	21,31	19,44	~	4,02
Padang Rumput	0,14	0,12	0,14	0,12	~	~	~	-0,12
Sawah	4,25	3,88	4,25	3,88	3,83	3,49	~	-0,39
Semak Belukar	41,56	37,90	41,56	37,90	24,18	22,06	~	-15,85
Tanah Terbuka	~	~	~	~	0,15	0,13	~	0,13
Perairan	~	~	~	~	8,86	8,08	~	8,08
Total	109,64	100	109,64	100	109,64	100		

Tabel 5 Klasifikasi Penggunaan Lahan Sub-DAS Hilir

Penggunaan Lahan	2000		2010		2020		Perubahan	
	Luas (Km ²)	(%)	Luas (Km ²)	(%)	Luas (Km ²)	(%)	2000-2010 (%)	2000-2020 (%)
Hutan Primer	3,52	0,84	3,5	0,84	22,59	5,41	~	4,56
Hutan Sekunder	38,41	9,19	38,4	9,19	19,39	4,64	~	-4,55
Hutan Mangrove	2,00	0,48	2,0	0,48	0,12	0,03	~	-0,45
Lahan Terbangun	1,47	0,35	1,5	0,35	26,17	6,26	~	5,91
Perkebunan	~	~	~	~	4,94	1,18	~	1,18
Pertanian Lahan Kering	276,30	66,10	277,5	66,39	221,07	52,89	0,29	-13,21
Rawa	2,46	0,59	2,3	0,56	~	~	-0,03	-0,59
Padang Rumput	0,11	0,03	0,2	0,06	~	~	0,03	-0,03
Sawah	38,34	9,17	38,3	9,17	99,08	23,70	~	14,53
Semak Belukar	47,32	11,32	46,1	11,02	6,03	1,44	-0,30	-9,88
Tambak	5,31	1,27	5,3	1,27	11,60	2,78	~	1,50

Perairan	2,77	0,66	2,8	0,66	7,01	1,68	~	1,02
Total	418,00	100	418,00	100	418,00	100		



Gambar 5 Grafik Persen Perubahan Penggunaan Lahan

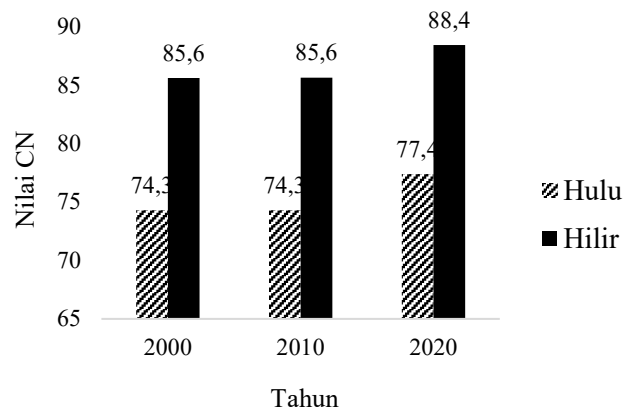
Parameter nilai *CN*

Nilai *CN* komposit dihitung berdasarkan berbagai tipe tanah dan penggunaan lahan yang berada pada DAS Masamba menggunakan metode tumpang susun (*overlay*) pada peta penggunaan lahan dan peta jenis tanah sehingga didapatkan nilai *CN* yang saling berhubungan antara keduanya. Nilai *CN* komposit digunakan sebagai hitungan curah hujan efektif yang nantinya digunakan sebagai parameter dalam permodelan hidrologi HEC-HMS.

Berdasarkan perubahan nilai *CN* Sub-DAS Masamba (Hulu) menunjukkan adanya kenaikan nilai *CN* komposit di setiap periode 10 tahun. Adanya perubahan penggunaan lahan yang besar terjadi pada periode tahun 2010-2020. Kenaikan pada debit puncak aliran maupun volume limpasan merupakan respon DAS terhadap dampak yang ditimbulkan oleh perubahan penggunaan lahan dalam wilayah DAS itu sendiri (Ismoyojati, 2018). Perubahan volume limpasan akan berbanding lurus dengan besarnya perubahan *CN* komposit pada suatu DAS.

Tabel 6 Nilai *CN* Komposit DAS Masamba

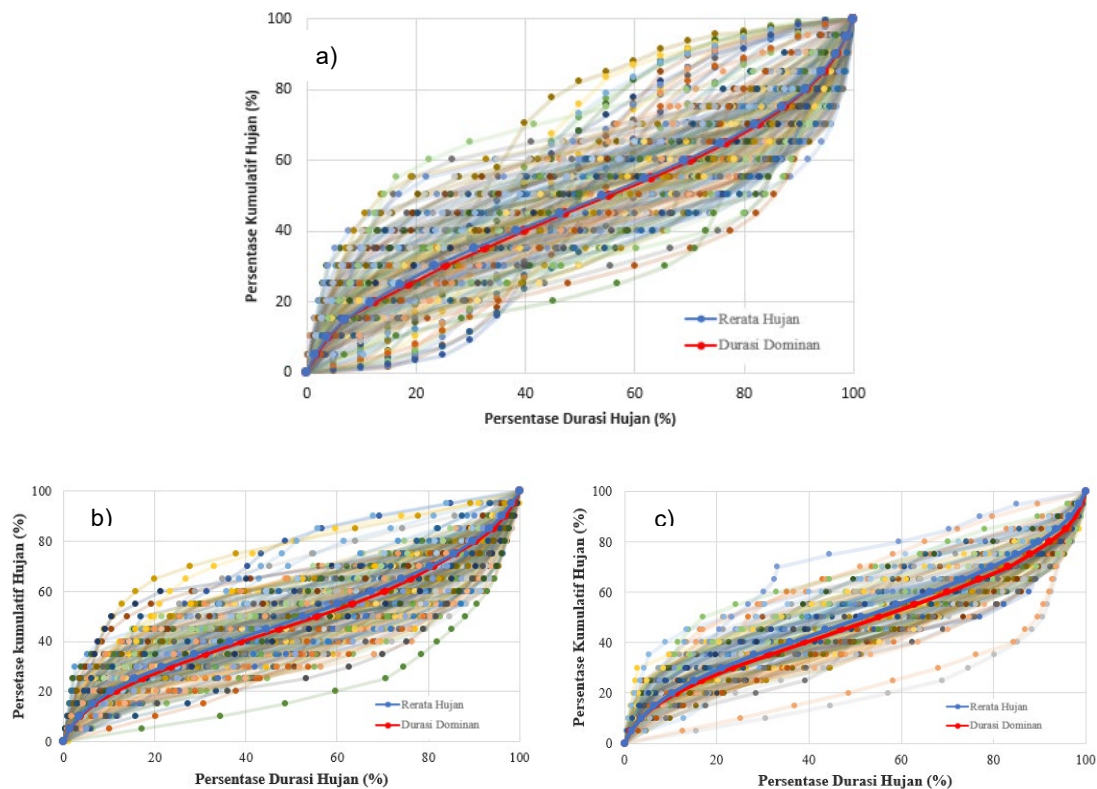
No.	Sub-DAS Masamba	Tahun Penggunaan Lahan		
		2000	2010	2020
1	Hulu	74,30	74,30	77,40
2	Hilir	85,60	85,63	88,44



Gambar 6 Grafik Perubahan *Curve Number* (CN)

Pola distribusi hujan

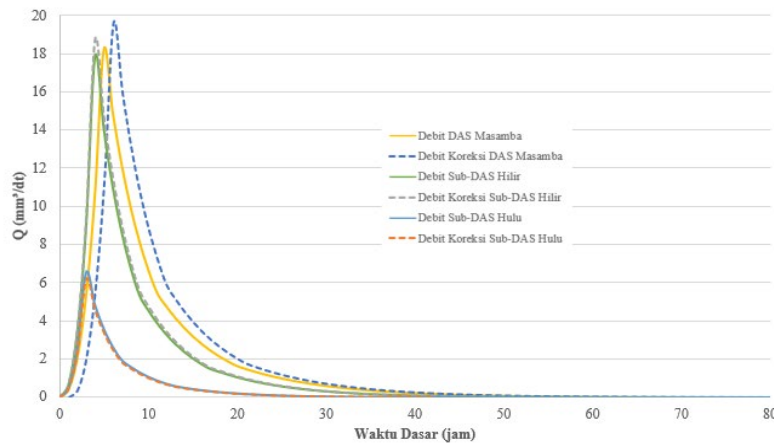
Berdasarkan hasil analisis data curah hujan pada DAS Masamba dengan perangkat lunak WRPLOT View kemudian didapatkan masing-masing interval kedalaman curah hujan dominan sebesar 13 jam pada setiap periode tahun 2000-2005, 2006-2015, 2016-2020. Dari analisis tersebut, selanjutnya dapat menentukan pola distribusi rerata pada tiap jamnya. Pola distribusi hujan jam-jaman diperlukan dalam permodelan simulasi hidrologis aliran banjir pada perangkat lunak HEC-HMS sebagai data hujan DAS Masamba.



Gambar 7 Pola Distribusi Hujan a) Tahun 2000-2005; b) Tahun 2006-2015; c) Tahun 2016-2020

Hidrograf satuan sintetis

Analisis dan perhitungan HSS *Nakayasu* dilakukan pada Sub-DAS Hulu dan Hilir berdasarkan waktu puncak (Q_p) dan debit puncak (T_p), serta dilakukan pada Sub-DAS Hulu dan Hilir. Pada Sub-DAS Hulu memiliki debit puncak sebesar $6,163 \text{ m}^3/\text{s}$ pada jam ke-3 dan pada Sub-DAS Hilir memiliki debit puncak sebesar $18,711 \text{ m}^3/\text{s}$ pada jam ke-4.

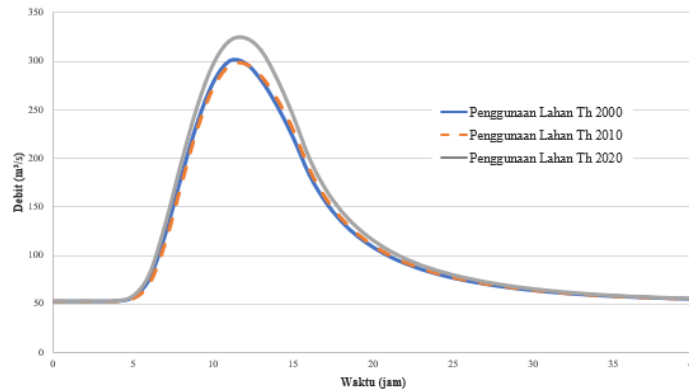


Gambar 8 HSS *Nakayasu* DAS Masamba

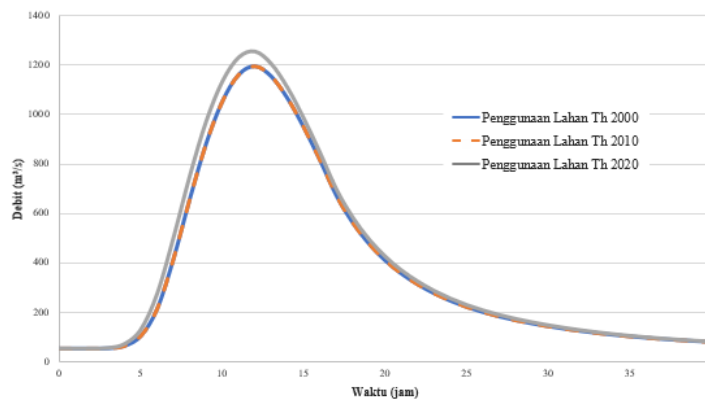
Simulasi debit banjir

Untuk memperoleh gambaran pengaruh perubahan penggunaan lahan terhadap karakteristik banjir yang terjadi di DAS Masamba, diperlukan proses simulasi hidrograf banjir melalui perangkat lunak HEC-HMS. Simulasi didasarkan pada kejadian banjir di DAS Masamba menggunakan hasil analisis distribusi hujan efektif dengan kala ulang 5 tahun. Identifikasi debit banjir rancangan menganalisis pola perubahan debit puncak (*peak discharge*) berdasarkan perubahan penggunaan lahan pada tahun 2000, 2010 dan 2020.

Berdasarkan hasil permodelan banjir tersebut, diperoleh bahwa Sub-DAS Hulu dalam kondisi kelengasan basah pada penggunaan lahan tahun 2000 memiliki besaran debit puncak sebesar $300,4 \text{ m}^3/\text{s}$, pada tahun 2010 memiliki besaran debit puncak sebesar $297,4 \text{ m}^3/\text{s}$, dan pada tahun 2020 memiliki besaran debit puncak sebesar $323,5 \text{ m}^3/\text{s}$. Pada Sub-DAS Hilir dengan penggunaan lahan tahun 2000 memiliki besaran nilai debit puncak sebesar $1194,3 \text{ m}^3/\text{s}$, pada tahun 2010 memiliki besaran nilai debit puncak sebesar $1195,2 \text{ m}^3/\text{s}$, dan pada tahun 2020 memiliki besaran debit sebesar $1255,6 \text{ m}^3/\text{s}$. Simulasi debit banjir pada masing-masing Sub-DAS memiliki nilai debit puncak tertinggi pada penggunaan lahan tahun 2020. Besaran nilai *CN* yang mengalami kenaikan di tiap periode tahun pada penggunaan lahan memiliki pengaruh dalam kenaikan debit banjir dalam simulasi debit banjir.



Gambar 9 Hidrograf Banjir Sub-DAS Hulu



Gambar 10 Hidrograf Banjir Sub-DAS Hilir

Tabel 7 Rekapitulasi Hasil Simulasi Hidrologis Pada Kondisi Kelengasan Basah

Penggunaan Lahan (tahun)	CN	Initial Abstraction (I _a)	Debit Puncak (m ³ /s)	Persen Perubahan (%)	
				CN	Debit Puncak (m ³ /s)
Sub-DAS Hulu					
2000	86,93	7,64	300,4	~	~
2010	86,93	7,64	297,4	0	-1,00
2020	88,74	6,45	323,5	2,08	8,78
Sub-DAS Hilir					
2000	93,18	3,72	1194,3	~	~
2010	93,20	3,71	1195,2	0	0,08
2020	94,62	2,89	1255,6	1,52	5,05

Penutup

Berdasarkan hasil analisis pengaruh perubahan penggunaan lahan terhadap karakteristik banjir yang berada di DAS Masamba, dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Karakteristik DAS Masamba dipengaruhi oleh penggunaan lahan yang mengalami perubahan dalam 20 tahun terakhir. Peningkatan lahan terbangun di Sub-DAS Hulu yang berada di alur sungai meningkat sebesar 4,33%, pertanian lahan kering meningkat sebesar 4,02% dan wilayah perairan meningkat sebesar 8,08%. Adapun berkurangnya penggunaan lahan ditunjukkan pada lahan semak belukar sebesar 18,85% dan hutan sekunder sebesar 7,96%. Peningkatan penggunaan lahan di Sub-DAS Hilir ditunjukkan pada lahan sawah sebesar 14,53% dan pengurangan lahan pertanian sebesar 13,21%;
2. Perubahan penggunaan lahan di setiap tahun memiliki pengaruh terhadap besar perubahan nilai *CN*. Dalam 20 tahun nilai *CN* pada Sub-DAS Hulu meningkat sebesar 2,08%, sedangkan pada Sub-DAS Hilir nilai *CN* meningkat sebesar 1,52%;
3. Hidrograf banjir pada permodelan hidrologi HEC-HMS menunjukkan karakteristik DAS sangat berpengaruh terhadap debit banjir yang dihasilkan. Terlihat pada debit puncak yang mengalami kenaikan. Pada Sub-DAS Hulu Sungai Masamba sebesar 300,4 m³/s pada tahun 2000 dan pada tahun 2020 sebesar 323,5 m³/s, serta pada Sub-DAS Hilir Sungai Masamba pada tahun 2000 sebesar 1194,3 m³/s dan pada tahun 2020 sebesar 1255,6 m³/s. Masing-masing mengalami kenaikan seiring kenaikan nilai *CN* pada masing-masing Sub-DAS.

Daftar Pustaka

- El Alfy, M. (2016) 'Assessing the impact of arid area urbanization on flash floods using GIS, remote sensing, and HEC-HMS rainfall-runoff modeling', *Hydrology Research*, 47(6), pp. 1142–1160. doi: 10.2166/nh.2016.133.
- Chow, V. Te *et al.* (1998) 'Applied Hydrology', pp. 1–294. Available at: http://ponce.sdsu.edu/Applied_Hydrology_Chow_1988.pdf.
- Ismoyojati, G. (2018) 'Studi Pengaruh Perubahan Penggunaan Lahan Terhadap Karakteristik Banjir Kota Bima'.
- Jalal, S. J. *et al.* (2020) 'Optimizing the Global Digital Elevation Models (GDEMs) and accuracy of derived DEMs from GPS points for Iraq's mountainous areas', *Geodesy and Geodynamics*, 11(5), pp. 338–349. doi: 10.1016/j.geog.2020.06.004.
- Pahleviannur, M. R. (2019) 'Pemanfaatan Informasi Geospasial Melalui Interpretasi Citra Digital Penginderaan Jauh untuk Monitoring Perubahan Penggunaan Lahan', *JPIG (Jurnal Pendidikan dan Ilmu Geografi)*, 4(2), pp. 18–26. doi: 10.21067/jpig.v4i2.3267.
- Sofia, D. A. (2017) 'Analisis Durasi Hujan Dominan dan Pola Distribusi Curah Hujan Jam-Jaman di Wilayah Gunung Merapi', *Jurnal Teknologi Rekayasa*, 1(1), p. 7. doi: 10.31544/jtera.v1.i1.2016.7-14.
- Suherman, H. and Firmansyah, A. (2017) 'Analisis Pengaruh Perubahan Tata Guna Lahan Terhadap Debit Banjir di Wilayah Hilir Aliran Kali Angke', *Jurnal Konstruksia*, 8(2), pp. 79–95.
- Triatmodjo, B. (2010) 'Hidrologi Terapan', *Beta Offset*, p. 358.
- Vernimmen, R. R. E. *et al.* (2012) 'Evaluation and bias correction of satellite rainfall data for drought monitoring in Indonesia', *Hydrology and Earth System Sciences*, 16(1), pp. 133–146. doi: 10.5194/hess-16-133-2012.



Zhang, Y. *et al.* (2021) 'Projection of changes in flash flood occurrence under climate change at tourist attractions', *Journal of Hydrology*. Elsevier B.V., 595(February), p. 126039. doi: 10.1016/j.jhydrol.2021.126039.



ANALISIS KADAR PB DALAM DEBU DAN PARTICULATE MATTER (PM₁₀, PM_{2.5}) DI AREA KERJA BENGKEL

Husna Zaherotul Hikmah¹, Fina Binazir Maziya^{2*}, Elita Nurfitriyani Sulisty³, Eko Siswoyo⁴ and Hudori⁵

^{1,2,3,4,5} Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta

*Corresponding Author: finabinazir@uii.ac.id

ABSTRAK

Pencemaran udara dalam ruangan khususnya bengkel merupakan salah satu penyebab berbagai macam permasalahan kesehatan manusia. Pekerja bengkel merupakan salah satu pekerjaan yang secara teratur terkena zat beracun selama mereka bekerja di dalam suatu ruangan. Penelitian ini bertujuan mengukur kualitas udara pada area bengkel dengan parameter PM₁₀, PM_{2.5}, TSP dan Pb. Hasil penelitian selanjutnya dibandingkan dengan baku mutu yang diterapkan dan menampilkannya dalam bentuk pemetaan menggunakan Software Surfer 16. Pengambilan sampel parameter PM₁₀, PM_{2.5}, dan TSP dilakukan dengan menggunakan alat E-sampler Met One Instruments. Parameter Pb dalam TSP dilakukan dengan alat Low Volume Air Sampel (LVAS) dan menganalisis timbal (Pb) dengan metode destruksi cara basah menggunakan spektrofotometer serapan atom nyala (SSA). Hasil pengukuran menunjukkan konsentrasi PM₁₀ sebesar 39,33 µg/m³ di bawah baku mutu yang diterapkan yaitu 70 µg/m³. Nilai konsentrasi PM_{2.5} yaitu 38,64 µg/m³, nilai ini berada di atas baku mutu yang terapkan yaitu 35 µg/m³. Konsentrasi TSP sebesar 43,37 µg/m³ di bawah baku mutu yang diterapkan yaitu 10 mg/m³ atau 10000 µg/m³. Hasil konsentrasi Pb dalam TSP didapat nilai rata-rata sebesar 0,0031 µg/m³ sedangkan nilai baku mutu Pb sebesar 0,1 mg/m³ atau 100 µg/m³.

Kata kunci: Pencemaran udara dalam ruang, Partikulat, debu, Surfer 16, E-sampler Met One Instruments.

PENDAHULUAN

Transportasi merupakan salah satu kebutuhan yang memiliki peranan penting sebagai fasilitas penunjang pergerakan manusia. Kebutuhan akan transportasi akan meningkat seiring dengan peningkatan jumlah manusia (Damri *et al.*, 2016). Hal ini sekaligus menjadi salah satu sumber utama pencemaran udara yang bersumber dari pembakaran bahan bakar kendaraan bermotor yang menghasilkan emisi saat digunakan. Pengaruh merugikan juga menyebabkan masalah kesehatan seperti gangguan pernafasan, penyakit saluran tenggorokan, paru-paru, infeksi organ tubuh dan lainnya (Haruna *et al.*, 2019).

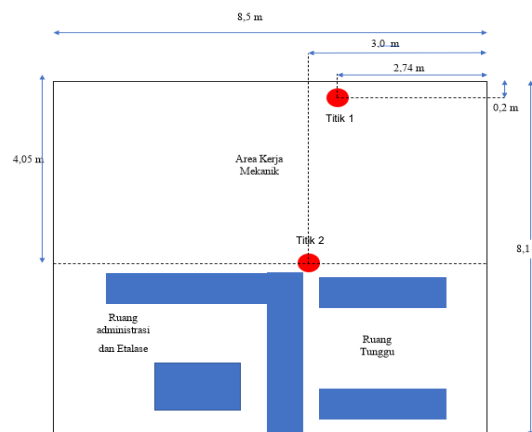
Pencemaran udara di Indonesia sekitar 85% bersumber dari gas buang kendaraan bermotor. Kepemilikan kendaraan bermotor menjadi penyebab tingginya angka pencemaran udara tersebut (Septilia, 2020). Kendaraan bermotor merupakan teknologi yang membutuhkan bahan bakar minyak. Perawatan yang kurang serta penggunaan bahan bakar dengan kualitas rendah menjadi faktor penyebab emisi gas buang pada aktivitas kendaraan bermotor. Menurut Bappeda DIY bahan pencemar utama yang ada dalam gas buang kendaraan bermotor adalah karbon monoksida (CO), oksida nitrogen (NOx), sulfur (SOx), dan partikulat atau TSP dan timbal (Pb).

Setiap tahunnya diperkirakan knalpot mengeluarkan 600 ton polutan timbal. Timbal dapat mengakibatkan kerusakan organ tubuh terutama sistem saraf, darah, ginjal serta

sistem jantung dan reproduksi. Menurut penelitian bahaya timah hitam merupakan penyebab potensial dalam peningkatan akumulasi kandungan timbal dalam darah. Salah satu yang menjadi perhatian utama adalah pencemaran udara dalam ruangan (Indoor pollution) mengingat pencemaran udara dalam ruangan merupakan gambaran dari penyebab berbagai macam permasalahan kesehatan manusia (Soesanto *et al.*, 2005). Pekerja di bengkel mobil (mekanik, las mobil, perbaikan ban) merupakan salah satu pekerjaan yang secara teratur terkena elemen beracun selama mereka bekerja di dalam suatu ruangan. Dalam hal ini para pekerja akan terkena pelepasan racun dari kendaraan serta mungkin juga terkena penguapan gas akibat bocoran oli (Al-Easawi *et al.*, 2017). Menurut penelitian oleh Jarup (2003) dalam (Al-Easawi *et al.*, 2017) menunjukkan bahwa pekerjaan dengan paparan logam berat secara langsung berpotensi menimbulkan bahaya kesehatan yang berbeda. Oleh karena itu diperlukan adanya pengaturan dari berbagai aspek mengenai ketentuan pekerjaan dalam ruangan.

METODE PENELITIAN

Lokasi penelitian berada di bengkel non resmi di Kabupaten Sleman, Provinsi Yogyakarta. Pengukuran PM₁₀, PM_{2.5}, TSP, dan Pb dilakukan di 2 titik pengukuran, dapat dilihat pada denah lokasi penelitian (Gambar 1).



Gambar 1 Denah lokasi penelitian

Penentuan titik dilakukan secara *purposive sampling* berdasarkan kondisi lokasi penelitian yang cukup padat serta kepentingan pemerolehan data sampling sesuai parameter yang dianalisis. Maka dari itu, berdasarkan pada kondisi lapangan dimana area kerja dengan banyak kendaraan pelanggan menjadikan ditentukan terdapat 2 titik yang diukur pada setiap shift kerja. Titik 1 berada di tengah area kerja dekat dengan pintu masuk, sedangkan titik 2 berada pada tepi area kerja bagian utara.

1. Pengukuran PM₁₀, PM_{2.5} dan TSP

Konsentrasi PM₁₀, PM_{2.5} dan TSP diukur dengan menggunakan alat E-sampler yang memiliki prinsip sistem vakum dengan menarik udara lingkungan sekitar melalui inlet. Kemudian *filter* dapat diekstraksi dan diganti dalam waktu kurang dari satu menit. Pengukuran PM₁₀, PM_{2.5} dan TSP dilakukan pada 2 titik selama delapan jam di area bengkel.

2. Pengukuran Pb

Konsentrasi Pb didapat dengan melakukan destruksi dari konsentrasi TSP yang didapat dengan menggunakan alat *Low Volume Air Sampler* (LVAS) yang selanjutnya kadar Pb diukur menggunakan alat Spektrofotometer Serapan Atom (ASS). Pengukuran kadar Pb di udara ambien bengkel menggunakan Standar Nasional Indonesia (SNI) 19-7119.4-2017 Bagian 4: Cara uji kadar timbal (Pb) dengan metoda destruksi cara basah menggunakan spektrofotometer serapan atom nyala.

3. Perhitungan Konsentrasi Timbal (Pb) dalam TSP

Sesuai dengan persamaan yang berlaku pada Standar Nasional Indonesia (SNI) 19-7119.4-2017 Bagian 4: Cara uji kadar timbal (Pb) dengan metoda destruksi cara basah menggunakan spektrofotometer serapan atom nyala, data dari pengambilan sampel *Total Suspended Particulate* (TSP) selanjutnya diolah kedalam persamaan berikut :

Koreksi Laju Alir Standar

$$Q_s = Q_0 \times \left[\frac{T_s \times P_0}{T_0 \times P_s} \right]^{1/2} \quad (1)$$

Keterangan

- Q_s = laju alir volume dikoreksi pada kondisi standar (m³/menit)
- Q₀ = laju alir volume (m³/menit)
- T_s = temperatur standar, 298 K
- T₀ = temperatur absolut (293 + t ukur) dimana Q₀°c ditentukan
- P_s = tekanan baromatik standar, 101,3 kPa (760 mmHg)
- P₀ = tekanan baromatik dimana Q₀ ditentukan

Volume udara yang diambil

$$V = Q_s \times T \quad (2)$$

Keterangan

- V = Volume udara yang diambil (m³)
- Q_s = laju alir volume (m³/menit)
- T = durasi pengambilan contoh uji (menit)

Konversi logam

$$C_{Pb} = \frac{(C_t - C_b) \times V_t \times \frac{S}{St}}{V} \quad (3)$$

Keterangan

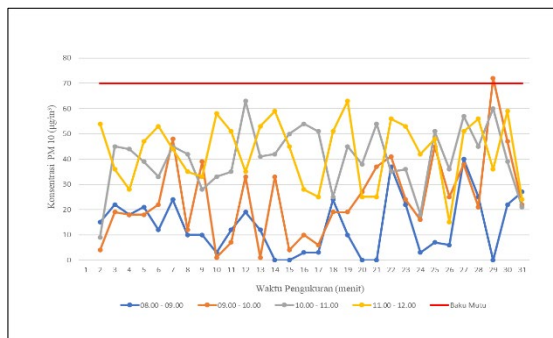
- C_{Pb} = kadar logam di udara (µg/m³)
- C_t = kadar logam dalam larutan contoh uji yang di spike (µg/ml)
- C_b = kadar logam dalam larutan blanko (µg/ml)
- V_t = volume larutan contoh uji (ml)
- S = luas contoh uji yang terpapar debu pada permukaan filter (mm²)
- St = luas contoh uji yang digunakan (mm²)
- V = volume udara yang dihisap dikoreksi pada kondisi normal 25°C, 760 mmHg

HASIL DAN PEMBAHASAN

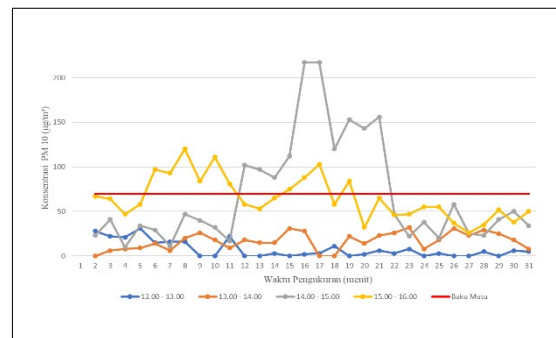
Pada penelitian ini dilakukan analisis hasil pengukuran TSP, PM₁₀, PM_{2.5} dan Pb diudara sebagai berikut.

1. Konsentrasi PM₁₀

Pengambilan data konsentrasi PM₁₀ dilakukan dengan menggunakan alat *E-Sampler – Met One*. Pengukuran parameter PM_{2.5} juga dilakukan selama 8 jam dimana dalam selang waktu 1 jam diperoleh 30 data pengukuran yang dilakukan pada menit 1 hingga 10, menit 21 hingga 30, menit 41 hingga 50. Dari hasil pencatatan selanjutnya ditampilkan dalam bentuk grafik pada Gambar 2 dan Gambar 3 sebagai berikut.



Gambar 2 Grafik konsentrasi PM₁₀ pada titik 1



Gambar 3 Grafik konsentrasi PM₁₀ pada titik 2

Grafik konsentrasi pengukuran pada Gambar 2 dan Gambar 3 di atas ditampilkan sebelum data dibuat rata-rata, agar dapat diketahui nilai konsentrasi fluktuatif yang disebabkan oleh beberapa faktor lingkungan yang dapat mempengaruhi nilai konsentrasi. Dari Gambar 2 dapat dilihat bahwa pada menit ke 29 pada pengukuran pukul 09.00 – 10.00 terdapat nilai konsentrasi yang melebihi baku mutu. Hal ini disebabkan karena lokasi penelitian yang berada di tepi jalan dan bengkel memiliki pintu masuk yang lebar, kemudian menyebabkan kecepatan angin yang dinamis dapat menyebarkan partikulat sehingga hasil pengukuran konsentrasi tercatat sebagai kenaikan yang melebihi baku mutu.

Pada Gambar 3 pengukuran dilakukan pada siang hingga sore hari. Pada hari pengukuran pukul 14.00-16.00 merupakan puncak keramaian pengunjung terutama mahasiswa. Selain itu Gambar 3 juga merupakan grafik yang menunjukkan konsentrasi pada Titik 2, dimana titik tersebut merupakan titik yang berada pada area servis yang dekat dengan sumber pencemar. Kemudian beberapa pekerjaan servis kendaraan dilakukan seperti penarikan tuas gas motor, pembersihan onderdil tepatnya pada bagian bawah kendaraan yang merupakan bagian dengan banyak debu dan partikulat sejenisnya. Hal ini selaras dengan kenaikan konsentrasi polutan PM₁₀ seperti pada grafik yang melebihi baku mutu yang diterapkan pada pencatatan setiap menit pada pukul 14.00-16.00 WIB.

Hasil pencatatan data dari Gambar 2 dan Gambar 3 selanjutnya direkapitulasi untuk dicari nilai rata-rata, nilai maksimum dan nilai minimum yang kemudian dibandingkan dengan baku mutu yang diterapkan. Hasil analisis konsentrasi PM₁₀ ditampilkan pada Tabel 1 berikut.

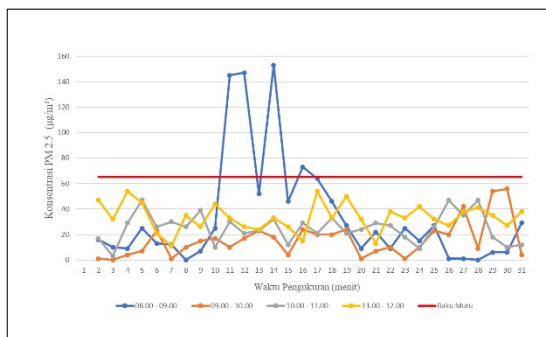
Tabel 1 Konsentrasi PM₁₀

Waktu Pengukuran	Titik Sampel	PM ₁₀	Baku Mutu (PerMenKes RI No1077/MENKES/PER/V/2011)
		($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
08.00-09.00	Titik 1	13,57	70
09.00-10.00	Titik 1	24,27	70
10.00-11.00	Titik 1	40,47	70
11.00-12.00	Titik 1	42,93	70
Rata-rata		30,31	70
12.00-13.00	Titik 2	7,60	70
13.00-14.00	Titik 2	16,67	70
14.00-15.00	Titik 2	68,23	70
15.00-16.00	Titik 2	64,80	70
Rata-rata		39,33	70

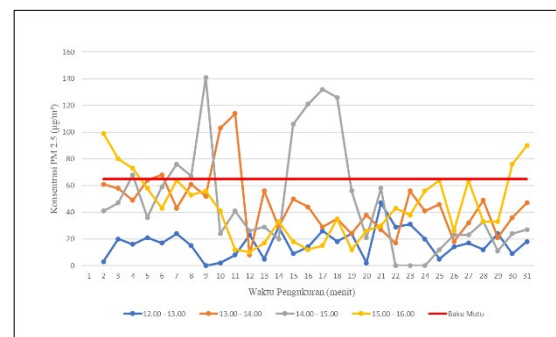
Berdasarkan hasil analisis konsentrasi PM 10 pada Tabel 1 di atas, dapat dilihat bahwa konsentrasi rata-rata tertinggi PM 10 diperoleh pada Titik 2 dimana pengukuran dilakukan pada siang hingga sore hari yaitu $39,33 \mu\text{g}/\text{m}^3$, sedangkan Titik 1 diperoleh rata-rata sebesar $30,31 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Meskipun hasil pengukuran konsentrasi rata-rata pada Titik 2 tergolong tinggi namun masih di bawah batas baku mutu yang diterapkan.

2. Konsentrasi PM 2.5

Pengambilan data konsentrasi PM _{2.5} dilakukan dengan menggunakan alat *E-Sampler – Met One*. Pengukuran parameter PM _{2.5} juga dilakukan selama 8 jam dimana dalam selang waktu 1 jam diperoleh 30 data pengukuran yang dilakukan pada menit 1 hingga 10, menit 21 hingga 30, menit 41 hingga 50. Dari hasil pencatatan selanjutnya ditampilkan dalam bentuk grafik pada Gambar 4 dan Gambar 5 sebagai berikut.



Gambar 4 Grafik konsentrasi PM _{2.5} pada Titik 1



Gambar 5 Grafik konsentrasi PM _{2.5} pada titik 2

Grafik konsentrasi pengukuran pada Gambar 4 di atas ditampilkan sebelum data dibuat rata-rata agar dapat diketahui nilai konsentrasi yang fluktuatif yang disebabkan oleh beberapa faktor lingkungan yang dapat mempengaruhi nilai konsentrasi. Dari Gambar 5 dapat dilihat bahwa pada pengukuran pukul 08.00 – 09.00 terdapat nilai konsentrasi yang melebihi baku mutu. Tingginya konsentrasi ini disebabkan karena dilakukan servis pembersihan filter motor serta penarikan tuas gas motor. Oleh karena hal tersebut konsentrasi PM_{2.5} tercatat tinggi dan berada di atas nilai baku mutu yang diterapkan. Sedangkan pengukuran pada pukul 09.00-12.00 menghasilkan nilai konsentrasi yang berada di bawah baku mutu yang diterapkan.

Selanjutnya Gambar 5 menampilkan grafik konsentrasi PM_{2.5} pada titik 2 dimana pengukuran dilakukan pada pukul 12.00-16.00. Berdasarkan gambar diketahui bahwa konsentrasi pada pukul 13.00-16.00 menghasilkan nilai yang cukup tinggi atau berada di atas baku mutu yang diterapkan. Hal ini disebabkan karena pekerja melakukan pembersihan filter pada dua kendaraan yang sedang diservis secara bersamaan serta banyaknya jumlah kendaraan yang sedang diservis.

Hasil pencatatan data dari Gambar 4 dan Gambar 5 selanjutnya direkapitulasi untuk dicari nilai rata-rata, nilai maksimum dan nilai minimum, kemudian dibandingkan dengan baku mutu yang diterapkan. Hasil analisis konsentrasi PM_{2.5} ditampilkan pada Tabel 2 berikut.

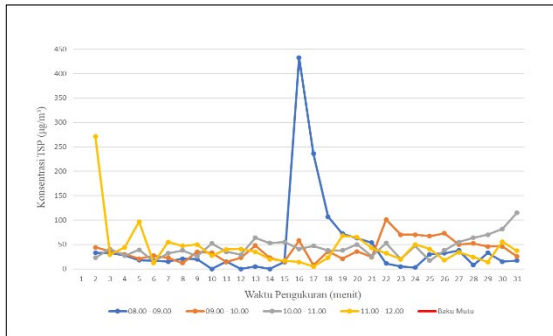
Tabel 2 Konsentrasi PM_{2.5}

Waktu Pengukuran	Titik Sampel	PM _{2.5}	Baku Mutu (PerMenKes RI No1077/MENKES/PER/V/2011)
		($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
08.00-09.00	Titik 1	34,00	35
09.00-10.00	Titik 1	15,83	35
10.00-11.00	Titik 1	25,03	35
11.00-12.00	Titik 1	33,50	35
Rata-rata		27,09	35
12.00-13.00	Titik 2	16,73	35
13.00-14.00	Titik 2	45,87	35
14.00-15.00	Titik 2	48,27	35
15.00-16.00	Titik 2	43,67	35
Rata-rata		38,64	35

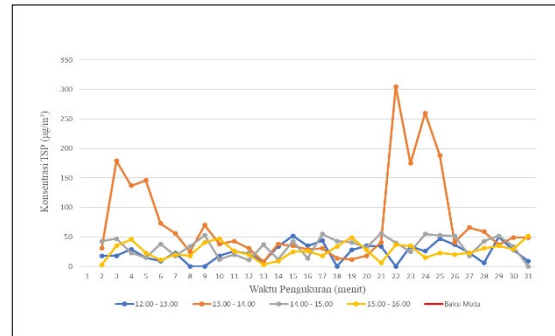
Dari Tabel 2 Konsentrasi PM_{2.5} di atas, diperoleh konsentrasi rata-rata tertinggi PM_{2.5} ada pada Titik 2 yaitu sebesar 38,64 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, sedangkan Titik 1 diperoleh nilai rata-rata konsentrasi yang lebih rendah yaitu 27,09 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Hasil pengukuran pada Titik 1 berada di bawah baku mutu yang diterapkan. Namun hasil pengukuran pada Titik 2 berada di atas batas baku mutu.

3. Konsentrasi TSP

Pengambilan data konsentrasi TSP juga dilakukan dengan menggunakan alat *E-Sampler – Met One*. Dari hasil pencatatan selanjutnya ditampilkan dalam bentuk grafik pada Gambar 6 dan Gambar 7 sebagai berikut.



Gambar 6 Grafik konsentrasi TSP pada Titik 1



Gambar 7 Grafik konsentrasi TSP pada titik 2

Pada Gambar 6 dapat dilihat bahwa Titik 1 menghasilkan konsentrasi partikulat yang tinggi dikarenakan beberapa faktor seperti pada hari pengukuran pagi hari mengalami keramaian jumlah kendaraan yang di servis. Selanjutnya pada menit 16 hingga 20 pada pengukuran pukul 08.00-09.00 menghasilkan nilai konsentrasi yang tinggi dikarenakan Titik 1 pada lokasi pengukuran berada di tengah ruangan dimana titik tersebut merupakan area yang berada tepat di muka knalpot kendaraan yang sedang diperbaiki sehingga gas buangan yang dihasilkan knalpot langsung masuk pada alat ukur yang digunakan. Kemudian pada menit ke 2 pada pengukuran pukul 11.00-12.00 terdapat kenaikan konsentrasi dimana hal ini disebabkan karena pada awal pengukuran pekerja melakukan pembersihan area servis (area kerja). Walaupun hasil pengukuran konsentrasi pada Titik 1 tinggi pada beberapa menit namun masih jauh di bawah batas baku mutu yang diterapkan.

Berdasarkan Gambar 7 diatas diketahui bahwa pada pukul 13.00-14.00 terdapat beberapa nilai konsentrasi yang tinggi, hal ini disebabkan karena Titik 2 berada lebih dekat dengan area entrance yang mana pada jam ini didapati kecepatan angin yang cukup besar sehingga memungkinkan partikulat dari luar bengkel masuk ke dalam area servis. Hasil pengukuran pada Titik 2 diperoleh konsentrasi TSP yang lebih rendah dibandingkan Titik.

Hasil pencatatan data selanjutnya direkapitulasi untuk untuk dicari nilai rata-rata, nilai maksimum dan nilai minimum, kemudian dibandingkan dengan baku mutu yang diterapkan. Hasil analisis konsentrasi TSP ditampilkan pada Tabel 3 berikut.

Tabel 3 Konsentrasi TSP

Waktu Pengukuran	Titik Sampel	TSP	Baku Mutu (Kep.MenKes RI No 1405/MENKES/SK/XI/2002)	
		($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	(mg/m^3)	($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
08.00-09.00	Titik 1	45,87	10	10000
09.00-10.00	Titik 1	38,93	10	10000
10.00-11.00	Titik 1	44,33	10	10000
11.00-12.00	Titik 1	44,33	10	10000
Rata-rata		43,37	10	10000
12.00-13.00	Titik 2	23,60	10	10000
13.00-14.00	Titik 2	33,97	10	10000
14.00-15.00	Titik 2	33,97	10	10000
15.00-16.00	Titik 2	26,27	10	10000

Rata-rata	29,45	10	10000
-----------	-------	----	-------

Berdasarkan hasil analisis konsentrasi TSP pada Tabel 4.4, dapat dilihat bahwa konsentrasi rata-rata tertinggi TSP diperoleh pada Titik 1 dimana pengukuran dilakukan pada pagi hingga siang hari yaitu $43,37 \mu\text{g}/\text{m}^3$, sedangkan Titik 2 diperoleh rata-rata sebesar $29,45 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Walaupun hasil pengukuran konsentrasi pada kedua titik tergolong tinggi namun masih di bawah batas baku mutu.

4. Konsentrasi Pb

Konsentrasi timbal (Pb) didapat dari kertas filter pengukuran TSP yang didestruksi menggunakan *Atomic Absorption Spectrophotometer* (AAS) yang mengacu pada tentang Udara ambien – Bagian 4: Cara uji kadar timbal (Pb) dengan metode dekstruksi basah menggunakan spektrofotometer serapan atom. Pengujian konsentrasi logam Pb dilakukan dengan λ 283,3 nm secara duplo.

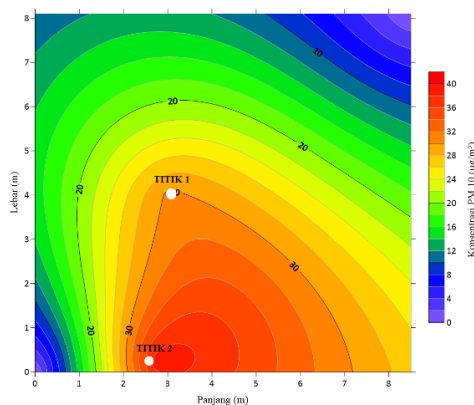
Tabel 4 Konsentrasi Pb

Waktu Pengukuran	Titik Sampel	Pb	Baku Mutu (PerMenaKer RI No 5 Tahun 2018 Tentang K3 Lingkungan Kerja)	
		($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	(mg/m^3)	($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
Kamis, 31 Maret 2022	Titik 1	0,0030	0,1	100
Kamis, 31 Maret 2022	Titik 1	0,0031	0,1	100
Rata-rata		0,0031	0,1	100

Dari penelitian yang telah dilakukan diketahui bahwa konsentrasi Pb dalam TSP pada udara dalam ruang bengkel menghasilkan rata-rata nilai sebesar $0,0031 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Nilai konsentrasi Pb yang dihasilkan terbilang masih aman dimana nilai tersebut jauh di bawah nilai baku mutu yang diterapkan.

5. Sebaran Konsentrasi PM 10

Dari hasil analisis konsentrasi PM 10 pada Tabel 1 dilakukan pengolahan data menggunakan *Software Surfer 16*. Pemetaan dibuat berdasarkan konsentrasi PM 10 sebagai target yang dituju dengan bantuan titik koordinat x sebagai panjang ruangan dalam meter dan koordinat y sebagai lebar ruangan dalam meter. Nilai konsentrasi disetiap titik masuk ke dalam *spreadsheet program Surfer 16* dan selanjutnya dilakukan proses *Grid – Plot* hingga menghasilkan peta kontur sebaran konsentrasi PM 10 berikut.

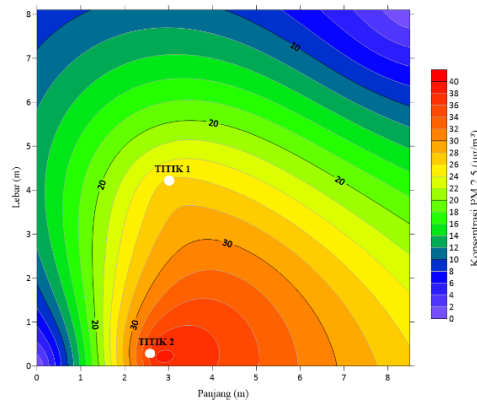


Gambar 8 Peta kontur sebaran konsentrasi PM 10

Berdasarkan gambar, titik 2 merupakan titik dengan konsentrasi PM 10 tertinggi yang digambarkan dengan warna merah. Dalam *color scale* dinyatakan bahwa warna merah menghasilkan konsentrasi PM 10 sebesar 36 – 40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Hal ini sesuai dengan analisis data pada Tabel 1 Konsentrasi PM 10, bahwa titik 2 merupakan titik dengan konsentrasi tertinggi dengan nilai 39,33 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Sedangkan titik 1 ada pada rentang warna orange. Warna orange dalam *color scale* menyatakan nilai konsentrasi sebesar 28 – 32 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

6. Sebaran Konsentrasi PM 2.5

Berdasarkan Tabel 2 mengenai perhitungan analisis konsentrasi PM 2.5 dilanjutkan dengan olah data menggunakan *Software Surfer 16*.

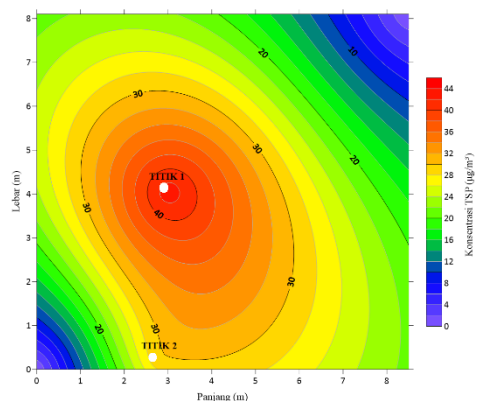


Gambar 9 Peta kontur sebaran konsentrasi PM 2.5

Dari gambar di atas, titik 2 merupakan titik dengan konsentrasi PM 2.5 tertinggi yang digambarkan dengan warna merah. *Color scale* dalam gambar menyatakan bahwa warna merah menghasilkan konsentrasi PM 2.5 sebesar 34 – 40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Titik 1 pada ada pada rentang warna orange muda. Warna orange muda dalam *color scale* menyatakan nilai konsentrasi sebesar 26 – 28 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

7. Sebaran Konsentrasi TSP

Data nilai konsentrasi TSP pada Tabel 3 Konsentrasi TSP selanjutnya diolah menggunakan *Software Surfer 16* untuk menghasilkan pemetaan mengenai sebaran konsentrasi TSP.

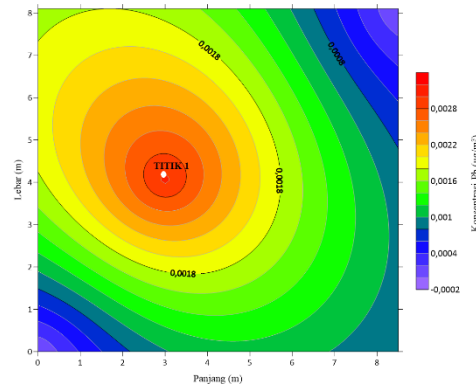


Gambar 10 Peta kontur sebaran konsentrasi TSP

Berdasarkan gambar di atas, titik 1 merupakan titik dengan konsentrasi TSP tertinggi yang digambarkan dengan warna merah. *Color scale* dalam gambar menyatakan bahwa warna merah menghasilkan konsentrasi TSP sebesar 40 – 44 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Titik 2 pada gambar ada pada rentang warna orange muda. Warna orange muda dalam *color scale* menyatakan nilai konsentrasi sebesar 28 – 32 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

8. Sebaran Konsentrasi Pb

Dari hasil analisis konsentrasi Pb pada Tabel 4 dilakukan pengolahan data menggunakan *Software Surfer 16* yang selanjutnya menghasilkan pemetaan mengenai sebaran konsentrasi Pb.



Gambar 11 Peta kontur sebaran konsentrasi Pb

Pengukuran Pb hanya dilakukan pada 1 titik selama 8 jam sehingga menghasilkan gambar seperti di atas. Titik 1 berada pada koordinat panjang 3 m dengan lebar 4,05m, digambarkan dengan warna merah. Dalam color scale dinyatakan bahwa warna merah menghasilkan konsentrasi Pb sebesar 0,0028 - lebih $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Hal ini sesuai dengan analisis data pada Tabel 4.5 dimana titik 1 menghasilkan nilai konsentrasi Pb sebesar 0,0031 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan bahwa nilai konsentrasi parameter PM_{10} , TSP dan Pb berada dibawah baku mutu, sedangkan parameter $\text{PM}_{2.5}$ dihasilkan nilai 38,64 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ berada diatas baku mutu yaitu 35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Dari hasil tersebut dibuat peta sebaran konsentrasi berdasarkan analisis perhitungan parameter PM_{10} , $\text{PM}_{2.5}$, TSP dan Pb dan ditampilkan dalam beberapa wana yaitu biru, hijau, dan kuning.

DAFTAR PUSTAKA

- Al-Easawi, N. A. F., Mahmood, M. B., & Hassoon, H. A. (2017). Determination of heavy metal concentrations in nails of car workshop workers in Baghdad. *Journal of American Science*, 13(6), 1–8.
- Alias, M., Hamzah, Z., & Kenn, L. S. (2007). Pm 10 and Total Suspended Particulates (Tsp) Measurements in Various Power Stations. *The Malaysian Journal of Analytical Sciences*, 11(1), 255–261.
- Badan Perencanaan dan Pembangunan Daerah Istimewa Yogyakarta. (2017).
- Candrasari, C. R., & Mukono, J. (2013). Hubungan kualitas udara dalam ruang dengan keluhan penghuni lembaga pemasyarakatan kelas iia kabupaten sidoarjo. *Kesehatan Lingkungan*, 7(1), 21–25.
- Damri, D., Ilza, M., & Afandi, D. (2016). Analisis Paparan Co Dan So2 Pada Petugas Parkir di Basement Mall Ska di Kota Pekanbaru. *Dinamika Lingkungan Indonesia*, 3(1), 47.
- Farikah, T., Maddusa, S. S., & Sumampouw, O. J. (2018). Analisis Kadar Nitrogen Dioksida (No 2) Di Area Parkir Basement Jumbo Swalayan Kota Manado Tahun 2018. 7(5).
- Haruna, H., Lahming, L., Amir, F., & Asrib, A. R. (2019). Pencemaran Udara Akibat Gas Buang Kendaraan Bermotor Dan Dampaknya Terhadap Kesehatan. *UNM Environmental Journals*, 2(2), 57.
- Prilila, G. F., Wardhana, I. W., & Sutrisno, E. (2016). Estimasi Sebaran dan Analisis Risiko TSP dan Pb di Terminal Bis Terhadap Kesehatan Pengguna Terminal. *Jurnal Teknik Lingkungan*, 5(4), 1–12.

- Septilia, F. (2020). Analisis Kadar Pb Pada Udara Ambien Dan Keluhan Kesehatan Karyawan Bengkel Motor Di Kelurahan Babura Sunggal Kota Medan. 1–89.
- Soesanto, B., Huboyo, H. S., & Sutrisno, E. (2005). Analisis Kualitas No2 Dalam Ruang Pada Perparkiran Basement Dan Upper Ground (Studi Kasus : Mall X, Semarang). 2, 1–6.



EVALUASI PEMANTAUAN PERALATAN PADA IPAL RUMAH SAKIT

Felicia Isfandyari¹, Sri Puji Saraswati², Johan Syafri Mahathir Ahmad^{2*}

¹ Departmen Teknik Sipil dan Lingkungan, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta

feliciaisfandyari@mail.uqm.ac.id

ABSTRAK

Rumah Sakit (RS) diharuskan memiliki Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) agar air limbah memenuhi standar baku mutu air limbah. Menurut klasifikasi berdasarkan fasilitas dan kemampuan pelayanan terdapat lima kelas rumah sakit yang memiliki jenis limbah, proses pengolahan dan kendala yang berbeda sehingga setiap rumah sakit memiliki jenis IPAL yang berbeda. Pemeliharaan IPAL RS dan pemantauan setiap alat setiap hari menjadi penting untuk dikaji untuk menghindari adanya kegagalan dalam fungsi alat tersebut. Penelitian ini dilaksanakan pada satu rumah sakit gigi mewakili RS tipe khusus dan dua RS umum mewakili RS Tipe A, B, yang masing-masing berada di Yogyakarta dengan mengkaji konsistensi pemantauan dan operasional peralatan dalam kurun waktu satu tahun dari setiap rumah sakit. Hasil penelitian menunjukkan pemantauan kualitas air limbah dan pemeliharaan alat pada semua IPAL RS sudah cukup efektif dengan skor pembobotan diatas 0,5 membuktikan berlangsungnya proses pengolahan air limbah yang baik.

Kata kunci: Instalasi Pengolahan Air Limbah, rumah sakit, pemeliharaan alat.

PENDAHULUAN

Latar Belakang

Rumah sakit merupakan salah satu sarana pelayanan kesehatan yang menghasilkan limbah berupa limbah padat dan cair. Berdasarkan kandungan polutan, limbah cair rumah sakit dapat digolongkan dalam air limbah klinis dan air limbah non klinis (Arifin, 2008). Air limbah rumah sakit berasal dari ruang rawat inap, rawat jalan, hemodialisa, bedah, laboratorium, radiologi, farmasi, dapur, cuci (*Laundry*) dan toilet. Berdasarkan Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup Republik Indonesia Nomor 58 tahun 1995, tentang baku mutu limbah cair bagi kegiatan rumah sakit maka setiap rumah sakit diwajibkan menyediakan sarana pengelolaan limbah cair (IPAL) maupun limbah padat agar seluruh limbah yang akan dibuang ke saluran umum harus memenuhi baku mutu limbah cair yang telah ditetapkan.

Secara umum sistem pengolahan IPAL rumah sakit pengolahan air limbah menerapkan 3 tahapan proses yaitu pengolahan pertama (*primary treatment*), pengolahan kedua (*secondary treatment*) dan pengolahan lanjutan (*tertiary treatment*) (Asmadi dan Suharno, 2012). Menurut Pedoman Teknis IPAL 2011 aplikasi dan kebutuhan teknologi setiap rumah sakit berbeda-beda. Dengan adanya perbedaan teknologi pada setiap rumah sakit, maka kendala yang ada pada IPAL juga berbeda, baik dalam kesulitan pengoperasian, proses dan pemeliharaan. Waktu operasional alat diharapkan efektif sehingga hasil proses pengolahan yang didapatkan optimal, jika tidak tentunya akan berpengaruh terhadap kinerja IPAL. Sayangnya catatan kinerja alat dan operasional proses dalam IPAL tidak selalu konsisten teramati dengan baik. Sedangkan, alat tersebut membutuhkan pemeliharaan dan monitoring untuk menghindari adanya kegagalan saat alat tersebut digunakan, sehingga dapat menghambat proses pengolahan dari IPAL itu sendiri. Pemeliharaan alat serta sarana dapat terlaksana dengan baik, apabila direncanakan, dilaksanakan, serta dikendalikan dengan tepat dan baik sehingga menghasilkan pemeliharaan dan pemantauan yang efektif dan efisien. Adanya mekanisme kegiatan pemeliharaan secara terencana, rutin, berulang dimaksudkan untuk memantau kondisi alat dalam melakukan pelayanan dan mengetahui sejauh mana beban kerja setiap alat yang beroperasi, dan dapat menghindari kerusakan berat pada alat

yang dapat mengakibatkan masa pakai minimal, daya guna dan hasil guna minimal, dan juga dapat diambil tindakan pemeliharaan lebih cepat, sehingga usia pakai alat dapat digunakan lebih lama lagi (Febrianti, 2012). Perlunya dilakukan audit teknologi pada IPAL yang mencakup empat aspek *technoware* (teknis), *Humanware* (sumber daya manusia), *infoware* (informasi) dan *orgaware* (organisasi/kelembagaan), agar dapat terlihat berapa besar pencapaian dari setiap IPAL dan nantinya dapat dijadikan sebagai bahan evaluasi dan peningkatan kinerja pada IPAL (Pusat Audit Teknologi, 2011). Penelitian ini hanya merujuk pada *infoware* (informasi) yang dilakukan untuk mengkaji keefektifan pemantauan kinerja proses pengolahan dan operasional alat pada IPAL di beberapa Rumah Sakit dan peningkatan manajemen Rumah Sakit.

Metode Penelitian

Lokasi penelitian terletak di tiga Rumah Sakit di Yogyakarta yaitu Rumah Sakit Gigi Mulut kelas Khusus yang hanya melayani rawat jalan; Rumah Sakit kelas B dengan dua IPAL yang terbagi untuk ruangan rawat inap dan poli, dan Rumah Sakit Umum kelas A. Pengumpulan data dilakukan dari Januari 2020 sampai dengan Maret 2021. Untuk data sekunder pada Rumah Sakit kelas B dan Rumah Sakit kelas A sudah tersedia pada setiap instansi sehingga hanya dilakukan rekapitulasi. Melakukan pencatatan tabel pemantauan rutin kualitas air limbah kemudian dilakukan penilaian menggunakan skala Guttman (Sugiyono, 2011) yang dapat digunakan untuk mendapatkan hasil yang tegas dalam suatu permasalahan dengan jawaban yang negatif dan positif. Setelah data terkumpul maka dapat dilakukan kajian konsistensi pemantauan alat pada IPAL dilakukan dengan membandingkan pemantauan alat yang ada pada setiap rumah sakit, dengan standar monitoring alat yang ada di pedoman teknis IPAL 2011, kemudian dilakukan perhitungan dengan metode Guttman seperti pada persamaan (1) dengan skala nilai 0 – 1. Jika jumlah dan jenis variabel dipantau sesuai standar skala nilai 1 sedang tidak sesuai standar maka diberi nilai = 0.

$$\text{Nilai (n)} = \frac{\text{jumlah parameter yang diukur}}{\text{total parameter}} \quad (1)$$

Batas Kriteria

0 – 0,5 = kurang efektif

0,50 – 1 = efektif

Hasil dan Pembahasan

Audit teknologi dari aspek informasi merupakan aspek yang digunakan oleh pengelola atau penanggungjawab sebagai pedoman dalam bekerja menjalankan fungsi dari IPAL itu sendiri, meliputi kebijakan peraturan terkait pengelolaan IPAL yang terwujud dalam perundang-undangan sebagai dasar hukum pelaksanaan pengelolaan IPAL, spesifikasi teknis dari peralatan, standar operasi dan prosedur (SOP) pengoperasian, perawatan dan perbaikan serta kesehatan dan keselamatan kerja (K3) (Anggraini, 2016). Menurut Hidayatullah (2011) sebuah IPAL membutuhkan manajemen data yang akurat dalam mengawasi limbah yang dihasilkan agar kualitas yang dikeluarkan ke badan air tetap terjaga dan tidak terjadi pencemaran pada lingkungan sekitar, sehingga perlunya penanggungjawab khusus atau suatu program yang digunakan untuk mengelola dan memonitor kualitas air limbah dan dapat memberikan informasi dengan cepat agar masalah yang terjadi segera ditangani dan fokus pada masalah yang ada. Dari ketiga rumah sakit sesuai dengan tipe rumah sakit, memiliki tiga jenis SOP seperti pada tabel 1 yaitu SOP mengenai alat dalam hal ini membahas mengenai pompa dan blower, SOP mengenai monitoring atau pemantauan pada alat dan SOP perawatan.

Tabel 1 Data SOP Ketiga Rumah Sakit

Jenis	RSGM	RS Kelas B	RS Kelas A
Alat (pompa dan blower)	✓	✓	✓
Monitoring bak dan alat	✓	✓	✓
Perawatan bak dan alat	✓	✓	-

Dari hasil penelitian yang memiliki SOP tertulis secara spesifik baik dari alat, monitoring dan perawatan hanya ada pada RSGM dan RS kelas B. Untuk RS kelas A tidak memiliki peraturan tertulis spesifik dikarenakan saat melakukan monitoring sekaligus melakukan perawatan. Untuk SOP pengoperasian alat secara singkat dijelaskan seperti pada tabel 2 berikut.

Tabel 2 SOP Pengoperasian Alat Rumah Sakit

Jenis Alat	RSGM	RS Kelas B	RS Kelas A
Pompa	Menarik keatas saklar MCB didalam panel dan memutar switch di pintu panel ke posisi ON di panel kontrol untuk mengoperasikan blower, pompa dan UV yang akan menggerakkan sistem secara otomatis.	<ol style="list-style-type: none"> Melakukan pengecekan arus pada panel box. Petugas melakukan setting panel manual sesuai keperluan apabila sudah selesai segera disetting Kembali pada posisi otomatis. Operasikan pompa secara bergantian masing-masing 1 jam sekali. Matikan pompa equalisasi setelah air didalam equalisasi tersisa dengan ketinggian air sekitar 1 meter atau <i>storage</i> penuh. Matikan <i>effluent pump</i> setelah air dalam storage pada posisi low level. 	<ol style="list-style-type: none"> Melakukan pengecekan arus pada panel box. Petugas melakukan setting panel manual sesuai keperluan apabila sudah selesai segera disetting Kembali pada posisi otomatis.

Lanjutan Tabel 2 SOP Pengoperasian Alat Rumah Sakit

Blower		<ol style="list-style-type: none"> Melakukan pengecekan arus pada panel box. Petugas melakukan setting panel manual sesuai keperluan apabila sudah selesai segera disetting Kembali pada posisi otomatis. 	<ol style="list-style-type: none"> Melakukan pengecekan arus pada panel box, pengoperasian blower dilaksanakan setiap hari selama 24 jam. Jika akan melakukan pengoperasian blower untuk back wash sand filter petugas menekan tombol "ON" jika lampu indikator panel menyala. Petugas menekan tombol "OFF" jika pengoperasian blower untuk back wash sand filter telah dianggap cukup.
--------	--	---	--

Tabel 2 merupakan tabel untuk mengelompokkan prosedur pengoperasian alat terutama pada blower dan pompa dapat dilihat bahwa pada RS Kelas A dan RS Kelas B memiliki SOP yang

mendetail pada setiap alat, untuk RSGM tidak memiliki SOP mendetail dikarenakan dalam satu panel sudah mengatur keseluruhan IPAL secara otomatis. Menurut Purwatiningrum, O. (2018) pemeliharaan IPAL yang baik meliputi pemeliharaan prediktif, pekerjaan rutin harian, prosedur pemeliharaan standar, pemeriksaan unit peralatan, ketersediaan alat dan bahan cadangan serta pelumasan dan pemeliharaan lainnya. Adapula pemeliharaan IPAL yang perlu dilakukan beberapa proses yaitu pemeliharaan pompa (lubrikasi), pemeliharaan kinerja IPAL, pemeliharaan peralatan pendukung, dan pembuangan lumpur kering. Prosedur pengoperasian awal pada IPAL yaitu unit IPAL harus kedap air dan tidak bocor, memastikan semua katup dan posisinya benar, pemeriksaan listrik dan pompa, menyalakan stop kontak dan membiarkan air mengalir sesuai debit. Untuk operasional rutin berupa pencatatan jumlah air limbah yang diolah pada IPAL setiap hari, mengamati proses di setiap unit ada kejanggalan atau kebisingan yang berlebihan, parameter minimal kualitas air yang penting diperiksa adalah warna dan bau, banyak zat padat yang ada didalam air, mengenali indicator, penyebab, dan pengan dalian gangguan pada proses pengolahan IPAL. Tabel 3 berikut adalah prosedur perawatan IPAL sesuai dengan jenis waktunya yaitu harian, mingguan, bulanan dan tahunan pada masing-masing rumah sakit.

Pada tabel diatas dapat dilihat bahwa RS Kelas A tidak memiliki SOP perawatan tertulis akan tetapi dalam praktek di lapangan memiliki daftar laporan pemantauan yang lengkap sama dengan RSGM dan RS Kelas B. Pada penelitian Baeti, dkk (2022) di RS Roemani Muhammadiyah Semarang bahwa alat pompa yang dioperasikan juga dilakukan secara otomatis melalui kontrol panel dan ada perawatan harian berupa pembersihan lingkungan dan monitoring peralatan IPAL, untuk perawatan mingguan yaitu perawatan pada *grease trap* dan untuk perawatan bulanan yaitu penggantian *grease oil*. Penelitian yang dilakukan oleh Rawis, dkk (2022) pada IPAL juga menggunakan peralatan yang disetting otomatis yang berupa pompa filter, dimana hasil dari output IPAL akan ditransfer menuju pompa filter, yang kemudian pompa tersebut akan hidup bila level kontrol sudah dalam posisi maksimal dan mati apabila level control sudah diposisi minimum. Untuk penilaian monitoring pada setiap rumah sakit dapat dilihat pada tabel 4 sebagai penunjang bahwa kinerja IPAL juga bergantung pada monitoring baik dari alat setiap harinya, semakin sering dilakukan monitoring maka semakin baik.

Tabel 3 Perawatan IPAL Rumah Sakit

Waktu Monitoring	RSGM	RS Kelas B	RS Kelas A
Harian	<ol style="list-style-type: none"> 1. Periksa blower, radar, pompa inlet, pompa limbah, desinfeksi UV. 2. Periksa debit harian 1 kali sehari dengan melihat dan mencatat angka pada watermeter. 3. Periksa klorin pada tablet, bila habis, tambah klorin ukuran 200 gram 4. Cek mutu limbah harian: bau, warna, kejernihan dan pH, Cek indikator ikan. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Cek mutu limbah harian: pH, Suhu, debit, Klorin, DO meter 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Cek mutu limbah: pH, Klorin, TSS, debit. 2. Pemeriksaan bak, alat, dan kelistrikan secara keseluruhan.
Mingguan	<ol style="list-style-type: none"> 1. Pengurasan kolam indikator 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Periksa selalu cairan kimia dalam <i>chemical tank</i>. Bila perlu isi kembali. 2. Bersihkan komponen dari debu. 	
Bulanan	<ol style="list-style-type: none"> 1. Pemeriksaan baku mutu setiap 2 bulan sekali. 2. Untuk 6 bulanan: Pengurasan bak pengendap, pembersihan UV, pengurasan bak reaktor. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Periksa pelumas pada <i>gear box</i> Blower, bila perlu tambahkan. 2. Untuk 6 bulanan: Periksa tubing-tubing injeksi kimia dan periksa kondisi pompa. 	
Tahunan	<ol style="list-style-type: none"> 1. Pengurasan bak, pengendapan dan pengurasan bak penampung sebelum IPAL. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Bersihkan tangki bahan kimia, bila perlu kuras semua bak-bak kontrol. 2. Ganti media sand filter dan carbon filter. 3. Angkat dan bersihkan pH sensor dari endapan, bila perlu dikalibrasi. 4. Angkat elektroda dan bersihkan dari endapan dengan cara mengampelas batang elektroda yang berada pada elektroda pada bak Equalisasi dan Storage tank. 	

Tabel 4 Penilaian Monitoring Alat

Jenis Alat	Keterangan		Skor	Standar Monitoring Alat Berkala Sesuai SOP	Standar Monitoring Alat Berkala Sesuai Pedoman Teknis IPAL 2011
	Ya	Tidak			
RSGM			1		
Pompa Inlet	✓		1	Pemeriksaan setiap 2 hari	Melakukan perawatan rutin 3 sampai 4 bulan sekali
Pompa Influen	✓		1		
Blower	✓		1		
Durasi Pantau Frekuensi pantau Jan-20 sampai Maret-21 (kali)	456 hari 255 kali				
RS Kelas B			1		
Pompa Ekualisasi	✓		1	Pemeriksaan setiap 6 bulan	
Pompa Lumpur	✓		1	Pemeriksaan setiap bulan	
Blower	✓		1		
Durasi Pantau Frekuensi pantau Jan-20 sampai Maret-21 (kali)	456 hari 284 kali				
RS Kelas A			1		
Pompa Ekualisasi 1	✓		1	Pemeriksaan setiap hari	
Pompa Ekualisasi 2	✓		1		
Pompa sumur	✓		1		

Lanjutan Tabel 4 Penilaian Monitoring Alat

Pompa Sedimen	✓		1		
Pompa Sand Filer 1	✓		1		
Pompa Sand Filer 2	✓		1		
Pompa Carbon Filter 1	✓		1		
Pompa Carbon Filter 2	✓		1		
Pompa Backwash 1	✓		1		
Pompa Backwash 2	✓		1		
Blower	✓		1		
Durasi Pantau	456 hari				

Frekuensi pantau Jan-20 sampai Maret-21 (kali)	456 kali			
--	----------	--	--	--

Dari tabel 4 diatas dapat dilihat dari durasi pantau yaitu jumlah hari dari bulan Januari 2020 hingga Maret 2021 dan yang dimaksud dengan frekuensi pantau adalah pemantauan yang dilakukan satu kali dalam satu hari, bahwa semakin berkurang frekuensi pantau atau tidak memenuhi SOP dan peraturan yang ada maka nilai yang didapat juga akan berkurang. Namun dalam penelitian ini, penilaian yang didapat dari membandingkan SOP yang ada pada masing-masing rumah sakit dan pada pedoman teknis IPAL 2011 sudah efektif terlihat dari nilai yang lebih dari 0,5. Dari keefektifan tersebut dapat memperhitungkan kecenderungan hasil kualitas air limbah kedepannya, apabila terjadi ketidaksesuaian hasil kualitas airnya maka dapat langsung diatasi, menghindari keterlambatan dalam penanganan kerusakan alat yang bisa merubah hasil kualitas air, menghindari berkurangnya usia pakai peralatan dan tidak menghambat jalannya proses pada IPAL. Dengan adanya monitoring alat setiap hari maka diharapkan memberikan hasil yang baik dan dapat memperpanjang umur pada alat yang ada.

Kesimpulan

Dari hasil pemeliharaan dan pemantauan alat yang dilakukan selama lima belas bulan menggunakan metode Skala guttman didapatkan hasil yang efektif dari ketiga rumah sakit tersebut, dengan parameter berupa jenis alat yang dipantau dan frekuensi alat tersebut dilakukan monitoring, semakin sering dilakukan pemantauan maka akan membuat hasil yang lebih baik karena apabila ada kerusakan, hambatan maupun kesalahan yang terjadi saat IPAL beroperasi maka akan dapat segera diatasi.

Saran

Pada setiap rumah sakit diharapkan memiliki SOP yang lengkap walaupun keadaan dilapangan sudah melakukan kegiatan tersebut, agar saat terjadi pergantian pegawai tidak mengubah aturan yang ada.

DAFTAR PUSTAKA

- Anggraini, F., Nuraeni, R., Yudiarti, I., Rosa, Y., Prayudi, T. R., Effendi, R. R., Pamekas, R. (2016) Audit Teknologi Sistem Instalasi Pengolahan Lumpur Tinja (IPLT). Bandung: PT. Kiblat Buku Utama.
- Arifin, M. (2008). Pengaruh Limbah Rumah Sakit Terhadap Kesehatan. FKUI. Depok.
- Asmadi dan Suharno, 2012, Dasar-Dasar Teknologi Pengolahan Air Limbah, Yogyakarta: Gosyen Publishing.
- Baeti, M. K., Raharjo, M., Sulistiyani, N. A. (2022). Efektivitas Instalasi pengolahan Air Limbah (IPAL) Rumah Sakit Umum Roemani Muhammadiyah Semarang. Universitas Diponegoro, Semarang. JKM Vol 10 No 3, 2002.
- Febrianti, N. (2012). Gambaran Sistem Pemeliharaan *Preventive* alat *Echocardiography* dan *Treadmill* di Unit Rawat Jalan Rumah Sakit Awal Bros Bekasi. Skripsi. Universitas Indonesia. Depok.
- Hidayatullah, M. Nur. (2011). Perancangan Sistem Monitoring Pengolahan Air Limbah Studi Kasus di PT. Sari Husada Yogyakarta. Skripsi. Universitas Islam Indonesia. Yogyakarta

- Kementrian Kesehatan RI. (2011). Pedoman Teknis Instalasi Pengolahan Air Limbah dengan Sistem Biofilter Anaerob Aerob pada Fasilitas Pelayanan Kesehatan. Jakarta.
- Menteri Negara Lingkungan Hidup. (1995). Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup No. 58 Tahun 1995 tentang Baku Mutu Limbah Cair Bagi Kegiatan Rumah Sakit. Jakarta.
- Purwatiningrum, O. (2018). Gambaran Instalasi Pengolahan Air Limbah Domestik Komunal di Kelurahan Simokerto, Kecamatan Simokerto, Kota Surabaya. PT. Karunia Mandiri Consultant. Surabaya.
- Pusat Audit Teknologi. 2011. *Framework*, Kode Etik dan Standar, Pedoman Umum Audit Teknologi. Jakarta: Pusat Audit Teknologi – BPPT.
- Rawis, L., Mangangka, I. R., Legrans, R. R. I. (2022). Analisis Kinerja Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) di Rumah Sakit Bahayangkara Tingkat III Manado. Universitas Sam Ratulangi. Manado.
- Sugiyono. (2011). Metode Penelitian Pendidikan. Alfabeta, Bandung.

STUDI PERBANDINGAN PROFIL MUKA AIR DI HULU DAN HILIR BENDUNG DENGAN EKSPERIMEN DAN ANALISIS NUMERIK

Muaji Amirul Madani¹, Dinia Anggraheni²

¹ Program Studi Teknik Sipil, Universitas Islam Indonesia, Sleman
Email: 17511244@students.uii.ac.id

² Teknik Sipil, Laboratorium Hidraulika, Sleman
Email: dinia.anggraheni@uui.ac.id

³ Kampus Terpadu Universitas Islam Indonesia Jalan Kaliurang KM. 14,5 Sleman Yogyakarta 55584
Email: teknik.sipil@uui.ac.id

ABSTRAK

Pembendungan aliran akan menyebabkan perbedaan elevasi muka air antara hulu dan hilir bendung, hal ini mengakibatkan adanya terjunan, terjadi perubahan energi dan membentuk profil muka air. Analisa profil muka air merupakan suatu cara untuk meramalkan bentuk umum dari profil muka air. Cara ini merupakan hal yang sangat penting dalam perencanaan saluran untuk aliran berubah lambat laun. Tujuan dari penelitian ini untuk mengetahui perbedaan profil muka air di hulu dan hilir dengan eksperimen menggunakan 4 tipe bendung mercu Ogee dan analisis numerik. Penelitian dilakukan di Laboratorium Hidraulika, Jurusan Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia. Alat yang digunakan yaitu Hydraulic Flume dan 4 tipe ambang mercu ogee. Alat Hydraulic Flume memiliki dimensi ukuran yaitu lebar 0,10 m, tinggi 0,33 m dan panjang 5 m. Sedangkan 4 tipe ambang mercu ogee memiliki dimensi lebar 0,10 m dan dibuat menggunakan bahan akrilik. Penelitian ini menggunakan variasi tinggi muka air hulu (H_0) 11 cm, 12 cm, 13 cm, 14 cm, dan 15 cm. Hasil analisis menunjukkan profil muka air mercu ogee 1,2,3 dan 4 dengan variasi H_0 0,11 m sampai 0,15 m memiliki tipe profil muka air yang sama yaitu tipe mild. Namun ada hal yang menjadikan sedikit perbedaan pada profil muka air di hulu bendung, karena pengaruh sudut bendung. Pada bagian hulu bendung merupakan Kurva M1 ($y > y_n > y_c$), bagian atas mercu bendung adalah Kurva M2 ($y_n > y > y_c$) dan pada bagian hilir bendung merupakan Kurva M3 ($y_n > y_c > y$).

Kata kunci: Profil muka air, Mercu ogee, Analisis numerik

PENDAHULUAN

Latar Belakang

Mercu bendung adalah bagian teratas dari tubuh bendung, bagian yang mengatur tinggi air minimum, melewati debit banjir dan untuk membatasi tinggi genangan yang akan terjadi di udik bendung. Pembendungan aliran akan menyebabkan perbedaan elevasi muka air antara hulu dan hilir bendung, hal ini mengakibatkan adanya terjunan, terjadi perubahan energi dan membentuk profil muka air. Bendung bermanfaat untuk menaikkan muka air agar bisa masuk ke pintu pengambilan untuk mengairi sawah, penentu tinggi muka air di sungai bagian hulu bendung, mengukur debit sungai, sebagai pelimpah aliran air, dan memperlambat aliran sungai agar air yang mengalir dari hulu bisa tertahan sementara sehingga mengalir ke hilir sungai dengan optimal. Agar aliran yang melimpah di atas mercu stabil, maka bentuk mercu bendung harus direncanakan dengan baik dari segi hidrolis. Di Indonesia umumnya digunakan dua tipe mercu untuk bendung yaitu tipe Ogee dan tipe bulat

Aliran air yang melalui bendung dengan debit yang berbeda akan berpengaruh pada profil muka air aliran dan karakteristiknya. Analisa profil muka air merupakan suatu cara untuk meramalkan bentuk umum dari profil muka air. Hal ini memungkinkan sang insinyur mempelajari sebelumnya profil-profil muka air yang mungkin dapat terjadi di saluran yang direncanakan. Cara ini merupakan hal yang sangat penting dalam perencanaan saluran untuk aliran berubah lambat laun. (Ven Te

Chow, 1985). Oleh karena itu, penelitian mengenai profil muka air penting untuk dilakukan. Untuk mempermudah menganalisa fenomena profil muka air, bisa dilakukan studi model.

Studi model banyak digunakan untuk mendukung perencanaan bangunan air. Ada dua tipe model yaitu model matematik dan model fisik. Model matematik dapat digunakan apabila permasalahan yang ada dapat dirumuskan secara matematis. Persamaan matematik tersebut kemudian diselesaikan secara numeris dengan menggunakan bantuan komputer. Model fisik digunakan apabila fenomena fisik dapat diproduksi dengan kesamaan yang cukup dengan memperkecil dimensi bangunan yang sesungguhnya. Kedua tipe model tersebut digunakan untuk tipe permasalahan yang berbeda, meskipun sering untuk suatu permasalahan kedua model tersebut dapat digunakan. (Bambang Triatmodjo, 2015).

Berdasarkan dengan uraian di atas, maka dilakukan percobaan tentang perbandingan profil muka air di hulu dan hilir bendung dengan eksperimen dan analisis numerik. Penelitian ini dilakukan melalui aliran dengan saluran terbuka berukuran kecil yang melewati suatu mercu bendung, dalam hal ini dilakukan melalui bangunan mercu ogee.

Rumusan Masalah

Perumusan masalah yang akan diangkat dalam penelitian kali ini adalah bagaimana perbedaan profil muka air di hulu dan hilir dengan eksperimen menggunakan 4 tipe bendung mercu Ogee dan analisis numerik.

Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah yang telah disebutkan, tujuan dari penelitian ini adalah mengetahui perbedaan profil muka air di hulu dan hilir dengan eksperimen menggunakan 4 tipe bendung mercu Ogee dan analisis numerik.

Manfaat Penelitian

Berdasarkan tujuan penelitian yang sudah disebutkan, penelitian ini diharapkan memiliki manfaat sebagai berikut.

1. Memberi pengetahuan kepada pembaca mengenai perbedaan hasil eksperimen dan analisis profil muka air.
2. Menjadi referensi untuk penelitian-penelitian selanjutnya yang akan membahas masalah profil muka air.

Batasan Penelitian

Beberapa dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Pelaksanaan pengujian di Laboratorium Hidrolika Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia.
2. *Flume* yang digunakan mempunyai ukuran lebar saluran 10 cm.
3. Menggunakan bendung mercu ogee.
4. Kemiringan dasar saluran mendatar atau 0° .
5. Tidak menganalisis perhitungan profil muka air di atas mercu bendung.

TINJAUAN PUSTAKA

Mercu bendung adalah bagian teratas dari tubuh bendung, dimana aliran dari hulu dapat mengalir atau melimpah ke hilir. Fungsi mercu bendung itu sendiri adalah sebagai penentu tinggi muka air minimum di sungai bagian hulu bendung (Dirjen Pengairan DPU KP 02, 2013)

Jurnal “Pengaruh Bentuk Mercu Bendung Tipe Ogee Terhadap Gerusan Di Hilir Peredam Energi USBR III” oleh Martina dan Sainuddin (2020). Tujuan dari penelitian ini untuk mengetahui pengaruh perubahan bentuk mercu bendung tipe ogee terhadap kedalaman gerusan.

Jurnal “Pengaruh Bentuk Bagian Hilir Ambang Terhadap Profil Muka Air Aliran” oleh Gumilar (2018). Tujuan dari penelitian ini untuk mengetahui bagaimana pengaruh bagian hilir ambang terhadap profil muka air terukur dibandingkan dengan profil muka air teoritis.

LANDASAN TEORI

Mercu Ogee

Mercu Ogee berbentuk tirai luapan bawah dari bendung ambang tajam aerasi. Oleh karena itu mercu ini tidak akan memberikan tekanan subatmosfir pada permukaan mercu sewaktu bendung mengalirkan air pada debit rencana. Untuk debit yang lebih rendah air akan memberikan tekanan ke bawah pada mercu (Dirjen Pengairan DPU KP-02, 2013).

Perlu diperhatikan bahwa bentuk mercu Ogee ini tergantung pada kemiringan permukaan hulunya, sehingga pada kondisi sungai yang banyak membawa endapan bentuk ini tidak dapat digunakan karena bentuk permukaan hulunya akan selalu berubah tergantung pada banyaknya endapan dibagian hulunya. Kalau di hulu bendung dipenuhi oleh endapan, maka kemiringan permukaan hulunya adalah horisontal, dan kondisi ini tidak tercakup dalam daftar diatas. Karenanya sebaiknya bentuk mercu ini hanya digunakan pada bendungan atau sungai yang tidak mengandung endapan.

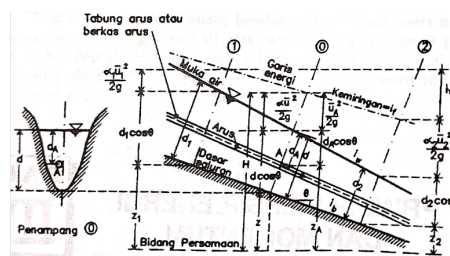
$$Q = C_d \frac{2}{3} \sqrt{\frac{2}{3} g} \cdot b H_1^{1,5} \quad (1)$$

Keterangan:

- Q = debit (m³ /dt)
- C_d = koefisien debit
- g = percepatan gravitasi (m/dt²)
- b = panjang mercu (m)
- H₁ = tinggi energi di atas mercu (m)

Persamaan Energi

Dalam prinsip energi, jumlah energi tiap satuan berat dari setiap aliran yang melalui suatu penampang saluran dapat dinyatakan sebagai jumlah tinggi energi (dalam meter) yang besarnya sama dengan jumlah tinggi letak, tinggi tekanan dan tinggi kecepatan, dihitung dari suatu datum tertentu (Anggrahini, 1997)



Gambar 1 Tinggi Energi dalam Aliran Saluran Terbuka Berubah Lambat Laun

Pada suatu saluran satu dimensi di dalam suatu saluran terbuka dengan kemiringan besar seperti gambar di atas, jumlah tinggi energi H pada suatu penampang O di titik A yang terletak pada suatu garis arus dinyatakan dengan:

$$H = Z_A + d_A \cos \theta + \frac{V_A^2}{2g} \quad (5)$$

Keterangan:

- H = tinggi energi, di atas bidang persamaan dalam (m)
 Z_A = tinggi titik di atas bidang persamaan dalam (m)
 d_A = dalamnya titik A di bawah muka air diukur sepanjang saluran dalam (m).
 θ = sudut kemiringan dasar saluran
 V_A = kecepatan arus yang melalui titik A dalam (m/det)
 $\frac{V_A^2}{2g}$ = tinggi kecepatan dari arus yang melalui titik A dalam (m)

Persamaan Kontinuitas

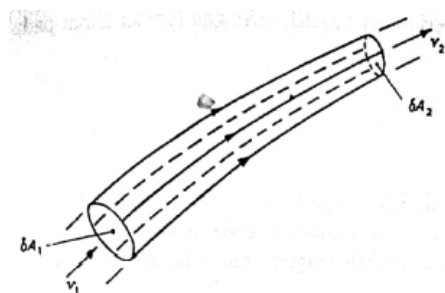
Persamaan kontinuitas didasarkan pada hukum konservasi masa. Untuk aliran permanen menyatakan bahwa debit di sepanjang saluran adalah tetap. Jika terdapat sistem aliran maka volume yang masuk sistem aliran sebanding dengan perubahan volume aliran. Menurut Triatmodjo (2012) jika zat cair tidak kompresibel mengalir secara kontinu melalui saluran tertutup ataupun saluran terbuka, dengan menggunakan tampang aliran konstan atau tidak konstan, maka volume zat cair yang mengalir tiap satuan waktu adalah sama pada semua tampang. Kejadian ini disebut dengan hukum kontinuitas aliran zat cair.

Dilihat pada gambar 3 Untuk aliran satu dimensi dan tetap, kecepatan rata-rata dan tampang lintang pada titik 1 dan 2 adalah V_1 , dA_1 dan V_2 , dA_2 . Volume zat cair yang masuk melalui tampang 1 tiap satuan waktu adalah $V_1 dA_1$, sedangkan volume zat cair yang keluar melalui tampang 2 tiap satuan waktu adalah $V_2 dA_2$. Karena tidak ada kehilangan zat cair di dalam tabung aliran, maka :

$$V_1 \cdot dA_1 = V_2 \cdot dA_2 \quad (6)$$

Integrasi dari persamaan tersebut pada seluruh tampang aliran, akan didapat volume zat cair yang melalui medan aliran, seperti berikut ini :

$$V_1 \int_{A_1} dA_2 = V_2 \int_{A_2} dA_2 \quad (7)$$



Gambar 2 Tabung Aliran Untuk Menurunkan

$$Q = V \cdot A = \text{konstan} \quad (8)$$

Kedua persamaan di atas disebut dengan persamaan kontinuitas untuk zat cair tak kompresibel.

Profil Muka Air

Untuk menyederhanakan analisis maka ditinjau suatu saluran lebar dan dangkal berbentuk segi empat dengan debit konstan. Saluran dengan bentuk tampang lintang lain yang banyak dijumpai di lapangan mempunyai karakteristik profil tidak jauh berbeda dengan saluran yang ditinjau.

Profil muka air akan berubah yang tergantung pada I_0 dan apakah y_n/y_c dan y_c/y_c lebih besar atau lebih kecil dari satu. Kemiringan dasar saluran dapat negatif, nol atau positif. Kemiringan negatif disebut kemiringan balik, yang diberi simbol A (adverse slope), apabila elevasi dasar saluran bertambah dalam arah aliran. Kemiringan positif dapat dibedakan menjadi landai (mild), kritis (critical) dan curam (steep) yang diberi simbol M, C, dan S. Aliran disebut mengalir apabila $y_n > y_c$, kritis jika $y_n = y_c$ dan curam apabila $y_n < y_c$. Berbagai bentuk profil muka air berdasarkan posisi muka air terhadap kedalaman kritis dan normal.

Berikut ini penjelasan dari berbagai tipe profil muka air:

1. Kurva M (Mild)

Kurva M terjadi apabila $I_0 < I_c$ dan $y_n > y_c$. Ada tiga tipe kurva M seperti berikut ini. Profil muka air adalah M_1 apabila $y > y_n > y_c$. Profil M_2 terjadi apabila $y_n > y > y_c$ yang merupakan garis terjun. Profil muka air adalah M_3 apabila $y_n > y_c > y$ profil ini terjadi apabila air mengalir dari saluran curam menuju saluran landai

2. Kurva S (steep)

Kurva S terjadi apabila $I_0 > I_c$ dan $y_n < y_c$. Ada tiga tipe kurva S seperti berikut ini. Profil muka air adalah S_1 apabila $y > y_n > y_c$. Profil S_2 terjadi apabila $y_c > y > y_n$. Profil S_3 terjadi apabila $y_c > y_n > y$.

3. Profil C (critical)

Profil ini terjadi apabila $I_0 = I_c$ dan $y_n = y_c$. Mengingat garis kedalaman normal dan kritis berimpit maka hanya ada dua profil. Profil C_1 dan C_3 .

4. Profil H (Horizontal)

Profil H terjadi apabila $I_0 = 0$ dan $y_n = \infty$ sehingga hanya ada dua profil yaitu H_2 dan H_3 .

5. Profil A (Adverse)

Profil A terjadi apabila $I_0 < 0$. karena nilai y_n tidak riil, maka hanya ada dua profil yaitu A_2 dan A_3 .

Metode Integrasi Numerik

Hitungan profil muka air biasanya dilakukan secara bertahap dari satu tampang ke tampang berikutnya yang berjarak cukup kecil sehingga permukaan air di antara kedua tampang dapat didekati dengan garis lurus.

Dengan menggunakan rumus manning untuk kecepatan rerata

$$V = \frac{1}{n} R^{2/3} I^{1/2} \quad (9)$$

Debit aliran:

$$Q = A \frac{1}{n} R^{2/3} I^{1/2} \quad (10)$$

Atau

$$I f = \frac{n^2 Q^2}{A^2 R^{4/3}} \quad (11)$$

Kombinasi di atas akan menghasilkan:

$$\frac{dy}{dx} = \frac{I_0 - \frac{n^2 Q^2}{A^2 R^{4/3}}}{1 - \frac{Q^2 T}{g A^3}} \quad (12)$$

$$y_{i+1} = y_i + \frac{dy}{dx} (x_{i+1} - x_i) \quad (13)$$

$$y_{i+1} = y_i + \frac{dy}{dx} \Delta x_i \quad (14)$$

Apabila Δx_i kecil maka dapat dianggap bahwa nilai dy/dx berubah secara linier di sepanjang pias Δx_i sehingga:

$$y_{i+1} = y_i + \frac{\left(\frac{dy}{dx}\right)_i + \left(\frac{dy}{dx}\right)_{i+1}}{2} \Delta x_i \quad (15)$$

Atau

$$y_{i+1} = y_i + \frac{f_i + f_{i+1}}{2} \Delta x_i \quad (16)$$

Dengan

$$f = \frac{dy}{dx}$$

Kombinasi bentuk di atas berarti:

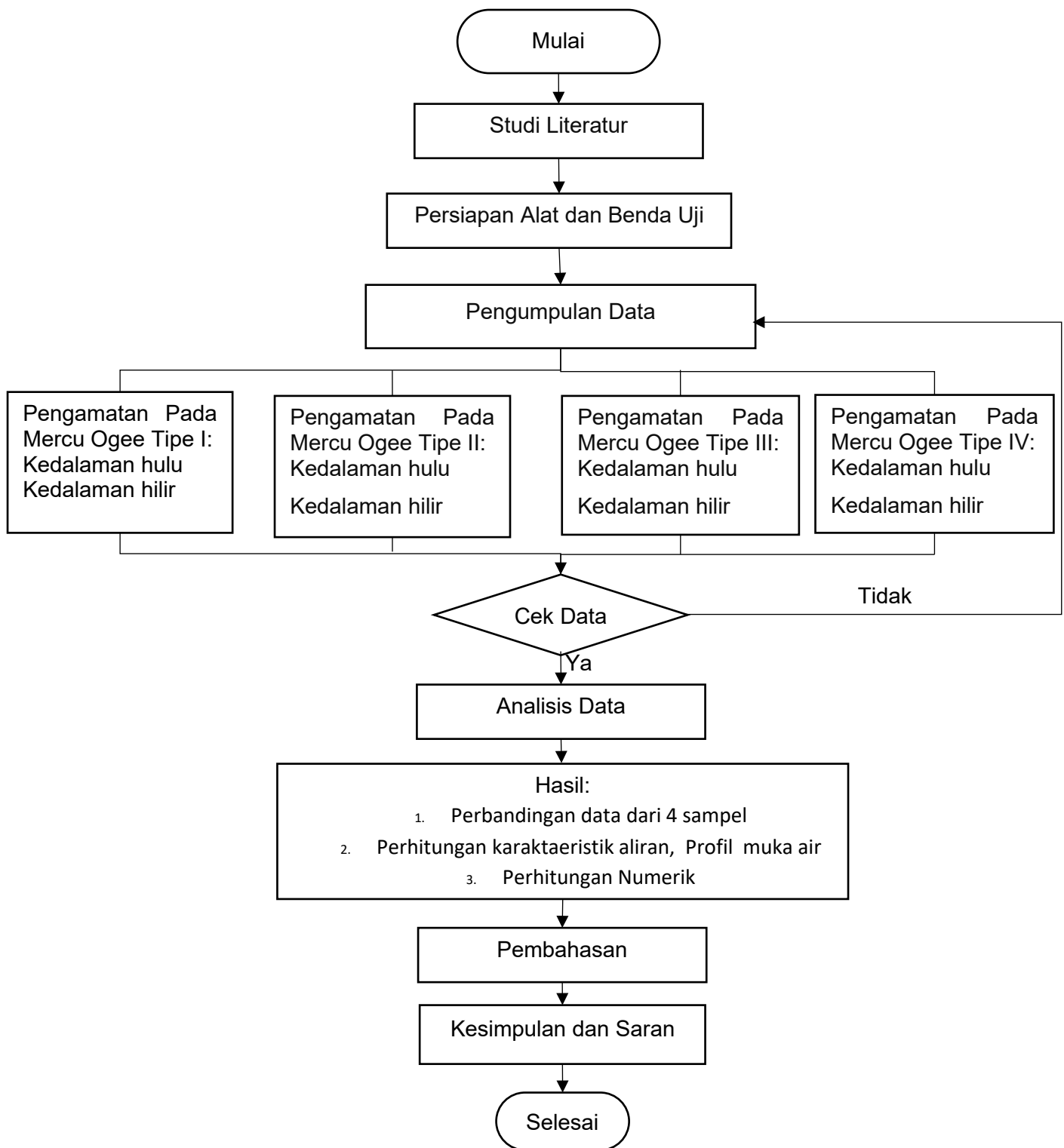
$$f = \frac{I_0 - \frac{n^2 Q^2}{A^2 R^{4/3}}}{1 - \frac{Q^2 T}{g A^3}} \quad (17)$$

METODE PENELITIAN

Data Penelitian

Dalam melakukan penelitian dengan permodelan membutuhkan data yang menggambarkan kondisi sebenarnya di lapangan. Data yang dibutuhkan adalah sebagai berikut ini.

1. Ketinggian air di hulu bendung (H_0).
2. Kecepatan aliran (v)
3. Tinggi muka air hulu ($H_0=m$), dan hilir ($h_1=m$)
4. Bilangan Froude (Fr)



Gambar 3 Bagan Alir Penelitian

Analisis dan pembahasan

Analisis Data Penelitian

Pengambilan data eksperimen dilakukan secara langsung di Laboratorium Hidrolika Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia. Pengambilan data dilakukan dengan membuat simulasi mercu bendung yang di letakkan pada alat *Hydraulic Flume* di Laboratorium dan kemudian akan dialiri air. Beberapa data yang diambil adalah sebagai berikut ini:

1. Data karakteristik aliran
 - a. Tinggi variasi air di hulu (H_0)
 - b. Tinggi air setiap stasiun (h_i)
 - c. Jarak stasiun (x)
 - d. Tinggi air hilir sebelum loncat air (y_1)
 - e. Tinggi air hilir setelah loncat air (y_2)
 - f. Panjang loncat air (L_j)
 - g. Volume (V)
 - h. Waktu yang diperlukan untuk menampung air (t)

Data yang sudah diperoleh dari eksperimen harus dianalisis untuk mendapatkan hasil sesuai dalam penelitian. Beberapa sampel perhitungan yang akan diuraikan adalah sebagai berikut.

1. Debit Aliran
2. Kecepatan Aliran
3. Perhitungan Angka Froude
4. Perhitungan panjang loncat air
5. Perhitungan Profil Muka Air Metode Integrasi Numerik.

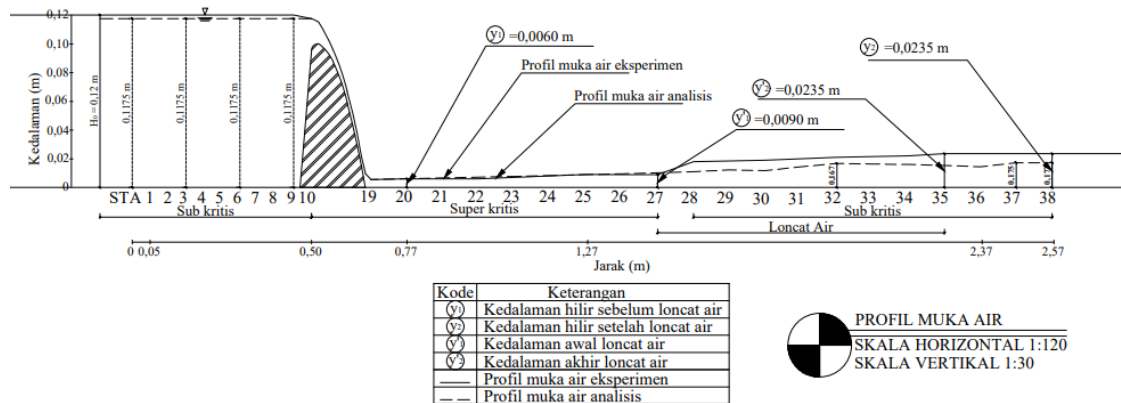
Berikut merupakan tabel hasil perhitungan

Table 9 Hasil Perhitungan variasi $H_0=0,11$ m

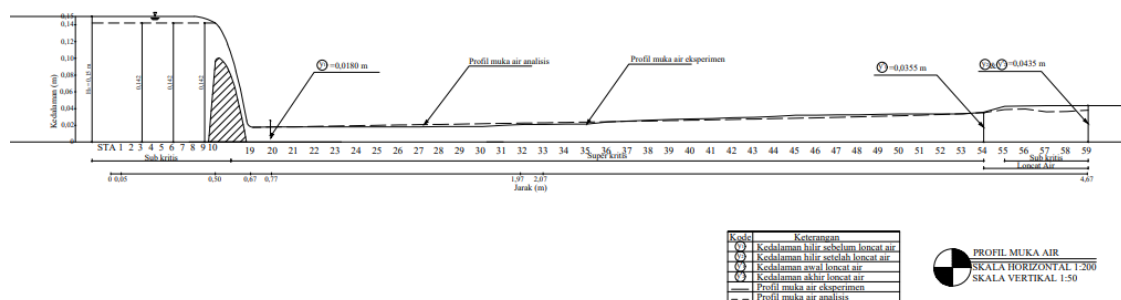
Mercu Ogee 2										
(H_0) (m)	Sta a	Jarak (m)	Kedalaman Terukur (m)	Kedalaman Teoritis (m)	Selisih	Debit (m^3/det)	v (m/det)	Fr	Jenis Aliran	Klasifikasi Aliran
0,12	1	0,05	0,1200	0,1180016	0,0019984	0,00048 7	0,040 6	0,037 4	subkritis	Aliran Tetap Tidak Seragam Berubah Beraturan
	2	0,10	0,1200	0,1180015	0,0019985		0,040 6	0,037 4	subkritis	
	3	0,15	0,1200	0,1180013	0,0019987		0,040 6	0,037 4	subkritis	
	4	0,20	0,1200	0,1180012	0,0019988		0,040 6	0,037 4	subkritis	
	5	0,25	0,1200	0,1180010	0,0019990		0,040 6	0,037 4	subkritis	
	6	0,30	0,1200	0,1180009	0,0019991		0,040 6	0,037 4	subkritis	
	7	0,35	0,1200	0,1180007	0,0019993		0,040 6	0,037 4	subkritis	
	8	0,40	0,1200	0,1180006	0,0019994		0,040 6	0,037 4	subkritis	

Mercu Ogee 2											
(Ho) (m)	Sta	Jarak (m)	Kedalaman Terukur (m)	Kedalaman Teoritis (m)	Selisih	Debit (m ³ /det)	v (m/det)	Fr	Jenis Aliran	Klasifikasi Aliran	
	9	0,45	0,1200	0,1180004	0,0019996		0,040 6	0,037 4	subkritik	Aliran Tetap Tidak Seragam Berubah Cepat	
	10	0,50	0,1180		0,1180000		0,041 3	0,038 4	subkritik		
	11	0,52	0,1125				0,390 0	0,371 2	subkritik		
	12	0,54	0,1045				0,513 1	0,506 8	subkritik		
	13	0,56	0,0950				0,609 4	0,631 2	subkritik		
	14	0,58	0,0820				0,696 4	0,776 5	subkritik		
	15	0,60	0,0625				0,886 3	1,132 0	superkritik		
	16	0,62	0,0425				0,886 3	1,372 7	superkritik		
	17	0,64	0,0190				0,696 4	1,613 1	superkritik		
	18	0,66	0,0060				0,812 5	3,348 9	superkritik		
	19	0,67	0,0055	0,0055000	0,0000000		0,886 3	3,815 8	superkritik		
	20	0,77	0,0055	0,0060752	0,0005752		0,886 3	3,815 8	superkritik		Aliran Tetap Tidak Seragam Berubah Beraturan
	21	0,87	0,0055	0,0066089	0,0011089		0,886 3	3,815 8	superkritik		
	22	0,97	0,0055	0,0071457	0,0016457		0,886 3	3,815 8	superkritik		
	23	1,07	0,0060	0,0076908	0,0016908		0,812 5	3,348 9	superkritik		
	24	1,17	0,0070	0,0082504	0,0012504		0,696 4	2,657 6	superkritik		
	25	1,27	0,0090	0,0088329	0,0001671		0,541 7	1,822 9	superkritik		Aliran Tetap Tidak Seragam Berubah Beraturan
	26	1,37	0,0165	0,0094509	0,0070491		0,295 4	0,734 4	subkritik		
	27	1,47	0,0165	0,0101262	0,0063738		0,295 4	0,734 4	subkritik		
	28	1,57	0,0175	0,0109040	0,0065960		0,278 6	0,672 3	subkritik		
	29	1,67	0,0180	0,0119231	0,0060769		0,270 8	0,644 5	subkritik		

Mercu Ogee 2										
(H ₀) (m)	Sta	Jarak (m)	Kedalaman Terukur (m)	Kedalaman Teoritis (m)	Selisih	Debit (m ³ /det)	v (m/det)	Fr	Jenis Aliran	Klasifikasi Aliran
	30	1,77	0,0190	0,0164240	0,0025760		0,2566	0,5943	subkritik	
	31	1,87	0,0195	0,0159615	0,0035385		0,2500	0,5716	subkritik	
	32	1,97	0,0200	0,0153628	0,0046372		0,2437	0,5503	subkritik	
	33	2,07	0,0205	0,0143986	0,0061014		0,2378	0,5303	subkritik	
	34	2,17	0,0215	0,0151016	0,0063984		0,2267	0,4937	subkritik	
	35	2,27	0,0225	0,0137473	0,0087527		0,2167	0,4612	subkritik	
	36	2,37	0,0235	0,0114981	0,0120019		0,2074	0,4320	subkritik	
	37	2,47	0,0235	0,0130533	0,0104467		0,2074	0,4320	subkritik	
	38	2,57	0,0235	0,0152088	0,0082912		0,2074	0,4320	subkritik	



Gambar 5 Profil Muka Air Mercu Ogee 1 Pada H₀ = 0,12 m



Gambar 6 Profil Muka Air Mercu Ogee 2 Pada $H_0 = 0,15$ m

Pembahasan

Kecepatan aliran

Dari percobaan yang dilakukan terdapat 2 jenis kecepatan, Kecepatan aliran berubah beraturan dan kecepatan berubah cepat. Kecepatan berubah beraturan terjadi di hulu bendung, di hilir bendung sebelum dan sesudah loncat air. Sedangkan untuk kecepatan berubah cepat terjadi di terjunan atau di atas mercu bendung dan loncat air

Angka froude

Aliran pada hulu bendung memiliki nilai $Fr < 1$ sehingga jenis aliran nya yaitu sub kritik. Ketika air di atas bendung nilai $Fr > 1$ (aliran super kritik). Kondisi super kritik di hilir terjadi karena kedalaman hilir $<$ kedalaman kritik, sebaliknya kondisi sub kritik di hilir terjadi karena kedalaman hilir $>$ kedalaman kritik

Profil muka air

Profil muka air mercu ogee 1,2,3 dan 4 dengan variasi H_0 0,11 m sampai 0,15 m memiliki tipe profil muka air yang sama yaitu tipe *mild*. Analisis profil muka air secara teoritis dan terukur baik di bagian hulu maupun hilir didapatkan perbedaan antara tinggi muka air per-stasiunnya. Muka air bagian hulu terukur dan numerik pada kedalaman H_0 0,11 m memiliki perbedaan yang tidak signifikan, sedangkan pada kedalaman H_0 0,12 m sampai 0,15 m memiliki perbedaan signifikan ini karena perhitungan analisis numerik merupakan perhitungan yang menggunakan metode pendekatan, sedangkan analisis yang dilakukan di laboratorium merupakan pengukuran langsung sesuai dengan data lapangannya

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan, analisis data, dan pembahasan, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut.

1. Tipe profil muka air yang dianalisis yaitu Kurva M (*mild*). Pada bagian hulu bendung merupakan Kurva M1 ($y > y_n > y_c$), bagian atas mercu bendung adalah Kurva M2 ($y_n > y > y_c$) dan pada bagian hilir bendung merupakan Kurva M3 ($y_n > y_c > y$).
2. Sudut ambang bagian hulu mempengaruhi bentuk profil muka air di hulu karena semakin kecil sudut, maka tinggi profil muka air lebih turun dibandingkan dengan sudut ambang di bagian hulu yang lebih besar.

Saran

Terdapat beberapa kendala yang bisa dijadikan saran kepada peneliti yang ingin melakukan penelitian selanjutnya

1. Perlu dilakukan pengkondisian *flume* seperti kaki kaki hidraulik *flume* agar kemiringan *flume* sesuai dan layak digunakan.
2. Lebih teliti dalam mengukur tinggi-tinggi profil muka air tiap stasiun.
3. Persiapan atau pembuatan benda uji yang layak agar saat pengambilan data tidak terjadi kendala pada benda uji.

DAFTAR PUSTAKA

- Chow, V. T. (1985). *Hidrolika Saluran Terbuka, (terjemahan) Open-Channel I.* (P. Erlangga, Ed.) Erlangga: Jakarta.
- Giles, R. V. (1986). *Mekanika Fluida dan Hidraulika.* Erlangga: Jakarta.
- Gumilar, F. D. (2018). *Pengaruh Bentuk Bagian Hilir Ambang Terhadap Profil Muka Air.* Tugas Akhir Universitas Islam Indonesia: Yogyakarta.
- Anggrahini. (1997). *Hidrolika Saluran Terbuka.* CV.Dieta Pratama: Jakarta.
- Pengairan, D. (2013). *Kriteria Perencanaan Bendung Irigasi (KP 02).* Galang Persada.: Bandung.
- Pengairan, D. (2013). *Kriteria Perencanaan Bendung Irigasi (KP 04).* Galang Persada: Bandung.
- Kurniawan, M. A. (2015). *Analisis Profil Muka Air Banjir di Sungai Kedukan dalam DAS Boang Kota Palembang dengan Bantuan HEC-RAS.* Tugas Akhir Universitas Sriwijaya: Indonesia.
- Nugroho, F. A. (2018). *Pengaruh Penempatan Baffle Blocks Tipe Setengah Slinder terhadap Reduksi Panjang Loncatan Air dan Energi Aliran pada Pengalir Bendung Tipe Ogee.* Tugas Akhir Universitas Muhammadiyah Surakarta: Surakarta.
- Pangestu, A. D. (2018). *Studi Gerusan di Hilir Bendung.* Tugas Akhir Universitas Islam Indonesia: Yogyakarta.
- Permana, R. R. (2020). *Analisis Aliran Berubah Lambat Laun pada Saluran Terbuka dengan Beberapa Kemiringan dan Bangunan Air.* Tugas Akhir Institut Teknologi Nasional Bandung: Bandung.
- Raju, K. R. (1986). *Aliran Melalui Saluran Terbuka, (terjemahan) Flow Throught Open Channels.* Erlangga: Jakarta.
- Sainuddin, M. H. ((2020). *Pengaruh Bentuk Mercur Bendung Tipe Ogee terhadap Gerusan di Hilir Peredam Energi USBR III.* Tugas Akhir Universitas Muhammadiyah Makassar: Makassar.
- Triatmodjo, B. (2012). *Hidrolika I.* Beta Offset: Yogyakarta.
- Triatmodjo, B. (2015). *Hidrolika II.* Beta Offset: Yogyakarta.

PENGARUH PERUBAHAN TATA GUNA LAHAN TERHADAP DEBIT DRAINASE DI KAWASAN STRATEGIS PARIWISATA NASIONAL BOROBUDUR

Assyfa Widy Kurnia^{1*} and Pradipta Nandi Wardhana¹

¹ Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta

*Email: 17511150@students.uii.ac.id

ABSTRAK

Kawasan Strategis Pariwisata Nasional Borobudur (KSPN Borobudur) adalah kawasan pariwisata yang mengalami peningkatan jumlah penduduk setiap tahun. Kenaikan tersebut mengakibatkan berkurangnya daerah resapan air sehingga sering terjadi banjir. Dalam hal ini, perlu dilakukan analisa hubungan tata guna lahan terhadap debit drainase di KSPN Borobudur, kemudian dibandingkan debit drainase tahun 2020 dengan debit Rencana Tata Ruang Wilayah KSPN Borobudur (RTRW KSPN) dan dilakukan perhitungan desain saluran yang dapat menampung kelebihan air. Metode yang digunakan adalah metode rasional dengan penentuan koefisien limpasan berdasarkan hasil analisis Landsat 8 pada QGIS di tahun 2013, dan 2020. Saluran yang digunakan adalah U – ditch yang bersifat open channel flow. Berdasarkan hasil analisis diperoleh debit terbesar terjadi pada daerah padat penduduk yaitu catchment 3 yang di dalamnya terdapat Candi Borobudur dengan besar debit pada tahun 2013 dengan kala ulang 5 dan 10 tahun berturut – turut 7,534 m³/detik dan 8,018 m³/detik dan pada tahun 2020 periode ulang 5 dan 10 tahun yaitu 7,664 m³/detik dan 8,836 m³/detik. Perbandingan debit analisis tahun 2020 dan debit RTRW KSPN Borobudur diperoleh terdapat 4 catchment yang kurang dari debit analisis tahun 2020 sedangkan sisa catchment yang lain memiliki nilai debit analisis tahun 2020 lebih besar daripada RTRW KSPN Borobudur, adapun 4 catchment yang masih aman adalah catchment 7, catchment 11, catchment 12 dan catchment 15.

Kata kunci: Tata Guna Lahan , Debit Drainase, Koefisien Limpasan, Saluran, Citra Landsat, KSPN Borobudur.

PENDAHULUAN

Jumlah penduduk terus mengalami peningkatan, hal ini karena bertambahnya lahan kawasan permukiman sehingga kawasan resapan semakin berkurang. Berdasarkan data Badan Pusat Statistik Kabupaten Magelang (BPS Magelang) pada tahun 2010 jumlah penduduk di Kabupaten Magelang sebanyak 1.181.916 menjadi 1.279.625 di tahun 2018. Pertambahan penduduk, menyebabkan daerah resapan air berkurang sehingga air yang seharusnya terinfiltrasi ke dalam tanah melimpas ke sungai dan mengakibatkan terjadinya banjir di daratan.

Kawasan Strategis Pariwisata Nasional Borobudur (KSPN Borobudur) adalah salah satu kawasan pariwisata padat penduduk yang juga menjadi sektor penunjang perekonomian di Kabupaten Magelang. Cakupan wilayah Borobudur ditetapkan pada Perpres Nomor 58 Tahun 2014 tentang Rencana Tata Ruang Wilayah Borobudur (RTRW Borobudur) dan sekitarnya dengan mempertimbangkan beberapa aspek sebagai berikut:

1. Perlindungan situs Candi Borobudur, Candi Pawon, dan Candi Mendut,
2. Sebaran situs purbakala yang belum tergalai, dan,
3. Pengendalian bentang pandang Candi Borobudur yang terbagi menjadi 2 sub kawasan yaitu:
 - a. Sub kawasan pelestarian 1 (SP-1) dengan luas 1.344 Ha dari pusat candi hingga radius 5 Km, merupakan kawasan pelestarian utama.

- b. Sub kawasan pelestarian 2 (SP-2) dengan luas 6.779 Ha, berada setelah radius 5 Km hingga radius 10 Km, termasuk sebagian wilayah Kulon Progo

Dalam perkembangannya, terdapat beberapa lokasi daerah genangan yang terjadi pada sistem jaringan jalan utama menuju kawasan strategis pelestarian wilayah Candi Borobudur. Berdasarkan informasi, Desa Ngrajeg Kecamatan Mungkid tanggal 26 Oktober 2020, ruas jalan terendam air sebatas mata kaki sepanjang tiga kilometer akibat meluapnya saluran drainase di sisi kiri dan kanan jalan (Hidayat, 2020). Genangan yang terjadi pada KSPN Borobudur dengan intensitas tinggi mengakibatkan pergerakan lalu lintas masyarakat menjadi terbatas.

Berdasarkan hal tersebut, terjadilah gangguan lingkungan dan kerugian ekonomi dari segi pariwisata KSPN Borobudur, sehingga perlu dianalisis hubungan tata guna lahan dan debit drainase pada KSPN Borobudur.

PERMASALAHAN DRAINASE PERKOTAAN

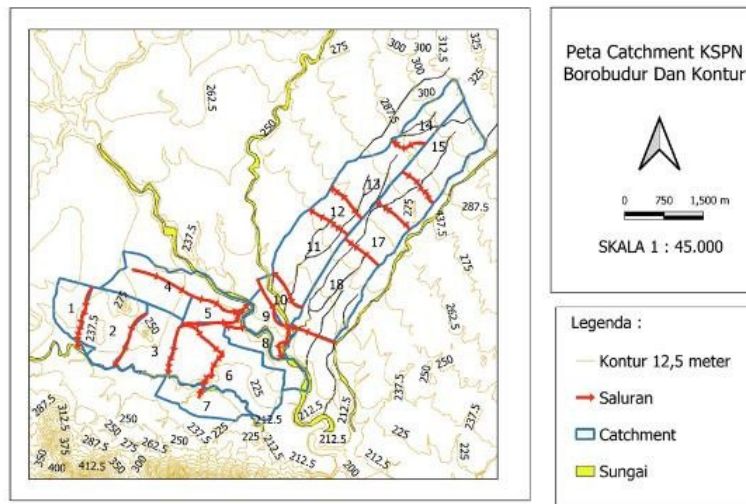
Menurut Undang – Undang Nomor 17 Tahun 2019 tentang Sumber Daya Air, air adalah semua air yang terdapat di atas maupun di bawah permukaan tanah, termasuk dalam pengertian ini adalah air permukaan, air tanah, air hujan, dan air laut yang berada di darat. Air yang meluap melebihi saluran drainase disebut banjir. Banjir adalah salah satu peristiwa yang sangat mengganggu manusia, sehingga perlu dilakukan penanganan sedini mungkin agar dapat mencegah terjadinya banjir dalam jangka waktu yang cukup lama, oleh sebab itu dibutuhkan penerapan pengelolaan drainase perkotaan yang baik di kawasan tersebut. Menurut Kementerian Pekerjaan Umum dan Rumah Rakyat PUPR Nomor 12/PRT/M/2014 dalam perkembangannya pengelolaan drainase perkotaan bertujuan untuk:

1. Mewujudkan penyelenggaraan sistem drainase perkotaan yang memenuhi persyaratan tertib administrasi, ketentuan teknis, ramah lingkungan dan memenuhi keandalan kelayakan,
2. Menciptakan lingkungan yang sehat dan bebas dari genangan,
3. Meningkatkan konservasi dan pendayagunaan air

Dari ketiga tujuan tersebut, diharapkan analisa tata guna lahan dapat membantu pengelolaan drainase perkotaan yang lebih baik di masa mendatang.

CATCHMENT AREA

Berdasarkan permasalahan drainase perkotaan yang ada pada KSPN Borobudur maka, ditentukan *catchment – catchment* untuk menentukan daerah – daerah yang rawan banjir. Penentuan *catchment* ditentukan berdasarkan elevasi kontur, arah saluran eksisting KSPN Borobudur, dan sungai serta anak sungai yang terdapat pada KSPN Borobudur. Gambar Peta *Catchment* KSPN Borobudur dan Kontur dapat dilihat pada Gambar 1 berikut.



Gambar 1 Peta *Catchment* KSPN Borobudur dan Kontur

METODE PENELITIAN

Langkah – langkah dalam melakukan metode penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Analisis Curah Hujan

Pada analisis hujan digunakan data curah hujan harian yang didapat dari pos hujan di PU SDA Taru Probolo dari tahun 2007 - 2017.

2. Analisis Hujan Kawasan

Pada analisis hujan kawasan digunakan metode poligon *Thiessen* pada KSPN Borobudur.

3. Analisis Catchment

Dalam melakukan analisis penentuan catchment, dilakukan penentuankawasan catchment berdasarkan elevasi, kontur, dan arah aliran saluran pada KSPN Borobudur.

4. Analisis Penentuan Distribusi pada Parameter Statistik

Pada analisis ini, dilakukan perhitungan parameter statistik untuk menentukan distribusi yang memenuhi syarat pada parameter statistik

5. Uji Kecocokan

Distribusi terpilih berdasarkan parameter statistik, kemudian dilakukan uji kecocokan guna untuk mengetahui kecocokan distribusi terhadap data yang ada.

6. Analisis Distribusi

Distribusi yang lolos uji kecocokan, selanjutnya dihitung untuk mendapatkan nilai hujan harian maksimum tahunan

7. Analisis Tata Guna Lahan

Peta – peta yang telah diperoleh dari USGS, kemudian dianalisis di QGIS untuk menentukan nilai koefisien limpasan (C) masing – masing catchment pada KSPN Borobudur.

8. Analisis Debit Drainase

Setelah didapat nilai koefisien limpasan di KSPN Borobudur, kemudian dilakukan analisis debit drainase dengan menggunakan metode rasional, lalu hasil yang didapat dibandingkan dengan hasil analisis debit drainase RTRW KSPN Borobudur.

9. Analisis Dimensi Saluran dan Bangunan Terjun

Setelah hasil debit rencana tahun terakhir dibandingkan dengan debit rencana RTRW KSPN Borobudur, dihitung dimensi saluran setiap catchment agar dapat menampung air hujan dalam jangka periode ulang tertentu.

HASIL DAN PEMBAHASAN

INTENSITAS HUJAN

Curah Hujan Kawasan

Dalam penentuan curah hujan kawasan digunakan metode poligon *thiessen* adapun rumusnya adalah sebagai berikut.

$$d = \frac{A_1 d_1 + A_2 d_2 + A_3 d_3 + \dots + A_n d_n}{A_1 + A_2 + A_3 + \dots + A_n} \quad (1)$$

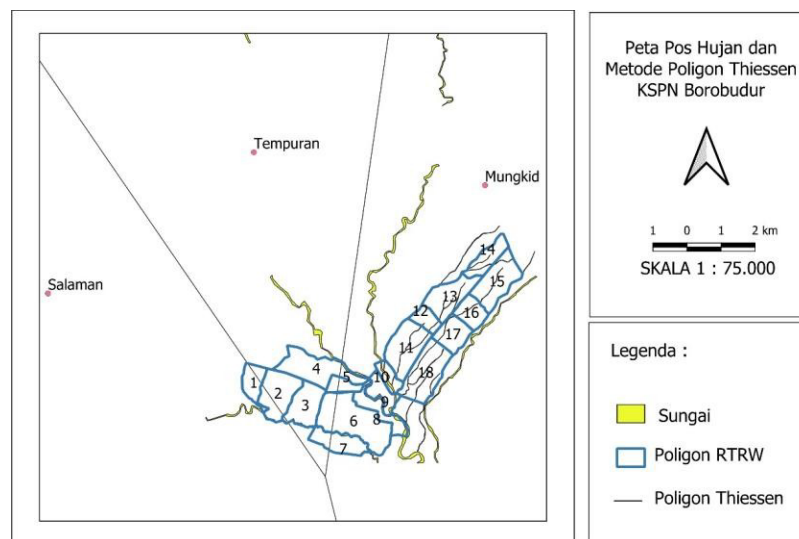
dengan :

$$A_1 + A_2 + A_3 + \dots + A_n = \text{Luas daerah (km}^2\text{)}$$

$$d = \text{Tinggi hujan rata – rata daerah (mm)}$$

$$d_1 + d_2 + \dots + d_n = \text{Tinggi hujan pada pos penakar 1,2,\dots,n (mm)}$$

Berdasarkan hasil analisis curah hujan kawasan pada KSPN Borobudur, digunakan 3 pos hujan yaitu pos hujan Salaman, Mungkid dan Tempuran. Metode poligon *thiessen* pada KSPN Borobudur dapat dilihat Pada Gambar 2 dan Tabel 1 sebagai berikut.



Gambar 2 Poligon *Thiessen*

Tabel 1 Hasil Poligon *Thiessen* KSPN Borobudur

No.	Pos Hujan	X	Y	Luas (m ²)	Persentase(%)
1.	Tempuran	410752,94	9166198	4309892	24%
2.	Mungkid	417538,26	9165237.95	12520360	71%
3.	Salaman	404720,7	9162040.45	842973	5%

Analisis Curah Hujan Harian

Setelah penentuan hasil metode hujan kawasan dengan metode poligon *Thiessen*, dapat ditentukan parameter statistik. Berdasarkan hasil parameter statistik, diperoleh besar nilai koefisien sebagai berikut:

$$1. C_v = 0,190$$

$$2. C_k = 2,926$$

$$3. C_s = - 0,515$$

Dari ketiga nilai koefisien tersebut ditentukan nilai persyaratan parameter statistik distribusi terpilih, adapun table hasil dapat dilihat pada Tabel 2 berikut.

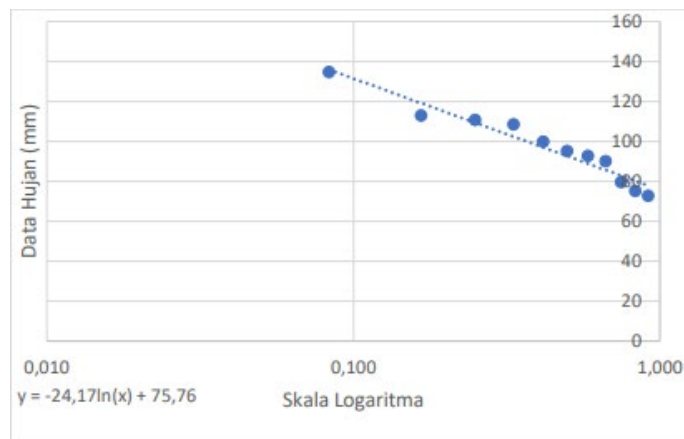
Tabel 2 Persyaratan Parameter Statistik

No	Distribusi	Persyaratan	Hasil Hitungan
1	Normal	$C_s \approx 0$	-0,515
		$C_k \approx 3$	3,926
		$(\bar{x} \pm s) = 68,27\%$	78,834
		$(\bar{x} \pm 2s) = 68,27\%$	60,304
2	Log Normal	$C_s = C_v^3 + 3C_v$	0,578
		$C_k = C_v^8 + 6C_v^6 + 15C_v^4 + 16C_v^2 + 3$	3,130
3	Gumbel	$C_s = 1,14$	-0,515
		$C_k = 5,4$	3,926
4	Log Pearson Tipe III	Selain nilai di atas	

Berdasarkan Tabel 2 pada persyaratan parameter statistik distribusi yang lolos persyaratan adalah distribusi Log Pearson Tipe III.

Uji Kecocokan

Dalam pengujian distribusi probabilitas digunakan 2 macam uji probabilitas yaitu uji Chi-Kuadrat dan uji Smirnov-Kolmogrov, tujuannya adalah untuk mengetahui apakah persamaan distribusi yang terpilih dapat mewakili distribusi statistik data – data sampel yang dianalisis. Hasil Perhitungan Uji Chi Kuadrat dan Uji Smirnov Kolmogrov dapat dilihat pada Gambar 3 dan Tabel 3 dan 4 berikut.



Gambar 3 Grafik Uji Smirnov Kolmogrov

Tabel 3 Hasil Uji Smirnov Kolmogrov

Hasil	Log Pearson Tipe III
Smirnov hitung	0.232
Smirnov kritis	0.391
Hipotesa	Diterima



Tabel 4 Hasil Uji Chi Kuadrat

Uji Chi-Kuadrat	
Hasil	Log Pearson Tipe III
Chi Kuadrat Hitung (X^2)	4,27
Chi Kuadrat Kritis (X^2_{Cr})	5,991
Hipotesa	Diterima

Berdasarkan hasil dari kedua uji kecocokan Smirnov – Kolmogrov dan uji Chi Kuadrat disimpulkan bahwa distribusi Log Pearson III dapat mewakili data – data hujan KSPN Borobudur.

Distribusi Log Pearson III

Sebelum melakukan perhitungan Log Pearson III, terlebih dahulu ditentukan nilai periode ulang KSPN Borobudur. Berdasarkan Tabel Periode Ulang pada Permen PU Nomor 12 Tahun 2004, Lampiran 1 ditentukan bahwa Kabupaten Magelang termasuk kedalam tipologi kota sedang, dengan luas *catchment area* keseluruhan lebih dari 500 hektar maka periode ulangnya adalah 5 – 10 tahun. Berdasarkan hasil parameter statistik pada Log Pearson III diperoleh rekapitulasi nilai pada Tabel 5 sebagai berikut.

Tabel 5 Periode Ulang Log Pearson III

Periode Ulang	Hasil Log Pearson III
5 Tahun	112,124 mm
10 Tahun	122,245 mm

Intensitas Hujan

Intensitas hujan adalah perbandingan kedalaman dan durasi hujan (Triatmodjo, 2008). Dalam penentuan intensitas hujan digunakan metode Mononobe dan rumus waktu konsentrasi berdasarkan Mc.Dermott (1987) pada buku “Rekayasa Hidrologi” karangan Limantara, adapun rumusnya adalah sebagai berikut.

$$I = \frac{R_{24}}{24} \left(\frac{24}{t} \right)^2 \quad (2)$$

dengan :

I = Intensitas hujan (mm/jam)

t = lama hujan (jam)

R_{24} = curah hujan maksimum harian (mm)

Sedangkan untuk perhitungan t_c rumusnya adalah sebagai berikut.

$$t_c = 0,760A^{0,38} \quad (3)$$

dengan:

t_c = Waktu Konsentrasi (jam)

A = Luas Daerah Drainase (km²)

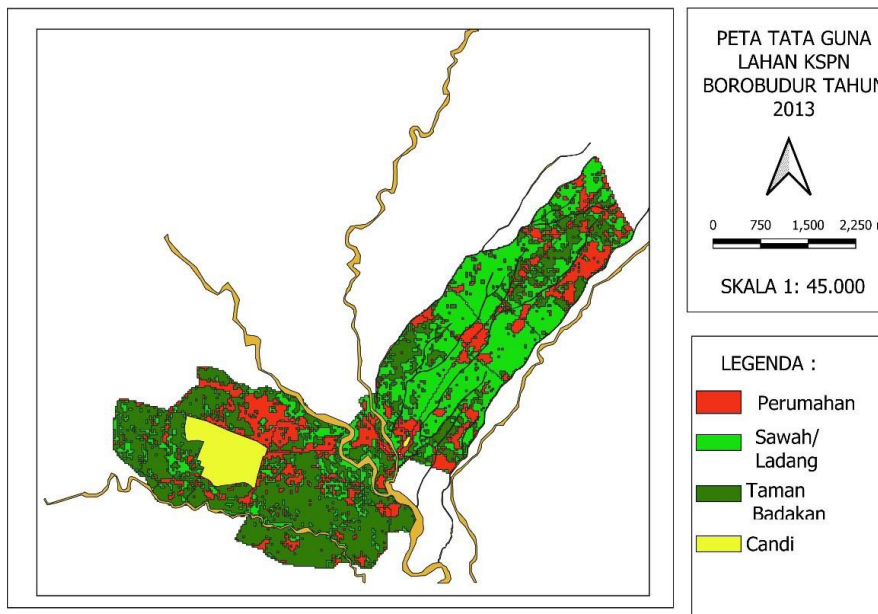
Berikut adalah rekapitulasi hasil perhitungan intensitas pada periode 5 tahun dan 10 tahun.

Tabel 6 Rekapitulasi Intensitas Hujan Periode 5 dan 10 Tahun

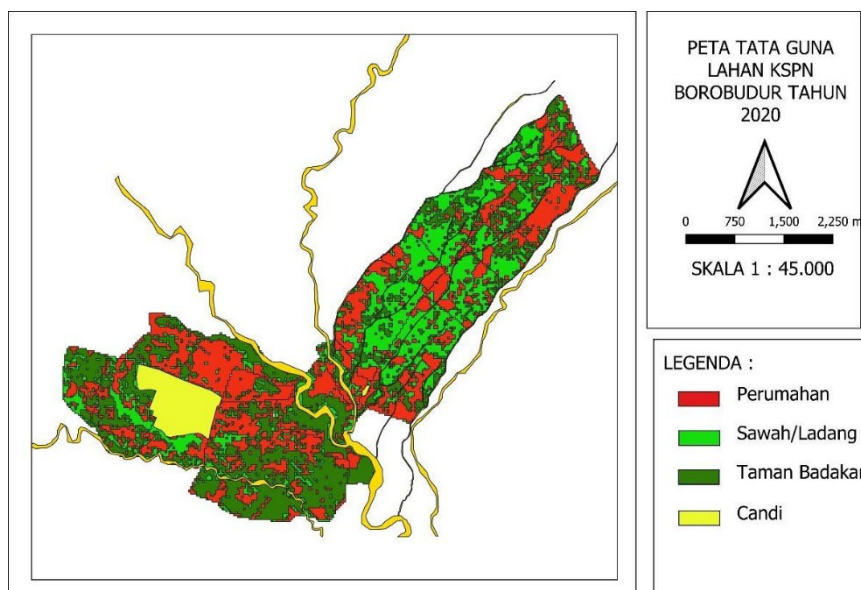
No	Catchment	t_c (Jam)	X_T (mm)5 Tahun	X_T (mm)10 Tahun	Intensitas 5 Tahun (mm/jam)	Intensitas 10 Tahun (mm/jam)
1.	Catchment 1	0,622	112,124	122,245	53,419	58,240
2.	Catchment 2	0,834	112,124	122,245	43,929	47,894
3.	Catchment 3	0,777	112,124	122,245	46,054	50,211
4.	Catchment 4	0,895	112,124	122,245	41,898	45,679
5.	Catchment 5	0,517	112,124	122,245	60,416	65,870
6.	Catchment 6	1,040	112,124	122,245	37,896	41,317
7.	Catchment 7	0,711	112,124	122,245	48,864	53,274
8.	Catchment 8	0,670	112,124	122,245	50,843	55,432
9.	Catchment 9	0,613	112,124	122,245	53,919	58,786
10.	Catchment 10	0,538	112,124	122,245	58,840	64,151
11.	Catchment 11	0,868	112,124	122,245	42,776	46,637
12.	Catchment 12	0,549	112,124	122,245	58,068	63,310
13.	Catchment 13	0,802	112,124	122,245	45,069	49,136
14.	Catchment 14	0,656	112,124	122,245	51,570	56,225
15.	Catchment 15	0,850	112,124	122,245	43,383	47,299
16.	Catchment 16	0,639	112,124	122,245	52,438	57,171
17.	Catchment 17	0,692	112,124	122,245	49,733	54,222
18.	Catchment 18	0,902	112,124	122,245	41,679	45,441

ANALISIS TATA GUNA LAHAN TERHADAP KOEFISIEN LIMPASAN

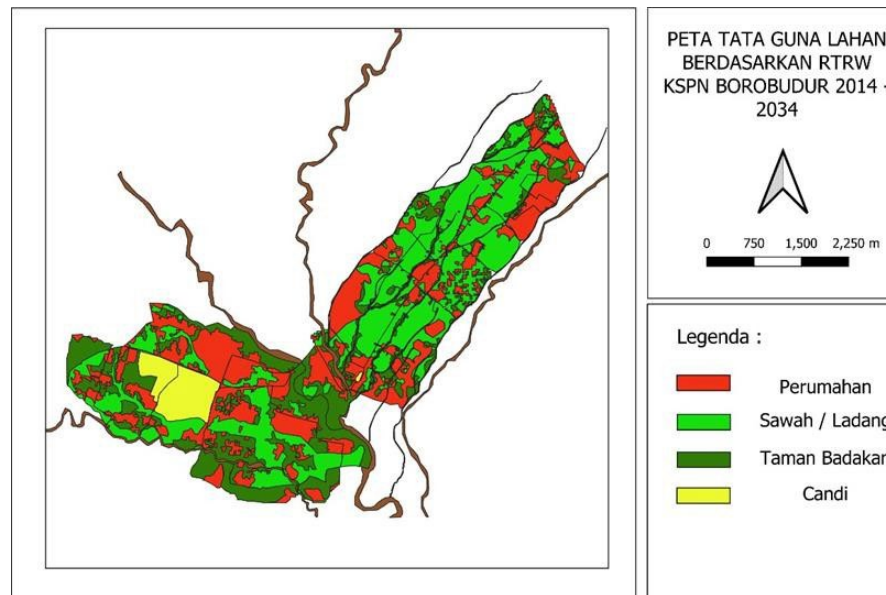
Dengan menggunakan metode *Supervised Minimum Distance Classification*, data citra satelit yang dipakai adalah *Landsat 8* dari tahun 2013, dan 2020 yang telah disediakan oleh USGS. Dalam melakukan klasifikasi tutupan lahan, klasifikasi dibagi menjadi 2 macam yaitu daerah vegetasi yang meliputi sawah/ladang, dan Taman Badakan serta daerah non vegetasi yang meliputi candi dan permukiman, kemudian dilakukan analisis pada 18 *catchment* di KSPN Borobudur sehingga dapat diperoleh besar nilai koefisien limpasan di setiap *catchment* di KSPN Borobudur. Hasil analisis peta tata guna lahan pada tahun 2013, 2020 dan RTRW KSPN Borobudur dapat dilihat berturut – turut pada Gambar 4 berikut.



Gambar 4 Peta Tata Guna Lahan KSPN Borobudur Tahun 2013



Gambar 5 Peta Tata Guna Lahan KSPN Borobudur Tahun 2020



Gambar 6 Peta Tata Guna Lahan Berdasarkan RTRW KSPN Borobudur Berdasarkan hasil analisis tata guna lahan dengan menggunakan QGIS diperoleh luasan masing – masing kawasan pada perumahan, sawah, taman badakan serta candi. Koefisien limpasan dapat dilihat pada Tabel 7 berikut.

Tabel 7 Koefisien Limpasan Berdasarkan Tipe Daerah

Tipe Daerah	C
Candi	0,70
Permukiman	0,50
Sawah/Ladang	0,20
Taman Badakan	0,15

Rekapitulasi hasil nilai koefisien limpasan pada tahun 2013, 2020, dan RTRW KSPN Borobudur dapat dilihat pada tabel 8 berikut.

Tabel 8 Rekapitulasi Koefisien Limpasan

Catchment	2013	2020	RTRW 2014 -2034
Catchment 1	0,1776	0,2405	0,2373
Catchment 2	0,3129	0,3715	0,3629
Catchment 3	0,5424	0,5652	0,5176
Catchment 4	0,2861	0,3466	0,3320
Catchment 5	0,3596	0,4161	0,4089
Catchment 6	0,2073	0,2871	0,2844
Catchment 7	0,1840	0,2250	0,2254
Catchment 8	0,2180	0,2391	0,2357
Catchment 9	0,2756	0,2840	0,2716
Catchment 10	0,2762	0,3233	0,3145
Catchment 11	0,2061	0,2864	0,2926
Catchment 12	0,2630	0,2479	0,3048
Catchment 13	0,2215	0,2479	0,2369
Catchment 14	0,2656	0,2872	0,2616
Catchment 15	0,2884	0,3375	0,3477
Catchment 16	0,2307	0,2703	0,2403

Catchment 17	0,2597	0,3018	0,2703
Catchment 18	0,2458	0,2987	0,2925

DEBIT RENCANA

Debit rencana adalah debit dengan periode ulang tertentu yang diperkirakan dapat melewati suatu bangunan – bangunan air atau sungai besar (Kamiana, 2011). Banjir dapat ditentukan berdasarkan intensitas hujan, lama waktu hujan dan luas suatu kawasan terdampak. Dalam penelitian ini digunakan metode rasional dalam penentuan debit banjir maksimum. Adapun persamaannya adalah sebagai berikut.

$$Q = 0,278 \times C \times I \times A \quad (4)$$

dengan:

Q = Debit Rencana (m³/detik)

C = Koefisien Limpasan

I = Intensitas hujan harian (mm)

A = Luas suatu kawasan tangkapan air (km²)

Rekapitulasi debit rencana pada tahun 2013, 2020 dan pada debit rencana RTRW KSPN Borobudur tahun 2014 – 2034 dapat dilihat pada Tabel 9 sebagai berikut.

Tabel 9 Rekapitulasi Debit Rencana

Catchment	2013 (m ³ /detik)		2020 (m ³ /detik)		RTRW (m ³ /detik)		Debit 2013 terhadap Debit 2020 %	Debit RTRW terhadap Debit 2020 %
	5 Tahun	10 Tahun	5 Tahun	10 Tahun	5 Tahun	10 Tahun		
Catchment 1	1,556	2,107	2,107	2,538	2,079	2,267	26%	101,3%
Catchment 2	4,876	5,790	5,790	5,890	5,656	6,166	16%	102,4%
Catchment 3	7,354	7,664	7,664	7,878	7,019	7,652	4%	109,2%
Catchment 4	5,126	6,210	6,210	6,558	5,948	6,485	17%	104,4%
Catchment 5	2,192	2,537	2,537	2,782	2,493	2,718	14%	101,8%
Catchment 6	4,992	6,913	6,913	7,127	6,847	7,465	28%	101,0%
Catchment 7	2,096	2,562	2,562	2,726	2,567	2,798	18%	99,8%
Catchment 8	2,209	2,423	2,423	2,719	2,388	2,604	9%	101,5%
Catchment 9	2,349	2,420	2,420	2,560	2,315	2,524	3%	104,5%
Catchment 10	1,820	2,130	2,130	2,343	2,072	2,259	15%	102,8%
Catchment 11	3,474	4,827	4,827	5,120	4,931	5,376	28%	97,9%
Catchment 12	1,802	1,699	1,699	1,960	2,088	2,276	-6%	81,3%
Catchment 13	3,200	3,583	3,583	4,135	3,424	3,733	11%	104,6%
Catchment 14	2,581	2,791	2,791	3,514	2,542	2,772	8%	109,8%
Catchment 15	4,663	5,458	5,458	6,610	5,622	6,129	15%	97,1%
Catchment 16	2,135	2,501	2,501	2,949	2,223	2,424	15%	112,5%
Catchment 17	2,808	3,263	3,263	3,588	2,923	3,187	14%	111,6%
Catchment 18	4,471	5,434	5,434	6,080	5,322	5,803	18%	102,1%

Berdasarkan hasil debit yang diperoleh, pada Tabel 9 perlu dilakukan pengkajian ulang terhadap beberapa *catchment area* pada KSPN Borobudur karena hasil debit yang

diperoleh hanya *catchment* 7, 11, 12 dan 15 yang tidak melampaui hasil debit RTRW KSPN Borobudur Tahun 2014 – 2034 dan untuk *catchment* lainnya sudah melewati debit Rencana Tata Ruang Wilayah KSPN Borobudur dengan jangka 2014 – 2034.

DIMENSI SALURAN DAN BANGUNAN TERJUN

Hasil pada perhitungan debit yang telah disajikan menunjukkan bahwa terdapat beberapa *catchment* yang melampaui debit yang telah direncanakan pada RTRW KSPN Borobudur tahun 2014 – 2034. Nilai debittersebut, kemudian dipertimbangkan untuk dibuat dimensi saluran prediksi dan jumlah bangunan terjun yang dibutuhkan oleh setiap *catchment*. Rekapitulasi dimensi saluran dan bangunan terjun dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 10 Rekapitulasi Dimensi Saluran dan Bangunan Terjun

No.	Lebar (m)	Tinggi(m)	V (m/s)	A (m ²)	S _{saluran}	Q _{saluran} (m ³ /detik)	Q ₁₀ (m ³ /detik)	Ket	Jumlah Bangunan Terjun
C1	1,2	1,2	1,6129	1,44	0,00150	2,328	2,30	aman	14
C2	2	2	1,8705	4	0,00110	7,787	6,31	aman	16
C3	2,3	2,3	1,9402	5,29	0,00100	10,778	8,36	aman	14
C4	2,1	2,1	1,9190	4,84	0,00110	8,869	6,77	aman	34
C5	1,6	1,6	1,4800	2,56	0,00100	4,095	2,77	aman	32
C6	2,2	2,2	1,8894	4,84	0,00100	9,573	7,54	aman	10
C7	1,6	1,6	1,5937	2,56	0,00120	4,485	2,80	aman	5
C8	1,4	1,4	1,8999	1,96	0,00200	4,056	2,64	aman	31
C9	1,4	1,4	1,8994	1,96	0,00200	4,056	2,64	aman	10
C10	1,4	1,4	1,4056	1,96	0,00100	2,868	2,32	aman	15
C11	2	2	1,7429	4	0,00100	7,424	5,38	aman	1
C12	1,4	1,4	1,3999	1,96	0,00100	2,868	2,28	aman	2
C13	1,6	1,6	1,8672	2,56	0,00150	5,015	3,91	aman	0
C14	1,6	1,6	1,5100	2,56	0,00100	4,095	3,04	aman	16
C15	2	2	1,8594	4	0,00110	7,787	6,13	aman	4
C16	1,4	1,4	1,7513	1,96	0,00160	3,627	2,73	aman	1
C17	1,8	1,8	1,5796	3,24	0,00100	5,606	3,56	aman	2
C18	2	2	1,7778	4	0,00100	7,424	5,92	aman	10

KESIMPULAN DAN SARAN

Berikut adalah kesimpulan dan saran dari penelitian ini:

1. Debit drainase pada tahun 2013, dan 2020 berdasarkan periode ulang 5 tahun dan 10 tahun mengalami peningkatan akibat meningkatnya nilai koefisien limpasan selama tahun tersebut.
2. Perbandingan RTRW KSPN Borobudur yang direncanakan 2014 – 2034 dengan hasil analisis debit drainase pada tahun 2020 menunjukkan terdapat 4 *catchment* yang aman, diantaranya adalah *catchment* 7, *catchment* 11, *catchment* 12, dan *catchment* 15.

3. Berdasarkan perbandingan maksimum debit, untuk menampung kelebihan debit – debit tersebut diperlukan adanya redesain dimensi saluran primer dengan U – *ditch* pada 18 *catchment* di KSPN Borobudur. Hal ini bertujuan untuk menanggulangi terjadinya air yang melimpas ke daratan (banjir), oleh karena itu dilakukanlah redesain pada bagian saluran primer pada tiap *catchment* dengan penggunaan bangunan terjun sebagai pengurang kecepatan alirannya.

DAFTAR PUSTAKA

- Badan Pusat Statistik Kabupaten Magelang. 2018. Penduduk dan Laju Pertumbuhan Penduduk Menurut Kecamatan di Kabupaten Magelang, 2017 dan 2018. (<https://magelangkab.bps.go.id/statictable/2019/09/12/660/penduduk-dan-laju-pertumbuhan-penduduk-menurut-kecamatan-di-kabupaten-magelang-2017-dan-2018>. 5 November 2022)
- Hidayat, W.2020. Hujan Deras Sebabkan Banjir di Wilayah Ngrajeg Mungkid (<http://beritamagelang.id/hujan-deras-sebabkan-banjir-di-wilayah-ngrajeg-mungkid>. 1 Mei 2022)
- Kamiana, I.M. 2011. Teknik Perhitungan Debit Rencana Bangunan Air. Graha Ilmu.Yogyakarta.
- Limantara, L.M. 2018. Rekayasa Hidrologi. ANDI. Yogyakarta.
- Peraturan Menteri dan Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Nomor 12 Tahun 2014 Penyelenggaraan Sistem Drainase Perkotaan. 26 September 2014. Lembaran Negara Tahun 2014 Nomor 1451. Jakarta.
- Peraturan Presiden Nomor 58 Tahun 2014 Rencana Tata Ruang Kawasan Borobudur dan Sekitarnya. 20 Junis 2014. Yogyakarta
- Undang – Undang Republik Indonesia Nomor 17 Tahun 2019 Sumber Daya Air.16 Oktober 2019. Jakarta.
- USGS. 2013. (<https://earthexplorer.usgs.gov/> 1 Mei 2022)
- USGS. 2020. (<https://earthexplorer.usgs.gov/> 1 Mei 2022)

[D]

Perkotaan yang Berkelanjutan



ANALISIS DEBIT BANJIR AKIBAT PERUBAHAN TATA GUNA LAHAN KOTA MAGELANG WILAYAH BARAT SALURAN IRIGASI PROGO MANGGIS

Gita Dwi Marsha¹ dan Pradipta Nandi Wardhana²

¹Program Studi Teknik Sipil, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta

*17511159@students.uui.ac.id

ABSTRAK

Perubahan penggunaan lahan di Kota Magelang terjadi setiap tahunnya. Pertumbuhan penduduk secara tidak langsung juga merubah tata guna lahan yang sebelumnya terbuka menjadi lahan terbangun untuk memenuhi kebutuhan. Hal ini mempengaruhi limpasan air yang terjadi karena ketidakmampuan lahan untuk menyerap air akibat berubahnya fungsi lahan. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui debit banjir yang terjadi akibat perubahan tata guna lahan antara tahun 2013, 2016, dan 2019, mengetahui perbandingan debit banjir tahun 2019 dengan debit berdasarkan RTRW, merencanakan kebutuhan dimensi saluran drainase dan mengetahui jumlah kebutuhan bangunan terjun untuk kemiringan saluran yang digunakan. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah kuantitatif yaitu penelitian yang berdasarkan pada data-data. Kemudian, data data tersebut digunakan sebagai acuan dalam menganalisis. Analisis perubahan tata guna lahan menunjukkan lahan terbangun mengalami peningkatan di semua catchment area. Daerah vegetasi mengalami penurunan di semua catchment. Sedangkan, daerah lahan kosong di beberapa catchment mengalami penurunan hingga 0%. Perencanaan saluran drainase primer menggunakan precast tipe U-ditch dan box culvert dengan dimensi bervariasi yang menghasilkan kapasitas yang mampu menampung debit limpasan air hujan.

Kata kunci: Tata Guna Lahan, Debit Banjir, Saluran Drainase

PENDAHULUAN

Indonesia mengalami pertumbuhan laju penduduk setiap tahunnya. Hal itu membuat kebutuhan akan berbagai sektor seperti industri, permukiman, dan jasa ikut meningkat karena digunakan sebagai sarana untuk memenuhi kebutuhan. Sering dijumpai terdapat banyak lahan yang beralih fungsi secara tidak terkontrol dikarenakan kebutuhan lahan untuk pembangunan begitu banyak, sementara luas lahan yang tersedia tidak bertambah atau terbatas. Perubahan fungsi lahan tersebut menjadi salah satu faktor yang berpengaruh terhadap peningkatan atau penurunan debit banjir dalam kasus ini terjadi di Kota Magelang.

Kota Magelang secara geografis terletak pada 110° 12' 30" - 110° 12' 52" BT dan 07° 26' 28" - 07° 30' 09" LS. Secara topografis, kota ini merupakan dataran tinggi dengan lebih dari 380 m di atas permukaan laut. Kota ini juga berada di antara sungai besar yaitu Sungai Elo di sisi timur dan Sungai Progo di sisi barat yang membuat Kota Magelang awalnya merupakan kota yang bebas banjir.

Kota Magelang belum memiliki sistem drainase tersendiri, drainase yang tersedia sekarang merupakan gabungan antara saluran drainase dan saluran irigasi. Meluapnya saluran irigasi Progo Manggis karena peningkatan limpasan hujan membuat terciptanya beberapa titik genangan di berbagai wilayah ketika hujan berlangsung. Sehingga perlu diketahui seberapa besar perubahan debit banjir yang diakibatkan perubahan tata guna



lahan dan kebutuhan saluran drainase yang mampu menampung limpasan air hujan yang terjadi.

Berdasarkan identifikasi masalah, maka dapat dibuat rumusan masalah sebagai berikut.

1. Berapa besar perubahan debit banjir yang diakibatkan oleh perubahan tata guna lahan yang terjadi di Kota Magelang dari tahun 2013, 2016, dan 2019?
2. Bagaimana perbandingan debit banjir tahun 2019 dengan debit berdasarkan Rencana Tata Ruang Wilayah Kota Magelang?
3. Berapakah kebutuhan dimensi saluran drainase primer agar dapat menampung limpasan air hujan?

Tata Guna Lahan

Tata guna lahan adalah ketentuan tentang pengaturan penggunaan lahan. Menurut Undang-Undang Pokok Agraria, tata guna lahan merupakan struktur dan pola pemanfaatan tanah, baik yang direncanakan maupun tidak, juga meliputi persediaan tanah, peruntukan tanah, penggunaan tanah dan pemeliharannya.

Penggunaan lahan pada suatu daerah memiliki pola tertentu dan perkembangannya dapat diestimasi. Sedangkan, alih fungsi lahan memiliki pengertian perubahan atau penyesuaian peruntukan penggunaan lahan disebabkan oleh faktor-faktor keperluan untuk memenuhi kebutuhan penduduk.

Debit Banjir

Penelitian ini menggunakan salah satu metode perhitungan debit banjir yaitu dengan metode rasional. Rumus umum metode rasional adalah melalui persamaan berikut.

$$Q_t = 0,278 C.I.A \quad (1)$$

Dengan :

- Q_t = Debit banjir (m^3/dtk)
 C = Koefisien pengaliran
 I = Intensitas hujan (mm/jam)
 A = Luas daerah aliran (km^2)

Saluran Drainase

Saluran Drainase adalah saluran yang memiliki fungsi untuk menyalurkan kelebihan air dari sebuah kawasan untuk menghindari genangan air pada permukaan. Terdapat berbagai jenis klasifikasi drainase oleh bentuk, lokasi, fungsi, dan konstruksi.

Metode Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan beberapa tahapan, yaitu sebagai berikut.

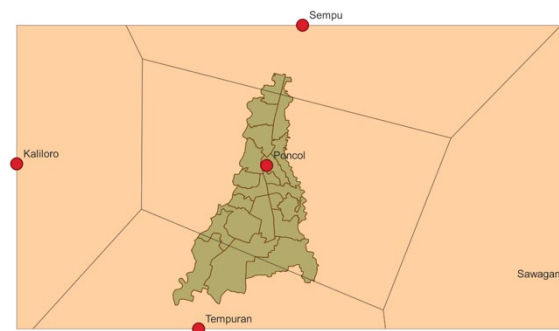
1. Perhitungan hujan kawasan menggunakan metode Thiessen untuk perhitungan hujan kawasan. Sehingga nantinya didapatkan nilai hujan maksimum tahunan.
2. Analisis frekuensi untuk mengetahui jenis distribusi yang akan digunakan dalam perhitungan hujan rancangan dalam periode kala ulang. Adapun tahapannya sebagai berikut,
3. Perhitungan hujan rencana dalam periode ulang
4. Perhitungan distribusi probabilitas yang sesuai dengan kaidah statistika. Penentuan jenis distribusi ini disyaratkan oleh beberapa faktor. Nilai dari perhitungan ini nantinya mempengaruhi besarnya nilai hujan rencana.

5. Uji kecocokan dengan menggunakan metode keselarasan distribusi yaitu metode Chi-Square dan uji Smirnov-Kolmogorov.
6. Penentuan catchment area dengan membuat wilayah wilayah tangkapan air yang berdasarkan kepada saluran dan arah aliran existing yang tersedia di Kota Magelang.
7. Analisis tutupan lahan, dengan cara mendigitasi image dari peta penggunaan lahan pada tahun 2013, 2016, dan 2019 dengan bantuan program QGIS. Output dari analisis merupakan klasifikasi penggunaan lahan yang digunakan untuk menghitung koefisien limpasan.
8. Perhitungan intensitas hujan dengan menghitung nilai waktu kosentrasi (T_c) dengan rumus Australlian Rainfall Runoff kemudian digunakan metode Dr. Mononobe dengan perhitungan kala ulang 10 tahun.
9. Perhitungan nilai koefisien limpasan
10. Perhitungan debit banjir menggunakan metode rasional dengan intensitas hujan, koefisien limpasan, dan luasan sesuai dengan analisis pada poin sebelumnya.
11. Analisis perbandingan debit banjir tahun 2019 dan RTRW.
12. Perencanaan dimensi saluran drainase dengan menggunakan material precast

HASIL PENELITIAN

Hujan Kawasan

Hujan harian maksimum dianalisis dengan menggunakan Metode Thiessen dengan aplikasi QGIS. Terdapat 5 stasiun yang berada di sekitar area yang diteliti. Namun, hanya terdapat 3 stasiun yang mempengaruhi Kota Magelang. Stasiun Sempu mewakili seluas 0,7134 km² atau sebesar 2%, Stasiun Poncol mewakili seluas 23,3667 km² atau sebesar 73%, dan Stasiun Tempuran mewakili sebesar 8,0235 km² atau 25%. Adapun nilai curah hujan kawasan maksimum dapat dilihat pada Tabel 1.



Gambar 1 Polygon Thiessen

Tabel 1 Hujan Kawasan

Tahun	Curah Hujan Kawasan (mm)												Maks
	Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Agst	Sep	Okt	Nov	Des	
2007	27	56	54	43	23	40	9	0	4	39	44	71	71
2008	50	69	70	71	44	13	0	0	5	58	120	57	120
2009	47	41	38	53	42	44	24	5	17	19	20	42	53
2010	56	48	49	29	52	33	44	16	67	60	35	43	67
2011	42	85	29	44	40	15	13	1	13	10	28	43	85
2012	58	60	51	51	30	48	7	0	0	29	49	50	60
2013	82	72	92	46	36	46	58	0	2	43	30	42	92
2014	58	59	55	54	102	29	54	9	2	19	52	46	102
2015	54	57	69	68	19	39	0	0	0	0	33	71	71
2016	27	49	45	53	24	59	42	49	64	48	58	80	80
2017	70	57	63	65	62	23	48	0	40	42	38	52	70

Analisis Frekuensi

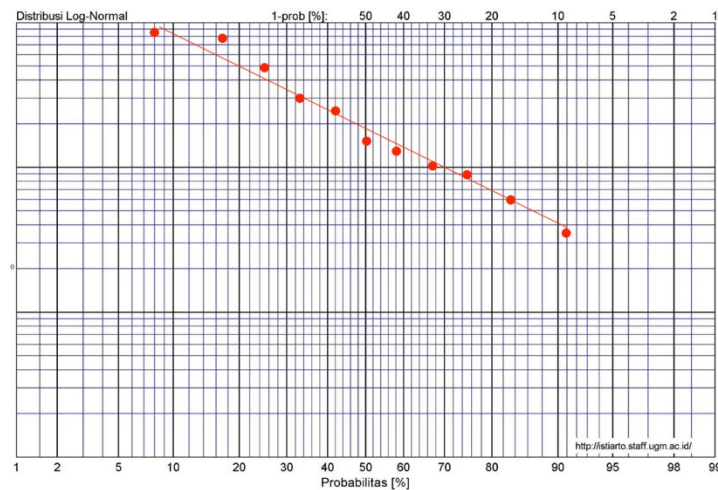
Analisa frekuensi dilakukan dengan mencari nilai koefisien variasi, kurtosis, dan asimetri. Hasil perhitungan prinsip statistik menunjukkan bahwa distribusi Log Pearson III memenuhi untuk perhitungan hujan rencana kala ulang. Kemudian analisa frekuensi Kembali dihitung dalam nilai logaritma sehingga didapatkan nilai standar deviasi sebesar 0,102; koefisien asimetri sebesar 0,398; koefisien variasi sebesar 0,054; dan koefisien kurtosis sebesar -0,115.

Tabel 2 Syarat Distribusi Statistik

Jenis Sebaran	Syarat	Hasil
Normal	$C_s \approx 0$	0,897
	$C_k = 3$	0,557
Gumbel	$C_s \leq 1,1396$	0,897
	$C_k \leq 5,4002$	0,557
Log Pearson tipe III	$C_s \neq 0$	
Log Normal	$C_s \approx 3C_v + C_v^2 = 3$	0,797
	$C_k = 5,383$	0,557

Uji Keselarasan Distribusi

Uji keselarasan distribusi pada penelitian ini dilakukan dengan metode Chi Kuadrat dan Smirnov Kolmogorov. Pada uji keselarasan distribusi, data hujan harus diurutkan dari nilai terbesar hingga terkecil. Dalam menghitung nilai probabilitas (P') perlu dibuat kurva regresi linear yang menunjukkan hubungan antara nilai data (X_i) dengan peluang teoritis (P) Berdasarkan grafik didapatkan persamaan $y = -25,9 \ln(x) + 56,082$. Nilai y di substitusikan menggunakan nilai X_i sehingga didapatkan nilai x atau P' .



Gambar 2 Grafik Regresi Linear

Uji keselarasan distribusi menunjukkan bahwa nilai χ^2 analisis $< \chi^2$ tabel ($1,273 < 5,991$) pada uji Chi Kuadrat dan $D_{maks} < D_{kritis}$ ($0,093 < 0,41$) pada uji Smirnov Kolmogorov. Hal tersebut menunjukkan bahwa metode distribusi Log Pearson III memenuhi untuk menghitung curah hujan rencana.

Tabel 3 Hasil Uji Chi-Kuadrat

Kelas	Interval	E_i	O_i	$O_i - E_i$	$(O_i - E_i)^2 / E_i$
1	$>93,5889$	2,2	2	0,2	0,018
2	$93,5889 - 78,6947$	2,2	3	-0,8	0,291
3	$79,1185 - 69,2400$	2,2	3	-0,8	0,291
4	$69,9801 - 63,1075$	2,2	1	1,2	0,655
5	$<63,1075$	2,2	2	0,2	0,018
Jumlah		11	11	0	1,273

Tabel 4 Hasil Uji Smirnov Kolmogorov

Curah Hujan (mm)	m	P	P'	ΔP
120,028	1	0,083	0,085	0,001
101,898	2	0,167	0,171	0,004
92,436	3	0,250	0,246	0,004
84,797	4	0,333	0,330	0,003
79,576	5	0,417	0,404	0,013

Lanjutan Tabel 4 Hasil Uji Smirnov Kolmogorov

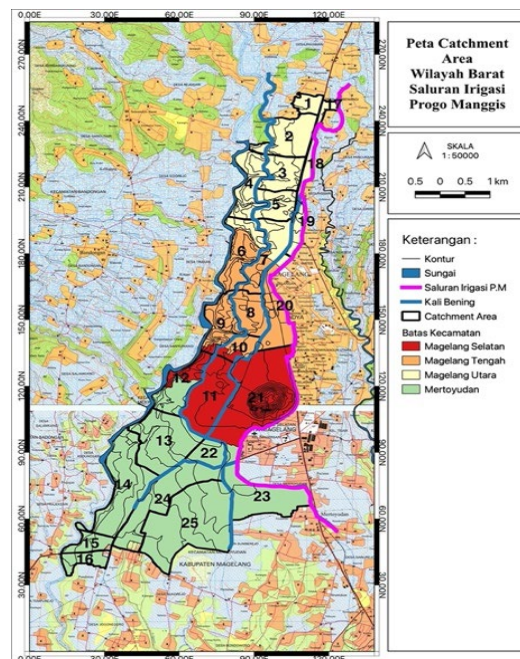
Curah Hujan (mm)	m	P	P'	ΔP
71,373	6	0,500	0,554	0,054
70,601	7	0,583	0,571	0,012
70,273	8	0,667	0,578	0,089
66,954	9	0,750	0,657	0,093
60,337	10	0,833	0,849	0,015
53,234	11	0,917	0,896	0,021
Maks				0,093

Hujan Rencana

Nilai hujan rencana dalam kala ulang 10 tahun dihitung dengan metode Log Pearson III. Nilai G (faktor frekuensi) didapatkan dari interpolasi nilai yang sesuai dengan periode ulang yang dicari. Sehingga didapatkan nilai Log X_i sebesar 2,009.

Catchment Area

Pembagian *catchment area* yang dilakukan di Kota Magelang dibuat berdasarkan kondisi drainase dan arah aliran *existing*. Adapun *catchment area* rencana sebanyak 25 yaitu sebagai berikut.



Gambar 3 Catchment Area

Intensitas Hujan dan Waktu Konsentrasi

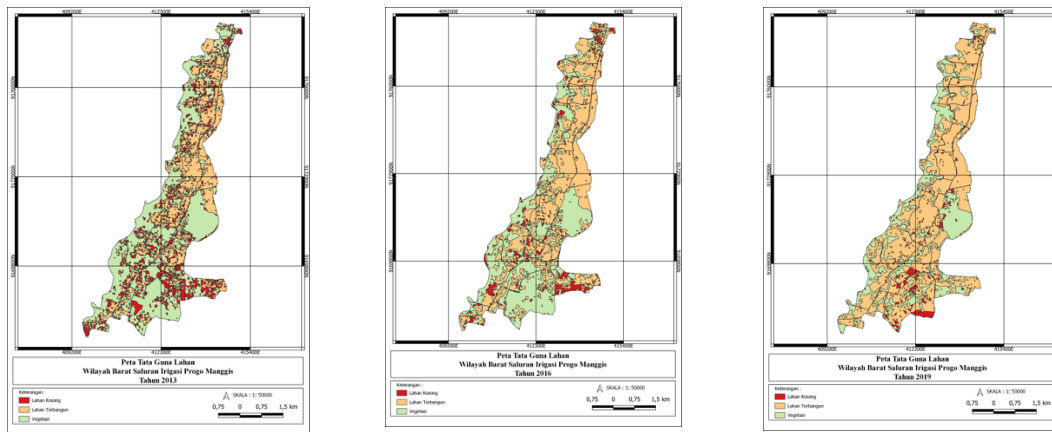
Perhitungan intensitas curah hujan dihitung dengan menggunakan metode Dr. Mononobe sedangkan waktu konsentrasi dihitung menggunakan metode *Australian Rainfall Runoff*. Kemudian berdasarkan Peraturan Pemerintah Nomor 15 Tahun 2010 tentang Penyelenggaraan Penataan Ruang Pasal 65 Ayat 3, Kota Magelang memiliki tipologi kota sedang dengan penduduk antara 100.000 – 500.000 jiwa. Maka, berdasarkan lampiran Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Nomor 12/PRT/M/2014 tentang Penyelenggaraan Sistem Drainase Perkotaan dalam perhitungan intensitas hujan maka digunakan hujan periode ulang 10 tahun sebagai perhitungan. Sehingga didapatkan nilai waktu konsentrasi dan intensitas hujan sebagai berikut.

Tabel 5 Intensitas Hujan dan Waktu Konsentrasi

No. <i>Catchment</i>	T_c (Jam)	I (mm/jam)
1	0,4356	63,538
2	0,7077	45,978
3	0,6156	50,456
4	0,6676	47,802
5	0,5853	52,185
6	0,7350	44,834
7	0,6902	46,752
8	0,6126	50,620
9	0,6631	48,016
10	0,5108	57,143
11	0,8076	42,102
12	0,6960	46,493
13	0,8547	40,541
14	0,8912	39,426
15	0,4762	59,879
16	0,4679	60,579

Analisis Tata Guna Lahan

Peta digital yang didapatkan melalui laman USGS didigitasi kemudian dipotong dengan peta *catchment area* melalui aplikasi QGIS. Dalam pembagian klasifikasi tutupan lahan, dibuat 3 macam klasifikasi. Pertama, vegetasi meliputi sawah, ladang, hutan, taman, dan perkebunan. Kedua, lahan terbangun meliputi permukiman, candi, dan gedung. Ketiga, lahan terbuka atau kosong seperti lapangan dan tanah kosong. Hasil analisis tutupan lahan tahun 2013, 2016, 2019, dan berdasarkan rencana tata ruang wilayah menunjukkan tampilan seperti berikut.



Gambar 4 Analisis Tata Guna Lahan 2013, 2016, dan 2019

8. Analisa Debit Banjir

Perhitungan debit banjir dihitung menggunakan metode rasional sesuai pada persamaan 1. Berikut adalah hasil perhitungan debit banjir.

Tabel 6 Analisa Debit Banjir

Catchment	Koefisien Limpasan (C)			Intensitas (mm/jam)	Luas Catchment (km ²)	Q (m ³ /dtk)		
	2013	2016	2019			2013	2016	2019
1	0,3530	0,3792	0,3944	63,5381	0,2312	1,4416	1,5485	1,6106
2	0,3278	0,3290	0,4052	45,9784	0,8289	3,4729	3,4857	4,2926
3	0,3173	0,3294	0,4488	50,4558	0,5744	2,5561	2,6537	3,6160
4	0,3014	0,3226	0,3330	47,8017	0,7109	2,8474	3,0477	3,1458
5	0,3151	0,3299	0,4328	52,1853	0,5028	2,2983	2,4068	3,1572
6	0,3436	0,3515	0,3713	44,8340	0,9156	3,9212	4,0113	4,2372
7	0,3139	0,3268	0,4604	46,7519	0,7760	3,1661	3,2959	4,6435
8	0,3240	0,3244	0,4802	50,6197	0,5671	1,4416	1,5485	1,6106
9	0,3409	0,3483	0,3862	48,0164	0,6985	3,4729	3,4857	4,2926
10	0,3191	0,3295	0,4497	57,1427	0,3514	2,5851	2,5889	3,8315
11	0,3412	0,3489	0,3937	42,1020	1,1735	3,1780	3,2470	3,6007
12	0,3224	0,3332	0,3786	46,4930	0,7933	1,7812	1,8395	2,5103
13	0,3300	0,3451	0,3666	40,5415	1,3622	4,6864	4,7921	5,4080
14	0,3460	0,3852	0,3927	39,4264	1,5207	3,3055	3,4161	3,8817
15	0,3412	0,3428	0,3967	59,8786	0,2922	5,0665	5,2974	5,6283
16	0,2975	0,3359	0,3536	60,5793	0,2791	5,7665	6,4204	6,5454

Lanjutan Tabel 6 Analisa Debit Banjir

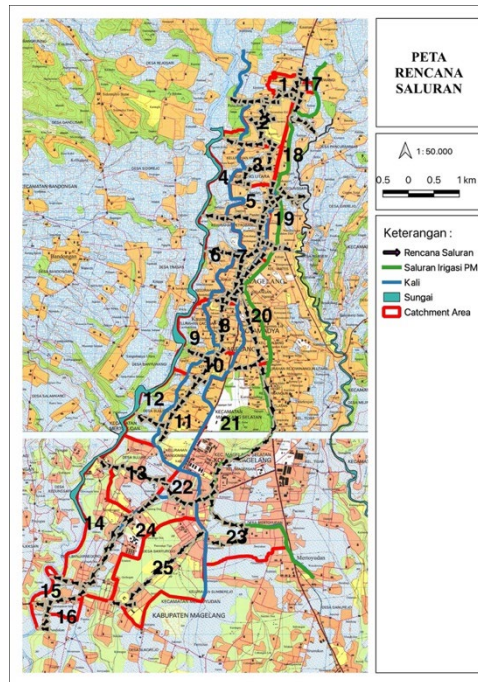
Catchment	Koefisien Limpasan (C)			Intensitas (mm/jam)	Luas Catchment (km ²)	Q (m ³ /dtk)		
	2013	2016	2019			2013	2016	2019
17	0,3085	0,3268	0,3929	77,7316	0,1043	1,6595	1,6673	1,9295
18	0,3201	0,3255	0,4737	66,3491	0,1949	1,3983	1,5788	1,6620
19	0,3250	0,3251	0,3940	63,0149	0,2389	0,6954	0,7366	0,8855
20	0,3241	0,3457	0,3811	46,8112	0,7722	1,1507	1,1701	1,7026
21	0,3122	0,3351	0,3464	34,8594	2,4723	1,3601	1,3602	1,6486
22	0,3238	0,3424	0,4312	56,8823	0,3578	3,2572	3,4740	3,8296
23	0,2969	0,3004	0,3278	42,4904	1,1317	7,4799	8,0275	8,2992
24	0,3202	0,3565	0,3742	41,4325	1,2501	1,8323	1,9374	2,4398
25	0,2494	0,2984	0,3221	35,2794	2,3581	3,9695	4,0158	4,3821

Perbandingan Debit Tahun 2019 dan RTRW

Sebagai pembandingan, dengan perhitungan yang sama, penulis membandingkan debit banjir yang dihasilkan pada tahun 2019 dengan debit banjir yang berasal dari Rencana Tata Ruang Wilayah (RTRW) Kota Magelang. Hasilnya adalah hampir di semua catchment debit banjir tahun 2019 sudah mencapai bahkan melampaui debit rencana tata ruang wilayah. Sehingga perlu adanya perencanaan drainase yang mampu menampung limpasan air tersebut.

Perencanaan Saluran

Untuk membuat saluran dapat menampung limpasan air yang ada maka perlu dilakukan perencanaan serta perhitungan rencana saluran drainase. Berikut adalah gambar lokasi perencanaan saluran drainase primer. Ukuran *Precast* yang digunakan sebagai acuan adalah *U-ditch* tipe large milik PT. Dantosan Precon Perkasa dan *box culvert* milik PT. Indojoya Mitra Perkasa. Type dan dimensi *precast* dapat dilihat di brosur pada lampiran. Pemilihan dimensi yang dipakai menggunakan '*Trial and Error*' dengan melakukan perhitungan berulang (*circular reference*) terhadap kedalaman rencana (d). Adapun Hasilnya adalah sebagai berikut.



Gambar 5 Rencana Saluan Drainase

Tabel 7 Rencana Saluran Drainase

Qlimpasan (m ³ /dtk)	Kemiringan Saluran, I	Dimensi Precast		d (m)	Fb (m)	Hbutuh (m)	A (m ²)	P (m)	R (m)	Vsaluran (m/dtk)	Qsaluran (m ³ /dtk)
		b	h								
1,611	0,0017	1,2	1,2	0,9	0,3	1,2	1,440	3,600	0,400	1,500	2,160
4,520	0,0009	2,0	2,0	1,6	0,3	1,8	4,000	6,000	0,667	1,501	6,003
3,616	0,0010	1,8	1,8	1,4	0,3	1,7	3,240	5,400	0,600	1,500	4,859
3,386	0,0011	1,6	1,8	1,5	0,3	1,7	2,880	5,200	0,554	1,499	4,317
3,157	0,0011	1,8	1,6	1,2	0,3	1,5	2,880	5,000	0,576	1,500	4,319
4,237	0,0010	1,8	2,0	1,6	0,3	1,9	3,600	5,800	0,621	1,500	5,399
4,644	0,0005	3,0	3,0	1,3	0,3	1,6	9,000	9,000	1,000	1,500	13,501
3,832	0,0005	3,0	3,0	1,1	0,3	1,4	9,000	9,000	1,000	1,500	13,502
3,601	0,0009	2,0	2,0	1,3	0,3	1,6	4,000	6,000	0,667	1,500	6,001
2,510	0,0012	1,6	1,4	1,1	0,3	1,4	2,240	4,400	0,509	1,500	3,360
5,408	0,0008	2,2	2,1	1,7	0,3	2,0	4,620	6,400	0,722	1,500	6,930
3,882	0,0009	2,0	1,8	1,4	0,3	1,6	3,600	5,600	0,643	1,500	5,400
5,628	0,0005	3,0	3,0	1,5	0,3	1,8	9,000	9,000	1,000	1,500	13,502
6,545	0,0005	3,0	3,0	1,7	0,3	2,0	9,000	9,000	1,000	1,500	13,501

Lanjutan Tabel 7 Rencana Saluran Drainase

Qlimpasan (m ³ /dtk)	Kemiringan Saluran, I	Dimensi Precast		d (m)	Fb (m)	H _{butuh} (m)	A (m ²)	P (m)	R (m)	V _{saluran} (m/dtk)	Q _{saluran} (m ³ /dtk)
		b	h								
1,929	0,0014	1,4	1,3	1,0	0,3	1,2	1,820	4,000	0,455	1,500	2,730
1,744	0,0014	1,4	1,3	0,9	0,3	1,2	1,820	4,000	0,455	1,500	2,730
0,922	0,0022	1,0	1,0	0,7	0,2	0,9	1,000	3,000	0,333	1,500	1,500
1,703	0,0015	1,4	1,2	0,9	0,3	1,1	1,680	3,800	0,442	1,500	2,520
1,649	0,0016	1,2	1,5	1,0	0,3	1,3	1,800	4,200	0,429	1,500	2,700
3,830	0,0009	2,0	2,0	1,4	0,3	1,6	4,000	6,000	0,667	1,499	5,998
8,735	0,0005	3,0	3,0	2,1	0,3	2,4	9,000	9,000	1,000	1,500	13,500
2,440	0,0013	1,4	1,6	1,2	0,3	1,5	2,240	4,600	0,487	1,499	3,359
4,778	0,0009	2,0	2,0	1,7	0,3	1,9	4,000	6,000	0,667	1,500	6,000
5,388	0,0008	2,1	2,1	1,8	0,3	2,1	4,410	6,300	0,700	1,499	6,612
8,043	0,0005	3,0	3,0	2,0	0,3	2,3	9,000	9,000	1,000	1,501	13,507

KESIMPULAN

1. Analisis perubahan tata guna lahan menunjukkan bahwa terjadi perubahan pada tata guna lahan yang terjadi antara tahun 2013 sampai 2019. Daerah lahan terbangun terlihat semakin luas sedangkan lahan kosong dan daerah vegetasi mengalami penyempitan.
2. Daerah penelitian seluruhnya mengalami peningkatan nilai koefisien limpasan karena perubahan tata guna lahan di Kota Magelang sehingga mempengaruhi debit banjir, walaupun tidak signifikan tetapi konstan meningkat di setiap tahunnya.
3. Debit banjir pada tahun 2019 di beberapa *catchment* sudah melampaui debit rencana yang dimiliki oleh RTRW Kota Magelang.
4. Kebutuhan dimensi saluran drainase untuk menampung debit limpasan air hujan bervariasi, digunakan saluran jenis *U-ditch* dan *box culvert*.

DAFTAR PUSTAKA

- Dharma, I. G., Yekti, M. I., & Permana, G. I. 2015. Pengaruh Perubahan Tata Guna Lahan Terhadap Debit Banjir. *Berkala Ilmiah Teknik Keairan*. Vol. 13 No.3. Bali.
- Earth Resources Observation and Science Center. *United States Geological Survey*. Diambil kembali dari (<https://www.usgs.gov>. Diakses Oktober 2021)
- Halim, F. 2014. Pengaruh Hubungan Tata Guna Lahan dengan Debit Banjir pada Daerah Aliran Sungai Malalayang. *Jurnal Ilmiah Media Engineering*. Vol.4 No.1:45-54. Manado.
- Kabeja, C., Li, R., Guo, J., Rwantangabo, D. E., Manyifika, M., Gao, Z., . . . Zhang, Y. 2020. The Impact of Reforestation Induced Land Cover Change (1990-2017) on Flood Peak Discharge Using HEC-HMS Hydrological Model and Satellite Observations: A Study in Two Mountain Basins, China. *Water* 2020, 12, 1347.
- Karamage, F., Zhang, C., Fang, X., Liu, T., Ndayisaba, F., Nahayo, L., . . . Nsengiyumva, J. B. 2017. Modelig Rainfall-Runoff Response to Land Use and Land Cover Change in Rwanda (1990-2016). *Water*. Franchini, M. (editor). Elsevier

- Kementrian Pekerjaan Umum, Direktorat Jendral Sumber Daya Air, Direktorat Irigasi dan Rawa. 2013. Kriteria perencanaan Bagian Bangunan KP-04. In *Standar Perencanaan Irigasi*.
- Kiefer, T., & Lillesand, R. 1979. *Penginderaan Jauh dan Interpretas Citra*. Terjemahan oleh Dulbahri, P. Suharsono, Hartono, & Suharyadi, Eds. Gajah Mada University Press. Bulak Sumur, Yogyakarta.
- Krisnayanti, D. S., Hunggurami, E., & Dhima-Wea, K. N. April, 2017. Perencanaan Drainase Kota Seba. *Jurnal Teknik Sipil FST Undana*, VI.
- Nainggolan, J., H, Y. L., & Sutikno, S. 2015. Analisis Dampak Perubahan Tata Guna Lahan DAS Siak Bagian Hulu Terhadap Debit Banjir. 9.
- Suripin. 2004. *Sistem Drainase Perkotaan yang Berkelanjutan*. Andi Offset. Yogyakarta.
- Tanudjaja, L., Wuisan, E. M., & Tangkudung, H. April, 2013. Perencanaan Sistem Drainase di Kawasan Pusat Kota Amurang. *Jurnal Sipil Statik*, 1(2337-6732), 341-349.
- Triatmodjo, B. 2008. *Hidrologi Terapan*. Beta Offset. Yogyakarta
- Wirosoedarmo, R., Anugroho, F., Sari, N. R., & Gustinasari, K. 2018. *The Study of Land Use Change to Flood Discharge In Gunting Sub-Watershed of Jombang Regency, East Java - Indonesia*. Poll Res. 37:355-361. Universitas Brawijaya. Malang

EVALUASI KINERJA RUAS JALAN KARANGNONGKO – TOYAN TERHADAP DAMPAK PEMBANGUNAN BANDARA YOGYAKARTA INTERNATIONAL AIRPORT (YIA)

Nandang Sungkono¹, Miftahul Fauziah^{2*}, Rizki Budi Utomo³, dan Muhamad Abdul Hadi⁴

¹ Satker P2JN Prov. Jawa Tengah, Balai Besar Pelaksanaan Jalan Nasional Jateng-DIY, Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat
nandang2619@gmail.com

^{2*} Program Magister Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia

miftahul.fauziah@uii.ac.id

³ Dinas Perhubungan D.I.Yogyakarta

rizqi.budi.utomo@uii.ac.id

⁴ Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia

muhamad.abdul.hadi@uii.ac.id

ABSTRAK

Pertumbuhan transportasi udara membawa dampak negatif bagi jalur akses darat menuju bandara dimana kepadatan dan kemacetan jalan semakin meningkat seiring bertambahnya jumlah orang yang mengakses bandara. Pembangunan Bandara Yogyakarta Internasional Airport (YIA) memberikan dampak peningkatan kendaraan yang signifikan pada ruas Jalan Nasional Yogyakarta – Karangnongko yang merupakan jalur utama yang menghubungkan Yogyakarta dan Bandara Yogyakarta Internasional Airport (YIA). Tindakan yang sigap harus segera dilakukan agar kondisi ini tidak memperburuk kinerja ruas jalan kedepannya, sehingga pengevaluasian kinerja ruas pasca pembangunan sangat diperlukan. Proses evaluasi ini membutuhkan beberapa data sekunder yang nantinya akan dikombinasikan sehingga didapatkan hasil analisis yang sesuai dengan kondisi lapangan. Pada penelitian, didapatkan hasil bahwa untuk 10 tahun yang akan mendatang (dimulai dari tahun 2019) kapasitas ruas jalan Karangnongko (BTS Prov Jateng) – Toyan ternyata sudah tidak memenuhi syarat maksimum yang ditetapkan pada MKJI 1997, yaitu DS yang didapat sebesar $0,88 \leq 0,85$. Sehingga diharapkan proses penanganan dalam penambahan kapasitas jalan yang tersedia harus segera ditindaklanjuti, apabila tidak segera dilakukan penanganan tersebut maka kemacetan lalu-lintas akan semakin terus meningkat seiring dengan adanya pertumbuhan lalu lintas pertahun.

Kata kunci: evaluasi kinerja, pertumbuhan lalu lintas, derajat kejenuhan

PENDAHULUAN

Transportasi merupakan sarana dan prasarana yang sangat penting dalam menunjang keberhasilan pembangunan negara seperti Indonesia. Transportasi adalah kegiatan pemindahan barang (muatan) dan atau penumpang dari suatu tempat ke tempat lain, dengan adanya transportasi diharapkan dapat menghilangkan isolasi dan memberi stimulan ke arah perkembangan di semua bidang kehidupan, baik perdagangan, industri maupun sektor lainnya dapat merata pada seluruh wilayah. Semakin pesatnya perkembangan suatu wilayah maka akan diikuti pula dengan meningkatnya volume lalu lintas yang terjadi. Dampak tersebut dapat meningkatnya kepadatan lalu lintas dan

menurunnya kecepatan dan menimbulkan penumpukan kendaraan pada titik tertentu. Padatnya lalu lintas ini berupa kendaraan bermotor baik roda dua, roda empat seperti mobil, dan dan kendaraan besar seperti bus, truk dan lain sebagainya. Hal ini disebabkan karena adanya ketidakseimbangan antara volume lalu lintas dengan kapasitas jalan yang ada dan pada akhirnya akan menimbulkan masalah kemacetan.

Perubahan struktur ruang kota akan mempengaruhi pola pergerakan yang kemudian akan membebani jaringan jalan di suatu wilayah sehingga diperlukan studi analisis dampak lalu lintas (andalalin). Berdasarkan Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 32 Tahun 2011 tentang Manajemen dan Rekayasa, Analisis Dampak, serta Manajemen Kebutuhan Lalu Lintas, analisis dampak lalu lintas (andalalin) bertujuan untuk mengetahui dampak lalu lintas terhadap rencana pembangunan pusat kegiatan, permukiman, dan infrastruktur yang akan menimbulkan gangguan keamanan, keselamatan, ketertiban, dan kelancaran lalu lintas dan angkutan jalan. Salah satunya akibat pembangunan Bandara Yogyakarta Internasional Airport (YIA) yang terletak di Kecamatan Temon, Kabupaten Kulon Progo, Daerah Istimewa Yogyakarta.

Pembangunan Bandara Yogyakarta Internasional Airport (YIA) ini memberikan dampak semakin pesatnya arus kendaraan dari arah Yogyakarta maupun luar daerah yang menuju bandara Bandara Yogyakarta Internasional Airport (YIA), peningkatan ini secara signifikan terlihat khususnya pada Jalan Nasional Yogyakarta – Karangnongko yang merupakan jalur utama yang menghubungkan Yogyakarta dan Bandara Yogyakarta Internasional Airport (YIA).

Menurut Yusmar (2013), transportasi merupakan urat nadi kehidupan berbangsa dan bernegara yang berperan sebagai penggerak, pendorong dan penunjang pembangunan. Keberhasilan pembangunan suatu wilayah, sangatlah ditentukan oleh dukungan sistim transportasi yang handal dan berkemampuan tinggi. Pertumbuhan transportasi udara membawa dampak negatif bagi jalur akses darat menuju bandara dimana kepadatan dan kemacetan jalan semakin meningkat seiring bertambahnya jumlah orang yang mengakses bandara. Permasalahan ini turut didukung oleh tingginya ketergantungan masyarakat dalam menggunakan kendaraan pribadi, sementara transportasi publik hanya menjadi alternatif yang dinilai tidak menarik untuk digunakan.

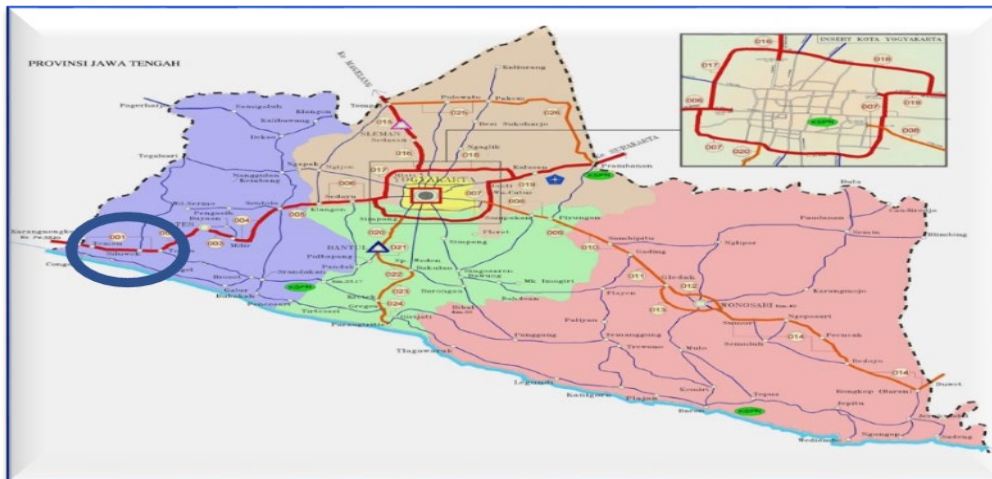
Oleh sebab itu, pentingnya evaluasi kinerja ruas pasca pembangunan bandara Bandara Yogyakarta Internasional Airport (YIA) sangat diperlukan. Pada paper ini, akan disajikan mekanisme pengevaluasian ruas jalan Karangnongko (Bts Prov Jateng) – Toyan guna mengetahui kondisi terbaru ruas agar nantinya kinerja ruas dapat dimaksimalkan untuk mengakomodasi pengguna jalan yang akan melintasi ruas jalan tersebut.

METODOLOGI PENELITIAN

Lokasi Penelitian

Lokasi yang dipilih pada penelitian ini adalah Ruas Jalan Karangnongko (Bts Prov Jateng) - Toyan yang berada Kabupaten Kulon Progo, Daerah Istimewa Yogyakarta. Ruas jalan ini merupakan jalan Nasional yang menjadi akses utama dalam menghubungkan Kota Yogyakarta – Bandara Yogyakarta International Airport.

Ruas Jalan Karangnongko (Bts Prov Jateng) - Toyan memiliki panjang kurang lebih 9,93 km. Lokasi ruas Jalan Karangnongko – Troyan secara rinci dapat dilihat pada Gambar 1 dan Gambar 2 berikut ini.



Gambar 1. Lokasi Penelitian



Gambar 2. Lokasi Penelitian Jalan Karangnongko (Bts Prov Jateng – Toyan)

Tahapan Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode survei, analisis pada spesifik kasus. Studi kasus dilakukan pada jalan daerah luar kota yang telah ditentukan sesuai kriteria lokasi penelitian. Untuk mencapai tujuan yang diharapkan maka dalam penelitian ini melalui tahapan penelitian yaitu berupa: Mengumpulkan dan mengkaji literatur yang mendukung penelitian, menyusun strategi penelitian berdasarkan permasalahan yang teridentifikasi, melakukan survei lapangan, menggambarkan bagaimana kondisi volume, kapasitas, dan kecepatan lalu lintas pada lokasi studi, mengolah data dan menganalisis hasil survey, serta mengambil kesimpulan dari penelitian yang telah dilakukan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis Arus Total

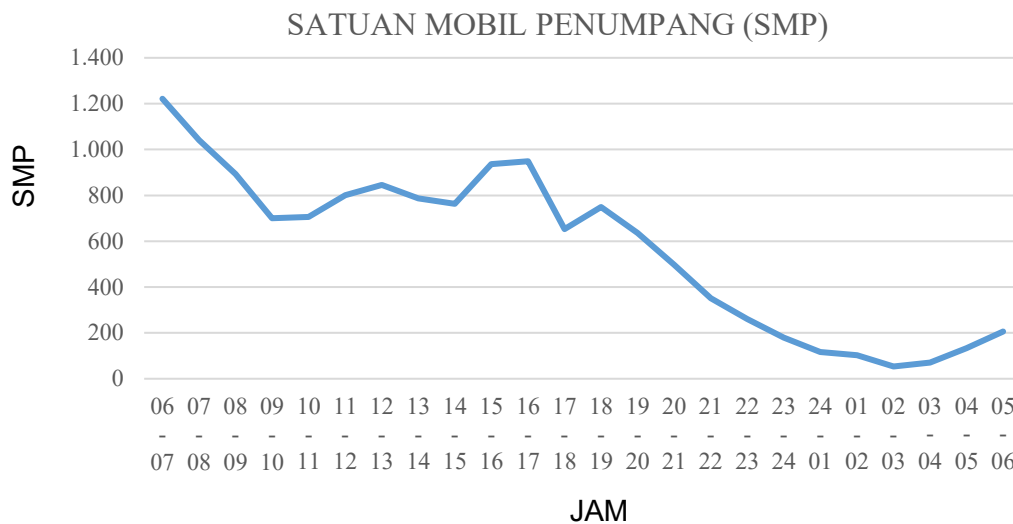
Data jumlah arus kendaraan yang melalui ruas jalan Karangnongko (Bts Prov Jateng) - Toyan diperoleh melalui survei *Traffic* dilapangan yaitu pada hari Senin dan Kamis untuk hari sibuk dan hari Minggu untuk hari libur, dengan focus kendaraan yang disurvei adalah jenis kendaraan sepeda motor (MC), kendaraan ringan (LV), kendaraan berat menengah (MHV) dan kendaraan berat (HV) sesuai dengan ketentuan pada MKJI (1997). Lebih jelasnya, data hasil pengamatan lapangan dapat dilihat pada Tabel 1 berikut.

Tabel 1. Arus Harian Ruas Jalan Karangnongko - Toyan

Hari	Tipe Kendaraan	Jumlah Kend. (Unit)	EMP	SMP/hari	LHR (Kend/hari)
Kamis, 22/08/2019	LB	527	1,2	632,4	25566
	MHV	8718	1,2	10461	
	MC	13963	0,8	11170	
	LT	1834	1,8	3301	
			Smp/hari	25566	
Minggu, 25/08/2019	LB	508	1,2	609	73438
	MHV	9531	1,2	11437	
	MC	14862	0,8	11889	
	LT	1599	1,8	49502	
			Smp/hari	73438	
Senin, 26/08/2019	LB	477	1,2	572	26667
	MHV	9526	1,2	11431	
	MC	15004	0,8	12003	
	LT	1478	1,8	2661	
			Smp/hari	26667	
			VLHR (Smp/hari)	8125671	

Sumber : Balai Besar Pelaksanaan Jalan Nasional Jateng DIY

Berdasarkan Tabel 1, didapatkan data volume lalu lintas harian rata-rata selama 3 hari pelaksanaan survei sebesar 41890 Smp/hari, selanjutnya data analisis satuan mobil penumpang dapat disajikan seperti pada Gambar 3 dibawah ini.



Gambar 3. Diagram Satuan Mobil Penumpang

Pada Gambar 3 dapat diketahui bahwa nilai LV adalah sebesar 333 (smp/hari), HV adalah sebesar 197 (smp/hari), MC adalah sebesar 692 (smp/hari) dan total QV adalah sebesar 1.221 (smp/hari).

Analisis Kecepatan Arus Bebas

Kecepatan arus bebas adalah kecepatan kendaraan pada arus nol, dimana kecepatan yang dipilih pengemudi tanpa dipengaruhi oleh kendaraan lainnya. Dalam penentuan kecepatan arus bebas dasar kendaraan pada kondisi lapangan maka diperlukan data faktor-faktor penyesuaian yang menggunakan persamaan berikut.

$$F_v = (F_{V0} + F_{Vw}) \times FFV_{SF} \times FFV_{RC} \quad (1)$$

Berperdoman pada penggunaan persamaan (1), maka didapatkan nilai kecepatan arus bebas sebesar 63 km/jam.

Analisis Kapasitas Jalan

Kapasitas merupakan arus maksimum kendaraan yang melalui suatu titik di jalan yang dapat dipertahankan dalam per satuan jam pada kondisi tertentu. Dimana nilai kapasitas dasar ditentukan berdasarkan pengaruh tipe alinyemen/tipe jalan. Kapasitas dasar total dua arah tipe jalan dua lajur tak terbagi pada daerah datar sebesar 3100 dengan faktor penyesuaian kapasitas akibat lebar jalur lalu lintas (F_{cw}) sebesar 1,00.

Berdasarkan hasil perhitungan diperoleh nilai pemisah arah masing-masing arah sebesar 50% dan 50 % dibulatkan untuk mendapat angka yang sesuai maka menjadi 50% dan 50%. Maka faktor penyesuaian kapasitas akibat pemisah arah didapat sebesar 1,00. Faktor penyesuaian kapasitas akibat hambatan samping di dapat berdasarkan lebar efektif yaitu sebesar 0,97.

Untuk mengetahui nilai kapasitas suatu jalan, digunakan persamaan sebagai berikut.

$$C = C_0 \times FC_w \times FC_{SP} \times FC_{SF} \quad (2)$$

Berperdoman pada penggunaan persamaan (2), maka didapatkan nilai kapasitas (C) sebesar 3.007 smp/jam.

Derajat Kejenuhan

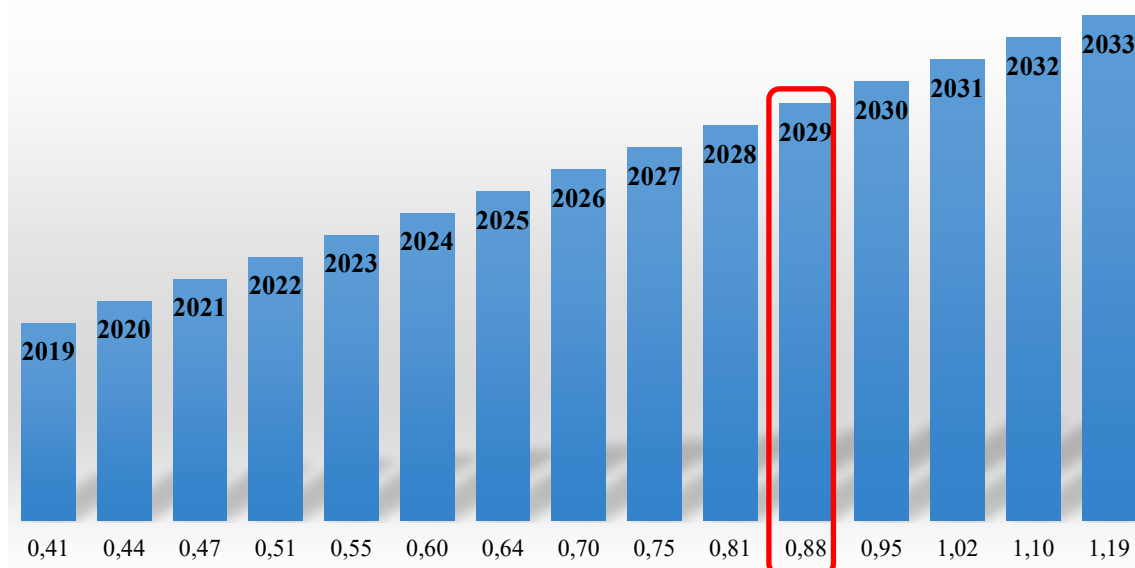
Derajat kejenuhan didefinisikan sebagai rasio arus terhadap kapasitas, digunakan sebagai faktor kunci dalam penentuan perilaku lalu lintas pada suatu simpang dan juga segmen jalan. Nilai derajat kejenuhan menunjukkan apakah segmen jalan akan mempunyai kapasitas atau tidak. Untuk menentukan derajat kejenuhan, digunakan persamaan sebagai berikut.

$$DS = \frac{q}{c} \quad (3)$$

Berperdoman pada penggunaan persamaan (3), maka diperoleh nilai derajat kejenuhan (DS) pada ruas Jalan Karangnongko (Bts Prov Jateng) - Toyan dalam kondisi normal adalah sebesar 0,41.

Pertumbuhan Lalu Lintas

Dampak dari pembangunan Bandara YIA, angka pertumbuhan lalu lintas pada ruas Jalan Karangnongko (Bts Prov Jateng) – Toyan diprediksikan akan meningkat sebesar 8% disetiap tahunnya. Berdasarkan hal ini, maka pertumbuhan lalu lintas dari tahun ke tahun dapat diperkirakan seperti pada Gambar 4 berikut ini.



Gambar 4. Pertumbuhan Lalu Lintas

Arus lalu lintas dikatakan jenuh apabila sudah mendekati kapasitasnya ($DS = 1$). Volume ruas jalan didapat dari hasil survei turning movement dan perhitungan kapasitas jalan didapat dari perhitungan yang sudah dijelaskan sebelumnya. Tingkat layanan ruas jalan merupakan ukuran yang menggambarkan persepsi penilaian pengguna jalan terhadap kondisi lalu lintas. Menurut PM 96 Tahun 2015, penentuan tingkat layanan ruas jalan menggunakan kecepatan ruas jalan.

Berdasarkan Gambar 4, dapat dilihat bahwa pada prediksi 10 tahun yang akan datang (dimulai pada tahun 2019) nilai derajat kejenuhan pada tahun 2029 berada diangka 0,88. Hal ini secara langsung mengidentifikasikan bahwa untuk 10 tahun yang akan mendatang ruas Jalan Karangnongko (Bts Prov Jateng) – Toyan akan tidak mampu lagi memaksimalkan kinerjanya karena nilai DS yang didapat sudah melebihi batas toleransi yaitu 0,85. Kondisi yang sama juga dijelaskan oleh Indratmo (2006) mengenai pentingnya evaluasi pada ruas jalan Ahmad Yani Surabaya, dimana pada penelitian tersebut didapatkan kesimpulan apabila beberapa tahun kedepan jalan tersebut tidak dilakukan penambahan kapasitas jalan maka angka DS diprediksikan akan menyentuh nilai 1,7 – 2,1.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis dan pembahasan, maka dapat ditarik kesimpulan bahwa nilai derajat kejenuhan (DS) pada ruas jalan Karangnongko (Bts Prov Jateng) - Toyan untuk 10 tahun yang akan mendatang (dimulai dari tahun 2019) akan menyentuh nilai sebesar 0,88. MKJI 1997 telah menetapkan bahwa batas maksimum DS suatu jalan dikatakan normal berada dikisaran nilai $\leq 0,85$, sehingga pada ruas jalan Karangnongko (Bts Prov Jateng) - Toyan perlu dilakukan penanganan untuk menambah kapasitas jalan yang tersedia, apabila tidak segera dilakukan penanganan maka kemacetan lalu-lintas akan semakin terus meningkat seiring dengan pertumbuhan lalu lintas pertahunnya.

DAFTAR PUSTAKA

- Departemen Pekerjaan Umum. (1997). Manual Kapasitas Jalan Indonesia 1997. Direktorat Jenderal Bina Marga.
- Indratmo, D. (2006). Kajian Kapasitas Jalan dan Derajat Kejenuhan Lalu-Lintas di Jalan Ahmad Yani Surabaya Jurnal Aplikasi, Volume 1, Nomor 1, Agustus 2006.
- Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 32 Tahun 2011 tentang Manajemen dan Rekayasa, Analisis Dampak, serta Manajemen Kebutuhan Lalu Lintas, analisis dampak lalu lintas (andalalin).
- Yusmar, T. (2013). Peluang Transportasi Publik dalam Pangsa Pasar Pengguna Akses Darat Bandara Soekarno-Hatta. Jurnal Perhubungan Udara, Vol. 39 No. 4 Desember 2013, hal. 259 – 280.

STUDI ANALISIS SENSITIVITAS KINERJA STRUKTUR PERKERASAN JALAN TERHADAP PENGARUH PERUBAHAN TEMPERATUR

Muhamad Abdul Hadi^{1*}, Laziqoh Zahatul Tolab²

^{1*} Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta

*Email: muhamad.abdul.hadi@uii.ac.id

² Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta

Email: laziqoh.zahatul.tolab@gmail.com

ABSTRAK

Infrastruktur jalan memiliki peranan penting dalam menggerakkan roda perekonomian terutama di daerah metropolitan sehingga jalan yang tersedia harus mampu melayani penggunaannya dengan maksimal. Salah satu parameter yang harus diperhatikan dalam mendesain perkerasan adalah iklim. Kota Bandung merupakan daerah dataran tinggi dengan perubahan iklim yang sangat signifikan pada siang dan malam hari, terutama di Kecamatan Cibiru. Berdasarkan data BMKG, temperatur udara di Kecamatan Cibiru pada siang hari berkisar 27 °C hingga 32 °C dan malam hari dapat mencapai 19 °C. Perbedaan temperatur sangat mempengaruhi nilai modulus elastisitas dan material perkerasan jalan yang akan digunakan. Analisis data dilakukan berdasarkan data LHR dan data hasil pengujian Marshall Standard yang divariasikan dengan nilai temperatur, yaitu 18 °C, 20 °C, 25 °C, 30 °C, dan 32 °C. Data-data tersebut kemudian diinput kedalam program KENPAVE untuk mendapatkan nilai regangan, tegangan, dan defleksi pada setiap lapis perkerasan. Adanya variasi temperatur menyebabkan nilai modulus kekakuan juga bervariasi sehingga nilai kerusakan perkerasan jalan juga berbeda. Kerusakan awal yang akan terjadi berupa rutting pada setiap variasi temperatur. Perkerasan jalan akan mengalami kerusakan lebih awal setelah dilalui beban pada temperatur tertinggi yakni 32 °C sebesar 3.916.966 ESAL dan pada temperatur terendah yakni 18 °C sebesar 4.374.823 ESAL. Begitu juga dengan kerusakan permanent deformation, perkerasan akan mengalami kerusakan pada saat temperatur tertinggi, yakni 32 °C dengan repetisi beban 61.232.683 ESAL dan temperatur terendah yakni 18 °C dengan repetisi beban 100.527.405 ESAL. Hal tersebut menunjukkan bahwa dalam faktor iklim sangat penting untuk diperhatikan dalam mendesain perkerasan jalan agar perkerasan dapat memberikan performa terbaiknya.

Kata kunci: Struktur Perkerasan, Temperatur, KENPAVE

PENDAHULUAN

Infrastruktur jalan memiliki peranan penting dalam menggerakkan roda perekonomian terutama di daerah metropolitan yang ramai penduduk. Berkaitan dengan hal tersebut, maka proses perencanaan, pelaksanaan, dan pemeliharaan harus diperhatikan secara khusus agar dapat menghasilkan struktur perkerasan jalan yang mampu melayani pengguna jalan dengan maksimal. Sesuai dengan fungsinya, salah satu yang harus diperhatikan dalam merencanakan suatu desain jalan adalah kondisi iklim pada daerah yang akan diamati.

Kondisi iklim di Indonesia secara keseluruhan adalah iklim tropis. Keadaan tersebut menyebabkan daerah-daerah di Indonesia hanya mengalami dua musim, yaitu musim kemarau dan musim penghujan. Kota Bandung merupakan kota metropolitan terbesar

di Provinsi Jawa Barat dengan kondisi geografis berada di dataran tinggi dengan luas sebesar 16.729,65 Ha. Salah satu daerah yang ada di Kota Bandung adalah Kecamatan Cibiru. Kecamatan tersebut berada di sebelah timur Kota Bandung. Berdasarkan data dari Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG) Indonesia menyebutkan bahwa temperatur udara di Kecamatan Cibiru pada siang hari sekitar 27°C hingga 32°C sedangkan di malam hari dapat mencapai 19°C . Sehingga kondisi iklim di daerah tersebut dapat disimpulkan mengalami perubahan temperatur yang sangat signifikan.

Temperatur memiliki peranan penting dalam menentukan jenis material aspal yang akan digunakan. *Viscoelastic* merupakan karakteristik material aspal yang mampu berubah keadaan dari *viscos* ke *elastic*. Keadaan ini membuat material aspal sangat sensitif terhadap perubahan temperatur udara. Temperatur udara yang semakin meningkat akan menyebabkan modulus elastisitas lapisan aspal menurun, sedangkan pada saat temperaturnya rendah maka lapisan aspal akan mudah retak dan rapuh. Sehingga dengan adanya perubahan temperatur dapat menyebabkan kerusakan pada struktur perkerasan jalan.

Modulus lapisan beraspal dapat diperkirakan dengan model matematis, seperti menurut Metode Nottingham (Brown dan Brunton, 1984) dan Metode Asphalt Institute (1982). Selain itu, modulus lapisan beraspal juga dapat dilakukan dengan uji laboratorium, seperti menggunakan alat uji modulus dinamis (Shell, 1990 dan AASHTO, 1998). Sedangkan pada kegiatan lapangan yang dapat dilakukan secara langsung menggunakan proses *back calculation* terhadap lendutan yang diukur dengan variasi temperatur. Penggunaan variasi temperatur pada perkerasan jalan sebelumnya sudah dilakukan oleh Aglesia, dkk (2022) dalam penelitiannya yang tentang Analisis Pengaruh Temperatur Terhadap Kerusakan Struktur Perkerasan Lentur, menyebutkan bahwa modulus lapisan beraspal sangat bervariasi tergantung pada perubahan temperaturnya. Selain itu, dengan meningkatnya temperatur aspal akan menyebabkan nilai modulus elastisitasnya rendah dan sebaliknya.

Kinerja perkerasan jalan harus diperkuat dengan menggunakan metode analisis sehingga tidak hanya didasarkan pada hasil laboratorium saja. Ada dua macam metode analisis, yaitu metode empiris dan mekanistik-empiris. Metode empiris didasarkan pada hubungan statistik kerusakan jalan dengan desain jalan. Sedangkan metode mekanistik-empiris didasarkan pada karakteristik bahan dan kaidah teoritis yang diperkuat lagi dengan respon struktur perkerasan jalan. Salah satu keunggulan metode mekanistik-empiris adalah mampu memprediksi jenis kerusakan perkerasan jalan yang dapat dilakukan dengan menggunakan *software* KENPAVE.

Pada paper ini, akan dilakukan eksplorasi lebih lanjut mengenai tentang pengaruh variasi temperatur terhadap kinerja struktur perkerasan jalan dengan menerapkan metode mekanistik-empiris menggunakan program KENPAVE. Program KENPAVE merupakan program untuk menghitung respon struktur perkerasan jalan sehingga dapat memprediksi kerusakan perkerasan jalan lebih awal dalam proses perencanaan jalan. Program ini dapat menganalisis nilai kerusakan pada setiap lapisan perkerasan. Sehingga dapat dilakukan redesain tebal lapis perkerasan yang sesuai agar beban dapat dilayani sesuai rencana. Dalam penelitian Satria dan Kushari (2022), tentang perbandingan desain mekanistik-empiris struktur perkerasan lentur pada ruas jalan Milir-Sentolo menyebutkan bahwa analisis desain perencanaan perkerasan lebih mudah dan fleksibel dilakukan dengan menggunakan program KENPAVE. Repetisi beban dapat diketahui setelah mendapatkan nilai tegangan, regangan, dan deformasi setiap lapisan perkerasan sekaligus masa pelayanan perkerasan jalan. Penelitian lain yang dilakukan oleh Sumarsono dan Fauziah (2022), menyebutkan bahwa program KENPAVE

memberikan *output* berupa regangan, tegangan, dan deformasi di setiap lapisan perkerasan. *Output* tersebut dianalisis kembali untuk mendapatkan jumlah repetisi beban lalu lintas yang dapat dilakukan untuk memprediksi jenis kerusakan. Dengan mengetahui kerusakan pada setiap lapisan, maka perencanaan perkerasan jalan dapat dilakukan sesuai dengan kebutuhan sehingga jalan yang tersedia nantinya dapat memenuhi tingkat keamanan pengguna jalan.

Metodologi

Analisis data dilakukan berdasarkan data jumlah kendaraan/lalu lintas harian rerata (LHR) Jalan Cibiru, Kota Bandung yang didapatkan dari BBPJK DKI Jakarta – Jawa Barat. Data tersebut diolah sesuai dengan Manual Perkerasan Jalan Bina Marga 2017 untuk mendapatkan tebal perkerasan jalan. Selain itu, data lain yang digunakan adalah data sekunder hasil pengujian *marshall standard* yang didapatkan dari Laboratorium Bahan Perkerasan Jalan, FTSP UII untuk kebutuhan dalam menentukan nilai modulus kekakuan. Data tersebut antara lain data *penetration index* sebesar 67,7 dan nilai VMA sebesar 18,84%.

Modulus Kekakuan (Stiffness Modulus)

Salah satu parameter yang digunakan dalam perencanaan kinerja campuran beraspal adalah modulus kekakuan. Kekakuan aspal yaitu ketahanan material aspal akibat temperatur dan lama waktu pembebanan. Terdapat dua jenis kekakuan, yaitu *stiffness modulus of bitumen* (S_{bit}) dan *stiffness modulus of mixture* (S_{mix}).

S_{bit} merupakan perbandingan regangan dengan tegangan dari suatu bahan. Kekakuan bitumen dipengaruhi oleh indeks penetrasi, *recovering softening of bitumen*, lama pembebanan, dan temperatur. Nilai S_{bit} dalam makalah ini dilakukan dengan menggunakan persamaan (1) dan persamaan (2) sebagai berikut.

$$S_{bit} = 1,154 \times 10^{-7} \times t^{-0,368} \times t \times 2,718^{-P_{ir}} \times (S_{pr} - T)^5 \quad (1)$$

Dengan:

$$P_{ir} = \text{Recoverde penetration index asphalt}$$

$$P_{ir} = \frac{1951,4 - 500 \log Pr - 20 \times S_{pr}}{50 \log Pr - S_{pr} - 120,4} \quad (2)$$

T = Temperatur aspal
Pr = Recovered Penetration pada suhu 25°C
Pr = 0,65 × Pi
Pi = Penetrasi awal
t = Lama pembebanan

S_{mix} merupakan kekakuan campuran perkerasan yang turut berperan penting untuk menganalisis nilai regangan dan tegangan suatu perkerasan jalan. Kekakuan campuran ini juga bergantung pada temperatur dan lama pembebanan. Nilai S_{mix} dalam paper ini akan dihitung menggunakan persamaan (3) dan persamaan (4) sebagai berikut.

$$S_{mix} = S_{bit} \times \left(1 + \frac{257,5 - 2,5 \times VMA}{n \times (VMA - 3)} \right)^n \quad (3)$$

Dengan:

$$n = 0,83 \times \log \left(\frac{4 \times 10^4}{S_{bit}} \right) \quad (4)$$

Analisis Mekanistik-Empiris KENPAVE

KENPAVE merupakan salah satu perangkat lunak yang digunakan untuk analisis desain perkerasan jalan. Pada tahun 1993, KENPAVE masih berbasis *DOS* dan tahun 2004 mulai dikembangkan berbasis *Windows* oleh Dr. Yang Huang, P.E dari University of Kentucky. Program KENPAVE mengkombinasikan Ken Slab untuk perkerasan kaku dan Ken Layer untuk perkerasan lentur dalam satu program sehingga lebih fleksibel. Adapun analisis perkerasan yang dapat dijalankan dengan program ini adalah *linear*, *non-linear*, *viscoelastic*, maupun kombinasi ketiganya.

Adapun data yang diperlukan agar dapat menjalankan program KENPAVE yakni berupa data material dan sifat-sifat perkerasan jalan, meliputi tebal setiap lapis perkerasan, *poisson ratio* setiap lapis, modulus elastisitas, beban roda, tekanan ban, dan titik koordinat yang diperlukan. Hasil dari input data pada program ini berupa nilai-nilai regangan, tegangan, dan defleksi pada setiap titik tinjau lapis perkerasan. Setelah didapatkan hasilnya maka dilakukan pengecekan pada beberapa titik kritis yang secara rinci dapat dilihat pada Tabel 1 berikut.

Tabel 1. Analisis Titik Kritis Perkerasan Jalan

Lokasi Titik	Respon Struktur	Kegunaan
Bagian bawah pada lapis beraspal	Regangan tarik arah horizontal (ϵ_t)	Memprediksi kerusakan <i>fatigue cracking</i> pada lapis beraspal
Bagian atas lapis pondasi atas atau bawah	Regangan desak arah vertikal (ϵ_c)	Memprediksi kerusakan <i>rutting</i> pada lapis pondasi atas atau bawah
Bagian atas lapis tanah dasar (<i>subgrade</i>)	Regangan desak arah vertikal (ϵ_c)	Memprediksi kerusakan <i>permanent deformation</i> pada lapis tanah dasar

Beban lalu lintas yang melewati suatu permukaan jalan kemudian akan dilakukan transfer respon struktur. Hal ini dilakukan untuk memperoleh prediksi nilai kerusakan pada setiap lapisan akibat beban yang melintas. Kerusakan perkerasan jalan terbagi atas tiga jenis, yaitu *fatigue cracking*, *rutting*, dan *permanent deformation*.

Fatigue cracking (retak leleh) merupakan retakan-retakan kecil yang tidak beraturan akibat repetisi beban lalu lintas yang terus menerus. Persamaan untuk menghitung nilai repetisi beban akibat regangan tarik di bagian bawah lapis permukaan sebagai berikut.

$$N_f = f_1(\epsilon_t)^{-f_2} [E]^{-f_3} \quad (5)$$

Dalam persamaan (5), ϵ_t merupakan regangan tarik arah horizontal di bagian bawah lapis permukaan.

Konstanta nilai f_1 , f_2 , dan f_3 digunakan nilai rekomendasi dari Asphalt Institute 1982 masing-masing sebesar 0,0796, 3,921, dan 0,854.

Rutting (retak alur) merupakan kerusakan akibat deformasi permanen pada lapis pondasi atau *subgrade* yang dipengaruhi oleh repetisi beban kendaraan. Persamaan yang digunakan untuk menghitung nilai pengulangan beban sesuai dengan nilai regangan tekan di bawah pondasi sebagai berikut :

$$N_d = f_4(\epsilon_c)^{-f_5} \quad (6)$$

Dalam persamaan (6), ϵ_c merupakan regangan vertikal di atas lapisan dasar.

Analisis deformasi permanen (*permanent deformation*) digunakan untuk mendapatkan nilai pengulangan beban pada suatu perkerasan lentur. Apabila dalam suatu perkerasan jalan mengalami kerusakan ini, maka permukaan perkerasan tidak dapat kembali ke bentuk semula. Jalur tapak roda kendaraan merupakan letak kerusakan *permanent deformation*. Persamaan yang digunakan sebagai berikut :

$$N_d = f_4(\epsilon_c)^{-f_5} \quad (7)$$

Dalam persamaan (7), ϵ_c merupakan regangan vertikal di atas lapisan dasar.

Konstanta nilai f_4 dan f_5 menggunakan nilai rekomendasi dari Asphalt Institute 1982 yang masing-masing nilainya sebesar $1,365 \times 10^{-9}$ untuk input f_4 dan 4,477 untuk input f_5 .

Repetisi Beban Sumbu Standar Rencana

Data yang digunakan berupa data jumlah kendaraan/lalu lintas harian rerata (LHR) Tahun 2020 Jalan Cibiru, Kota Bandung, Provinsi Jawa Barat. Jalan Cibiru merupakan salah satu jalan nasional yang memiliki 2 lajur setiap arah. Data LHR tersebut disajikan pada Tabel 2 berikut.

Tabel 2. Data LHR Tahun 2020 Jalan Cibiru Kota Bandung

Golongan	Jenis Kendaraan	LHR 2020
1	Sepeda Motor	123357
2	Sedan, Jeep	22505
3	Pick-Up, Minibus	7196
4	Truck 2 As, Truck Kecil	3618
5a	Bus Kecil	143
5b	Bus Besar	214
6a	Truck 2 As (Kargo Ringan)	2168
6b	Truck 2 As (Kargo Sedang)	2373
7a	Truck 3 As	317
7b	Truck 4 As	0
7c	Truck 5 As	126
8	Kendaraan Tidak Bermotor	132

Sumber: Balai Besar Pelaksanaan Jalan Nasional DKI Jakarta - Jawa Barat

HASIL DAN PEMBAHASAN

Desain Perkerasan Jalan

Desain perkerasan jalan berpedoman pada Manual Perkerasan Jalan Bina Marga 2017. Jalan Cibiru direncanakan memiliki umur rencana 20 tahun. Pertumbuhan lalu lintas per tahun di Pulau Jawa yaitu sebesar 4,80 %. Data LHR pada Tabel 2 dianalisis menggunakan Bina Marga 2017 didapatkan hasil desain struktur perkerasan jalan yang dapat dilihat pada Tabel 3 berikut.

Tabel 3. Hasil Desain Struktur Perkerasan Jalan

Lapis Perkerasan	Tebal Lapisan (mm)
AC-WC	40
AC-BC	60
AC Base	210
LPA Kelas A	300

Stiffness Modulus

Nilai modulus kekakuan (*stiffness modulus*) dihitung menggunakan data karakteristik *Marshall Standard* yang didapatkan berdasarkan pengujian sampel di Laboratorium Bahan Perkerasan Jalan, FTSP UII. Perhitungan nilai *stiffness modulus* divariasikan dengan menggunakan temperatur yang berbeda-beda, yaitu 18 °C, 20 °C, 25 °C, 30 °C, dan 32 °C.

Data karakteristik *Marshall Standard* disajikan dalam Tabel 4 berikut.

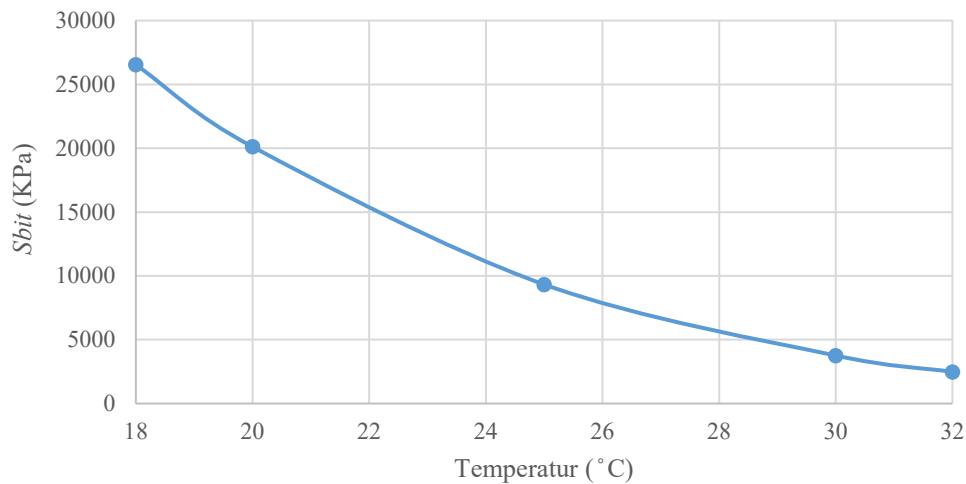
Tabel 4. Data Karakteristik *Marshall Standard*

Parameter	Hasil
Indeks Penetrasi	67,7
VMA (%)	18,84

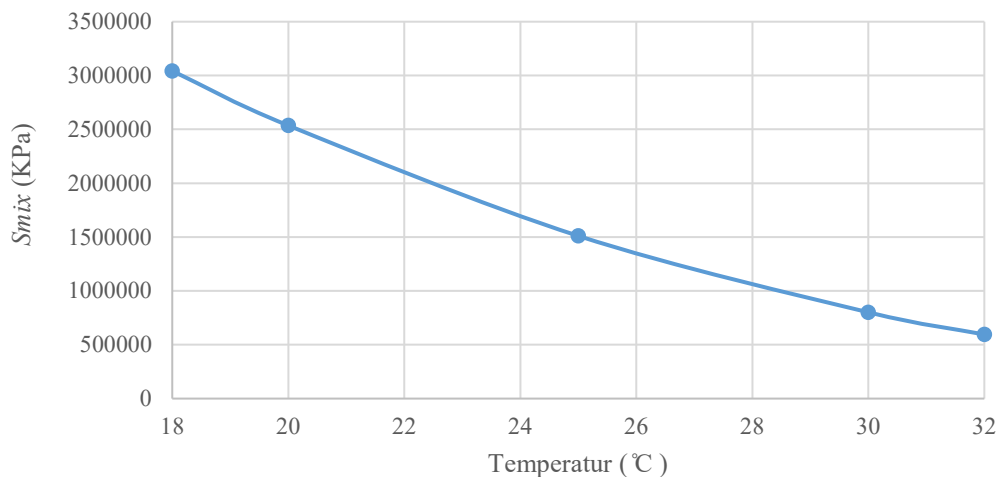
Nilai *stiffness modulus* dengan setiap variasi temperatur dapat dilihat secara rinci dalam Tabel 5 dan juga disajikan dalam bentuk grafik yang dapat dilihat pada Gambar 1 dan Gambar 2 berikut.

Tabel 5. Nilai *Sbit* dan *Smix* Pada Setiap Variasi Temperatur

Temperatur (°C)	<i>Sbit</i> (MPa)	<i>Smix</i> (MPa)
18	26,54	3043,15
20	20,12	2536,29
25	9,33	1510,89
30	3,76	801,45
32	2,48	595,61



Gambar 1. Nilai S_{bit} Pada Setiap Variasi Temperatur



Gambar 2. Nilai S_{mix} Pada Setiap Variasi Temperatur

Berdasarkan tabel dan gambar di atas, menunjukkan bahwa adanya perbedaan temperatur sangat mempengaruhi nilai modulus kekakuan baik *stiffness modulus of bitumen* maupun *stiffness modulus of mixture*. Dalam tabel tersebut terlihat bahwa semakin tinggi temperatur, maka nilai dari S_{bit} dan S_{mix} akan semakin menurun. Nilai S_{bit} tertinggi terjadi pada saat temperaturnya 18 °C yaitu sebesar 26,54 MPa, begitu juga dengan S_{mix} mencapai 3043,15 MPa saat temperaturnya 18 °C. Sedangkan dengan suhu 32 °C, nilai S_{bit} hanya sebesar 2,48 MPa dan S_{mix} sebesar 595,61 MPa. Hasil tersebut sejalan dengan penelitian yang telah dilakukan oleh Hutasoit dan Surbakti (2009), peneliti tersebut menjelaskan bahwa kondisi temperatur yang berbeda juga akan menyebabkan ketidaksamaan pada modulus elastisitas campuran aspal. Semakin tinggi nilai temperatur udara, maka modulus elastisitas campuran aspal akan semakin rendah.

Respon Mekanistik Struktur Perkerasan Jalan

Analisis mekanistik-empiris dilakukan dengan menggunakan program KENPAVE yang akan menghasilkan respon struktur pada setiap titik tinjau yang ditentukan. Hasil respon struktur perkerasan dapat dilihat dalam Tabel 6 berikut.

Tabel 6. Hasil Respon Struktur Perkerasan

Temperatur (°C)	ϵ_t horizontal pada 0,0005 cm di atas batas bawah lapis beraspal			ϵ_c vertikal pada 0,0005 cm di bawah garis tanah dasar		
	Titik 1	Titik 2	Titik 3	Titik 1	Titik 2	Titik 3
18	$2,034 \times 10^{-4}$	$1,870 \times 10^{-4}$	$1,697 \times 10^{-4}$	$1,571 \times 10^{-4}$	$1,686 \times 10^{-4}$	$1,708 \times 10^{-4}$
20	$2,026 \times 10^{-4}$	$1,852 \times 10^{-4}$	$1,669 \times 10^{-4}$	$1,592 \times 10^{-4}$	$1,710 \times 10^{-4}$	$1,732 \times 10^{-4}$
25	$1,983 \times 10^{-4}$	$1,786 \times 10^{-4}$	$1,577 \times 10^{-4}$	$1,652 \times 10^{-4}$	$1,777 \times 10^{-4}$	$1,800 \times 10^{-4}$
30	$1,916 \times 10^{-4}$	$1,696 \times 10^{-4}$	$1,462 \times 10^{-4}$	$1,718 \times 10^{-4}$	$1,851 \times 10^{-4}$	$1,876 \times 10^{-4}$
32	$1,886 \times 10^{-4}$	$1,656 \times 10^{-4}$	$1,411 \times 10^{-4}$	$1,746 \times 10^{-4}$	$1,883 \times 10^{-4}$	$1,908 \times 10^{-4}$

Berdasarkan hasil respon struktur yang diperlihatkan pada Tabel 6, maka nilai regangan di setiap jenis-jenis kerusakan dapat diprediksikan, yaitu berupa *fatigue cracking*, *rutting*, dan *permanent deformation*. Prediksi nilai regangan dapat dilihat dalam Tabel 7 berikut.

Tabel 7. Prediksi Nilai Regangan

Temperatur (°C)	<i>Fatigue Cracking</i>	<i>Rutting</i>	<i>Permanent Deformation</i>
18	$2,034 \times 10^{-4}$	$3,440 \times 10^{-4}$	$1,708 \times 10^{-4}$
20	$2,026 \times 10^{-4}$	$3,462 \times 10^{-4}$	$1,732 \times 10^{-4}$
25	$1,983 \times 10^{-4}$	$3,499 \times 10^{-4}$	$1,800 \times 10^{-4}$
30	$1,916 \times 10^{-4}$	$3,518 \times 10^{-4}$	$1,876 \times 10^{-4}$
32	$1,886 \times 10^{-4}$	$3,526 \times 10^{-4}$	$1,908 \times 10^{-4}$

Selanjutnya, berdasarkan data di atas, dapat diketahui hasil analisis repetisi beban lalu lintas yang dapat dilihat pada Tabel 8 sebagai berikut.

Tabel 8. Hasil Analisis Repetisi Beban Lalu Lintas

Temperatur (°C)	Repetisi Beban (ESAL)	
18	Nf <i>Fatigue</i>	119.550.262
	Nd <i>Rutting</i>	4.374.823
	Nd <i>Deformation</i>	100.527.405
20	Nf <i>Fatigue</i>	121.411.928
	Nd <i>Rutting</i>	4.251.727
	Nd <i>Deformation</i>	94.439.517
25	Nf <i>Fatigue</i>	132.066.370
	Nd <i>Rutting</i>	4.054.111
	Nd <i>Deformation</i>	79.483.621
30	Nf <i>Fatigue</i>	151.119.959
	Nd <i>Rutting</i>	3.957.001
	Nd <i>Deformation</i>	66.049.457
32	Nf <i>Fatigue</i>	160.766.532
	Nd <i>Rutting</i>	3.916.966
	Nd <i>Deformation</i>	61.232.683

Berdasarkan Tabel 8, dapat diketahui bahwa nilai repetisi beban lalu lintas akibat pengaruh variasi temperatur menghasilkan kemampuan perkerasan yang berbeda-beda pada ketiga jenis kerusakan, yang akan ditinjau yaitu *fatigue cracking*, *rutting*, dan *permanent deformation*. Repetisi beban pada saat temperatur 18 °C perkerasan akan kerusakan *fatigue cracking* sebesar 119.550.262 ESAL, kerusakan *rutting* sebesar 4.374.823 ESAL, dan kerusakan *permanent deformation* sebesar 100.527.405 ESAL. Sedangkan pada saat temperaturnya 32 °C perkerasan jalan setelah dilalui pengulangan beban akan mengalami kerusakan *fatigue cracking* sebesar 160.766.532 ESAL, kerusakan *rutting* sebesar 3.916.966 ESAL, dan kerusakan *permanent deformation* sebesar 61.232.683 ESAL. Pada Tabel diatas terlihat bahwa kerusakan awal yang terjadi pada perkerasan jalan berupa kerusakan retak alur (*rutting*) untuk semua variasi temperatur. Temperatur udara yang lebih tinggi akan mempercepat kerusakan pada perkerasan jalan terutama untuk jenis kerusakan *rutting* dan *permanent deformation*. Penelitian lain dengan hasil yang serupa telah dilakukan oleh Pambudi dan Fauziah (2021), bahwa kerusakan yang pertama kali terjadi dalam perkerasan jalan adalah kerusakan *rutting* yang ditandai dengan nilai repetisi beban yang paling kecil. Begitu juga dengan penelitian Sumarsono dan Fauziah (2022), menyatakan bahwa perkerasan jalan yang terus-menerus dilalui beban akan mengalami kerusakan. Jenis kerusakan awal yang dialami berupa kerusakan *rutting* yang disusul dengan kerusakan *permanent deformation* dan *fatigue cracking*.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis dan pembahasan di atas, maka dapat disimpulkan bahwa kinerja perkerasan jalan sangat dipengaruhi oleh temperatur udara. Temperatur udara juga berpengaruh terhadap modulus elastisitas aspal. Semakin tinggi temperatur udara, maka nilai modulus elastisitas akan semakin rendah. Sedangkan semakin rendah temperatur udara, maka nilai modulus elastisitas akan semakin tinggi. Karakteristik material aspal yang bersifat *viscoelastic* menyebabkan aspal sangat sensitif terhadap perubahan suhu. Hasil dari analisis mekanistik-empiris dengan menggunakan temperatur yang bervariasi menyebabkan repetisi beban yang berbeda pada setiap jenis kerusakan. Dari semua variasi temperatur yang digunakan, maka kerusakan awal yang akan terjadi adalah kerusakan *rutting* (retak alur). Pada kerusakan tersebut semakin tinggi temperatur, maka perkerasan akan lebih dahulu mengalami kerusakan *rutting*, yakni pada temperatur 32 °C perkerasan mengalami kerusakan setelah sebesar 3.916.966 ESAL. Sedangkan perkerasan jalan dengan kerusakan *rutting* paling akhir terjadi pada saat temperatur paling rendah yakni 18 °C sebesar perkerasan mengalami kerusakan setelah 4.374.823 ESAL. Begitu juga dengan kerusakan *permanent deformation* pada setiap variasi temperatur. Pada saat temperatur paling tinggi yakni 32 °C perkerasan mengalami kerusakan setelah sebesar 61.232.683 ESAL dan temperatur terendah yakni 18 °C perkerasan mengalami kerusakan setelah sebesar 100.527.405 ESAL. Hal tersebut menunjukkan bahwa faktor iklim sangat penting untuk diperhatikan dalam mendesain perkerasan jalan agar perkerasan dapat memberikan performa terbaiknya.

DAFTAR PUSTAKA

Aglesia, D.N., Suparma, L.B., dan Suhendro, B. (2022). Analisis Pengaruh Temperatur Terhadap Kerusakan Struktur Perkerasan Lentur (Studi Kasus : di Jalan Nasional, Kota Tarakan, Kalimantan Utara). Jurnal Ilmiah Fakultas Teknik Universitas Quality, Vol.6, No.1, 74-83.

- Asphalt Institute. (1982). *Research and Development of the Asphalt Institute's Thickness Design Manual (MS-1), 9th edition. Research Report 82-2*. Maryland, USA.
- Dinata, D.I., Rahmawati, A., dan Muhammad, D.S. (2017). Evaluasi Tebal Perkerasan Lentur Dengan Metode Analisa Komponen Dari Bina Marga 1987 Dan Metode Aashto 1993 Menggunakan Program Kenpave (Studi Kasus : Jalan Karangmojo-Semin Sta 0+000 Sampai Sta 4+050). *Jurnal Ilmiah Semesta Teknik*, Vol.20, No.1, 8-19.
- Hutasoit, C.P. dan Surbakti, M. (2009). Perhitungan Kerusakan Struktur Perkerasan Lentur Akibat Pengaruh Temperatur (Study Literatur). Skripsi, Universitas Sumatera Utara, Medan.
- Kosasih, D. (2008). Proses Desain Struktur Perkerasan Lentur Yang Memperhitungkan Variasi Modulus Perkerasan Akibat Pengaruh Temperatur. *Dinamika Teknik Sipil*, Vol.8, No.1, 1-8.
- Muhammad, D.S., Rahmawati, A., dan Dinata, D.I. (2018). Perbandingan Tebal dan Analisis Kerusakan Perkerasan Lentur Menggunakan Program KENPAVE dan Metode Asphalt Institute. *Jurnal Ilmiah Semesta Teknik*, Vol.21, No.2, 106-113.
- Pambudi, R.A. dan Fauziah M. (2021). Evaluasi Perancangan Struktur Perkerasan Dengan Metode Bina Marga 2017 Dan Program KENPAVE Menggunakan Pendekatan Elastik Dan Viskoelastik Studi Kasus : Jalan Simpang Pundu-Tumbang Samba. Skripsi, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.
- Sumarsono, A. dan Fauziah, M. (2022). Evaluasi Kondisi Perkerasan, Penanganan, Dan Nilai Sisa Perkerasan Lentur Jalan Dengan Metode Bina Marga 2013 Dan Metode Mekanistik-Empirik (Studi Kasus : Jalan Jogja-Solo Km 14+800 – 16+800). *Jurnal Teknik*, Vol.9, No.1, 10-27.

PENGARUH PERFORATED CEILING SEBAGAI MEKANISME PELEPASAN UDARA PANAS (STUDI KASUS: SALATIGA)

Bryan Putra Parsada Sinaga¹

¹ Program Studi Profesi Arsitek (PPAR), Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta
21515006@students.uui.ac.id

ABSTRAK

Salatiga merupakan kota yang berada di lereng Gunung Merbabu dan memiliki suhu rata-rata yang relatif rendah sepanjang tahun. Artinya bangunan di kota dapat memiliki desain konsumsi energi yang rendah dengan mengurangi penggunaan AC. Hal ini baik karena kenaikan suhu tahunan 0,50 C di Indonesia (melalui BMKG). Aliran udara adalah ketika sejumlah kecepatan angin yang masuk melalui suatu bukaan dan mengalir melewati bagian dalam atau benda-benda di antara bukaan lain kemudian membuatnya ke luar lagi. Ini adalah premis aliran udara secara umum dengan variabel kecepatan angin, bukaan, dan bentuk ruangan itu sendiri. Kecepatan angin dan bukaan keduanya berdampak langsung pada seberapa besar angin dapat mendinginkan ruangan. Penelitian dilakukan dengan mengubah variasi variabel dalam model eksperimen digital, yang dibuat menggunakan Rhino 6. Aplikasi ini mensimulasikan pengaruh Perforated Ceiling terhadap suhu ruangan dari ketinggian 1,5 hingga 2 meter. Eksperimen menunjukkan bagaimana Perforated Ceiling mempengaruhi suhu. Penelitian ini bermanfaat untuk merancang bangunan hemat energi khususnya di Salatiga.

Kata kunci: Perforated Ceiling, Kontrol Aliran Udara, Pelepasan Udara

PENDAHULUAN

Latar Belakang

Salatiga terletak pada ketinggian antara 450-825 meter di atas permukaan laut. Secara geografis, Salatiga berada di lereng Gunung Merbabu dan gunung-gunung kecil lainnya, yaitu Gunung Telomoyo, Gunung Ungaran, Gunung Payung, dan Gunung Rong. Perpaduan antara lereng dan kaki gunung juga menyebabkan Salatiga terletak pada dataran yang landai ke arah barat dengan kemiringan antara 50-100, sehingga dapat dikatakan Salatiga merupakan dataran sekaligus lereng gunung.

Suhu rata-rata sepanjang hari di Salatiga antara 22,40-24,10 C (menurut *Climate-Data*), sedangkan di Indonesia suhu rata-rata sepanjang hari adalah 250-320 C sepanjang tahun (menurut BMKG tahun 2019). Menurut SNI 03-6572-2001, kisaran sejuk-nyaman antara 20,50-22,80 C, sedangkan kisaran kenyamanan optimal antara 22,80-25,80 C. Namun ada juga data dari BMKG dimana kenaikan suhu Indonesia tahunan kira-kira 0,50 C karena pemanasan global. Dengan demikian, tidak menutup kemungkinan bagi bangunan di Salatiga untuk tidak mengandalkan sistem Air Conditioner yang memperparah efek pemanasan global.

Tapi, jika data suhu malam yang dingin diambil dari persamaan untuk mendapatkan data suhu siang saja, itu tidak mendekati nyaman. Pada hari-hari panas, suhu rata-rata adalah 290-330 C, sedangkan suhu rata-rata hari saja secara keseluruhan adalah 260-310 C (menurut Meteoblue). Artinya suhu pada siang hari masih belum nyaman dan harus diperhitungkan. Bangunan di kota dapat memiliki desain konsumsi energi yang rendah dengan memaksimalkan aliran udara alami di siang hari dan mengurangi penggunaan kipas angin dan AC. Kunci untuk mencapai kenyamanan tanpa AC adalah

sistem ventilasi silang. Ventilasi silang adalah sistem yang menggerakkan udara dari bukaan di satu sisi gedung ke sisi lainnya.

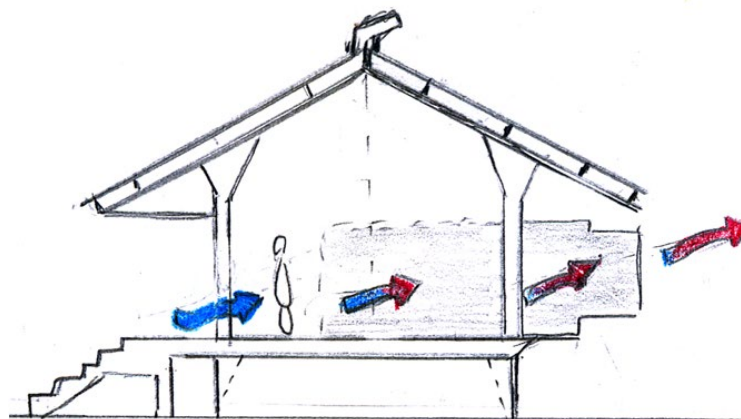
Ventilasi silang dapat diterapkan pada bangunan, tetapi memiliki beberapa kekurangan seperti kurangnya keragaman dalam merancang selubung bangunan, bukaan, dan kekurangan sistem jika harus menempatkan interior di antara bukaan. Berasal dari sistem ini bagaimanapun adalah untuk memaksimalkan aliran udara itu sendiri. Aliran udara adalah pergerakan udara, dengan pengetahuan tentang pola pergerakan aliran udara dalam kondisi yang ditentukan, dimungkinkan untuk mencapai aliran udara yang baik tanpa memiliki 2 bukaan paralel. Givoni (1994) menyebutkan bahwa angin miring pada sudut antara 30 dan 120 derajat ke dinding dapat memberikan ventilasi silang yang efektif jika bukaan disediakan di dinding arah angin dan arah angin (dengan asumsi bangunan terletak di lokasi yang luas tanpa dipengaruhi oleh bangunan lain).

Makalah ini akan menekankan pada pemahaman aliran udara dan bagaimana mendapatkan yang terbaik dengan *Perforated Ceiling*. Makalah ini penting dalam membuat kemungkinan desain *low running cost* di Salatiga, karena dengan memanfaatkan aliran udara alami pengguna dapat mengurangi biaya listrik yang berasal dari kipas angin, AC, dll.

STUDI Pustaka

Bukaan

Di daerah tropis, bukaan memainkan peran utama dalam menentukan kenyamanan termal pengguna karena lokasi dan ukuran jendela menentukan seberapa banyak angin masuk ke dalam bangunan. Dalam aspek ini, bukaan besar di semua dinding dapat memberikan solusi desain untuk ventilasi silang yang efektif. Namun, radiasi matahari dapat menembus langsung melalui bukaan yang tidak diarsir ke bagian dalam bangunan dan meningkatkan suhu dalam ruangan di atas tingkat luar ruangan. Oleh karena itu, sangat hati-hati harus diambil dalam memastikan bahwa semua bukaan di selubung bangunan dinaungi secara efektif (Givoni, 1994). Dalam hal ini, ukuran jendela, lokasi dan naungan merupakan faktor utama efisiensi bukaan yang mempengaruhi aliran udara.



Gambar 1 Ventilasi Silang
Sumber: Marika Alderton House

Namun, jika orientasi bangunan terbaik untuk pengendalian sinar matahari bertentangan dengan orientasi terbaik untuk ventilasi alami, yang merupakan faktor utama. Di iklim panas dan kering, naungan lebih penting atau lebih penting daripada ventilasi; di iklim panas dan lembab, di sisi lain, penekanan diberikan pada ventilasi silang karena kelembaban udara yang tinggi menciptakan ketidaknyamanan bagi manusia (Santamouris & Asimakopoulos, 1996).

Kecepatan Angin

Gaya angin bekerja pada semua sisi bangunan, biasanya menciptakan tekanan positif dengan arah angin, dan tekanan negatif pada dinding. Atap dengan kemiringan rendah atau datar cenderung memiliki sebagian besar tekanan negatif, terutama pada bagian tepinya. Sedangkan atap miring dengan kemiringan di atas 25 derajat mengalami tekanan positif pada arah angin, dan tekanan negatif pada sisi lainnya. Ini berarti bahwa kecepatan angin akan berbeda di gedung bertingkat karena lantai bawah tidak memiliki atap dan lantai atas memiliki atap, yang berarti akan memiliki potensi aliran udara yang lebih baik daripada yang lain.



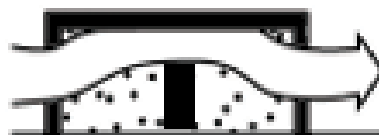
Gambar 2 Kecepatan angin berkurang seiring melewati ruangan.

Sumber: phius.org

Orientasi untuk ventilasi tidak berarti bahwa bangunan harus tegak lurus terhadap arah angin yang ada. Givoni (1994) menyebutkan bahwa angin miring pada sudut antara 30 dan 120 derajat ke dinding dapat memberikan ventilasi silang yang efektif jika bukaan disediakan di dinding arah angin dan arah angin (dengan asumsi bangunan terletak di lokasi yang luas tanpa dipengaruhi oleh bangunan lain).

Bentuk Ruang

Ruang atau ruangan memiliki banyak variasi ukuran dan bentuk yang disesuaikan dengan fungsinya. Baik bentuk maupun ukuran secara langsung mempengaruhi efektivitas aliran udara karena kecepatan angin memiliki batas efisiensi setelah memasuki bukaan. Jadi, semakin jauh rute menuju bukaan lain dapat dicapai atau terlalu jauh tergantung pada ukuran dan bentuknya, apakah akan mendukung aliran udara atau tidak.

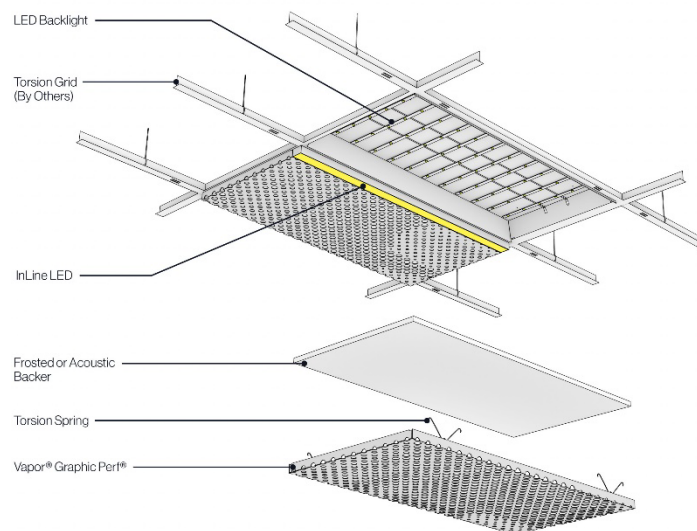


Gambar 3 Aliran angin menyesuaikan bentuk ruangan.

Sumber: phius.org

Perforated Ceiling

Perforated Ceiling adalah panel langit-langit yang dirancang khusus untuk memungkinkan penyerapan suara yang optimal pada permukaan langit-langit untuk mencapai tingkat kebisingan ruangan yang rendah. Mereka biasanya terbuat dari papan gipsum atau panel berlapis aluminium dengan tingkat dan ukuran perforasi yang berbeda untuk memungkinkan suara melewati bahan isolasi penyerap kebisingan. Panel langit-langit berlubang biasanya diadopsi di sekolah, teater, kantor, dan bandara untuk mengontrol gema ruang tertutup sehingga memberikan lingkungan audio yang nyaman. Dengan sifat panel yang sudah berlubang, udara panas dapat melewati lubang tersebut sebelum dialirkan keluar ruangan untuk mencapai kenyamanan ruang.



Gambar 4 Detil Perforated Ceiling.

Sumber: arktura.com

METODE PENELITIAN

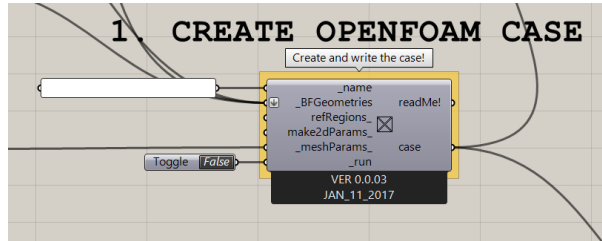
Metode yang digunakan berupa kuantitatif dengan data yang didapat dari hasil pengujian *prototype* sambungannya. Pengujian berupa pemberian gaya tarik kepada modul uji dan diamati efek atau dampak yang disebabkan.

Skema Pengujian

1. Model dibuat dalam perangkat lunak dengan dimensi dan bentuk yang tetap.
2. Model kemudian diuji dengan beberapa ukuran bukaan tanpa dan dengan interior.
3. Kemudian ulangi dengan kecepatan angin yang berbeda karena ada 3 nilai angin yang diambil dari kecepatan angin rata-rata di Salatiga.
4. Kemudian ulangi lagi dengan bentuk ruangan yang berbeda.

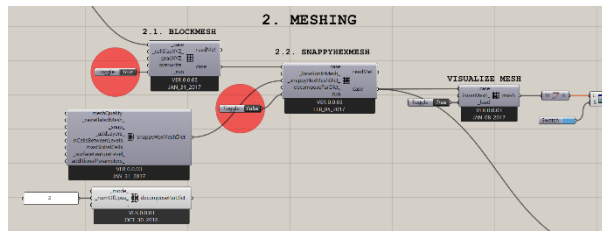
Simulasi Model menggunakan Grasshopper (Butterfly)

Openfoam Case



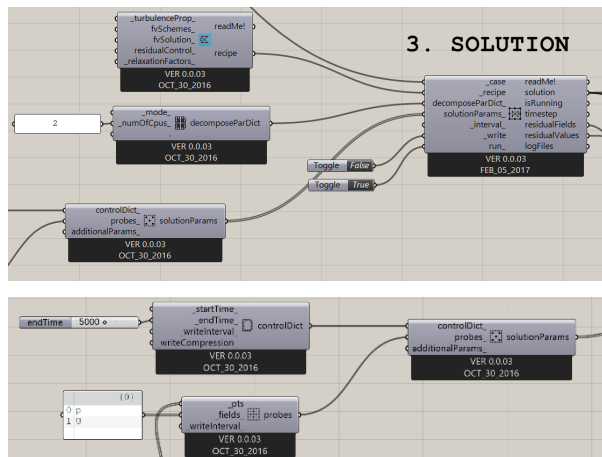
Gambar 5: Membuat Openfoam Case.
Sumber: Penulis

Meshing Logic



Gambar 6: Membuat Meshing Logic.
Sumber: Penulis

Solusi



Gambar 7 & 8 Membuat Solusi.
Sumber: Penulis

Tabel 1 Variabel dan Indikator

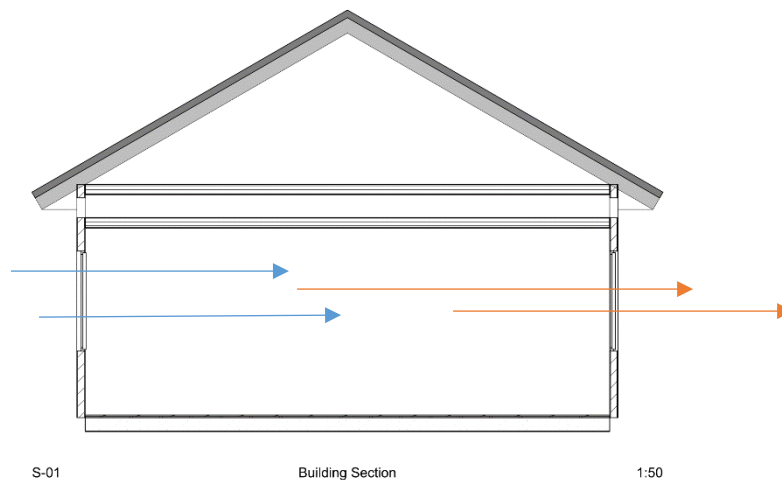
Variabel Kontrol	Variabel Independen	Variabel Dependen	Indikator
<ul style="list-style-type: none"> • Letak jendela • Letak Perforated Ceiling 	<ul style="list-style-type: none"> • Kecepatan Angin • Bentuk Ruangan 	Kenyamanan Ruang	Nyaman tidaknya ruangan berdasarkan suhu ruang

Hasil Dan Pembahasan

Hasil

Keadaan Ruang tanpa Perforated Ceiling

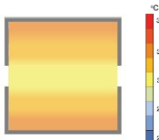
Visualisasi Potongan:





Gambar 9 Visualisasi Potongan Keadaan Ruang tanpa *Perforated Ceiling*

Sumber: Penulis

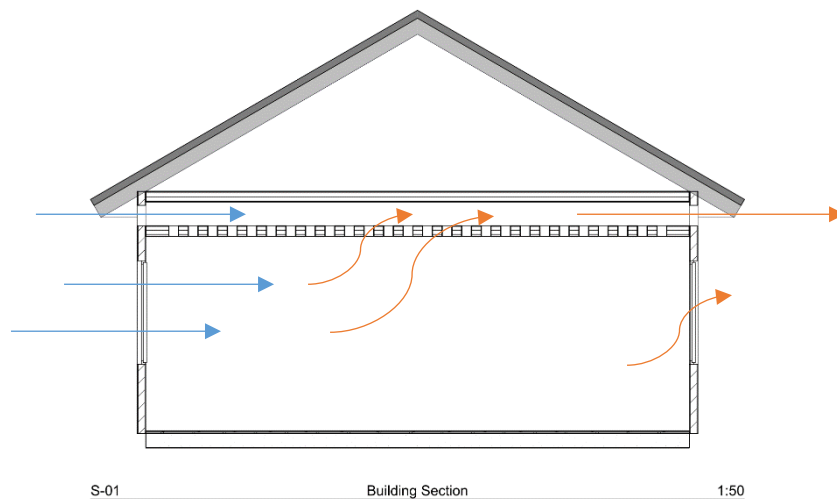
Simulasi

No.	Bentuk Ruangan	Kecepatan Angin	Visualisasi Suhu Ruangan	Kenyamanan Ruang Berdasarkan Suhu yang dihasilkan
1	Persegi	0,3 ms		0%

2	Persegi panjang	0,3 ms		0%
3	Trapesium	0,3 ms		0%

Keadaan Ruang dengan *Perforated Ceiling*:

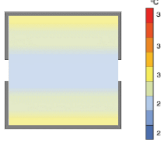
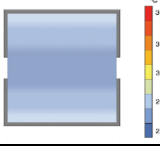
Visualisasi Potongan:







Gambar 10 Visualisasi Potongan Keadaan Ruang dengan *Perforated Ceiling*

Sumber: Penulis

Simulasi:

No.	Bentuk Ruang	Kecepatan Angin	Visualisasi Suhu Ruangan dengan Perforated Ceiling	Kenyamanan Ruang Berdasarkan Suhu yang dihasilkan
1	Persegi	1,3 ms		50%
2	Persegi	3,3 ms		100%

3	Persegi panjang	1,3 ms		25%
4	Persegi panjang	3,3 ms		50%
5	Trapezium	1,3 ms		50%
6	Trapezium	3,3 ms		95%

Pembahasan

1. Simulasi 1-2 dengan *Perforated Ceiling*
2. Simulasi dilakukan dengan bentuk persegi dengan kenyamanan ruang lumayan baik di 1,3 dan 3,3 ms.
3. Simulasi 3-4 dengan *Perforated Ceiling*
4. Simulasi dilakukan dengan bentuk persegi panjang dengan kenyamanan ruang tercapai terbaik pada 3,3 ms, dan tidak nyaman pada 0,3 dan 1,3 ms.
5. Simulasi 5-6 dengan *Perforated Ceiling*
6. Simulasi dilakukan dengan bentuk trapesium dengan kenyamanan ruang tidak pernah mencapai 100% karena bentuk ruang yang tajam dan tidak sama pada sisinya.

PENUTUP

Kesimpulan

1. Pada ruangan berbentuk persegi luas yang nyaman relatif besar terhadap proporsi ruangan. Namun, dengan kasus yang sama tetapi di ruangan persegi panjang, area yang nyaman lebih kecil karena angin melewati ruangan yang panjang. Hal ini disebabkan hilangnya kecepatan angin dari waktu ke waktu dan refleksi langsung dari efektivitas bentuk ruangan. Ventilasi silang bekerja paling baik dengan ukuran bukaan dan bentuk ruangan yang proporsional, serta kecepatan angin yang layak dan *Perforated Ceiling* membantu menghilangkan udara panas melewati atas ruangan.
2. Suhu ruangan sangat dipengaruhi oleh ukuran bukaan dan bentuk ruangan dikarenakan kecepatan angin berbeda yang dihasilkan.. Misalnya dengan kecepatan angin 0,3 ms, kecepatan anginnya hilang dari waktu ke waktu dalam sekejap. Membuat suhu rata-rata ruangan selalu lebih tinggi dari 1,3 dan 3,3 ms. Namun, dalam bentuk ruangan, baik area yang terkena angin berbeda atau suhu rata-rata ruangan berbeda. Seperti yang dapat dilihat bahwa bentuk persegi dan

persegi panjang memiliki cakupan area dan suhu rata-rata yang berbeda meskipun keduanya memiliki kecepatan angin 1,3 ms, karena hilangnya kecepatan angin mempengaruhi bentuk persegi panjang lebih dari yang persegi. Ini menunjukkan bahwa tidak semata-mata tentang mendapatkan kecepatan angin tertinggi untuk mencapai kontrol aliran udara yang baik, melainkan bagaimana campuran komponen bangunan untuk mendukung kecepatan angin yang ada menjadi efisien. Perforated Ceiling juga mendapatkan pengaruh dari kecepatan angin karena dekat jauhnya angin panas mulai memasuki lubang *Perforated Ceiling* terpengaruhi langsung oleh kecepatan angin, sehingga semakin cepat anginnya, semakin cepat angin panas keluar melalui Perforated Ceiling.

Rekomendasi

Studi ini mengungkapkan perilaku aliran udara dalam kombinasi set variabel dan bagaimana kontrol aliran udara yang baik dapat dicapai baik dengan mengubah salah satu variabel atau menyeimbangkannya. Namun, kasusnya sangat spesifik di Salatiga. Ide dan premis penelitian ini adalah untuk mempelajari perilaku aliran udara pada variabel yang ditetapkan, oleh karena itu meskipun perilakunya cenderung berbeda di daerah lain, pendekatannya harus sama.

Penelitian tidak mempertimbangkan jika ruangan berada di bagian dalam bangunan.. Ini dapat ditingkatkan dengan penggunaan dan pemahaman yang lebih baik tentang Grasshopper Butterfly CFD. Eksperimen kerja di masa depan dapat mencabangkan simulasi pada wilayah yang berbeda. Hasil dari studi ini dapat membuka jalan menuju pengembangan desain biaya rendah yang berkelanjutan dalam aspek pendinginan ruang dan pembuangan udara panas.

DAFTAR PUSTAKA

- AlAnzi, A., Seo, D., & Krarti, M. (2009). Impact of building shape on thermal performance of office buildings in Kuwait. *Energy Conversion and Management*. doi: 10.1016/j.enconman.2008.09.033
- Almeida, M., Maldonado, E., Santamouris, M., & Guarracino, G. (2005). The design of optimal openings. *Natural Ventilation in the Urban Environment: Assessment and Design*, 168-194.
- Chen, x., & Zhong, D. (2011). The principles of passive cooling alley and its inspiration. *New Architecture (in Chinese)*, 3, 4.
- Fabi, V., Andersen, R. V., Corgnati, S., & Olesen, B. W. (2012). Occupants' window opening behaviour: A literature review of factors influencing occupant behaviour and models. *Building and Environment*, 58, 188-198. doi: 10.1016/j.buildenv.2012.07.009
- Fahmy, M., & Sharples, S. (2009). On the development of an urban passive thermal comfort system in Cairo, Egypt. *Building and Environment*, 44(9), 1907-1916. doi: 10.1016/j.buildenv.2009.01.010
- Kleerekoper, L., van Esch, M., & Salcedo, T. B. (2012). How to make a city climate-proof, addressing the urban heat island effect. *Resources, Conservation and Recycling*, 64(0), 30-38. doi: 10.1016/j.resconrec.2011.06.004
- Sarkar, Ahana, & Bardhan, Ronita, (2018) Optimizing Interior Layout for Effective Experiential Indoor Environmental Quality in Lowincome Tenement Unit: A Case of Mumbai, India. *International Building Simulation Association, England*

- Santamouris, M., & Asimakopoulos, D. (1996). *Passive cooling of buildings*. London: James and James
- Straube, John, (2007). *Understanding and Controlling Airflow in Building Enclosures*. University of Waterloo, Canada
- Visagavel, K., & Srinivasan, P. S. S. (2009). Analysis of single side ventilated and cross ventilated rooms by varying the width of the window opening using CFD. *Solar Energy*, 83(1), 2-5. doi: 10.1016/j.solener.2008.06.004



SISTEM NILAI DALAM MENGHADAPI TANTANGAN PERADABAN ISLAM MODERN KETELADANAN TOKOH PENDIRI UII : ABDUL KAHAR MUDZAKKIR

Maffyra Binar Firstya Mutiara¹, Revianto Budi Santosa² Putu Ayu Pramanasari
Agustiananda³

¹ Magister Arsitektur, Universitas Islam Indonesia
21922005@students.uui.ac.id

² Departemen Arsitektur, Universitas Islam Indonesia
925120101@students.uui.ac.id

³ Departemen Arsitektur, Universitas Islam Indonesia
085120101@students.uui.ac.id

ABSTRAK

Zaman Keemasan menjadi masa kejayaan bagi peradaban Islam dalam berbagai bidang ilmu pengetahuan pada saat itu. Namun karena berbagai faktor eksternal dan internal kejayaan tersebut mulai runtuh. Peradaban Islam mulai tertinggal jauh dari barat. Ilmu menjadi tereduksi hanya bermakna ilmu agama saja, sedangkan berbagai manufaktur dan perangkat lunak maupun keras dikuasai barat. Umat Islam pun hanya bisa mengenang nama-nama cendekiawan dan kejayaan masa lalu tanpa banyak melahirkan ide dan gagasan baru. Namun kini dunia Islam mulai bangkit,, negara-negara Islam mulai berkonsolidasi. Indonesia pun mengalami gerakan modern Islam pada tahun kemerdekaan. Berbicara mengenai gerakan modern Islam tentu tidak lepas dari sosok Prof. Abdul Kahar Mudzakkir, seorang tokoh Islam yang berpengaruh, tokoh Pendidikan dan tokoh bangsa. Beliau memiliki jasa dan gagasan yang hebat dalam dunia agama, Pendidikan dan politik Indonesia. Artikel ini bertujuan mengkaji bagaimana peran Abdul Kahar Mudzakkir dalam Pendidikan, keagamaan, dan politik di Indonesia serta apa saja sistem nilai yang mendasarinya. Metode kajian dengan studi kepustakaan dimana hanya mensintesa beberapa pemikiran dari literatur yang ditemukan. Dari kajian tersebut disimpulkan bahwa sistem nilai pada zaman keemasan masih relevan pada masa kini terutama pada sosok Prof. Mudzakkir. Keempat nilai tersebut adalah universal, toleransi, karakter internasional, serta menghormati ilmu dan ilmuwan, Namun masih ada sistem nilai lain agar umat Islam bisa belajar dari keterpurukan masa lalu dan menghadapi globalisasi, yaitu anti superioritas dan sintesis kreatif.

Kata kunci: sistem nilai, peradaban Islam, Abdul Kahar Mudzakkir

PENDAHULUAN

M. Alikettani dalam buku *The Touch of Midas* (Sardar, 1984), memaparkan beberapa sistem nilai yang mendorong peradaban Islam saat itu mencapai *Golden Ages*. Sistem nilai tersebut adalah (1) universalisme dalam umat Islam, (2) Toleransi kepada umat non Islam (3) Karakter pasar internasional (4) Menghormati ilmu pengetahuan dan ilmuwan. Namun ketika mentalitas umat Islam menurun, sistem nilai tersebut mulai runtuh. Perasaan superioritas menghilangkan cita-cita moral dalam pengetahuan, yaitu *amar ma'ruf nahi munkar*, dan menjadikan umat muslim banyak melakukan perbuatan tercela. Umat Islam mulai mengisolasi diri dari dunia luar terutama dalam sains. Tradisi mencari ilmu dari dunia luar mulai ditinggalkan, termasuk dunia barat yang mulai bangkit dalam hal sains (Abidin, 2012). Intoleransi bahkan merayap di tubuh kaum muslim sendiri.

Mencari ilmu pengetahuan menjadi tereduksi hanya mencari ilmu agama. Banyak mata pelajaran ilmu pengetahuan yang dikeluarkan dari universitas sehingga menjadi

lembaga keagamaan saja. Menuntut ilmu pengetahuan dan teknologi harus dilakukan di universitas Kristen atau barat, dimana di dalamnya tidak diajarkan nilai keislaman sama sekali. Secara perlahan umat Islam mulai tertinggal dan terbelakang, dan peradaban Islam mulai tenggelam digantikan peradaban barat modern yang bangkit dari kegelapan dan kebodohan.

Perangkat keras dan manufaktur dikuasai barat dan umat muslim hanya mampu mengkonsumsi. Namun dengan kemajuan teknologi ini, komunikasi dunia termasuk umat Islam mulai terbangun dan menghilangkan sekat geopolitik yang ada. Negara-negara Islam mulai bangkit, Raja Faisal dari Arab menyerukan solidaritas negara Islam dan berpuncak pada pembentukan KTT Islam pertama di Jeddah pada tahun 1969 (Sardar, 1984).

Sementara itu di Indonesia, Menurut Deliar Noer dalam Setiawati (2007) Gerakan Modern Islam lahir dari keinginan untuk melepaskan diri dari cengkeraman penjajah. Kini, kebangkitan peradaban Islam dan Indonesia berada di tangan generasi milenial dengan orientasi masa depan dan cita-cita mulia sebagaimana yang terjadi pada *golden ages*. Namun, fakta kini berbicara lain. Degradasi moral menjadi permasalahan yang senantiasa membayangi generasi milenial. Perilaku dan tindakan yang jauh dari nilai keislaman dan karakter bangsa Indonesia menyebabkan berbagai kasus kemanusiaan. Seringkali kita menyaksikan berita mengenai kekerasan, tawuran pelajar, narkoba, korupsi, perang antar suku, dan pembunuhan (Muhammad, dkk, 2022). Perilaku tidak terpuji dan tidak bermanfaat yang dilakukan generasi muda bahkan ;lebih mudah menjadi viral di media sosial daripada torehan prestasinya.

Proses pendidikan berperan sangat penting dalam pembentukan karakter generasi milenial. Degradasi moral adalah dampak dari ketidakseimbangan pencapaian proses pendidikan pada ranah kognitif dan afeksi. Program Pendidikan karakter hanya mencapai ranah kognitif tanpa ada keteladanan. Hilangnya rasa bangga dan memiliki terhadap sejarah dan pahlawan bangsa telah menyebabkan krisis keteladanan. Kisah keteladanan pahlawan baik itu ulama, umara dan rakyat nusantara sangat jarang diangkat di lembaga-lembaga pendidikan (Muhammad, dkk, 2022).

Prof. Abdul Kahar Mudzakkir adalah sosok cendekiawan muslim sekaligus pahlawan bangsa yang perlu diteladani. Meskipun begitu, baru pada tahun 2019 beliau ditetapkan sebagai pahlawan nasional (Nakamura, 2019). Informasi berupa kajian dan tulisan mengenai beliau juga masih sedikit ditemukan. Padahal banyak gagasan beliau yang dapat menjadi solusi problematika umat Islam di era modern seperti saat ini (Muhammad, dkk, 2022).

Menurut M. Alikettani dalam Sardar (1984), sistem nilai Islam adalah kekuatan yang mendasari kebangkitan dunia Islam dan ilmu pengetahuan pada zaman keemasan. Untuk membangkitkan Kembali peradaban Islam, sistem nilai yang sama harus digunakan. Menurutnya, nilai-nilai tersebut masih ada namun tidak aktif. Lalu bagaimana sistem nilai yang mendasari cara pandang Prof. Abdul Kahar Mudzakkir dalam dunia politik, agama, dan pendidikan? Bagaimana relevansi keempat sistem nilai dalam buku *The Touch of Midas* dengan keteladanan Prof. Mudzakkir ?

Kajian ini menggunakan jenis/pendekatan penelitian yang berupa Studi Kepustakaan (*Library Research*). Studi kepustakaan merupakan suatu studi yang digunakan dalam mengumpulkan informasi dan data dengan bantuan berbagai macam material yang ada di perpustakaan seperti dokumen, buku, majalah, kisah-kisah sejarah, dan sebagainya (Mardalis:1999). Penelitian ini membatasi kajian sejak tahun kemerdekaan, karena tahun ini adalah tahun krusial bagi bangsa Indonesia sekaligus menyoroti kiprah Prof.

Abdul Kahar Mudzakkir dalam proses kemerdekaan Indonesia. Menurut Deliar Noer dalam Setiawati (2007) Gerakan Modern Islam Indonesia lahir dari keinginan untuk melepaskan diri dari cengkeraman penjajah.

Peran dan Toleransi dalam Pembentukan Dasar Negara

Prof. Mudzakkir memegang peranan penting dalam pendirian Indonesia melalui sidang BPUPKI serta keanggotaannya dalam Panitia Sembilan. Beliau berada di sayap nasionalis Islami, berseberangan dengan sayap nasionalis sekuler (Setiawati, 2007). Beliau menjadi fenomenal ketika mengusulkan klausul “Ketuhanan dengan kewajiban menjalankan syari’at Islam bagi para pemeluk-pemeluknya”. Hal ini mendapat banyak reaksi dari beberapa tokoh. Mereka mengkhawatirkan hal ini akan berdampak besar terhadap agama lain dan terjadi kekacauan adat istiadat. Hal ini juga dinilai akan menimbulkan fanatisme. (Zulfikri, dkk, 2021). Prof. Mudzakkir sendiri dengan tegas menyatakan jika klausul tersebut dihapus, maka semua hal berbau Islam dihapus saja dari Rancangan Pembukaan Undang-Undang Dasar (FIAI UII, 2020).

Pada akhirnya “tujuh kata” tersebut akhirnya diganti “Ketuhanan Yang Maha Esa”. Hal ini untuk mengakomodasi kaum non-Muslim di daerah timur. Kelompok Islam menerima persetujuan perubahan tersebut dengan konsep *Sadd Dzari’ah*, yaitu menutup segala hal yang menuju pada hal yang buruk (Zulfikri, dkk, 2021). Menurut Prof. Mudzakkir, jika “Ketuhanan Yang Maha Esa” diartikan sebagai tauhid, maka hal itu bisa diterima (FIAI UII, 2020).

Pencetak Pejuang, Ulama dan Cendekiawan

Nama besar Universitas Islam Indonesia tidak bisa lepas dari sosok Prof. Mudzakkir. Beliau adalah sosok pendiri UII yang semula bernama STI (Sekolah Tinggi Islam). Beliau menjabat sebagai *rector magnificus* dalam susunan senat. STI diharapkan menjadi tempat bertemunya agama dan ilmu pengetahuan, dan membentuk ulama yang berpengetahuan dalam dan berpendirian luas serta mempunyai semangat yang dinamis (Setiawati, 2007). Di bawah kepemimpinan Prof. Mudzakkir, pengurus STI tetap tegar dalam melakukan proses pendidikan meskipun dalam keadaan perang. STI kemudian pindah ke Yogyakarta seiring berpindahnya pemerintahan RI.

STI berubah menjadi universitas dengan berbagai pertimbangan, salah satunya adalah agar umat Islam di Indonesia bisa memiliki tenaga ahli dalam berbagai bidang. Para pelajar tidak perlu menuntut ilmu ke negeri orang hingga terasing dari pergaulan masyarakat dan perjuangan bangsa. UII resmi dibuka pada tahun 1948. Prof. Mudzakkir sekaligus menjabat sebagai dekan fakultas agama. UII sempat ditutup sementara beberapa kali karena agresi militer Belanda. Namun Prof. Mudzakkir tetap memperingati milad untuk menandakan bahwa UII masih ada.

Tahun 1950-1952 menjadi tahun yang sulit bagi UII dari segi keuangan. Prof. Mudzakkir turut berjuang untuk mendapatkan sumbangan bagi keberlangsungan UII. Berkat kredibilitas Prof. Mudzakkir yang terkenal di dalam maupun luar negeri, beliau bisa mendapatkan berbagai bantuan berupa uang, buku, dan lain-lain. UII pada saat itu juga belum memiliki gedung sendiri. Perkuliahan dan ujian terkadang dilakukan di rumah Prof. Mudzakkir. Di bawah kepemimpinan Prof. Mudzakkir, UII berkembang semakin pesat (Setiawati, 2007).

Prof. Mudzakkir membentuk pejuang kemerdekaan Indonesia melalui pendidikan dan pelatihan barisan Hizbullah. Barisan Hizbullah memiliki dua pergerakan yaitu sebagai tentara cadangan penyiar agama Islam (Muhammad, dkk, 2020). Beliau kerap memberi dukungan dan mendoakan para pemuda Islam tersebut (Setiawati, 2007).

Bersama tokoh Muhammadiyah lainnya, Prof. Mudzakkir mendirikan Yayasan pesantren yang mengajarkan agama Islam Bernama Ma'had Islamy. Yayasan ini kemudian semakin berkembang menjadi Madrasah Tsanawiyah, SLTP, TK dan pondok pesantren di Kotagede. Beliau meyakini adanya kesetaraan hak bagi kaum laki-laki dan perempuan dalam menuntut ilmu. Dunia membutuhkan lebih banyak peran dan tenaga kaum perempuan di segala bidang kehidupan. Atas dasar pemikiran itulah beliau menggagas institusi pendidikan perempuan di bawah Muhammadiyah diantaranya Institut Ummul Mu'minin (sekarang menjadi Universitas Aisyiyah Yogyakarta) (Muhammad,dkk,2022).

Menerima Perbedaan demi Kemajuan Pendidikan

Mendapatkan dosen pengajar UII pada saat itu tidak mudah. Prof. Mudzakkir harus terjun langsung mendatangi para guru besar satu per satu. Salah satunya adalah Prof. Sumitro yang merupakan 'begawan ekonomi Indonesia'. Tawaran itu tidak langsung disambut, karena Prof. Sumitro beragama Nasrani. Namun Prof. Mudzakkir menjelaskan bahwa UII tidak mempermasalahkan agama, namun ilmulah yang diminta. Selain itu juga ada Dr. Njoo Hong Hwie, seorang Cina beragama Hindu (Setiawati, 2007).

Berkiprah di Dunia Internasional

Kiprah Prof. Mudzakkir sudah dimulai sejak beliau menuntut ilmu di Mesir dengan merintis Perhimpunan Indonesia Raya. Beliau mewakili pelajar Indonesia dalam konferensi Islam di Timur Tengah. Kongres itu merupakan sebuah forum dari berbagai negara yang mayoritas beragama Islam dan sedang dalam perjuangan mendapatkan kemerdekaan, termasuk Indonesia dan Palestina. Prof. Mudzakkir mulai terkenal sebagai pejuang muslim dari Indonesia. Di sana beliau kerap berpidato dan menulis artikel tentang perjuangan Indonesia untuk merdeka. Di tanah air, Prof Mudzakkir juga menjadi perwakilan Indonesia yang diundang ke Jepang untuk menghadiri Konferensi Kebudayaan Islam (Muhammad,dkk,2022).

Saat berjuang di UII pun Prof. Mudzakkir tetap 'menebar jaring' ke luar negeri. Kunjungan tamu luar negeri ke UII kerap dilakukan, bahkan dalam forum jumat di Kotagede. Disini, beliau bertugas sebagai penerjemah antara tamu dan masyarakat. Dengan pergaulannya yang luas di dunia internasional, UII mendapatkan banyak bantuan termasuk saham dari konsul Irak (Setiawati, 2007).

Teladan Amar Ma'ruf Nahyi Munkar

Prof. Mudzakkir adalah sosok yang Islami. Nilai-nilai Islam telah tertanam sejak kecil melalui keteladanan keluarga dan para guru. Cita-cita moral amar ma'ruf nahi munkar menjadikan beliau sosok bersahaja. Setiap karya dan kerja keras yang beliau lahirkan diniatkan semata karena Allah Azza Wa Jalla.

Prof. Mudzakkir adalah tokoh yang mengusulkan penggunaan kalender hijriah sebagai kalender nasional dan cara menggunakannya. Beliau menggunakan penanggalan secara konsisten untuk pribadi maupun di UII.

Beliau adalah orang yang sangat gemar bersilaturahmi. Hubungannya dengan banyak rekan politik hingga pasca kemerdekaan masih terjaga, bahkan sampai ke keluarganya. Kedekatan Prof. Mudzakkir dengan keluarga kecil maupun keluarga besar banyak diceritakan baik oleh anak-anaknya maupun koleganya. Saat mendapat tugas ke Pakistan, beliau menyempatkan bersurat untuk anak istrinya di rumah serta anaknya yang menuntut ilmu di pesantren. Tidak hanya dengan kolega dan keluarga, beliau juga sangat dekat dengan para mahasiswa. Mereka kerap berkunjung bahkan menginap di rumah beliau.

Cara halus selalu digunakan beliau dalam menyebarkan kebenaran. Saat ada mahasiswi yang menggunakan pakaian yang tidak menutupi aurat bagian kaki dengan baik, beliau selalu membagikan kertas tambahan. Kertas itu dimaksudkan untuk menutupi aurat mahasiswinya dengan baik.

Pada saat beliau bertempat tinggal di Kotagede, ada sekelompok warga yang kerap berjudi di sekitar pasar. Beliau selalu mengingatkan mereka dengan cara yang halus dan menggunakan Bahasa Jawa supaya mereka berhenti dan leren (beristirahat). Lama kelamaan, berkat charisma Prof. Mudzakkir, para warga tersebut akan bubar dengan sendirinya saat beliau pulang ke rumah (Setiawati, 2007).

Relevansi Sistem Nilai pada Masa *Golden Ages* dalam Keteladanan Prof.

Mudzakkir

Menurut M. Alikettani dalam Sardar (1984), sistem nilai Islam adalah kekuatan yang mendasari kebangkitan dunia Islam dan ilmu pengetahuan pada golden ages. Untuk menuju kebangkitan Islam Kembali, sistem nilai yang sama harus digunakan. Menurutnya, nilai-nilai tersebut masih ada namun tidak aktif. Pada kenyataannya, nilai-nilai tersebut masih relevan dan bisa ditemukan dalam sosok Prof. Mudzakkir. Namun ada beberapa temuan nilai lain yang bisa menjadi bahan pembelajaran bagi umat Islam modern saat ini.

Universalisme

Universalisme digambarkan oleh M. Alikettani dalam Sardar (1984) sebagai umat. Rasulullah SAW bersabda mengenai umat sebagai berikut:

"Perumpamaan orang-orang yang beriman di dalam saling mencintai, saling menyayangi dan mengasihi adalah seperti satu tubuh, bila ada salah satu anggota tubuh mengandung kesakitan, maka anggota-anggota tubuh yang lain ikut merasakannya..." (HR Bukhari dan Muslim)

Rasa persatuan sangat relevan dan terdapat dalam diri Prof. Mudzakkir. Keterlibatannya dalam diplomasi kemerdekaan saat menuntut ilmu di Mesir – meskipun beliau bukan seorang diplomat adalah bukti kecintaannya terhadap umat Islam dan masyarakat Indonesia yang terjajah. Beliau tidak hanya menghabiskan waktu di Mesir hanya untuk memperkaya ilmunya sendiri, namun juga memperjuangkan kemerdekaan Indonesia dan Palestina. Meskipun Palestina bukan saudara sebangsa, namun masyarakat Palestina adalah saudara seiman. Diplomasi beliau membuahkan hasil yang manis, yaitu Palestina sebagai negara pertama yang mengakui kedaulatan Indonesia. Palestina dan Indonesia bersahabat dengan sangat baik hingga saat ini. Beliau juga terkenal di kancah internasional pada saat itu atas kegigihannya mendukung kemerdekaan Palestina. Hal ini sejalan dengan konsep *ukhuwwah* dalam Islam yang tidak mengenal batas etnis atau wilayah.

Toleransi (Tasamuh)

Intoleransi dan radikalisme kini sedang menjadi isu yang tengah menerpa umat Islam akibat perbuatan sebagian oknum. Menanggapi hal ini, seharusnya kita kembali kepada peristiwa sejarah. Dasar negara Indonesia dibangun di atas toleransi yang luar biasa dari para pahlawan dan pendiri bangsa ini, terutama tokoh muslim termasuk Prof. Mudzakkir.

Frasa "Ketuhanan dengan kewajiban menjalankan syari'at Islam bagi para pemeluk-pemeluknya" sebenarnya berangkat dari realitas sejarah dimana Indonesia jauh

sebelum merdeka sudah mengenal syariat Islam. Hal ini tampak pada banyaknya kerajaan-kerajaan Islam yang sudah berdiri sebelumnya. Namun perubahan frasa tersebut setelah proklamasi kemerdekaan membuktikan bahwa meskipun tokoh perumus dasar negara adalah mayoritas tokoh Islam, namun mereka jauh dari egosentris dalam beragama. Mereka, termasuk Prof. Mudzakkir adalah tokoh-tokoh negara dengan jiwa kenegaraan yang sangat tinggi (PP Muhammadiyah, 2013).

Oleh karena itu, sila pertama 'Ketuhanan Yang Maha Esa' adalah bisa dikatakan sebagai bentuk toleransi umat Islam terhadap umat non Islam terutama di Indonesia bagian timur. Tentu hal ini tanpa menghilangkan makna tauhid bagi muslim. Keputusan ini lahir dari konsep *sadd dzari'ah*. *Sadd dzari'ah* adalah melarang segala hal yang menjadi wasilah atau jalan menuju sesuatu yang dilarang dan terkandung di dalamnya kerusakan atau madharat (Zulfikri, dkk, 2021). Tanpa adanya perubahan tujuh kata pada Piagam Indonesia bisa saja menimbulkan masalah dan konflik antar agama yang terjadi terus menerus yang berujung pada perpecahan bangsa.

Sikap toleransi juga diperlihatkan Prof. Mudzakkir dalam perjuangan memajukan UII. Beliau tidak menutup kerja sama dan pertukaran ilmu dengan para guru besar Nasrani maupun Hindu. Hal serupa terjadi pada zaman keemasan. Muslim menyadari mereka adalah bagian dari kemanusiaan secara keseluruhan. Para ilmuwan bersedia mengembangkan ilmu-ilmu dari non muslim. Hal ini memungkinkan pertukaran ide dan ilmu pengetahuan.

Toleransi bukanlah hal yang baru dalam Islam. Puncak toleransi dalam dunia Islam pada masa Rasulullah adalah tercapainya Piagam Madinah. Piagam ini merupakan usulan dari Rasulullah SAW kepada penduduk Madinah yang terdiri dari golongan masyarakat yang sangat majemuk. Pada saat itu Madinah terdiri dari beberapa golongan muslim (Yatsrib dan Quraisy), suku/ bani/ qabalah, dan agama (Islam, Indonesia, dan Nasrani). Tujuan penting dari piagam ini adalah perdamaian melalui kesetaraan hak dan kewajiban tanpa memandang suku, ras, agama.

Ajaran Islam yang dibawa Nabi Muhammad tidak mengandung sikap intoleransi ataupun rasialisme. Islam adalah rahmat bagi seluruh alam. Di dalam ajarannya tentu membawa amanah untuk memajukan dan mensejahterakan kehidupan seluruh umat manusia, khususnya umat Islam (Kalsum, 2014).

Karakter Internasional

Para ilmuwan muslim pada zaman keemasan melakukan perjalanan ke seluruh dunia dan sebaliknya. Ketika supremasi politik Islam menghilang, hal ini tidak berubah. Oleh karena itu, ilmuwan muslim dan output-nya adalah komoditas yang dapat dipasarkan dalam skala internasional (Sardar, 1984)

Pada saat Prof. Mudzakkir mendapatkan kesempatan belajar di Mesir, beliau sudah mulai memperluas pergaulan tidak hanya dengan sesama pelajar Indonesia tetapi juga dengan negara-negara muslim dalam memperjuangkan kemerdekaan. Beliau kerap menulis artikel maupun berpidato di hadapan khalayak internasional.

Tidak hanya pada jaman kemerdekaan, pada saat mengabdikan sebagai pengajar di UII pun beliau tetap memperluas pergaulan di dunia internasional. Hal ini mendatangkan banyak dukungan dalam berbagai bentuk bagi UII. Banyaknya kunjungan dari luar negeri maupun sebaliknya memungkinkan semakin banyak pertukaran ilmu pengetahuan yang bermanfaat bagi dunia pendidikan.

Menghormati ilmu dan ilmuwan

Prof. Mudzakkir lahir dan besar di lingkungan pendidik yang agamis. Ayah dan kakek beliau adalah seorang guru agama. Kakek buyutnya adalah seorang ulama. Agama dan Pendidikan menjadi 'nafas' utama dalam kehidupan beliau. Setelah bergelut di dunia politik pun pada akhirnya beliau mengabdikan pada dunia pendidikan di UII hingga akhir hayatnya.

Kesibukan beliau dalam dunia konferensi Islam maupun politik tidak membuat beliau lupa terhadap guru-guru. Beliau selalu menyempatkan bersilaturahmi dengan para guru di beberapa daerah sebelum pulang ke Kotagede (FIAI UII, 2020). Rasa hormat juga beliau tunjukkan kepada sesama pengajar di UII.

Beliau adalah sosok yang sangat mencintai buku. Menurut kesaksian beberapa orang, buku adalah barang berharga yang dapat ditemui di rumah beliau. Hal ini sesuai dengan nilai Islam, dimana membaca adalah budaya menghormati ilmu pengetahuan (Waston, 2017). Sebagai muslim kita memahami wahyu pertama yang diterima Rasulullah SAW adalah tentang pengetahuan.

Kecintaan beliau terhadap dunia pendidikan juga tampak dalam pengabdianya mulai sejak STI hingga UII sampai akhir hayat. Kiprahnya dalam dunia politik bisa saja menjanjikan pangkat maupun kekuasaan pada titik tertentu. Namun demikian beliau tetap memilih kembali kepada dunia pendidikan. Hal ini membuktikan bahwa Prof. Mudzakkir adalah sosok yang berpandangan hidup jelas dan sangat mencintai ilmu. Beliau memilih untuk turut mencerdaskan kehidupan bangsa Indonesia khususnya umat Islam melalui pendidikan (Ropendi, 2017).

Selain keempat sistem nilai tersebut, penulis mencoba menambahkan beberapa sistem nilai lain melalui kajian literatur yang dapat diteladani dari ketokohan Prof. Mudzakkir, antara lain:

Anti Superioritas

Kemunduran peradaban Islam setelah zaman keemasan terjadi karena faktor eksternal dan internal. Satu di antara beberapa faktor internal rasa berpuas diri (Dewi, 2016). Rasa berpuas diri ini mendorong kepada rasa bangga berlebihan. Pada akhirnya timbul perasaan superioritas sebagai orang arab atau muslim.

Sebagai tokoh nasional yang sangat penting, citra tokoh sederhana dari Kotagede tetap melekat pada Prof. Mudzakkir. Pergaulannya terjalin baik dengan segala kalangan, baik sebagai politikus dan cendekiawan. Dengan sesama dosen maupun mahasiswa, dengan sesama muslim maupun non muslim, dengan rekan politik maupun 'lawan' politiknya, dengan sesama tokoh Islam, maupun warga biasa di Kotagede. Pergaulan beliau tidak terbatas pada golongan politikus, cendekiawan, kyai, namun juga dengan tukang becak, pedagang pasar, bahkan warga yang suka berjudi.

Allah SWT telah memperingatkan kelalaian arogansi manusia. Dalam QS Al-'Alaq, manusia mendapat penjelasan tentang pengetahuan dan peringatan terhadap kebodohan.

"Bacalah dengan (menyebut) nama Tuhanmu Yang Menciptakan. Dia telah menciptakan manusia segumpal darah. Bacalah, dan Tuhanmu-lah Yang Paling Pemurah. Yang mengajar (manusia) dengan perantaraan kalam (pena). Dia mengajarkan kepada manusia apa yang tidak diketahuinya. Ketahuilah! Sesungguhnya manusia benar-benar melampaui batas. Karena dia melihat dirinya serba cukup. Sesungguhnya hanya kepada Tuhanmulah 358embali (mu)"

Sintesis kreatif

Peradaban Islam pada zaman keemasan dibangun dengan proses sintesis kreatif, dimana seseorang bisa menguasai beberapa bidang ilmu. Pada saat itu Islam menunjukkan kreativitas yang luar biasa pada bidang ilmu pengetahuan dan teknologi. Contohnya Al-Biruni terkenal dalam bidang falsafah Hindu, matematik, geografi, astronomi, dan agama. Ibnu Khaldun dalam bidang sejarah, falsafah, sosiologi, dan sains politik. Selain itu, peradaban Islam juga erat kaitannya dengan filsafat Yunani maupun ilmu-ilmu yang dianggap sekuler, contohnya Ibnu Rusydi yang juga seorang Aristotelian. Beliau adalah muslim pertama yang mengakui bumi itu bulat (Waston, 2017).

Prof. Mudzakkir tidak hanya seorang tokoh Islam, beliau juga berkecimpung di dunia politik dan pendidikan. Yang menarik dari beliau adalah keberadaan nilai agama di atas yang lainnya. Dalam sejarah, Islam menjadi ungkapan keluhan orang-orang kecil yang terpinggirkan. Hal ini menjadikan Islam seolah menjadi elit tandingan yang 'melawan' pemerintah. Padahal semestinya Islam menjadi pedoman dalam segala hal yang diambil dari Sang Maha Kuasa. Politik hanyalah salah satu aspek dalam kehidupan umat Islam (Nakamura, 2019). Hal ini membuat sifat-sifat haus kekuasaan dan kemewahan jauh dari sosok Prof. Mudzakkir.

Proses sintesis dalam kebudayaan juga tampak dalam kiprah Muhammadiyah, Prof. Mudzakkir berkiprah. Menurut Waston (2017) organisasi ini menggambarkan pertemuan kebudayaan Islam dan Barat. Pendirian sekolah modern dilakukan dengan gaya pendidikan barat dimana ilmu-ilmu umum diajarkan, selain pendirian rumah sakit dan unit sosial. Penekanan Muhammadiyah terletak pada rasionalitas yang lepas dari kebekuan tradisi lama seperti pada organisasi keagamaan tradisional.

Menjawab Tantangan Modernisasi Dan Globalisasi

Kehebatan cendekiawan Islam pada masa *golden age* pada akhirnya tidak hanya dipuji tapi dibekukan dan tidak boleh diubah. Fazlur Rahman dalam Waston (2017) menyebutkan bahwa ilmu Islam hanya berulang dan minim melahirkan gagasan baru. Seiring adanya usaha penentangan ilmu pengetahuan rasional yang bertentangan dengan ilmu agama tradisional, umat muslim hanya bisa membanggakan diri atas kejayaan masa lalu sambil menolak barat. Umat muslim pun 'digerogoti' berbagai permasalahan dalam tubuhnya sendiri seperti perpecahan, kemiskinan dan kebodohan. Jarak ketertinggalan umat Islam dengan kemajuan barat semakin jauh (Rusydy, 2018). Bagaimanapun, perkembangan Islam di abad modern ini dapat disikapi dengan belajar dari sejarah. Umat Islam dituntut untuk mengembangkan ilmu agar terjadi perubahan seiring perkembangan zaman (Kalsum, 2014). Islam mengajarkan manusia untuk menciptakan kebudayaan dan berproses membentuk peradaban dalam menghadapi perkembangan kehidupan umat manusia. Perkembangan peradaban dipengaruhi oleh 3 faktor yaitu pandangan Islam sebagai pondasi, perkembangan sains dan stabilitas sosial politik (Fahmi, 2020).

Selain ketiga factor tersebut, system nilai sebagai individu dalam tatanan kehidupan juga harus disesuaikan dalam menghadapi perkembangan jaman. Kini umat Islam menghadapi zaman baru. Menurut Rusydy (2018), peradaban Islam adalah hasil perkembangan dan kemajuan kaum muslim yang meliputi nilai-nilai keislaman, peranata-peranata keislaman, adat tradisi, ide pemikiran, dan tugas-tugas kemanusiaan. Peradaban inilah yang menghadapi tantangan yaitu modernisasi dan globalisasi.

Pendidikan tentu tidak dapat dipisahkan dalam hal ini. Dalam penelitian Thohari (2017) jauh sebelum kemerdekaan sudah ada pendapat bahwa kelemahan umat Islam adalah tidak adanya pengetahuan umum yang baru. Dengan kata lain telah terjadi kebekuan ilmu pengetahuan. Oleh karenanya, peran institusi pendidikan sangat penting. Sebagaimana yang dijelaskan Moh. Hatta dalam pidato pembukaan STI, kesejahteraan dalam masyarakat akan tercapai manakala ilmu dan agama bisa berpadu dalam suasana kerja sama yang baik (Thohari, 2017).

Jika melihat sistem nilai di atas, peradaban Islam sebenarnya sejalan dengan globalisasi. Namun karena keterputusan mata rantai intelektualitas, hal ini berubah menjadi tantangan (Rusydy, 2018). Salah satu konsekuensi negatif dari globalisasi adalah tuntutan pasar yang membuat sistem pendidikan menekankan keterampilan teknis dan mengesampingkan mata pelajaran akademis tradisional. Hal ini berarti pendidikan tidak lebih dari penguasaan keterampilan khusus tapi kurang dalam pendidikan moral. Pendidikan keteladanan merupakan salah satu cara yang ampuh dalam mengatasi masalah akhlak, moral, spiritual dan sosial masyarakat (Amaliati, 2020). Keteladanan tokoh-tokoh berpengaruh seperti Prof. Mudzakkir mestinya ditanamkan sejak dini, mengingat gempuran budaya hiburan pop yang melanda generasi milenial.

KESIMPULAN DAN SARAN

Keempat sistem nilai dalam buku *The Touch of Midas* yang disebutkan Alikettani dalam Sardar (1984) nyatanya masih aktif dan relevan dengan keteladanan Prof. Mudzakkir. Beliau adalah sosok yang tepat jika mengingat kebangkitan peradaban umat Islam, terutama pada bidang pendidikan. Belajar dari kegagalan masa lalu, ada sistem nilai lain yang bisa diteladani dari beliau yaitu anti superioritas dan sintesis kreatif.

Untuk menghadapi kerasnya gempuran arus globalisasi, umat Islam tidak boleh kehilangan jati diri dan cita-cita moralnya yaitu *amar ma'ruf nahi munkar*. Pendidikan keteladanan seperti Prof. Mudzakkir sangat diperlukan untuk mengembalikan kebanggaan generasi muda terhadap tokoh nasional maupun tokoh Islam. Generasi muda perlu dibentengi dari pengaruh budaya pop hiburan yang berlebihan, terutama yang bertentangan dengan nilai kebangsaan dan Islam.

Selanjutnya perlu dilakukan kajian lebih lanjut untuk menemukan sistem nilai lain dalam keteladanan Prof. Mudzakkir, misalnya dalam bidang dakwah. Selain Prof. Mudzakkir tentu masih banyak tokoh-tokoh bangsa lainnya yang belum banyak dikaji untuk dipelajari sistem nilai yang mendasari cara pandang maupun tindak.

DAFTAR PUSTAKA

- Abidin, M.Z. 2012. Dinamika Perkembangan Ilmu Dalam Islam Serta Statusnya Dalam Perkembangan Peradaban Modern. *Jurnal Ilmu Ushuluddin*.
- Amaliati, S. (2020). Konsep Tarbiyatul Aulad Fi Al-Islam Abdullah Nashih Ulwan dan Relevansinya Dengan Pendidikan Islam Untuk "Kidz Jaman Now". *AULADA: Jurnal Pendidikan dan Perkembangan Anak*. Vol.2, No.2
- Fahmi, F. (2020). Potret Islam Sebagai Agama dan Peradaban Modern. *Al-Fatih: Jurnal Pendidikan dan Keislaman*. Vol.3 No.2
- FIAI UII (2020). Launcing Film Dokumenter KH. Abdul Kahar Mudzakkir (Studi Tokoh Pendiri UII). <https://youtu.be/FZwLx8AYwUU>

- Hakim, L. (2013). Dari Muhammadiyah untuk Indonesia: Pemikiran dan Kiprah Ki Bagus Hadikusumo, Mr. Kasman Singodimejo dan K.H. Abdul Kahar Mudzakkir. PP Muhammadiyah
- Kalsum, N.U. (2014). Perkembangan Pemikiran dan Peradaban Islam pada Abad Modern. TAMADDUN: Jurnal Kebudayaan dan Sastra Islam. Vol.14 No.2
- Mardalis. (1999). Metode Penelitian Suatu Pendekatan Proposal. Bumi Aksara.
- Muhammad, S., dkk. (2022). Revitalisasi Studi Tokoh Muslim Dalam Pengembangan Pemikiran Islam. DIVA Press.
- Nakamura, M. (2019). Prof. H. Abdul Kahar Muzakkir dan Perkembangan Gerakan Islam Reformis di Indonesia. Jurnal Afkaruna, Vol. 15 No. 2
- Rusyd, M. (2018). Modernitas dan Globalisasi: Tantangan Bagi Peradaban Islam. Tajdid. Vol. 17, No.1
- Sardar, Z. (1984). *The Touch of Midas Science, Values and Environment in Islam and the West*. Manchester University Press.
- Setiawati, T. (2007). Prof KH Abdul Kahar Mudzakkir Mutiara Nusantara dari Yogyakarta. Badan Wakaf Universitas Islam Indonesia
- Thohari, S. (2017). Dinamika Ull Dalam Menjaga dan Mempertahankan Identitas Keislamannya: Sebuah Tinjauan Historis. ABHATS : Jurnal Islam Uilil Albab Vol.2 No.1
- Waston. (2017). Menatap Masa Depan Peradaban Islam. Ishraqi. Vol.1 No.1
- Zulfikri, Kamaludin, I. dan Syahidin, R. (2021). Tinjauan Sadd Dzari'ah Terhadap Penghapusan Tujuh Kalimat Dalam Piagam Jakarta. Jurnal Syari'ah. Vol.4, No.1

EVALUASI KINERJA SIMPANG SERAYU KOTA MADIUN BERDASARKAN STUDI MANUAL KAPASITAS DAN MIKROSIMULASI LALU LINTAS

Galang Rahman Wahid¹, Berlian Kushari²

¹ Mahasiswa Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta

17511190@students.uii.ac.id

² Staf Pengajar Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta

bkushari@uii.ac.id

ABSTRAK

Simpang Serayu merupakan salah satu simpang di Kota Madiun yang berpotensi mengalami penurunan kinerja pelayanan terhadap lalu lintas akibat kecenderungan pertumbuhan volume lalu lintas di Kota Madiun dan sekitarnya. Makalah ini melaporkan hasil evaluasi kinerja Simpang Serayu pada tahun 2022 menggunakan MKJI 1997 dan kajian skenario perbaikan kinerja masa mendatang dengan pendekatan studi mikrosimulasi. Hasil terbaik dari penelitian ini diperoleh pada solusi alternatif ke-4 yang merupakan kombinasi perubahan terbaik dari semua alternatif yang direncanakan sebelumnya. Kondisi ini dibuktikan dengan peningkatan kinerja dari masing-masing pendekat yang nilainya di bawah 0,75. Di antaranya adalah Pendekat Utara dengan nilai derajat kejenuhan 0,7, pendekat Timur 0,44, Pendekat Selatan 0,7 dan pendekatan Barat 0,5. Kinerja simpang juga tercermin dari parameter waktu tundaan, panjang antrian dan kecepatan rata-rata kendaraan saat mengakses simpang tersebut. Simulasi alternatif ke-4 menunjukkan Pendekat Utara hanya mengalami tundaan 10,6 detik, Pendekat Timur 19,2 detik, Pendekat Selatan 18,2 detik, dan Pendekat Barat adalah 38,8 detik. Selanjutnya Panjang Antrian, Pendekat Utara sepanjang 40,28 meter, Pendekat Timur sepanjang 12,91 meter, Pendekat Selatan sepanjang 53,13 meter dan Pendekat Barat sepanjang 20,66 meter. Terakhir adalah kinerja kecepatan rata-rata kendaraan, untuk Pendekat Utara adalah 36,49 km/jam, Pendekat Timur adalah 40,15 km/jam, Pendekat Selatan adalah 34,54 km/jam, dan Pendekat Barat adalah 30,60 km/jam.

Kata kunci: Derajat Kejenuhan, Tundaan, Panjang Antrian, Kecepatan, Simpang Bersinyal, MKJI 1997, VISSIM

PENDAHULUAN

Dalam beberapa tahun terakhir, Madiun menjadi kota yang mengalami banyak kemajuan dalam hal pembangunan infrastruktur pendukung di berbagai bidang. Ditambah dengan adanya pencabutan status PPKM oleh pemerintah. Sehingga, banyak pendatang baru dari luar Madiun yang mana sebagai pelajar, pekerja maupun turis. Namun, simpang lokasi penelitian ini, Simpang Serayu, kurang diperhatikan oleh pemerintah karena letaknya yang di perbatasan kota. Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk memperkirakan volume lalu lintas di masa mendatang, hasilnya akan digunakan menentukan solusi alternatif pengganti. Kemudian melakukan pengujian yang bertujuan untuk menganalisis kelayakan alternatif yang akan diimplementasikan untuk masa yang akan datang berdasarkan perkiraan pertumbuhan lalu lintas kota Madiun.

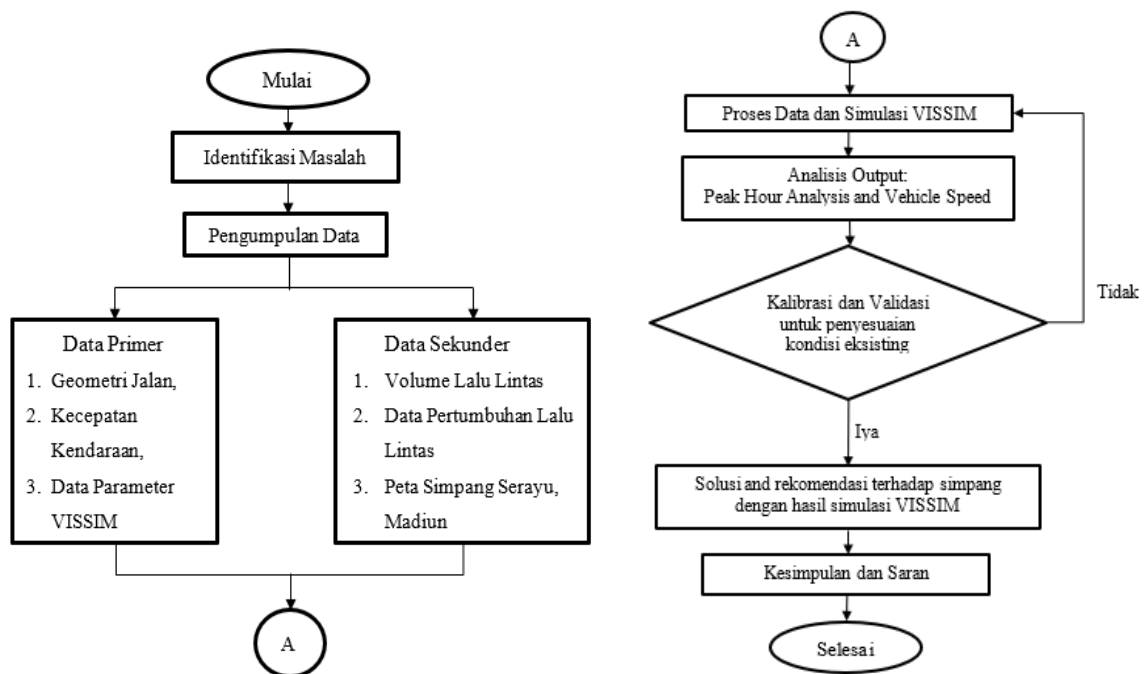
METODOLOGI

Waktu dan Lokasi Penelitian

Survei dilakukan pada hari kerja dan akhir pekan dalam 3 periode waktu, yaitu pagi (6.00 – 8.30), siang (14.30 – 17.00) dan sore (18.30 – 21.00). Tanggal hari kerja adalah Senin, 9 Mei 2022, sedangkan akhir pekan adalah Sabtu, 7 Mei 2022.



Gambar 1. Lokasi Penelitian



Gambar 2. Bagan Alur Penelitian

Tinjauan Pustaka

Analisis MKJI 1997

1. Volume (Q)

Tabel 1. Nilai Ekuivalen Mobil Penumpang

Jenis Kendaraan	SMP untuk Tipe Pendekat	
	Terlindung	Terlawan
Kendaraan Ringan (LV)	1,0	1,0
Kendaraan Berat (HV)	1,3	1,3
Sepeda Motor(MC)	0,2	0,4

Sumber: MKJI 1997

$$Q = (Q_{LV} \times SMP_{LV}) + (Q_{HV} \times SMP_{HV}) + (Q_{MC} \times SMP_{MC}) \quad (1)$$

Dimana

Q = Arus lalu lintas (emp/jam) Q_{MC} = Arus sepeda motor (kend/jam)
 Q_{LV} = Arus kendaraan ringan (kend/jam) SMP_{LV} = emp kendaraan ringan
 Q_{HV} = Arus kendaraan berat (kend/jam) SMP_{HV} = emp kendaraan berat
 SMP_{MC} = emp sepeda motor

2. Arus Jenuh Dasar

Arus jenuh dasar (S_0) yaitu besarnya keberangkatan antrian dalam pendekat selama kondisi ideal (smp/jam hijau).

$$S_0 = 780 \times We \text{ smp/jam hijau} \quad (2)$$

Dimana:

780 = Konstanta (Munawar)
 We = Lebar efektif pendekat (m)

3. Arus Jenuh

Berdasarkan MKJI 1996, Arus jenuh yang disesuaikan (S) yaitu besarnya keberangkatan antrian dalam pendekat selama kondisi tertentu setelah disesuaikan dengan kondisi persimpangan (smp/jam hijau).

$$S = S_0 \times F_{CS} \times F_{SF} \times F_G \times F_P \times F_{LT} \times F_{RT} \quad (3)$$

Dimana:

S_0 = Arus jenuh dasar (smp/jam hijau)
 F_{CS} = Faktor penyesuaian ukuran kota
 F_{SF} = Faktor penyesuaian tipe lingkungan, hambatan samping dan kendaraan tak bermotor
 F_G = Faktor penyesuaian kelandaian
 F_P = Faktor penyesuaian parkir
 F_{LT} = Faktor penyesuaian belok kiri
 F_{RT} = Faktor penyesuaian belok kanan

4. Kapasitas

Kapasitas adalah jumlah lalu lintas maksimum yang dapat ditampung oleh suatu pendekat dalam waktu tertentu.

$$C = S \times g/c \quad (4)$$

Dimana:

C = kapasitas (smp/jam hijau) g = waktu hijau (detik)
S = arus jenuh (smp/jam hijau) c = waktu siklus (detik)

5. Derajat Kejenuhan (DS)

Derajat Kejenuhan didefinisikan sebagai perbandingan volume (Q) dengan kapasitas (C).

$$DS = Q/C \quad (5)$$

Dimana:

Q = arus (smp/jam)

C = kapasitas

6. Kecepatan

Menggunakan kecepatan perjalanan sebagai pengukuran kinerja segmen jalan melalui kecepatan rata-rata dari kendaraan di sepanjang segmen jalan.

$$V = L/TT \quad (6)$$

Dimana:

V = Kecepatan rerata (km/h)

L = Panjang segmen (km)

TT = Lama perjalanan jam)

Analisis Regresi Linear

Menurut Kurniawan dan Adrian (2017), sebagai metode statistik untuk memperkirakan pertambahan jumlah kendaraan, analisis regresi linier dapat memodelkan hubungan antara dua variabel atau lebih. Dalam model ini terdapat variabel terikat (y) yang memiliki hubungan fungsional dengan 1 (satu) atau lebih variabel bebas (Xi).

Maka persamaan dari hasil tersebut dapat dituliskan dalam rumus berikut:

$$Y' = a + Bx \quad (7)$$

Dimana:

Y' = Hasil (nilai prediksi)

X = Tahun yang diinginkan

a = Konstanta (nilai Y' jika X = 0)

b = Koefisien regresi (nilai positif jika naik dan negatif jika turun)

Dengan hasil seperti berikut, didapatkan konstanta dan koefisien untuk mencari faktor tingkat pertumbuhan lalu lintas (i) yang akan digunakan sebagai pengali volume pada tiap pendekat.

Simulasi VISSIM

Pada penelitiannya mengenai peningkatan kinerja simpang dengan one-way system melalui bantuan PTV-VISSIM, M. Zaki (2020) menyebutkan bahwa pemodelan VISSIM berisikan *Links*, *Connector*, dan *Background and Scaling*. Dengan data parameter yang diinput adalah berupa; *Vehicle Type*, *Vehicle Class*, *Vehicle Composition (Motorcycle(MC), Passenger Car(LV), Bus(HV) and Truck (HV))*, *Vehicle Input*, *Signal Control* dan *Driving Behavior* dan semua parameter input data dianalisis sedemikian rupa untuk mendapatkan parameter output seperti Volume, Tundaan, Panjang Antrian dan Kecepatan Rerata. Di mana output tersebut digunakan untuk menentukan baik tidaknya kondisi persimpangan yang diteliti.

HASIL DAN ANALISIS

Volume Lalu Lintas

Tabel 2. Distribusi Volume Lalu Lintas

Periode	Volume (smp/jam)	
	Sabtu, 7 Mei 2022	Senin, 9 Mei 2022
	Pagi	
06.00 - 07.00	1220	1278
06.15 - 07.15	1333	1346
06.30 - 07.30	1404	1435
06.45 - 07.45	1427	1478
07.00 - 08.00	1415	1460
07.15 - 08.15	1439	1468
07.30 - 08.30	1464	1418
	Siang	
14.30 - 15.30	1257	1383
14.45 - 15.45	1354	1348
15.00 - 16.00	1445	1366
15.15 - 16.15	1498	1463
15.30 - 16.30	1500	1499
15.45 - 16.45	1416	1559
16.00 - 17.00	1410	1563
	Sore	
18.30 - 19.30	1272	1287
18.45 - 19.45	1352	1239
19.00 - 20.00	1377	1275
19.15 - 20.15	1411	1278
19.30 - 20.30	1431	1275
19.45 - 20.45	1395	1282
20.00 - 21.00	1326	1235

Dari tabel rekapitulasi volume lalu lintas dalam dua hari pada tiga periode waktu yaitu pagi, siang, dan sore hari, dapat disimpulkan bahwa jam puncak terjadi pada pukul 16.00 – 17.00 pada hari Senin, 9 Mei 2022, dengan volume sebanyak sebagai 1563 smp/jam.

Kondisi Eksisting Simpang

Tabel 3. Rekapitulasi Perhitungan Kinerja Simpang Eksisting dengan MKJI 1997

		Utara	Selatan	Barat	Timur
Pendekat		P	P	P	P
Lebar efektif (m)	We	5,00	5,00	3,00	3,00
Arus jenuh dasar (emp/waktu hijau)	So	3900	3900	2340	2340
Faktor penyesuaian ukuran kota	Fcs	0,83	0,83	0,83	0,83
Faktor penyesuaian untuk tipe lingkungan jalan	Fsf	0,95	0,95	0,94	0,98
Faktor penyesuaian kelandaian	Fg	1	1	1	1
Faktor penyesuaian parkir	Fp	1	1	1	1
Faktor penyesuaian belok kiri	Flt	0,98 1	0,982	0,96 1	0,933
Faktor penyesuaian belok kanan	Frt	1,03 5	1,045	1,13 1	1,061
Arus jenuh (emp/waktu hijau)	S	3123	3157	1984	1885
Arus lalu lintas (emp/jam)	Q	658, 3	506,5	234, 4	164,0
Rasio arus	FR	0,21 1	0,160	0,11 8	0,087
Rasio arus simpang	FRcrit	0,576			
Waktu hijau (detik)	g0	25	25	15	15
Kapasitas (emp/waktu hijau)	C	781	790	298	283
Derajat Kejenuhan	DS	0,84	0,64	0,79	0,58

Berdasarkan Tabel 3 di atas, dapat disimpulkan bahwa kondisi eksisting Simpang Serayu tidak cukup baik dibuktikan dengan nilai Derajat Kejenuhan lebih dari 0,75 pada dua pendekat yaitu Pendekat Utara senilai 0,84 dan Pendekat Barat senilai 0,79. Menurut hasil pengamatan di lapangan, hal ini terjadi dikarenakan pendekat Utara merupakan jalan yang biasa dilalui pekerja atau wisatawan dari arah pusat kota yang akan pergi menuju keluar ke arah Kota Ponorogo. Sedangkan pada Pendekat Barat, segmen ini merupakan area pendidikan yang banyak terdapat kampus dan sekolah-sekolah serta tidak sedikit pula area perkantoran.

Faktor Tingkat Pertumbuhan Lalu Lintas

Berdasarkan hasil regresi analisis sepeda motor (MC), didapatkan nilai persamaan prediksi sebagai:

$$y = 1.518,44x - 2.955.791,51$$

- Langkah untuk menghitung pertumbuhan sepeda motor (MC). Contoh, tahun 2022, maka:

$$x = 2022$$

$$y = 1518.44x - 2955791.51$$

$$y = 1518.44(2022) - 2955791.51$$

$$y = 114490$$

- Langkah menghitung faktor pertumbuhan dalam tingkat intensitas 1 tahun (i) sebagai berikut:

$$i = \frac{y_2 - y_1}{y_1} \times 100\% \quad (8)$$

Dimana:

y_2 = jumlah kendaraan pada tahun yang diharapkan

y_1 = jumlah kendaraan pada tahun sebelumnya

i = pertumbuhan kendaraan dalam intensitas 1 tahun

Kemudian, faktor tingkat pertumbuhan sepeda motor pada tahun 2021 hingga 2022 sebanyak:

$$i = \frac{y_2 - y_1}{y_1} \times 100\%$$

$$i = \frac{114490 - 113310}{113310} \times 100\%$$

$$i = 1.04\%$$

Tabel 4. Rekapitulasi Perhitungan Tingkat Pertumbuhan Lalu Lintas dengan Regresi Linear

Tahun	Sepeda Motor (MC)		Mobil Penumpang (LV)		Bus (HV)		Truk (HV)	
	Jumlah	i (%)	Jumlah	i (%)	Jumlah	i (%)	Jumlah	i (%)
2017	105949		15194		289		4145	
2018	109536	3,39	11798	-22,35	255	-11,76	3077	-25,77
2019	110882	1,23	13432	13,85	279	9,41	3656	18,82
2020	109998	-0,80	15458	15,08	284	1,79	3706	1,37
2021	113310	3,01	17695	14,47	303	6,69	4178	12,74
2022	114490	1,04	17314	-2,15	299	-1,29	3961	-5,20
2023	116009	1,33	18180	5,00	305	1,91	4030	1,75
2024	117527	1,31	19047	4,76	311	1,87	4100	1,72
2025	119046	1,29	19913	4,55	316	1,84	4169	1,70
2026	120564	1,28	20779	4,35	322	1,80	4239	1,67
2027	122082	1,26	21645	4,17	328	1,77	4308	1,64

Perhitungan Volume Pertumbuhan Kendaraan 5 Tahun Prediksi

Contoh Perhitungan Gerakan Belok Kiri pada Pendekat Utara:

i% sepeda motor pada tahun 2023 = 1,33%

i% kendaraan ringan pada tahun 2023 = 5%

i% bus pada tahun 2023 = 1,91%

i% truk pada tahun 2023 = 1,75%

$$\begin{aligned} MC\ 2023 &= 65 + (65 \times (i\%)/100) \\ &= 65 + (65 \times (1,33\%)/100) \\ &= 66 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} LV\ 2023 &= 53 + (53 \times (i\%)/100) \\ &= 53 + (53 \times (5\%)/100) \\ &= 56 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Bus\ 2023 &= 0 + (0 \times (i\%)/100) \\ &= 0 + (0 \times (1,91\%)/100) \\ &= 0 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Truk\ 2023 &= 8 + (8 \times (i\%)/100) \\ &= 8 + (8 \times (1,75\%)/100) \\ &= 9 \end{aligned}$$

Identifikasi Permasalahan Kinerja Simpang

Tabel 5. Nilai Derajat Kejenuhan Tiap Satu Tahun Prediksi

Tahun	Pendekat							
	Utara		Selatan		Timur		Barat	
	Volume (smp/jam)	DS	Volume (smp/jam)	DS	Volume (smp/jam)	DS	Volume (smp/jam)	DS
2022	658,3	0,84	506,5	0,64	164	0,58	234,4	0,79
2023	689,9	0,88	530,9	0,67	172,4	0,61	248,1	0,84
2024	721,5	0,92	555,3	0,70	180,8	0,64	261,8	0,88
2025	753,1	0,96	579,7	0,73	189,2	0,67	275,5	0,93
2026	784,7	1,00	604,1	0,76	197,6	0,69	297,2	1,00
2027	816,3	1,04	628,5	0,80	206	0,72	302,9	1,02

Seperti terlihat pada tabel di atas, dapat disimpulkan seiring dengan peningkatan volume akan diikuti dengan bertambahnya nilai DS, pendekat Utara dan Barat secara simultan telah mencapai nilai DS sebesar 1,0 mulai tahun 2026. Jadi, sebagai akibat dari pertumbuhan lalu lintas, kondisi simpang pada tahun 2026 mulai memburuk dan perlu dievaluasi kembali.

Solusi Alternatif Simpang dengan VISSIM

1. Alternatif-1 (Penyesuaian Waktu Siklus)

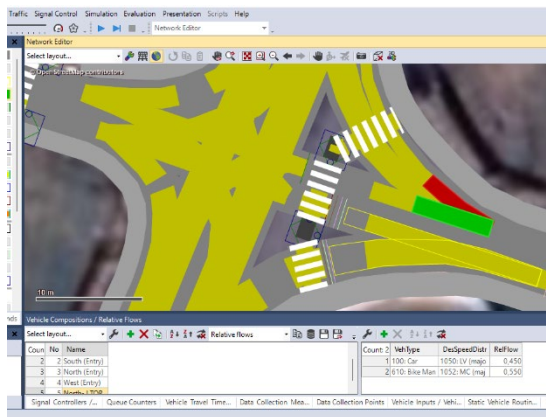
Nilai waktu siklus yang digunakan adalah dari nilai maksimum yang diijinkan untuk simpang 4 fasa seperti yang tercantum dalam MKJI 1997 sebanyak 130 detik.

Tabel 6. Waktu Sinyal Alternatif-1

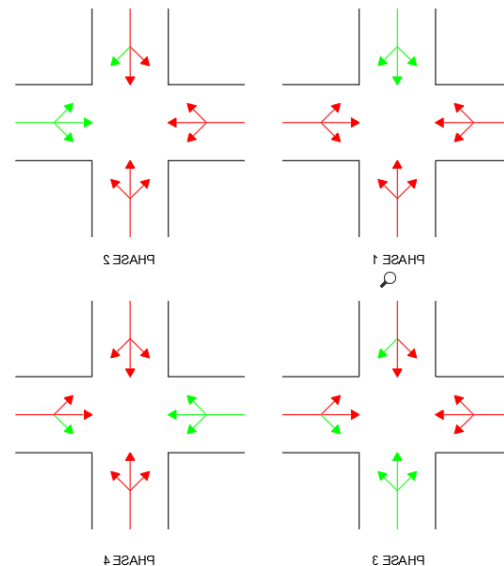
Pendekat	Waktu Sinyal			Waktu Siklus (det)
	Hijau	Amber	Allred	
Utara	39	2	2	130
Timur	20	2	2	130
Selatan	31	2	2	130
Barat	24	2	2	130

Alternatif-2 (fase sinyal, perubahan geometris dan LTOR)

Penambahan LTOR dari pendekat Utara karena memiliki nilai DS terburuk untuk meningkatkan kapasitasnya. Pendekat lain yaitu pendekatan Timur juga dapat ditambahkan LTOR dikarenakan terdapat beberapa ruang yang tidak dilalui kendaraan (ruang kosong), maka dapat dibangun pulau jalan di area tersebut. Penambahan LTOR disesuaikan pada fase tertentu untuk menghindari daerah konflik. Berdasarkan IHCM 1997, lebar minimum untuk LTOR adalah 2 meter.

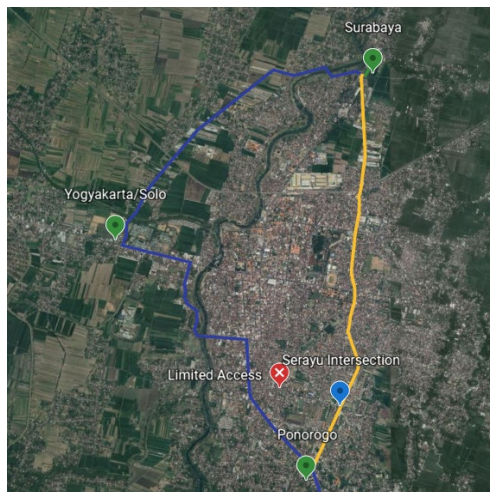


Gambar 3. Pengaturan Conflict Area dan LTOR pada VISSIM

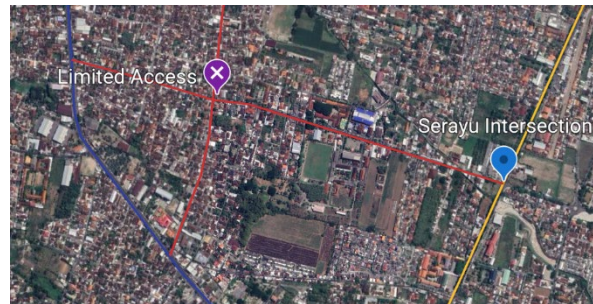


Gambar 4. Fase Sinyal Alternatif-2

Alternatif-3 (Pembatasan akses)



Gambar 5. Pengalihan Arah Bus Antar Kota (Pendekat Selatan Mayjend Panjaitan)



Gambar 6. Batasan Akses Terhadap Kendaraan Tertentu (Semua Kendaraan Roda 4) untuk Pendekat Barat

Alternatif ini memberikan larangan bagi beberapa kendaraan tertentu pada jam-jam sibuk untuk meminimalkan kendaraan yang masuk untuk mengurangi volume arus yang mendekati. Alternatif ini dilakukan yang hanya akan mempengaruhi simpang ini. Pada Gambar 5, kendaraan yang dialihkan adalah bus antar kota yang akan menuju terminal yang sebelumnya melewati jalur dalam kota. Sedangkan pada Gambar 6, kendaraan yang dilarang melintas ke arah Barat adalah semua jenis kendaraan roda 4 pada jam sibuk.

Alternatif-4 (Kombinasi)

Terdiri dari perubahan dari alternatif lain yaitu waktu siklus (Alternatif-1), perubahan LTOR dan geometrik (Alternatif-2), dan pengalihan rute lalu lintas (Alternatif-3). Namun, waktu sinyal disesuaikan kembali karena perubahan volume akibat penggunaan alternatif ini.

Tabel 7. Waktu Siklus Alternatif-4

Pendekat	Waktu Sinyal			Waktu Siklus (det)
	Hijau	Ambur	Allred	
Utara	45	2	3	130
Timur	15	2	2	130
Selatan	37	2	3	130
Barat	15	2	2	130

Perbandingan Kondisi Eksisting dan Alternatif oleh VISSIM

Tabel 8. Derajat Kejenuhan

Kode	Eksis-ting	Alt-1	Alt-2	Alt-3	Alt-4
U	1,02	0,85	0,87	1,12	0,70
T	0,68	0,66	0,36	0,70	0,44
S	0,76	0,79	0,76	0,80	0,70
B	0,97	0,79	0,98	0,38	0,50

T	30,6	40,2	42,1	30,5	40,2
S	34	30,5	34,2	32,6	34,5
B	25,2	21,2	11,7	31,6	30,6

Tabel 9. Tundaan

Kode	Eksis-ting	Alt-1	Alt-2	Alt-3	Alt-4
	Detik/kendaraan				
U	26,5	17,6	14,5	33,7	10,6
T	31,5	28	16,9	33	19,2
S	23,3	30,1	24,0	29	18,2
B	37,5	32,4	29	35,6	38,8

Tabel 10. Panjang Antrian

Kode	Eksis-ting	Alt-1	Alt-2	Alt-3	Alt-4
	meter				
U	57,8	38,0	59,0	45,7	40,3
T	13,6	15,6	9,7	16,4	12,9
S	37,4	42,1	56,3	46,3	53,1
B	27,1	29,1	52,5	9,8	20,7

Tabel 11. Kecepatan

Kode	Eksis-ting	Alt-1	Alt-2	Alt-3	Alt-4
	km/jam				
U	29,5	29,1	30	27,2	36,5

Dari keempat tabel di atas, dapat disimpulkan bahwa secara keseluruhan Alternatif-4 adalah solusi rekomendasi terbaik yang dapat diimplementasikan. Dibuktikan dengan peningkatan kinerja simpang yang diindikasikan dengan nilai Derajat Kejenuhan secara merata di semua pendekat. Sedangkan pada alternatif-alternatif lain, peningkatan yang terjadi hanya pada satu pendekat, menyebabkan penurunan kinerja di pendekat yang lain. Seperti contohnya Alternatif-3 yang memiliki nilai DS pada pendekat Barat yang sangat kecil namun pada pendekat Utara terjadi sebaliknya.

Uji Kelayakan

Untuk mengetahui alternatif terpilih yang apakah masih layak di masa yang akan datang, perlu dilakukan pengujian untuk mengetahui hasilnya. Pengujian ini akan menguji kelayakan Alternatif-4 (alternatif yang dipilih).

Tabel 12. Uji Kelayakan pada Alternatif Terpilih

Tahun	Pendekat											
	Utara			Selatan			Timur			Barat		
	C	Q	DS	C	Q	DS	C	Q	DS	C	Q	DS
	(smp/jam)			(smp/jam)			(smp/jam)			(smp/jam)		
2026	1104	773	0,70	899	629	0,70	234	114	0,49	229	114	0,50
2027		803	0,73		655	0,73		118	0,51		116	0,50
2028		833	0,75		680	0,76		124	0,53		117	0,51
2029		863	0,78		706	0,78		129	0,55		119	0,52
2030		893	0,81		731	0,81		134	0,57		121	0,53
2031		923	0,84		756	0,84		140	0,60		123	0,54
2032		953	0,86		782	0,87		145	0,62		125	0,54
2033		984	0,89		807	0,90		150	0,64		126	0,55
2034		1014	0,92		833	0,93		156	0,66		128	0,56
2035		1044	0,95		858	0,95		161	0,69		130	0,57
2036	1074	0,97	883	0,98	166	0,71	132	0,58				
2037	1104	1,00	909	1,01	171	0,73	134	0,58				

Pada Tabel 12 di atas, telah ditunjukkan bahwa untuk parameter kapasitas (C) memang tidak akan mengalami perubahan. Sedangkan pada parameter volume (Q) mengalami peningkatan secara terus-menerus berdasarkan tingkat pertumbuhan kendaraan yang telah dianalisis menggunakan metode regresi linear. Yang mana peningkatan volume ini akan dibandingkan dengan kapasitas eksisting seiring bertambahnya tahun hingga mencapai nilai maksimal toleransi Derajat Kejenuhan sampai di waktu tertentu untuk diperlukan evaluasi kembali.

Kesimpulan

Setelah dilakukan analisis, dapat disimpulkan sebagai pernyataan yang disebutkan di bawah ini.

1. Kondisi eksisting simpang Serayu tahun 2022 kurang baik pada pendekat Utara dan Barat dengan nilai DS masing-masing sebesar 0,84 dan 0,78. Keadaan ini

- dianalisis berdasarkan kinerja jam puncak yang terjadi pada pukul 16.00 – 17.00 pada hari kerja.
2. Pada tahun 2026 nilai DS pendekat Utara melebihi nilai toleransi maksimum 1,0 yaitu senilai 1,02.
 3. Rekomendasi alternatif yang terbaik untuk dilaksanakan adalah Alternatif-4. Pada pendekat Utara (segmen Mayjend di Panjaitan), nilai DS mengalami penurunan dari 1,02 menjadi 0,70, pendekat Timur (segmen Serayu Timur) nilai DS menurun dari 0,68 menjadi 0,44, pendekat Selatan (segmen Mayjend di Panjaitan) nilai DS menurun dari 0,76 menjadi 0,70, dan untuk pendekat Barat (segmen Serayu) mengalami penurunan dari 0,97 menjadi 0,50.
 4. Alternatif-4 direncanakan untuk diimplementasikan tepat sebelum tahun 2026 dan bertahan selama 11 tahun yaitu pada tahun 2037, karena pendekat Utara mencapai nilai DS sebanyak 1,0 dan yang lainnya adalah pendekat Selatan dengan nilai DS sebanyak 1,01.

Ucapan terima kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Satuan Dinas Perhubungan Kota Madiun yang telah menyediakan data volume kendaraan harian di Simpang Serayu dan Badan Pusat Statistik Kota Madiun dalam penyediaan data kepemilikan kendaraan di Kota Madiun untuk studi ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Manual Kapasitas Jalan Indonesia (1997) Manual Kapasitas Jalan Indonesia (MKJI).
Badan Pusat Statistik Kota Madiun (2022). *Kota Madiun Dalam Angka "Madiun Municipality in Figures" 2022*. Madiun: Badan Pusat Statistik Kota Madiun.
Kurniawan, M. R. and Ardian, W. A. (2017) '*Evaluation of Signalized Intersection Jl. Raya Jemursari – Jl. Jemur Andayani with The Construction of Box Culvert*'. 35-36
Zaki, M. (2020) '*Kinerja Simpang Bersinyal UPN Yogyakarta (The Performance Evaluation of Signalized at UPN Yogyakarta)*'. 34-35

[E] Manajemen Risiko Bencana



KOMPARASI RESPON STRUKTUR GEDUNG DI PROVINSI BENGKULU AKIBAT PERUBAHAN PERATURAN GEMPA

Ria Rahmawati¹, Elvis Saputra^{2*}

¹ Alumni Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta

² Staf Pengajar Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta

*Email: Riarahma1208@gmail.com

*Email: elvis.saputra@uii.ac.id

ABSTRAK

Bengkulu Province is part of the State of Indonesia, which is right between 2 earthquake paths, namely the epicenter along the Mentawai fault in the Indian Ocean and the epicenter on land along the Sumatran fault around Bukit Barisan, so that Bengkulu Province often experiences earthquakes in a fairly high frequency. Therefore Bengkulu Province is categorized as one of the earthquake-prone areas in Indonesia. SNI 1726 which is used in infrastructure development planning in Indonesia often undergoes changes. This study aims to compare the effect of changes in the acceleration spectra in Bengkulu Province on the seismic response of the building due to the renewal of SNI 1726 2012-SNI 1726 2019. The acceleration spectra are taken from earthquake maps in SNI 1726:2012 and SNI 1726:2019. Structural analysis was carried out by three-dimensional (3D) modeling with the function of a 10-storey hospital building using an earthquake load response spectrum with the help software SAP2000 and the drift between floors. Based on the results of the analysis, it is known that Bengkulu Tengah Regency experienced a decrease in S_s values of 0.533 g and S_1 values 0.057 g, while Lebong Regency experienced a significant increase in S_s and S_1 values 0.340 g and 0.173 g. A significant increase in the base shear force occurred in Muko-Muko Regency by 40% with an average deviation of 30%. The inter-floor drift and drift ratio occurred in Kepahiang Regency. Kepahiang Regency experienced the most significant increase in deviation of 51%.

Kata kunci: SNI 1726:2012, SNI 1726:2019, Base shear, Interfloor drift, Acceleration spectra.

PENDAHULUAN

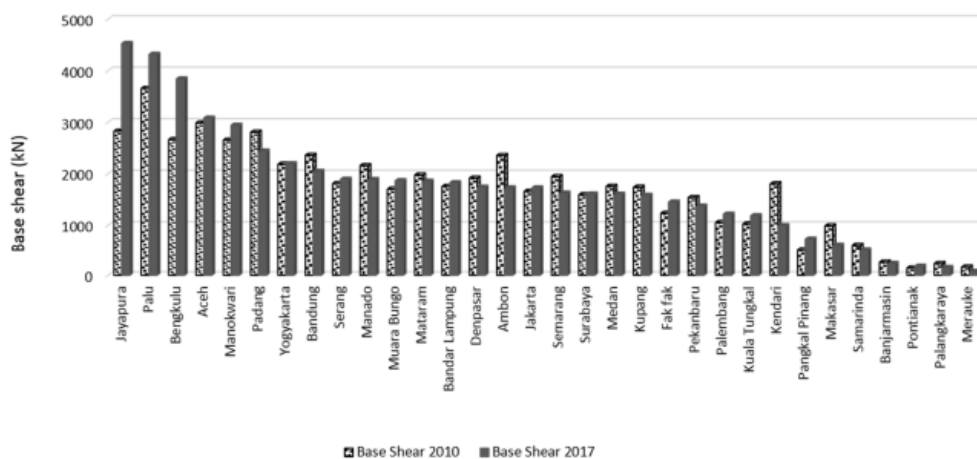
Latar Belakang

Indonesia merupakan salah satu negara yang memiliki intensitas gempa cukup tinggi. Hal ini disebabkan karena Indonesia tepat berada di pertemuan 3 lempeng tektonik, yaitu Lempeng Indo-Australia, Lempeng Pasifik dan Lempeng Eurasia yang saling bertubrukan dan berada dalam wilayah gunung berapi Pasifik (*Pacific Ring of Fire*) (Pusat Studi Gempa Nasional, 2017). Bengkulu merupakan salah satu provinsi di Indonesia yang berada di sisi timur laut Samudra Hindia dan berada di zona subduksi (tumbukan) pertemuan lempeng aktif Indo-Australia dan Eurasia sehingga provinsi Bengkulu sering terjadi gempa berkekuatan kecil hingga berkekuatan besar (Pusat Studi Gempa Nasional, 2017). Berdasarkan perbandingan nilai gaya geser dasar struktur antara tahun 2010 dan 2017 di Indonesia, Provinsi Bengkulu berada di urutan ketiga yang memiliki nilai gaya geser dasar tertinggi setelah Kota Jayapura dan Palu. Kota Jayapura memiliki tingkat kerentanan risiko akibat gempa dan tingkat populasi penduduk lebih rendah dibandingkan Kota Bengkulu dan banyaknya penelitian aktivitas seismik di

kota palu menyebabkan penelitian ditetapkan di Provinsi Bengkulu. Kejadian gempa yang tidak dapat diprediksi dimana dan kapan akan terjadi mengakibatkan perlunya suatu regulasi atau upaya untuk mitigasi risiko bencana akibat gempa di Indonesia khususnya di wilayah Bengkulu.

Peraturan gempa di Indonesia telah mengalami beberapa kali perubahan. Adanya perubahan peta gempa dalam SNI 03-1726-2012 dan SNI 03-1726-2019 mengakibatkan terjadinya peningkatan seismik di beberapa lokasi di Indonesia yang tercermin dalam peningkatan percepatan spektra S_S dan S_1 termasuk Wilayah Bengkulu sehingga mengakibatkan terjadinya perubahan yang akan berdampak pada respon struktur rencana. Oleh karena itu, diperlukan analisis lebih lanjut bagaimana pengaruh perubahan spektra percepatan terhadap respon seismik gedung berupa gaya geser dasar dan simpangan antar lantai di Provinsi Bengkulu akibat perubahan SNI 03-1726-2012 ke SNI 03-1726-2019.

Gambar 1.1 menunjukkan perbandingan nilai gaya geser dasar struktur antara tahun 2010 dan 2017 di 32 kota di Indonesia akibat beban gempa menurut Peta Rawan Gempa 2010 dan 2017. Berdasarkan Gambar 1.1 dapat dilihat bahwa Kota Bengkulu berada di urutan ketiga yang memiliki nilai gaya geser dasar tertinggi setelah Kota Jayapura dan Kota Palu. Alasan Provinsi Bengkulu dijadikan objek penelitian karena Kota Jayapura memiliki tingkat kerentanan risiko akibat gempa dan tingkat populasi penduduk lebih rendah dibandingkan dengan Kota Bengkulu. Setelah kejadian gempa di Kota Palu pada tahun 2018 banyak penelitian yang menjelaskan aktivitas seismik dan perilaku struktur akibat gempa yang terjadi di Kota Palu, sehingga lokasi pada penelitian ini ditetapkan di Provinsi Bengkulu.



Gambar 1 Perbandingan Nilai Gaya Geser Dasar Berdasarkan Peta Gempa 2010 dan 2017

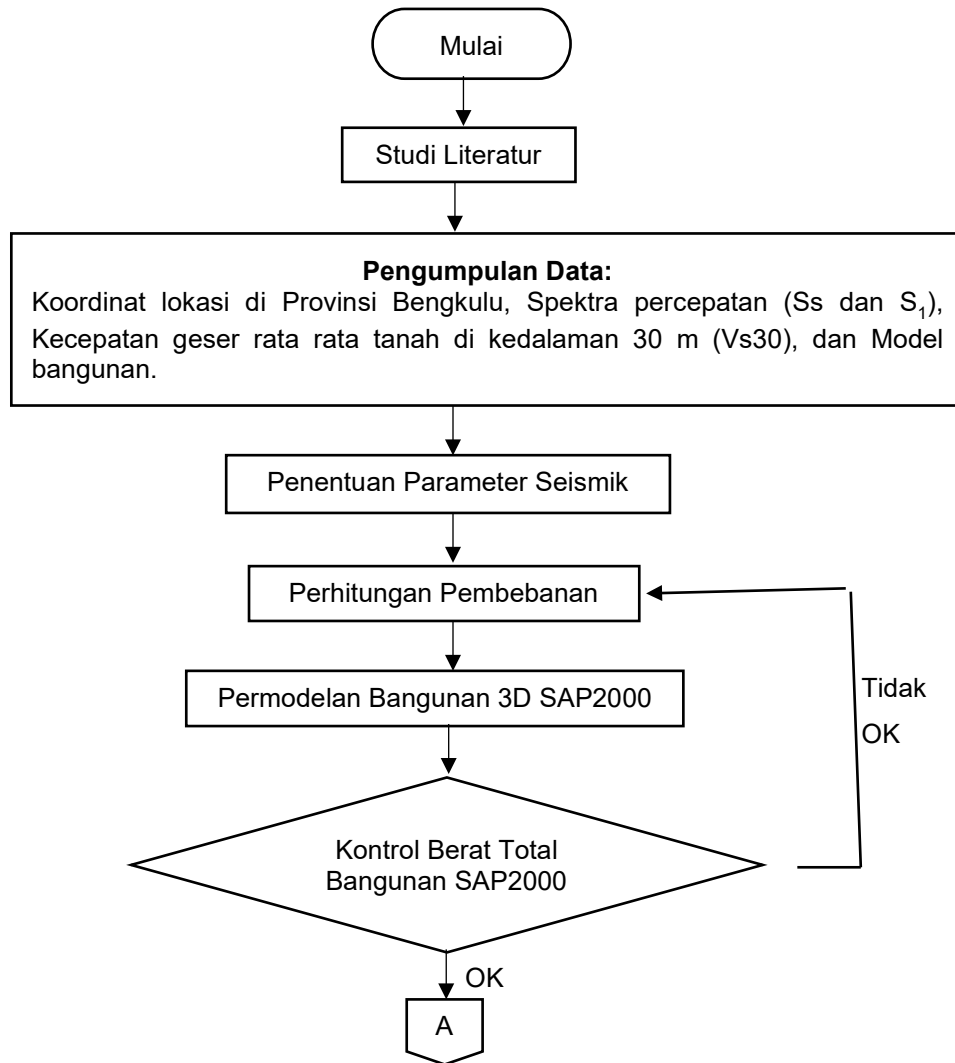
(Faizah dan Saputra, 2019)

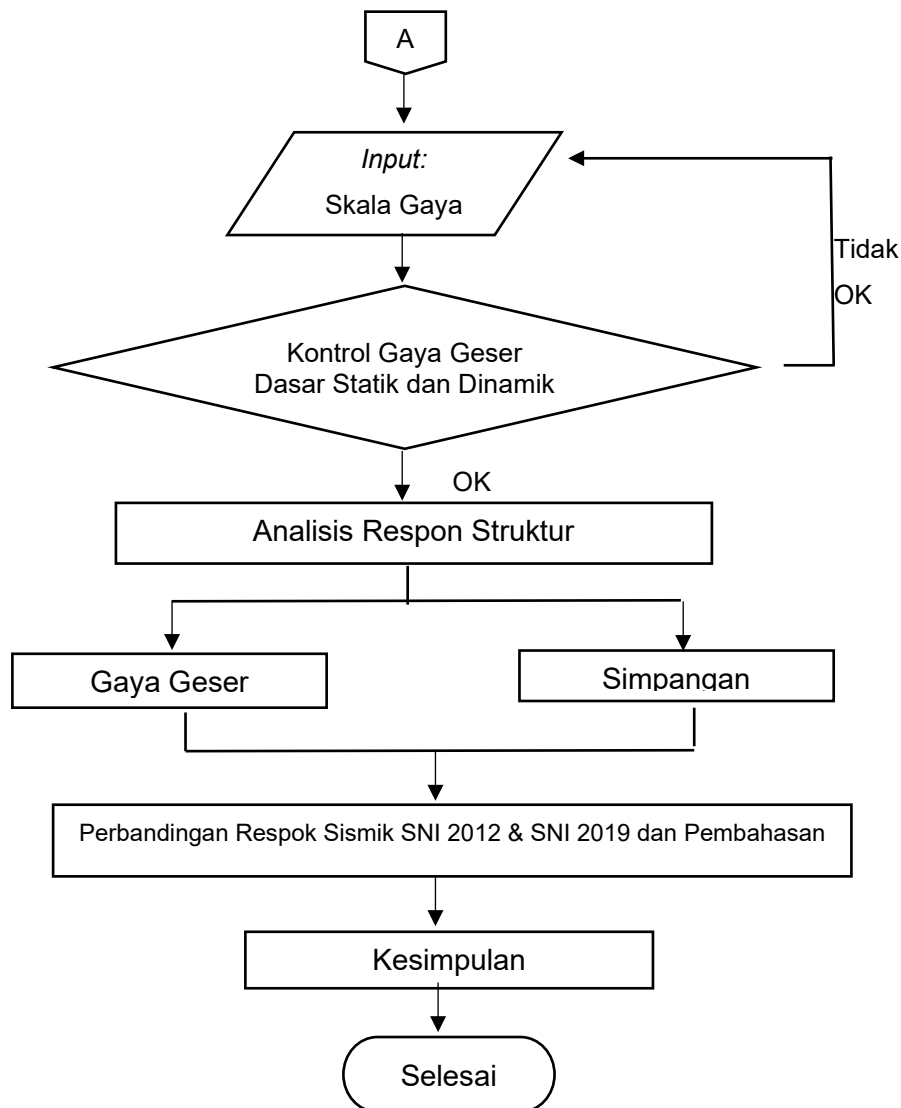
Tujuan dilakukannya penelitian ini diantaranya adalah untuk menentukan parameter percepatan spektra serta perbandingan percepatan spektra dan respon seismik gedung di Provinsi Bengkulu yang diizinkan berdasarkan SNI 03-1726-2012 dan SNI 03-1726-2019. Penelitian ini juga dilakukan untuk menghitung pengaruh respon seismik Gedung di Provinsi Bengkulu akibat pembaharuan SNI 03-1726-2012 ke SNI 03-1726-2016.

Penentuan spektra percepatan dan sistem penahan gaya seismik yang diizinkan dalam penelitian ini mengacu pada SNI 1726:2012 dan SNI 1726:2019 tentang Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung yang dilakukan di seluruh Kabupaten/Kota (10 kabupaten) yang ada di Provinsi Bengkulu. Penentuan kategori desain seismik dilakukan pada kategori risiko I, II, III dan IV dengan kategori desain seismik dianalisis pada kondisi tanah keras, sedang, dan lunak. Analisis struktur bangunan yang dimodelkan adalah gedung rumah sakit 10 lantai dengan kategori risiko IV dengan konfigurasi bangunan yang memiliki fungsi sebagai rumah sakit, 10 lantai, f_c 30 MPa, jarak antar antar lantai 4m, dan mutu baja tulangan 400 MPa untuk baja ulir dan 320 MPa untuk baja polos. Pemodelan struktur bangunan berdasarkan data struktur bangunan pada penelitian sebelumnya (Faizah dan Saputra, 2018). Jenis tanah ditentukan dengan metode pendekatan berdasarkan kecepatan gelombang geser dasar pada kedalaman 30 m (V_s30) dari sumber *website* USGS. Respon seismik gedung yang dianalisis adalah gaya geser dasar, simpangan antar tingkat dan *drift ratio*.

Hasil dari penelitian ini diharapkan memberikan informasi bagi praktisi maupun masyarakat tentang syarat detailing dalam merencanakan struktur bangunan tahan gempa untuk gedung atau non gedung sesuai dengan pedoman SNI 03-1726-2019 yang wajib diterapkan di seluruh Kabupaten/Kota di Provinsi Bengkulu.

METODE PENELITIAN



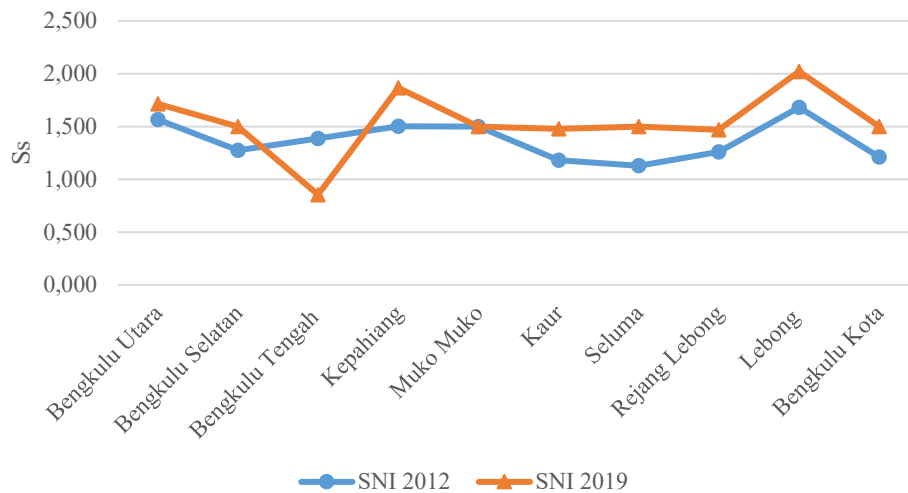


Gambar 2 Bagan Alir Penelitian

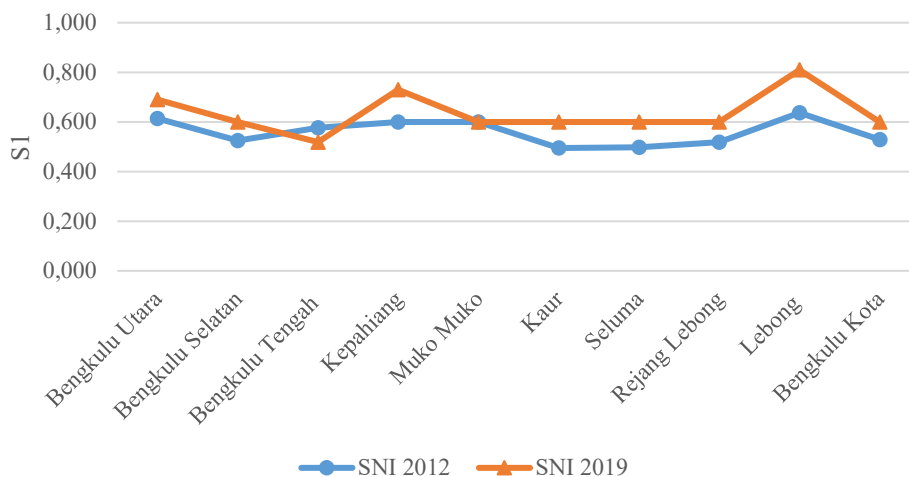
ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Penentuan Spektra Percepatan

Dalam menentukan nilai percepatan tanah pada 10 kabupaten di Provinsi Bengkulu menggunakan aplikasi respon spektrum analisis *website* Puskim untuk SNI 1726:2012 dan *webapps* Cipta Karya untuk SNI 1726:2019.



Gambar 3 Grafik Perbandingan Nilai S_s di Provinsi Bengkulu



Gambar 4 Grafik Perbandingan Nilai S_1 di Provinsi Bengkulu

Berdasarkan Gambar 3 dan 4 dapat diketahui bahwa hampir seluruh Kabupaten/Kota mengalami peningkatan nilai parameter percepatan tanah seperti Kabupaten Lebong mengalami peningkatan nilai S_s sebesar 0,340 g dan nilai S_1 sebesar 0,173 g, Kabupaten Kepahiang mengalami peningkatan nilai S_s sebesar 0,364 g dan nilai S_1 sebesar 0,130 g. Sedangkan pada Kabupaten Bengkulu Tengah terjadi degradasi nilai S_s sebesar 0,533 g dan nilai S_1 sebesar 0,057 g dan untuk Kabupaten Muko-Muko tidak terjadi perubahan baik pada nilai S_s atau S_1 . Terjadinya peningkatan nilai S_s dan S_1 disebabkan aktivitas seismik yang meningkat di beberapa Kabupaten di Provinsi Bengkulu. Hal ini berdampak pada KDS dan sistem rangka pemikul momen yang diizinkan di Provinsi Bengkulu. Provinsi Bengkulu ditetapkan sebagai daerah dengan KDS D, E dan F maka sistem rangka pemikul momen yang diizinkan adalah SRPMK.

Analisis Respon Struktur

Dengan adanya perubahan parameter spektra percepatan maka berdampak pula terhadap respon struktur gedung di Provinsi Bengkulu. Respon struktur yang dianalisis pada penelitian ini berupa gaya geser dasar dan simpangan antar lantai.

Gaya Geser Dasar

Gaya geser dasar seismik (V) merupakan gaya geser desain total yang terjadi di dasar bangunan akibat adanya getaran gempa bumi. Gaya geser dasar digunakan sebagai gaya gempa rencana yang diulas dalam perancangan dan evaluasi struktur bangunan Gedung. Gaya geser dasar dapat dihitung berdasarkan persamaan berikut.

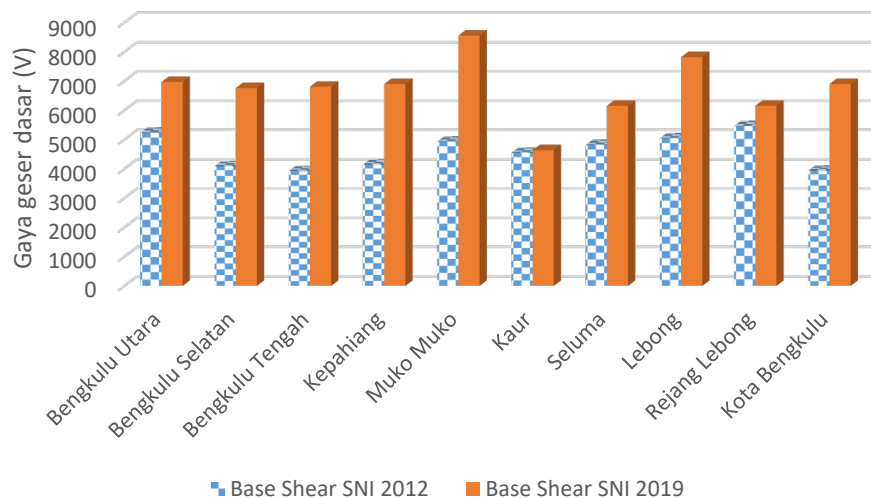
$$V = C_s \times W \quad (1)$$

Keterangan:

C_s : Koefisien seismik

W : Berat bangunan

V : Gaya geser dasar



Gambar 5 Grafik Perbandingan Gaya Geser Dasar di Provinsi Bengkulu

Berdasarkan Gambar 5 dapat disimpulkan Kabupaten Muko-Muko mengalami peningkatan paling signifikan sebesar 42,967% dan Kabupaten Kaur mengalami peningkatan paling sedikit sebesar 2,029%. Persen peningkatan rata-rata nilai gaya geser dasar mengalami peningkatan sebesar 30%.

Simpangan antar Lantai

Simpangan antar lantai desain (Δ) harus kurang dari simpangan antar lantai tingkat izin (Δ_a). Simpangan antar lantai tingkat izin ditetapkan berdasarkan kategori risiko bangunan dan jenis struktur bangunan. Jenis struktur bangunan pada penelitian ini merupakan struktur bangunan yang selain dari struktur dinding geser batu bata, langit-langit, 4 tingkat atau kurang dengan dinding interior, partisi, dan sistem dinding eksterior yang telah didesain untuk mengakomodasi simpangan antar lantai tingkat, dan tergolong kedalam kategori risiko I atau II maka nilai dari simpangan antar lantai tingkat izin (Δ_a) sebesar $0,025h_{sx}$ dibagi dengan redundansi 1,3.

$$\frac{\Delta a}{\rho} = \frac{0,025 \times h}{\rho} \quad (2)$$

$$\frac{\Delta a}{\rho} = \frac{0,025 \times 3600}{1,3}$$

$$\frac{\Delta a}{\rho} = 692,308 \text{ mm}$$

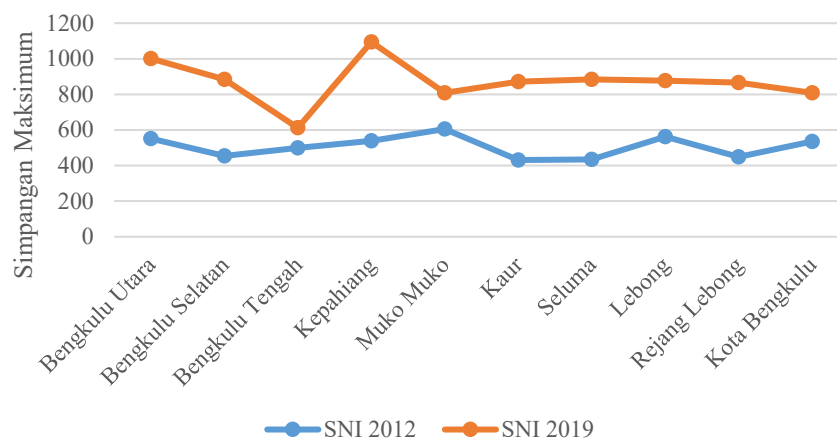
Berdasarkan hasil analisis SAP2000 dapat diperoleh nilai simpangan elastis (δ_e) pada titik joint displacement arah x dan arah y struktur bangunan. Setelah mendapatkan nilai simpangan elastis (δ_e) dilanjutkan dengan menghitung nilai simpangan antar tingkat inelastic dengan faktor keutamaan gempa (I_e) = 1,5 dan koefisien amplifikasi defleksi (C_d) = 5,5. Berikut merupakan contoh perhitungan untuk simpangan antar tingkat bangunan pada SAP2000.

$$\delta_e \text{ Eqx} = 0,146185 \text{ m} = 146,185 \text{ mm}$$

$$\delta = \frac{C_d \delta_{xe}}{I_e} \quad (3)$$

$$\delta = \frac{5,5 \times 146,185}{1,5}$$

$$\delta = 536,012 \text{ mm}$$



Gambar 6 Grafik Perbandingan Simpangan Maksimum di Provinsi Bengkulu

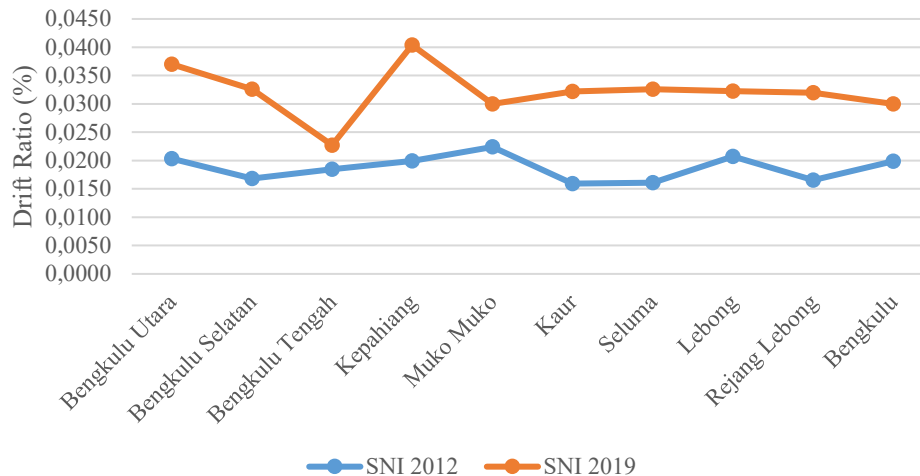
Berdasarkan Gambar 6 dapat disimpulkan bahwa terjadi perbedaan simpangan antara SNI 1726:2012 dan SNI 1726:2019. Kabupaten Kepahiang mengalami peningkatan simpangan paling signifikan sebesar 51% untuk arah x dan arah y. Persen peningkatan rata-rata simpangan untuk arah x maupun arah y mengalami peningkatan sebesar 41%.

Drift Ratio

Drift Ratio merupakan salah satu parameter yang memengaruhi kekuatan struktur bangunan terhadap gaya gempa. Nilai *drift ratio* diperoleh dari simpangan antar lantai dibagi dengan tinggi lantai.

$$Drift\ Ratio = \frac{4x}{Hx}$$

(4)



Gambar 7 Grafik Perbandingan *Drift Ratio* di Provinsi Bengkulu

Berdasarkan Gambar 7 dapat disimpulkan bahwa *drift ratio* di 10 Kabupaten/Kota di Provinsi Bengkulu mengalami peningkatan sebanding dengan peningkatan yang terjadi pada nilai simpangan. Kabupaten Kepahiang mengalami peningkatan *drift ratio* paling signifikan sebesar 0,0154%.

KESIMPULAN dan saran

Kesimpulan

1. Seluruh Kabupaten/Kota di Provinsi Bengkulu memiliki nilai *Ss* dan nilai *S1* yang cukup tinggi. Oleh karena itu, Provinsi Bengkulu termasuk wilayah rawan gempa. Pada SNI 1726:2012 Kabupaten Lebong memiliki nilai *Ss* dan *S1* tertinggi yaitu sebesar 1,681 g dan 0,637 g sedangkan Kabupaten Seluma memiliki nilai *Ss* dan *S1* terendah yaitu sebesar 1,128 dan 0,495 g. Pada SNI 1726:2019 Kabupaten Lebong memiliki nilai *Ss* dan *S1* tertinggi yaitu sebesar 2,021 g dan 0,810 g sedangkan Kabupaten Bengkulu Tengah memiliki nilai *Ss* dan nilai *S1* terendah yaitu sebesar 0,854 g dan 0,519 g.
2. Seluruh Kabupaten/Kota di Provinsi Bengkulu mengalami peningkatan nilai *Ss* dan *S1* kecuali Kabupaten Bengkulu Tengah. Kabupaten Bengkulu tengah mengalami penurunan nilai *Ss* sebesar 0,533 g dan nilai *S1* sebesar 0,057 g. Kabupaten Lebong mengalami peningkatan nilai *Ss* dan *S1* paling signifikan sebesar 0,340 g dan 0,173 g sehingga Kabupaten Lebong berada pada KDS E untuk kategori risiko bangunan I, II atau III dan berada pada KDS F untuk kategori risiko bangunan IV sedangkan 9 Kabupaten/Kota lainnya tetap berada pada KDS D. Sistem rangka pemikul momen yang diizinkan untuk kategori desain seismik D, E dan F di 10 Kabupaten/Kota Bengkulu adalah Struktur Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) sesuai dengan tabel 5 pada SNI 1726:2019.

3. Hasil gaya geser dasar (V) pada 10 Kabupaten/Kota di Provinsi Bengkulu mengalami peningkatan yang cukup signifikan akibat pembaharuan SNI 1726:2012 ke SNI 1726:2019 dengan selisih rata-rata sebesar 30%. Peningkatan signifikan terjadi di Kabupaten Muko-Muko sebesar 40%. Peningkatan ini mungkin berbeda dengan struktur lainnya karena memiliki nilai parameter respon spektra yang berbeda-beda. Peningkatan nilai gaya geser dasar sebanding dengan peningkatan simpangan antar lantai di Provinsi Bengkulu. Kabupaten Kepahiang mengalami peningkatan simpangan paling signifikan sebesar 51% untuk arah x dan arah y . Persen peningkatan rata-rata simpangan untuk arah x maupun arah y sebesar 41%. Drift ratio pada arah x dan y di 10 Kabupaten/Kota di Provinsi Bengkulu mengalami peningkatan sebanding dengan peningkatan yang terjadi pada nilai simpangan. Kabupaten Kepahiang mengalami peningkatan drift ratio paling signifikan sebesar 0,0205% pada arah x dan 0,0154% pada arah y .

Saran

1. Penelitian selanjutnya dapat melakukan perhitungan bagian-bagian Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) berdasarkan SNI 2847:2019 seperti perencanaan Strong Column Weak Beam (SCWB), kuat geser pada balok dan perencanaan kolom pada bangunan.
2. Penelitian selanjutnya sebaiknya analisis struktur gedung dilakukan dengan kategori risiko bangunan I, II atau III.

DAFTAR PUSTAKA

- Afnan, Y. A. K., Shulhan, M. A., & Yasin, I. (2020). *Perbandingan Respons Spektrum Gempa Antara SNI 1726-2012 Dan SNI 1726-2019 Di Indonesia*. Jurusan Teknik Sipil. Fakultas Teknik. Universitas Sarjanawiyata Tamansiswa. Yogyakarta.
- Badan Geologi Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral. 2014. *Kekayaan Tektonik di Indonesia Tahun 2014*. Badan Geologi Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral, Bandung.
- Badan Standarisasi Nasional. 2012. *SNI 1726:2012 tentang Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non-Gedung*. Badan Standarisasi Nasional: Jakarta.
- Badan Standarisasi Nasional. 2019. *SNI 1726:2019 tentang Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non-Gedung*. Badan Standarisasi Nasional: Jakarta.
- Badan Standarisasi Nasional. 2019. *SNI 2847:2019 tentang Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan dan Penjelasan*. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- BMKG. *Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika Wilayah Bengkulu*. [Online]. Available at: <https://www.bmkg.go.id/gempabumi/gempabumi-terkini.bmkg>. [Accessed 28 Januari 2022]
- Citra, F. W., Edwar, E., & Sugandi, W. (2020). *Tingkat Pemahaman Peserta Didik Pada Wilayah Rawan Bencana Gempa Bumi Zona Tinggi Di Kota Bengkulu*. *Jurnal Georaflesia: Artikel Ilmiah Pendidikan Geografi*, 5(1), 33-39.
- Faizah, R., & Saputra, E. (2018). *Seismic demand due to the earthquake hazard map 2017 determination in Indonesia*. In *Proceeding of the 7th Engineering*

- International Conference on Education, Concept and Application on Green Technology, Semarang. <http://doi> (Vol. 10, p. 0009007101080116).*
- Farlianti, S. (2017). *Kategori Desain Seismik Wilayah Kota Palembang Berdasarkan SNI 03-1726-2012 Dengan Menggunakan Peta Hazard Gempa Indonesia 2010. TEKNIKA: Jurnal Teknik, 4(1), 23-30.*
- Farlianti, S. (2018). *Kategori Desain Seismik Wilayah Kota Pangkal Pinang Berdasarkan Sni 1726; 2012 Dengan Menggunakan Peta Hazard Gempa Indonesia 2010. TEKNIKA: Jurnal Teknik, 5(1), 10-17.*
- Farlianti, S., & Sapta, S. (2019). *Respon Spektra Gempa Desain Berdasarkan Sni 03-1726-2012 Untuk Wilayah Kota Bengkulu. TEKNIKA: Jurnal Teknik, 5(2), 202-2014.*
- Patria, A. S. N. (2021). *Perbandingan Parameter Spektrum Respons Desain Sni 1726: 2012 Dengan SNI 1726: 2019 Pada 39 Kabupaten/Kota Di Pulau Jawa. Jurnal Kacapuri: Jurnal Keilmuan Teknik Sipil, 4(1), 126-134.*
- Purnamasari, E. (2020). *Penggunaan Sni 1726-2019 Untuk Menentukan Beban Gempa Seismik Di Kalimantan Selatan. Jurnal Kacapuri: Jurnal Keilmuan Teknik Sipil, 3(2), 165-174.*
- Pusat Studi Gempa Nasional. 2017. *Peta Sumber dan Bahaya Gempa Indonesia Tahun 2017*. Jakarta: Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat.
- PUSKIM. *Pusat Litbang Perumahan dan Permukiman*. [Online]. Available at: [http://puskim.pu.go.id/Aplikasi/desain spektra indonesia 2011/](http://puskim.pu.go.id/Aplikasi/desain_spektra_indonesia_2011/). [Accessed 05 April 2022].
- Saputra, E., Nugraheni, F., Widodo., & Makrup, L. (2021). *Perbandingan Peta Percepatan Tanah di Permukaan sebagai Dasar Perencanaan Tata Ruang Berbasis Mitigasi Bencana di Provinsi Riau.*
- Solikhin, A. & Suantika, G., 2008, *Laporan Penyelidikan Gempabumi Daerah Kabupaten Bandung dan Sekitarnya Jawa Barat*. Pusat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Geologi. Bandung.
- USGS. *United States Geological Survey*. [Online]. Available at: <https://earthquake.usgs.gov/data/vs30/>. [Accessed 04 Juli 2022].

ANALISIS STABILITAS LERENG DENGAN PERKUATAN DINDING PENAHAN TANAH BETON BERTULANG KANTILEVER PADA PROYEK JEMBATAN KENET

Bachtiar Effendi¹, Hanindya Kusuma Artati¹

¹ Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta
*Email: 17511107@students.uii.ac.id

ABSTRAK

Pada awal tahun 2021, Pemerintah melalui Dinas Pekerjaan Umum, Perumahan Dan Energi Sumber Daya Mineral Daerah Istimewa Yogyakarta melakukan pembangunan Jembatan Kenet. Pembangunan ini dilakukan karena rusaknya bagian jembatan yaitu longsornya talud jembatan selain itu usia jembatan yang dibangun tahun 1986 ini dianggap sudah tidak layak. Pada pembangunan ini terdapat dinding penahan tanah yang akan dibangun pada lereng sungai di sekitar Jembatan Kenet. Pada dinding penahan tanah tersebut dilakukan penelitian untuk mengetahui angka keamanan dan deformasi yang terjadi pada massa tanah dinding penahan tanah. Penelitian ini menganalisis stabilitas lereng asli dan lereng yang diberi perkuatan dinding penahan tanah tipe kantilever pada Jembatan Kenet. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui angka keamanan dan deformasi yang terjadi pada dinding penahan tanah pada Jembatan Kenet di Kecamatan Imogiri, Kabupaten Bantul tepatnya pada Sta 0+300. Analisis dilakukan dengan menggunakan program Plaxis 8.6 dan perhitungan manual. Hasil analisis Plaxis 8.6 untuk lereng asli didapatkan SF tanpa gempa 1,1749 dan dengan beban gempa 1,1666. Sedangkan hasil perhitungan manual metode Fellenius didapatkan SF 1,116. Untuk lereng dengan perkuatan dinding penahan tanah tipe kantilever didapatkan SF tanpa beban gempa 1,3241 dan dengan beban gempa 1,3239. Untuk perilaku deformasi yang terjadi pada lereng asli tanpa beban gempa adalah 0,01595 m dan dengan beban gempa adalah 0,11011 m. Sedangkan hasil lereng dengan perkuatan dinding penahan tanah tipe kantilever tanpa beban gempa adalah 0,01296 m dan dengan beban gempa adalah 0,03525 m.

Kata kunci: Stabilitas lereng, Dinding penahan tanah, Deformasi, Plaxis 8.6

PENDAHULUAN

Setiap tahun laju pertumbuhan ekonomi di Indonesia dituntut agar semakin meningkat. Maka dari itu dibutuhkan infrastruktur yang semakin baik pula untuk mendukung hal tersebut. Dengan adanya infrastruktur yang baik dapat membantu mempercepat meningkatnya perekonomian pada suatu daerah. Maka dari itu Pemerintah melalui Dinas Pekerjaan Umum, Perumahan Dan Energi Sumber Daya Mineral Daerah Istimewa Yogyakarta berupaya untuk meningkatkan ruas jalan di daerah yang dipandang penting agar melancarkan hubungan lalu-lintas antar wilayah. Salah satunya dengan pembangunan jembatan sehingga dapat memperlancar dan membuat lebih aman sehingga fungsi jalan dapat tercapai dengan baik.

Pada 27 Oktober 2020 hujan lebat di Desa Selopamiro, Kecamatan Imogiri, Kabupaten Bantul mengakibatkan talud pada Jembatan Kenet longsor. Longsornya talud Jembatan Kenet pada waktu itu mengakibatkan terganggunya akses terdekat yang menghubungkan Kabupaten Bantul dan Kabupaten Gunung Kidul. Untuk menangani masalah akan direncanakan pembangunan jembatan baru. Sebab berdasarkan usia jembatan yang dibangun tahun 1986 ini sudah tidak layak. Rencana tersebut berhubungan dengan tujuan dari Dinas Pekerjaan Umum, Perumahan Dan Energi

Sumber Daya Mineral Daerah Istimewa Yogyakarta agar ruas jalan yang dibawah tanggung jawabnya mendapatkan penanganan dan pemeliharaan baik jalan maupun jembatan agar dapat berfungsi dengan sebagaimana fungsinya.



Gambar 1. Lokasi Jembatan Kenet

Berdasarkan uraian latar belakang di atas, maka dapat dirumuskan masalah yang akan dikaji dalam penelitian ini yaitu mencari angka keamanan stabilitas lereng asli pada Jembatan Kenet, mencari angka keamanan stabilitas lereng setelah dilakukan perkuatan menggunakan dinding penahan tanah beton bertulang kantilever pada Jembatan Kenet, dan mencari bagaimana perilaku deformasi massa tanah yang terjadi pada dinding penahan tanah beton bertulang kantilever Jembatan Kenet.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui angka keamanan stabilitas lereng asli pada Jembatan Kenet, mengetahui angka keamanan stabilitas lereng sesudah diberi perkuatan Dinding Penahan Tanah Beton Bertulang Tipe Kantilever pada jembatan kenet, mengetahui perilaku deformasi massa tanah yang terjadi pada dinding penahan tanah beton bertulang kantilever Jembatan Kenet.

TINJAUAN PUSTAKA

Prasetyo (2020) melakukan penelitian mengenai analisis stabilitas lereng dengan perkuatan dinding penahan tanah kantilever dengan bantuan program plaxis pada studi kasus Jalan Ponorogo-Trenggalek Sta 23+600. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui nilai safety factor (SF) lereng eksisting dan lereng yang diberi perkuatan dinding penahan tanah tipe kantilever. Hasil yang didapat dari penelitian tersebut adalah lereng asli pada Jalan Ponorogo-Trenggalek Sta 23+600 setelah dianalisis menggunakan program Plaxis 8.6 mengalami collapse. Untuk perhitungan manual menggunakan metode bishop didapatkan nilai SF sebesar 0,484 nilai tersebut dibawah angka aman yaitu 1,25, lereng tidak stabil terhadap keruntuhan. Kemudian dilakukan analisis lereng dengan perkuatan dinding penahan tanah kantilever menggunakan program Plaxis 8.6, saat kondisi masa konstruksi tanpa beban gempa diperoleh nilai SF 1,3538 dan menggunakan beban gempa 1,3529. Sedangkan hasil kondisi pasca konstruksi tanpa beban gempa diperoleh nilai sebesar 1,2683 dan menggunakan beban gempa sebesar 1,2678. Dari hasil analisis yang diperoleh diperoleh nilai SF yang sudah melebihi 1,25, maka lereng dinyatakan aman terhadap keruntuhan.

Hediyanto (2018) melaksanakan penelitian tentang stabilitas lereng dengan perkuatan dinding penahan tanah kantilever dan *sheet pile* dengan bantuan program geoslope pada studi kasus Bantaran Sungai Code. Tujuan dari penelitian ini adalah mengetahui *safety factor* (SF) pada lereng eksisting, lereng perkuatan dinding penahan tanah kantilever, lereng perkuatan sheet pile, dan mengetahui perilaku deformasi tanah yang terjadi terhadap perkuatan dinding kantilever dan sheet pile menggunakan bantuan

program geoslope. Hasil analisis dengan program geoslope/W diperoleh nilai SF lereng eksisting tanpa beban gempa 1,118 dan menggunakan beban gempa adalah 0,565, lereng perkuatan dinding kantilever diperoleh nilai SF tanpa beban gempa adalah 2,639 dan nilai SF menggunakan beban gempa adalah 1,789, dan lereng perkuatan sheet pile diperoleh nilai SF tanpa beban gempa 2,726 dan menggunakan beban gempa 1,846. Sedangkan hasil analisis pergerakan tanah menggunakan geoslope/W diperoleh pergerakan tanah terbesar tanpa beban gempa pada potongan A-A adalah 0,0159m, potongan B-B adalah 0,0134 m, dan potongan C-C adalah 0,096 m. Untuk hasil pergerakan tanah menggunakan beban gempa pada potongan A-A adalah 0,7 m, potongan B-B adalah 1,03 m, dan potongan C-C adalah 0,1 m. Untuk hasil lereng perkuatan sheet pile, pergerakan tanah terbesar tanpa beban gempa pada potongan A-A adalah 0,0377 m, potongan B-B adalah 0,047 m, dan potongan C-C adalah 0,008 m. Dan menggunakan beban gempa pada potongan A-A adalah 0,44 m, potongan B-B adalah 0,9 m, dan potongan C-C adalah 0,088 m.

Hariyadi (2018) melakukan studi tentang perilaku pergerakan massa tanah pada dinding penahan tanah menggunakan program Plaxis 8.6 pada studi kasus Overpass Simpang Paringin Sta.250-275. Tujuan dari penelitian ini adalah mengetahui nilai safety factor (SF) dan perilaku deformasi massa tanah yang terjadi terhadap tanah dinding penahan tanah Overpass Simpang Paringin Sta. 250-275 Balangan PT. Adaro Indonesia. Dari hasil analisis yang telah dilaksanakan didapat nilai SF pada lereng asli kondisi sebelum operasional terhadap penggeseran adalah $1,54 < 1,5$ (aman), SF terhadap stabilitas penggulingan adalah $2,54 > 1,5$ (aman), dan SF terhadap keruntuhan kapasitas dukung tanah adalah $q_{maks} = 31,46 \text{ T/m}^2 > q_{all} = 23,48 \text{ T/m}^2$ (tidak aman) dan $q_{min} = 2,03 \text{ T/m}^2 > 0 \text{ T/m}^2$ (aman). Untuk hasil setelah dilaksanakan perbaikan diperoleh nilai SF terhadap penggeseran adalah $1,79 > 1,5$ (aman), SF terhadap penggulingan adalah $3,69 > 1,5$ (aman), SF terhadap kapasitas dukung tanah adalah $q_{maks} = 21,35 \text{ T/m}^2 < q_{all} = 31,18 \text{ T/m}^2$ (aman) dan $q_{min} = 9,79 \text{ T/m}^2 > 0 \text{ T/m}^2$ (aman). Sedangkan hasil analisis perilaku deformasi yang terjadi pada massa tanah didapatkan deformasi maksimum arah horizontal kondisi terbebani kendaraan ringan tanpa gempa sebesar 0,0117 m dan menggunakan beban gempa sebesar 0,025 m, kondisi terbebani kendaraan sedang tanpa gempa sebesar 0,148 m dan menggunakan gempa sebesar 0,244 m, dan kondisi terbebani kendaraan berat tanpa gempa sebesar 0,272 m dan menggunakan beban gempa sebesar 0,319 m. Dari hasil analisis yang didapatkan nilai deformasi yang terjadi masih tergolong relatif aman.

LANDASAN TEORI

Stabilitas Lereng

Menurut Hardiyatmo (2010), apabila kondisi permukaan tanah tidak horisontal, komponen gravitasi akan menyebabkan tanah bergerak ke bawah. Jika komponen gravitasi terlampaui besar sehingga menyebabkan perlawanan terhadap geseran yang dapat dikerahkan oleh tanah pada bidang longsornya terlampaui, maka dapat terjadi kelongsoran. Analisis stabilitas lereng merupakan analisis stabilitas pada permukaan tanah miring. Umumnya tujuan dari analisis stabilitas lereng yaitu untuk mengecek keamanan dari lereng alam, lereng galian, dan lereng urugan tanah. Analisis stabilitas lereng sering digunakan pada perancangan bangunan seperti jalan raya, jalan kereta api, bandara, dan lain-lain.

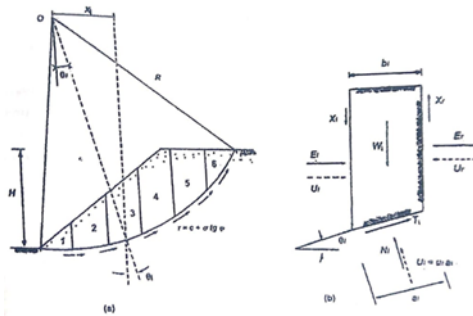
Menurut Duncan dan Wright (2005) dalam Look (2007), toleransi displacement akibat gempa untuk lereng dan bendung adalah 1 meter. Jika menurut data Skempton dan Hutchinson (1969) dalam Look (2007), batasan pergerakan tanah yang masih ditoleransi sebelum terjadi longsor pada lereng dan dinding penahan tanah dapat dilihat pada Tabel 1 sebagai berikut.

Tabel 1. Batasan Pergerakan Tanah Sebelum Longsor

Tipe	Total Pergerakan (cm)
Dinding penahan kesil s/d besar	20 – 40
Longsor sedang s/d besar	40 – 130

Analisis Stabilitas Lereng Metode Fellenius

Dalam perhitungan analisis stabilitas lereng menggunakan metode fellinius menganggap bahwa gaya – gaya yang bekerja pada sisi kanan-kiri dari sembarang irisan mempunyai resultan nol pada arah tegak lurus bidang longsor. Adapun gaya-gaya yang bekerja pada tiap irisan digambarkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Gaya Yang Bekerja Pada Irisan

$$F = \frac{\text{Jumlah momen dari tahanan geser sepanjang bidang longsor}}{\text{Jumlah momen dari berat massa tanah yang longsor}}$$

$$F = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} c a_i + (W_i \cos \theta_i - u_i a_i) \text{tg } \varphi}{\sum_{i=1}^{i=n} W_i \sin \theta_i} \quad (1)$$

Dengan :

- F = Faktor aman
- C = kohesi tanah (kN/m²)
- φ = sudut gesek dalam tanah (°)
- a_i = panjang lengkung lingkaran pada irisan ke-i (m)
- W_i = berat irisan tanah ke-i (kN)
- u_i = tekanan air pori pada irisan ke-i (kN/m²)
- θ_i = sudut pada irisan ke-i (°)

Dinding Penahan Tanah

Dinding penahan tanah merupakan jenis perkuatan yang digunakan untuk menjaga permukaan yang vertikal atau permukaan lereng yang curam sehingga tanah dapat stabil dalam jangka waktu yang panjang.

1. Stabilitas terhadap penggeseran

$$Fgs = \frac{\sum Rh}{\sum Ph} \quad (2)$$

dengan :

$\sum Rh$ = Tahanan dinding penahan tanah terhadap penggeseran

$\sum Ph$ = Jumlah gaya - gaya horizontal

2. Stabilitas terhadap penggulingan

$$Fgl = \frac{\sum Mw}{\sum Mgl} \quad (3)$$

dengan :

$\sum Mw$ = Momen yang melawan penggulingan (kNm)

$\sum Mgl$ = Momen yang mengakibatkan penggulingan (kNm).

3. Stabilitas terhadap Keruntuhan Kapasitas Dukung Tanah

$$q_u = dc ic cNc + dq iq Df \gamma Nq + dy iy 0,5By Ny \quad (4)$$

Dengan :

dc, dq, dy = Faktor kedalaman

ic, iq, iy = Faktor kemiringan beban

B = Lebar dasar fondasi sebenarnya (m)

e = Eksentrisitas beban (m)

γ = Berat volume beban (kN/m³)

Nc, Nq, Ny = Faktor-faktor kapasitas dukung

Faktor aman terhadap keruntuhan kapasitas dukung tanah dapat dihitung menggunakan Persamaan berikut.

$$SF = \frac{q_u \times B'}{V} \quad (5)$$

Dengan :

q_u = Kapasitas dukung ultimit (kN/m²)

V = Gaya vertikal (kN/m²)

B' = Lebar efektif (m)

Plaxis

Plaxis adalah program pemodelan dan metode elemen hingga yang mampu melakukan analisa masalah-masalah geoteknik dalam perencanaan sipil. Plaxis V.8.6 menyediakan berbagai analisa teknik mengenai displacement, tegangan-tegangan yang terjadi pada tanah, gaya-gaya stabilitas yang terjadi dan lain-lain. Program ini dibuat berdasarkan pembuatan geometri yang akan dirancang.

METODE PENELITIAN

Gambaran Umum

Lokasi penelitian dinding penahan tanah dan lereng yang ditinjau adalah pada talud Jembatan Kenet . Penelitian dilakukan dengan menganalisis stabilitas lereng asli dengan menggunakan program Plaxis terlebih dahulu dan dibandingkan dengan menggunakan perhitungan manual. Setelah hasil perhitungan angka keamanan didapatkan, maka lereng akan diperkuat dengan dinding penahan tanah beton bertulang

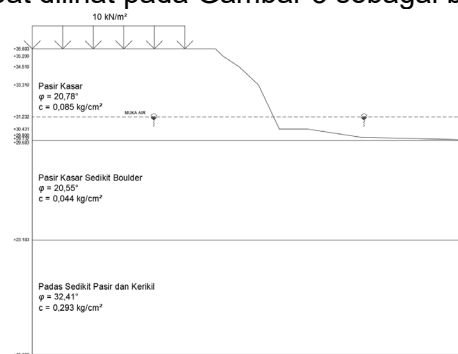
tipe kantilever. Pada perkuatan ini juga dihitung angka keamanannya berdasarkan perhitungan Plaxis dan juga perhitungan manual.

Tahapan perencanaan untuk mencapai kesimpulan sebagai berikut:

1. Melakukan proses pencarian dan mempelajari literatur yang berhubungan dengan topik penelitian yang akan kita lakukan. Selain itu juga melakukan observasi secara langsung di lapangan untuk menentukan konstruksi yang akan dianalisis.
2. Permohonan data kepada Dinas Pekerjaan Umum, Perumahan dan Energi Sumber Daya Mineral, Daerah Istimewa Yogyakarta selaku pemilik proyek untuk selanjutnya dilakukan pengambilan data kepada pihak konsultan perencana yaitu CV. Kadung Karya Konsultan. Data yang didapat yaitu gambar rencana, data tanah uji lapangan, dan data tanah uji laboratorium serta dilakukan peninjauan langsung ke lapangan untuk mengetahui kesuaian gambar rencana dengan kondisi di lapangan
3. Setelah data diperoleh kemudian dilakukan pengolahan data dan analisis dengan menggunakan bantuan program Plaxis 2D versi 8.6. Analisis yang dilakukan antara lain sebagai berikut
4. Melakukan penyusunan pembahasan dan pelaporan yang berisi jawaban dari hasil hipotesa secara sistematis dan lengkap. Dari hasil pembahasan kemudian ditarik kesimpulan yang menjawab tujuan dari penelitian ini..

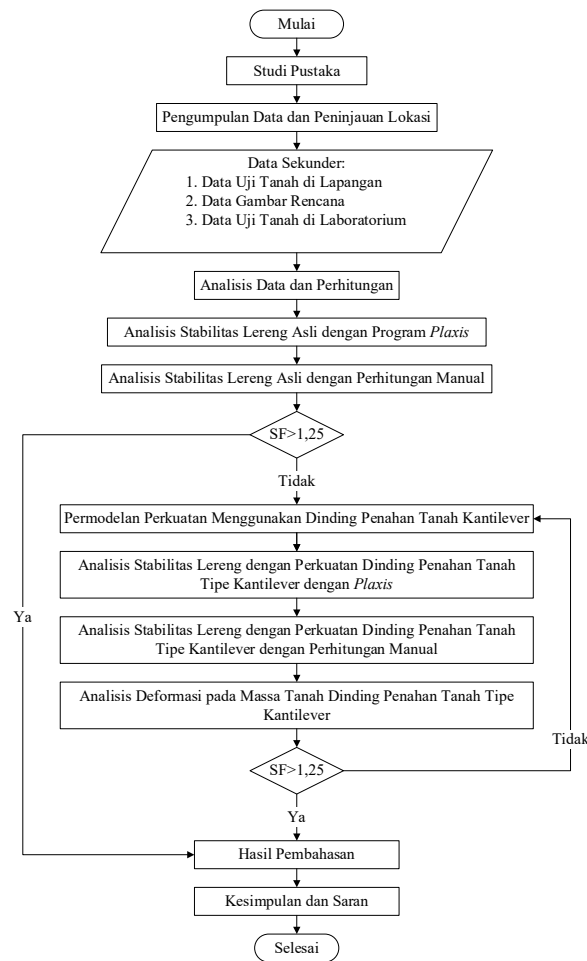
Parameter Analisis

1. Dinding Penahan Tanah
Dinding penahan tanah yang digunakan sebagai perkuatan lereng pada Jembatan Kenet merupakan dinding penahan tanah beton bertulang tipe kantilever dengan tinggi struktur dinding penahan tanah 4,5 m dan lebar 2,9 m. Mutu beton yang digunakan untuk dinding penahan tanah adalah $F_c' = 20 \text{ Mpa}$.
2. Penampang Melintang Lereng
Adapun data penampang melintang lereng pada Jembatan Kenet yang digunakan pada penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 3 sebagai berikut.



Gambar 3. Penampang Melintang Lereng

Berikut bagan alir penelitian yang dapat dilihat pada gambar 4 berikut.

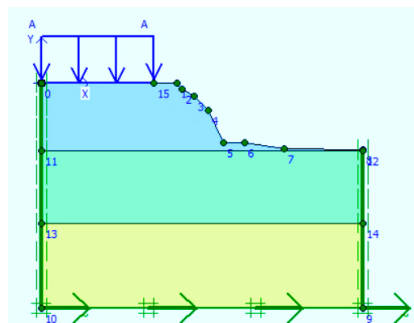


Gambar 4. Bagan Alir Penelitian

ANALISIS DAN PEMBAHASAN

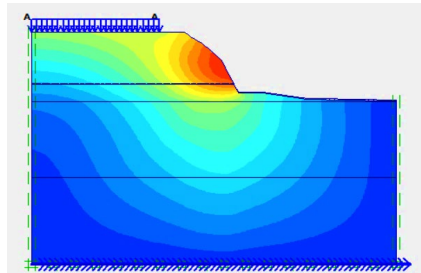
Analisis Stabilitas Lereng Asli

Perhitungan lereng asli dilakukan dengan menggunakan program Plaxis 8.6 dan perhitungan manual menggunakan metode Fellenius. Adapun pemodelan lereng asli pada program plaxis 8.6 dapat dilihat pada Gambar 5 berikut.



Gambar 5. Pemodelan Lereng Asli Pada Program Plaxis 8.6

Hasil analisis lereng asli tanpa beban gempa dapat dilihat pada Gambar 6 berikut.



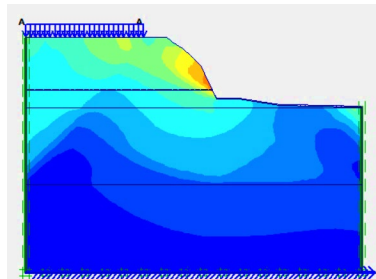
Gambar 6. Daerah Potensial Keruntuhan Lereng Asli Tanpa Beban Gempa

Angka keamanan lereng asli tanpa beban gempa dapat dilihat pada Gambar 7 berikut.

Incremental multipliers		Total multipliers	
Mdisp:	0,0000	Σ -Mdisp:	0,0000
MloadA:	0,0000	Σ -MloadA:	1,0000
MloadB:	0,0000	Σ -MloadB:	1,0000
Mweight:	0,0000	Σ -Mweight:	1,0000
Maccel:	0,0000	Σ -Maccel:	0,0000
Msf:	0,1000	Σ -Msf:	1,1749

Gambar 7. Nilai SF Lereng Asli Tanpa Beban Gempa

Hasil analisis lereng asli dengan beban gempa dapat dilihat pada Gambar 8 berikut.



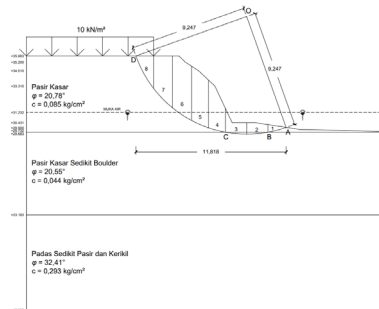
Gambar 8. Daerah Potensial Keruntuhan Lereng Asli Dengan Beban Gempa

Angka keamanan lereng asli dengan beban gempa dapat dilihat pada Gambar 9 berikut.

Incremental multipliers		Total multipliers	
Mdisp:	0,0000	Σ -Mdisp:	0,0000
MloadA:	0,0000	Σ -MloadA:	1,0000
MloadB:	0,0000	Σ -MloadB:	1,0000
Mweight:	0,0000	Σ -Mweight:	1,0000
Maccel:	0,0000	Σ -Maccel:	0,0000
Msf:	0,1000	Σ -Msf:	1,1666

Gambar 9. Nilai SF Lereng Asli Dengan Beban Gempa

Kemudian dilakukan perhitungan manual pada lereng tersebut menggunakan metode Fellenius. Gambar irisan bidang longsor pada metode Fellenius dapat dilihat pada Gambar 10 berikut.



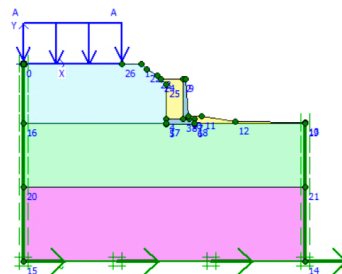
Gambar 10. Penampang Irisan pada Lereng Asli

Nilai angka keamanan pada lereng asli dengan perhitungan manual menggunakan metode Fellenius adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 SF &= \frac{(\sum c_{ia}) + ((W_i \cos \theta - U_i) \times \tan \phi)}{(W_t \times \sin \alpha) + (Beban \times Luas)} \\
 &= \frac{(107,6939 + 104,7952)}{(170,6502 + 19,7820)} \\
 &= 1,116
 \end{aligned}$$

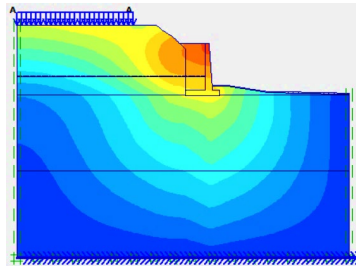
Analisis Stabilitas Lereng dengan Perkuatan Dinding Penahan Tanah Kantilever menggunakan Program Plaxis 8.6

Adapun pemodelan lereng dengan perkuatan dinding penahan tanah kantilever pada program plaxis 8.6 dapat dilihat pada Gambar 11 berikut.



Gambar 11. Pemodelan Lereng Dengan Perkuatan Dinding Penahan Tanah Kantilever Pada Program Plaxis 8.6

Hasil analisis lereng dengan perkuatan dinding penahan tanah kantilever tanpa beban gempa dapat dilihat pada Gambar 12 berikut.



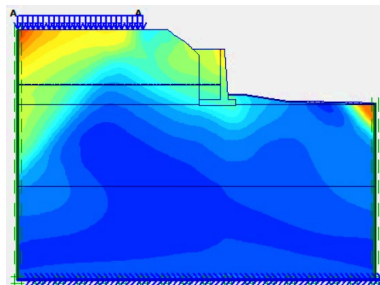
Gambar 12. Daerah Potensial Keruntuhan Lereng dengan perkuatan dinding penahan tanah kantilever Tanpa Beban Gempa

Angka keamanan lereng dengan perkuatan dinding penahan tanah kantilever tanpa beban gempa dapat dilihat pada Gambar 13 berikut.

Incremental multipliers		Total multipliers	
Mdisp:	0,0000	Σ -Mdisp:	0,0000
MloadA:	0,0000	Σ -MloadA:	1,0000
MloadB:	0,0000	Σ -MloadB:	1,0000
Mweight:	0,0000	Σ -Mweight:	1,0000
Maccel:	0,0000	Σ -Maccel:	0,0000
Msf:	0,1000	Σ -Msf:	1,3241

Gambar 13. Nilai SF Lereng Dengan Perkuatan Dinding Penahan Tanah Kantilever Tanpa Beban Gempa

Hasil analisis lereng dengan perkuatan dinding penahan tanah kantilever dengan beban gempa dapat dilihat pada Gambar 14 berikut.



Gambar 14. Daerah Potensial Keruntuhan Lereng Dengan Perkuatan Dinding Penahan Tanah Kantilever Dengan Beban Gempa

Angka keamanan lereng dengan perkuatan dinding penahan tanah kantilever dengan beban gempa dapat dilihat pada Gambar 15 berikut.

Incremental multipliers		Total multipliers	
Mdisp:	0,0000	Σ -Mdisp:	0,0000
MloadA:	0,0000	Σ -MloadA:	1,0000
MloadB:	0,0000	Σ -MloadB:	1,0000
Mweight:	0,0000	Σ -Mweight:	1,0000
Maccel:	0,0000	Σ -Maccel:	0,0000
Msf:	0,1000	Σ -Msf:	1,3239

Gambar 15. Nilai SF Lereng Dengan Perkuatan Dinding Penahan Tanah Kantilever Dengan Beban Gempa

Analisis Stabilitas Lereng dengan Perkuatan Dinding Penahan Tanah Kantilever menggunakan Perhitungan Manual Tanpa Beban Gempa

1. Perhitungan Stabilitas Dinding Penahan Tanah

a. Stabilitas terhadap penggeseran

$$F_{gs} = \frac{(\sum R_h + P_p)}{\sum P_a}$$

$$= 2,8219 \geq 1,5 \text{ (Aman)}$$

b. Stabilitas terhadap penggulingan

$$F_{gl} = \frac{\sum M_{penahan}}{\sum M_{pendorong}}$$

$$= 3,3375 \geq 1,5 \text{ (Aman)}$$

c. Daya dukung tanah terhadap runtuh

$$q_u = d_c i_c c N_c + d_q i_q D_f Y N_q + d_y i_y 0,5 B Y N_y$$

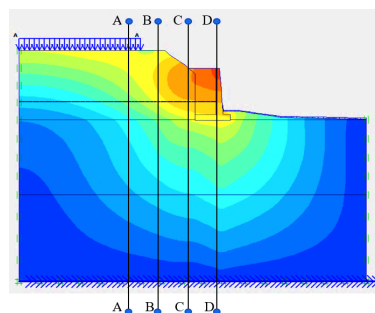
$$= 164,1918 \text{ kN/m}^2$$

$$SF = \frac{q_u x B'}{V}$$

$$= 1,8119 \geq 1,25 \text{ (Aman)}$$

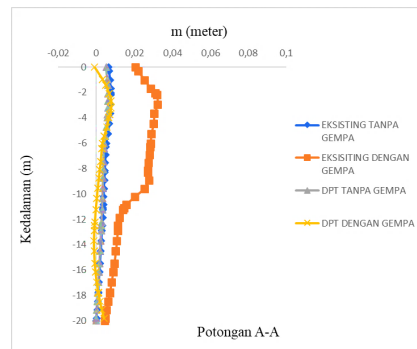
Analisis Deformasi pada Massa Tanah Dinding Penahan Tanah Jembatan Kenet

Deformasi ditinjau pada potongan A-A sampai dengan potongan D-D. Hal tersebut dilakukan dengan tujuan untuk mendapatkan perilaku deformasi yang terjadi pada setiap potongan. Gambar letak pemotongan tinjauan lereng dapat dilihat pada gambar 16 berikut ini.

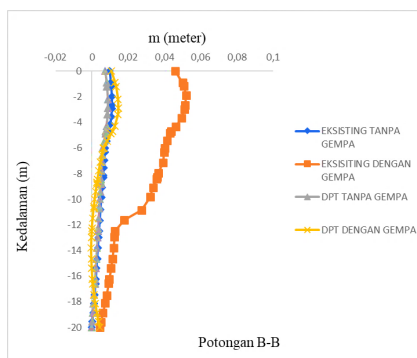


Gambar 16. Letak Pemotongan Tinjauan Lereng

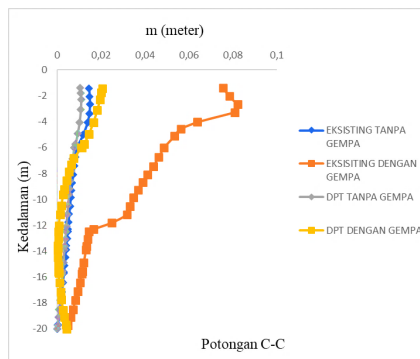
Dari hasil analisis menggunakan program plaxis didapatkan nilai-nilai deformasi pada setiap potongan melintang lereng. Perilaku deformasi yang terjadi dapat dilihat pada Gambar 17, Gambar 18, Gambar 19, dan Gambar 20 berikut.



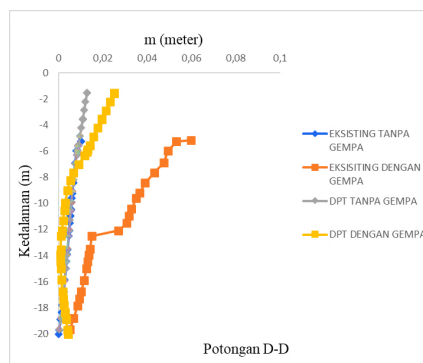
Gambar 17. *Horizontal Displacement* Potongan A-A



Gambar 18. *Horizontal Displacement* Potongan B-B



Gambar 19. *Horizontal Displacement* Potongan C-C



Gambar 20. *Horizontal Displacement* Potongan D-D

PENUTUP

Kesimpulan dan Saran

Hasil perhitungan angka keamanan pada lereng asli tanpa beban gempa menggunakan program Plaxis 8.6 didapatkan 1,1749 dan pada lereng asli dengan beban gempa didapatkan 1,1666. Sedangkan untuk hasil perhitungan manual menggunakan metode Fellenius didapatkan angka keamanan 1,116. Dengan nilai angka keamanan $< 1,25$, maka lereng dalam kondisi kritis atau tidak aman terhadap keruntuhan.

Hasil perhitungan angka keamanan menggunakan Plaxis 8.6 pada lereng dengan perkuatan dinding penahan tanah tipe kantilever tanpa beban gempa didapatkan 1,3241 dan pada lereng dengan perkuatan dinding penahan tanah tipe kantilever dengan beban gempa didapatkan 1,3239. Dengan nilai angka keamanan $> 1,25$, maka lereng dalam aman terhadap keruntuhan. Sedangkan dengan perhitungan manual pada lereng dengan perkuatan dinding penahan tanah tipe kantilever tanpa beban gempa dengan tinjauan stabilitas eksternal didapatkan angka keamanan nilai $SF_{Geser} = 2,8219 > 1,5$ (Aman), $SF_{Guling} = 3,3375 > 1,5$ (Aman), dan $SF_{Daya Dukung Terhadap Runtuh} = 1,8119 > 1,25$ (Aman).

Hasil perhitungan menggunakan Plaxis 8.6 perilaku deformasi yang terjadi pada lereng di Jembatan Kenet didapat dari *total displacement*. Untuk kondisi asli tanpa beban gempa adalah 0,01595 m dan kondisi asli dengan beban gempa adalah 0,11011 m. Sedangkan lereng dengan perkuatan dinding penahan tanah tipe kantilever tanpa beban gempa adalah 0,01296 m dan lereng dengan perkuatan dinding penahan tanah tipe kantilever dengan beban gempa adalah 0,03525 m. Dari hasil analisis Plaxis, deformasi yang terjadi masih tergolong aman karena menurut Look (2007) pergerakan dinding penahan tanah sebelum terjadinya kelongsoran adakah 20-40 cm.

Berdasarkan penelitian yang telah dilaksanakan penulis memberikan saran, perlu dilakukan analisis menggunakan program Plaxis dengan versi terbaru, perlu dilakukan analisis dengan membandingkan muka air normal dan muka air banjir, dan perlu dilakukan perbandingan dengan perkuatan lainnya seperti, perkuatan menggunakan *mini pile*, geotekstil, *sheet pile*, dan lain-lain,

DAFTAR PUSTAKA

- Anggaputra. (2013). "Klasifikasi Tanah Metode USCS(*Unified Soil Classification System*)"<http://ilmuanggaputra.blogspot.com/2013/10/klasifikasi-tanah-metode-uscs-unified.html>
- ASTM D-2487. (2000). *Standard Classification of Soils for Engineering Purposes (Unified Soil Classification System)*. Annual Books of ASTM standards. USA.
- Bowles, J.E. (1977; 1996). *Physical and Geotechnical Properties of Soils*. McGraw-Hill Book Company. USA.
- Hardiyatmo, H. C. (2012). *Mekanika Tanah I Edisi ke Enam*. Yogyakarta. Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Hardiyatmo, H. C. (2010). *Mekanika Tanah II Edisi ke Lima*. Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Hardiyatmo, H. C. (2014). *Analisis dan Perencanaan Fondasi I Edisi ke Tiga*. Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta

- Hardiyatmo, H. C. (2015). Analisis dan Perencanaan Fondasi II Edisi ke Tiga. Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta
- Hariyadi. (2018). Analisis Perilaku Gerakan Massa Tanah Pada Dinding Penahan Tanah Overpass Simpang Paringin Sta. 250-275 Menggunakan Metode Elemen Hingga.
- Hediyanto, R. (2018). Analisis Stabilitas Lereng Dengan Perkuatan Dinding Kantilever Dan Sheetpile Pada Bantaran Sungai Code (Analysis Of Slope Stability With Cantilever Retaining Wall And Sheet Pile In Code Riverbank)
- Look,B. (2007). *Handbook of Geotechnical Investigation and Design Table*. UK Taylor and Francis Group. London
- Plaxis. 2018. *Manual Plaxis*.
- Rahmanta, L. M. (2018). Analisis Stabilitas Lereng Dengan Perkuatan Soil Nailing Menggunakan Metode Perhitungan Fellenius Dan Taylor Serta Program Geoslope (Analysis Of Slope Stability Reinforced With Soil Nailing Using Fellenius And Taylor Methods And Geoslope Program) Studi Kasus Desa Srimartani, Kecamatan Piyungan, Kabupaten Bantul



fcep.uui.ac.id/ilt2022 

+62 274 8984444 ext 3200 

ilt@uui.ac.id 