

# Feasibility of Structural Elements in Startup Business of Prototipe T-24 Temporary Shelter made from Parallon and GRC Boards

Mochamad Teguh<sup>\*)</sup>, Novi Rahmayanti<sup>\*)</sup>, M. Zakki Rizal<sup>\*\*)</sup>

<sup>\*)</sup>Department of Civil Engineering (DCE), Universitas Islam Indonesia (UII)

<sup>\*\*)</sup>Laboratory Assistant, Structure Laboratory, DCE, UII

## EXCECUTIVE SUMMARY

According to the criteria issued by Times Higher Education (THE) and Green Metric, many components can support a sustainable environment on campus, including the role of academics, staff, and the community. UII achieved the 2021 Green Metric Score of 7,700, from the highest score of 10,000 or 77%. In the EDUCATION category, UII received a pretty good score, namely 83.33%. However, this figure was not supported by the ED.11 sub-category, namely the Sustainable Report, which only received a rating of 25 out of the highest score of 100. Therefore, improvement efforts are needed through various research that aligns with the vision and mission.

This research is related to the feasibility of structural elements in the T-24 HUNTARA Pro-G (Temporary Shelter) prototype start-up made from parallon and GRC (Glass fiber Reinforced Concrete). This research is focused on testing the feasibility of material and structural elements for shelters made from parallon pipes and GRC boards (Fig.1). Mortar with a volume ratio of 1PC:5Sand and 1PC:3Sand with a cement water ratio of 0.5 is tested for compressive strength to be used as pipe-filling material. Empty and mortar-filled parallon pipes were experimentally tested under bending and axial loads. Structural feasibility based on laboratory testing on two truss models and three wall components tested with different load schemes in the direction of in-plane, diagonal shear, and out-of-plane is presented in this study.

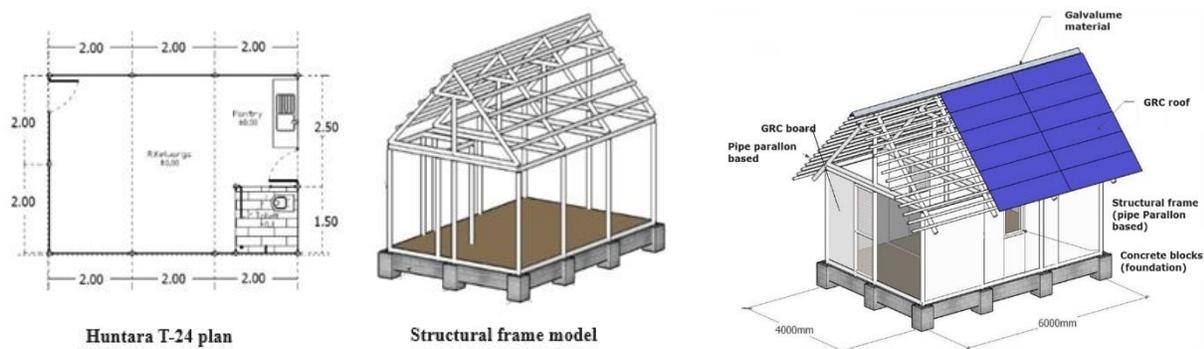


Fig. 1 Prototype of Huntara T-24: (a) Plan, (b) Frame Model, (c) 3D View

The utilization of parallon pipe material and its joints, as well as GRC board material, as the frame of the Huntara building, both for the roof and portal structures that support partition walls, make this investigation innovative. In testing mortar with a ratio of 1PC:5Sand and 1PC:3Sand plus water with a cement water ratio of 0.5, respectively, the compressive strength was 16.78 MPa and

24.84 MPa. These mortar compressive strengths have reached the minimum compressive strength of normal concrete.

In testing, parallon pipes were carried out on empty pipes and pipes filled with mortar (2 mixture compositions) with a total of 2 (two) samples. In compressive strength testing, the pipe is installed vertically. At each end of the pipe, a steel shoe is attached, which is clamped to the loading frame profile as a holder at the bottom pipe and the top end of the pipe so that load cell placement is more precise and accessible to adjust the test object in an upright position.

Parallon pipes with diameters of 3" and 4" were chosen for conducting compressive strength testing with axial loads on empty and mortar-filled parallon pipes, with pipe lengths limited to only 1000 mm, while for flexural strength tests longer pipe lengths of up to 2000 mm were used. The experimental pipe tests are summarized in the following figures (Fig. 2 and Fig. 3), and the experimental setup is inserted inside the figures as well.

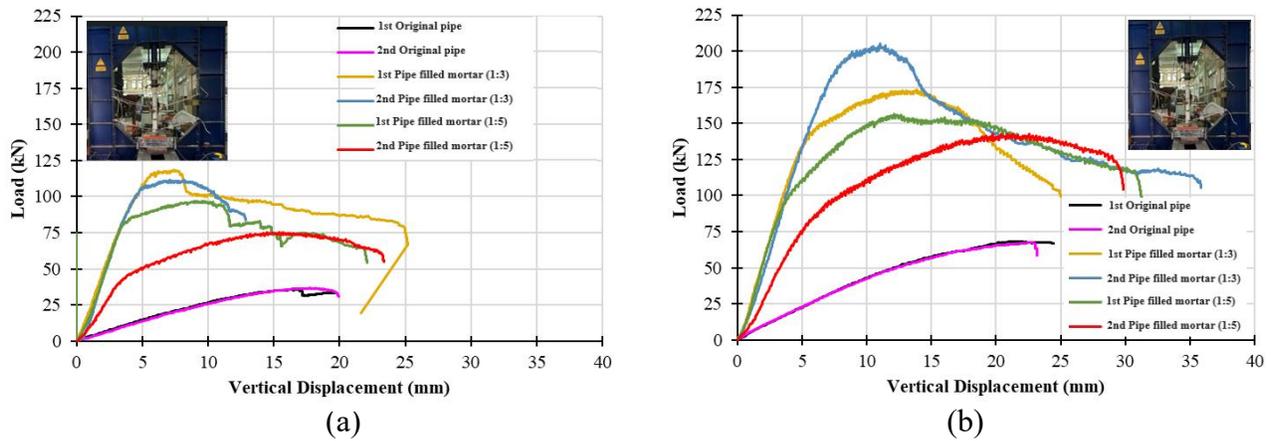


Fig. 2 Load-vertical displacement relationships under axial loads: (a) Ø3''-1 m, (b) Ø4''-1 m

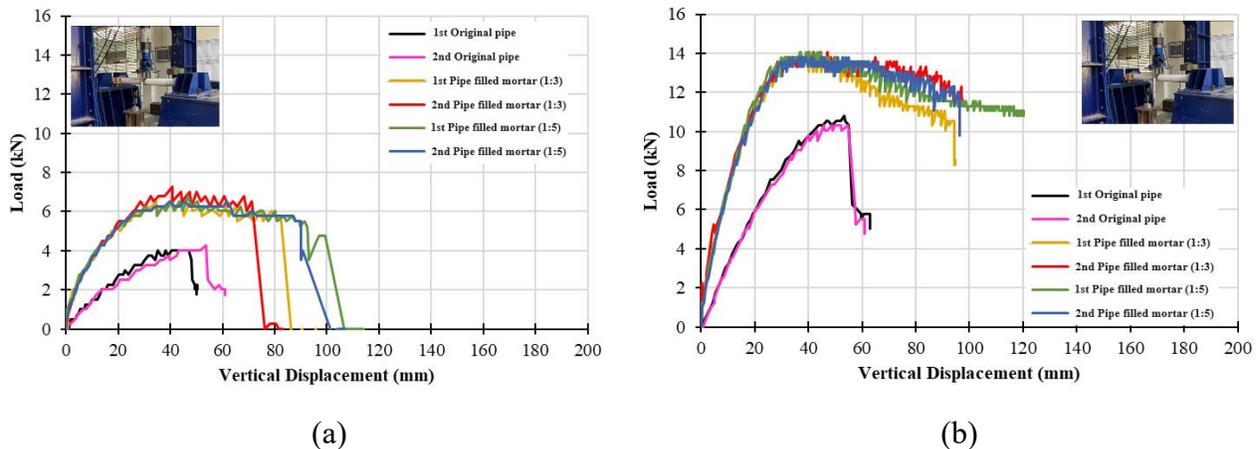


Fig. 3 Load-vertical displacement relationships under flexural loads: (a) Ø3''-1 m, (b) Ø4''-1 m

The test results for the original pipe sample reached the optimum load that this pipe could withstand of 36.04 kN and produced a vertical deflection of 19.84 mm. The structural performance

achievement of the average compressive strength test on paralon pipe filled with mortar (1:5) was higher than the original sample, namely 86.15 kN, producing an average vertical deflection of 22.72 mm. Along with the high compressive strength of the 1:3 mortar mixture, the pipe filled with this mortar produces a significant strength, namely 115.53 kN. However, the vertical deflection is slightly smaller at 19.72 mm compared to the other two samples. From these three samples, it can be concluded that the strength of the paragon pipe filled with mortar (1:3) can withstand the most significant axial load. However, this sample is more brittle or has lower displacement ductility than the others. Apart from the compressive strength of the mortar, the quality of the parallon pipe (base material, dimensions, and thickness) dramatically influences the performance of the pipe. Furthermore, in the same test scheme on a Ø4" pipe with a length of 1 m, the strength was approximately 60% higher than the Ø3" pipe. The increase in paralon pipe capacity is caused by the larger diameter, even though the pipe thickness (Ø3" and Ø4") is the same. Generally, the thickness of parallon pipe does not always follow the pipe diameter.

In laboratory tests, the load cell and LVDT were installed according to the experimental setup to achieve the targeted research objectives, and the load was controlled via the load cell, which was pumped with a manual hydraulic jack. The number of LVDTs installed and the location of the installation points must be precise and match the desired measurement data targets. In this research, two samples of truss frame structures made from empty parallon pipes were tested.

Figure 4 displays a graph of the relationship between load and deflection at the midpoint of the truss span of both types or a distance  $L/2$  ( $L$  = length of truss span). In connection with the manufacture of type 1 and 2 truss structure test specimens, several essential things to note are the accuracy of measuring the length of each truss element, a precise and accurate connection system, the neatness of the ends of the elements to be connected with fabricated PVC connecting tools, the use of parallon glue, and experienced artisans are needed. The main strength of the truss structure made from empty parallon pipes lies in the quality of the connections, including the need for precision in the connection, from preparing the materials and sanding the ends of the pipes and connections to carrying out the connection.

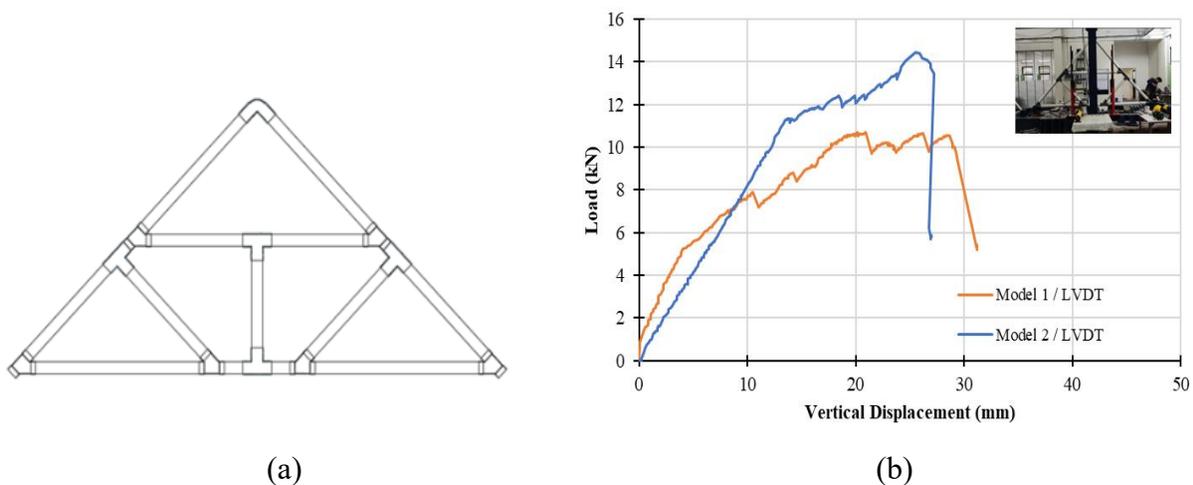


Fig. 4 Experimental tests on two truss structures: (a) Typical truss models, (b) Load-displacement relationships for two the models

From the comparison of the load-displacement response graphs for type 1 and 2 trusses, their structural performance has been demonstrated. Type 1 test specimens can withstand a maximum gravitational load of 10.61 kN or the equivalent of 1.08 tonnes with a maximum bending of 31.21 mm. In comparison, type 2 specimens can exceed a gravitational load of 14.43 kN or 1.47 tonnes, but the bending achieved is lower, namely 26.80 mm. Type 2 test specimens did not collapse or deform after reaching the maximum load. However, for safety reasons, the loading was stopped due to the eccentricity of the load in the out-of-plane direction, which could cause the truss structure to experience twisting.

In this study, the performance of walls subjected to loading in the direction of the plane (Fig. 5), diagonal shear (Fig. 6), and perpendicular to the plane (Fig. 7) was tested. The main idea of this test is based on the phenomenon of earthquake load direction, which is detected not only in one direction but in several directions and has the potential to cause damage to the main structure of the building and non-structures, such as walls or partitions, door/window frames, glass, and others. What is meant by wall elements in this research are empty parallel pipes assembled with PVC joints to form a frame measuring 1.0x1.0 m<sup>2</sup>, then wall layers made of GRC with a thickness of 8 mm are attached to both sides of the parallon frame, and reinforced with nuts-bolts.

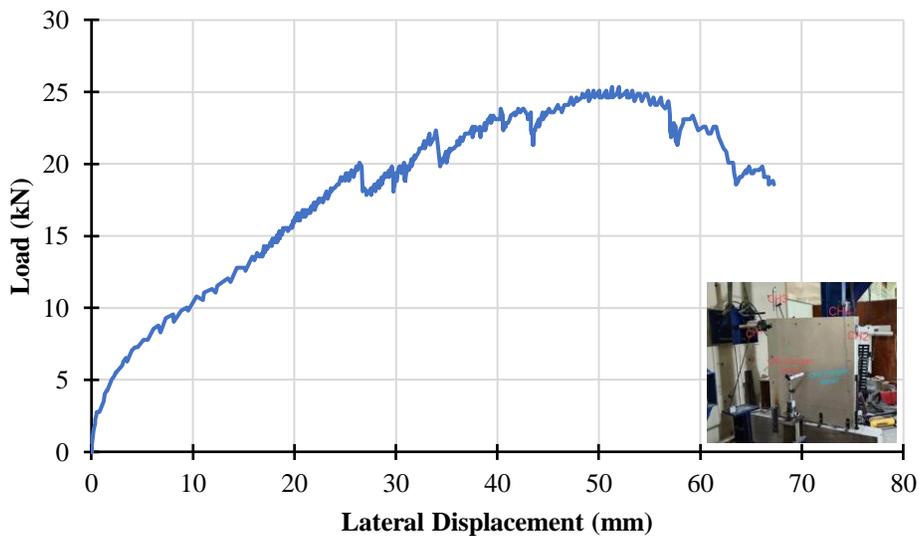


Fig. 5 Load-lateral displacement relationship for in-plane wall under lateral loads

The structural performance of the wall in supporting loads in the direction of the plane is shown in Fig. 5, showing that the wall can withstand a lateral load of 25.36 kN or the equivalent of 2.56

tonnes with a maximum lateral displacement of 66.74 mm. From this graph, it is clear that the elasticity of both trusses is excellent, indicated by the achievement of quite a large displacement ductility. Damage is located at the joint at the load point, followed by damage (lateral spreading tear from the side under load towards the middle of the upper wall) of both wall layers at that location and the foundation point of the tension section (under the load point with the same type of damage), However, in general, the frame is still relatively intact except for the end of the PVC joint which is affected by the load cell which is damaged.

In wall testing with diagonal shear load, this refers to ASTM standards. In the load interval of 10 to 35 kN, the load movement graph is less stable, and this condition can be interpreted from the graph tends to decrease while the deflection tends to be more significant. Next, the load was increased again until it reached the peak load of 46.20 kN, then decreased until it reached the lowest load of 24.36 kN, and the maximum deflection was reached at 39.63 mm. The damage occurred at the PVC pipe joint, and due to the diagonal shear force, the GRC layer broke at both ends/corners of the wall, and a horizontal crack line spread from the left corner to the right corner of the wall.

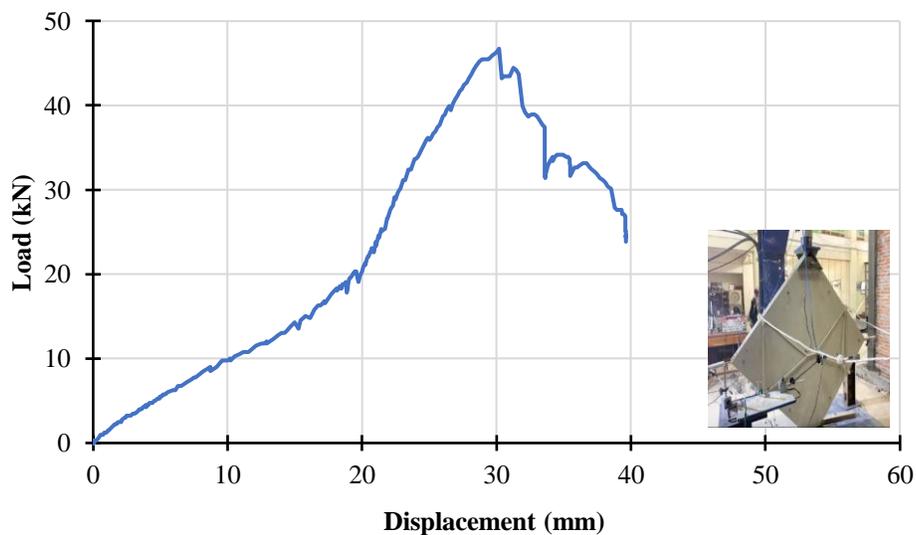


Fig. 6 Load-lateral displacement relationship for in-plane wall under lateral loads

Considering that the strength of the GRC material could be better, the optimum load that can be achieved is also low, namely only 2.26 kN or the equivalent of 230.46 kg. The damage occurred right from the middle of the wall or below the load cell and then spread to the edge, forming a straight line so that the GRS wall split into two parts. The resulting graph is less smooth due to

load fluctuations, and once the wall area starts to crack, the GRC board is no longer able to withstand the load. If corrections are made to the test results graph, the curve is relatively smoother.

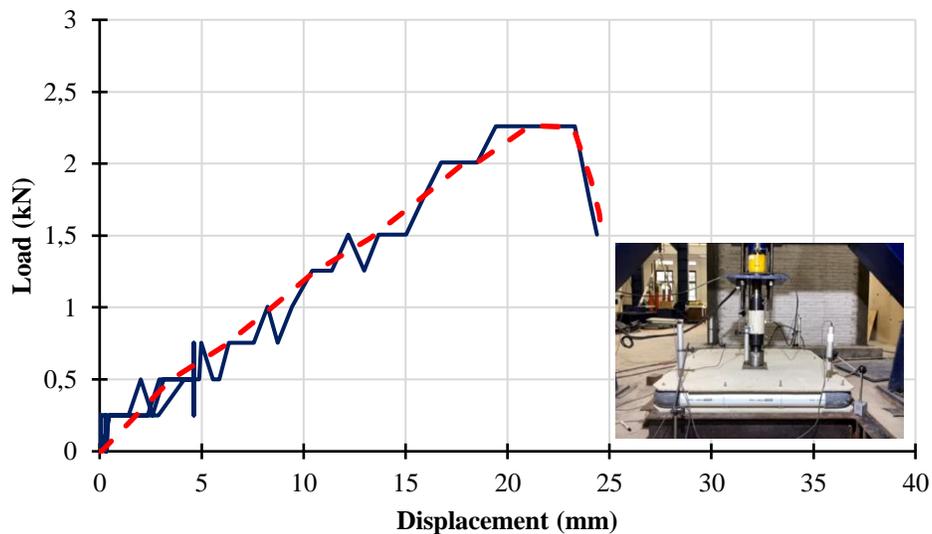


Fig. 7 Load-lateral displacement relationship for in-plane wall under lateral loads Load-lateral displacement relationship for in-plane wall under lateral loads

Another factor that causes the strength of the wall when loaded perpendicular to the plane is that between the layers of GRC, there is a cavity as wide as the diameter of the parallon pipe as the wall frame because it is not filled with solid material, which can unite the layers of GRC boards and strengthen the stiffness of the wall. Thus, this test object is more focused on testing the bending of GRC boards only, which can be confirmed as having deficient structural performance. Therefore, GRC boards would be more appropriate for the inside walls of the Huntara house or as partitions/room dividers. In contrast, for the outside, for more robust wall functions for security needs, other materials are needed that meet the requirements for strength and lightness and are easy to install as well as price.

**LAPORAN AKHIR**

**HIBAH KAMPUS LESTARI**



**Kelayakan Elemen Struktur pada Usaha Rintisan  
PROTOTIPE T-24 Hunian Sementara berbahan dasar  
Paralon dan GRC**

**Ketua/Anggota**

**Tim**

**Prof. Ir. Mochamad Teguh, MSCE, Ph.D**

**Novi Rahmayanti, S.T., M.Eng.**

**Muhammad Zakki Rizal Hidayat, S.T.**

**BADAN PERENCANAAN DAN PENGEMBANGAN/RUMAH GAGASAN/  
KANTOR KEBERLANJUTAN  
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA  
YOGYAKARTA**

**2023**

## Lembar Pengesahan

### Laporan Akhir Hibah Kampus Lestari

1. Tema : Pendidikan-Penambahan usaha rintisan berbasis lingkungan berkelanjutan
2. Judul Penelitian : Kelayakan Elemen Struktur pada Usaha Rintisan PROTOTYPE T-24 Hunian Sementara berbahan dasar Paralon dan GRC (Huntara Pro-G)
3. Fakultas/Jurusan/Laboratorium/Pusat Studi: Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan /Teknik Sipil/Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik
4. Identitas Ketua Tim Pengusul :  
Nama : Prof. Ir. Mochamad Teguh, MSCE, Ph.D  
Jabatan Akademik : Guru Besar  
Pangkat/Golongan : IV/E  
Telepon seluler : 081227009072  
Surat elektronik : m.teguh@uii.ac.id
5. Identitas Anggota (Menyesuaikan):  
Nama : Novi Rahmayanti, S.T., M.Eng  
Jabatan Akademik : Lektor  
Pangkat/Golongan : III/C  
Telepon seluler : 081373047288  
Surat elektronik : novi.rahmayanti@uii.ac.id
6. Anggaran yang diajukan : Rp. 24.990.000,- (dua puluh empat juta sembilan ratus sembilan puluh ribu rupiah)

Yogyakarta, 20 Oktober 2023  
Ketua Pengusul,



Prof. Ir. Mochamad Teguh, MSCE, Ph.D

Menyetujui,

Dekan FTSP, UII



Prof. Dr. -Ing. Ilya Fadjar Maharika, M.A. IAI

## PRAKATA

*Assalamu'alaikum Wr. Wb.*

Universitas Islam Indonesia merupakan perguruan tinggi nasional tertua di Indonesia yang telah memiliki sejarah yang panjang terhadap kepedulian tinggi pada keberlangsungan lingkungan kampus Lestari. Disadari bahwa pelestarian kampus bukan tanggung jawab personal atau unit tertentu di internal perguruan tinggi, maka perlu dibangun kesadaran kolektif mengenai keberlanjutan ini dan harus dibangun di semua lini dan tingkatan, mengikuti kriteria yang dikeluarkan oleh *Times Higher Education* (THE) dan *GreenMetric*, yang ternyata banyak komponen yang dapat mendukung lingkungan berkelanjutan di lingkup kampus. Dengan mengadopsi pendekatan ini dan mengintegrasikannya ke dalam budaya kampus, UII dapat menjadi pusat pendidikan yang berkomitmen terhadap keberlanjutan dan memberikan kontribusi yang positif terhadap lingkungan serta masyarakat di sekitarnya.

Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi kelayakan elemen struktur yang digunakan dalam PROTOTIPE T-24 Huntara yang berbahan dasar Paralon dan GRC. Kelayakan elemen struktur ini mencakup berbagai aspek, seperti kekuatan, daya tahan, efisiensi, dan potensi keberlanjutan dari bahan-bahan tersebut. Pengujian dilakukan bertahap disesuaikan dengan anggaran penelitian dan ketersediaan fasilitas laboratorium. Di dalam penelitian ini juga melibatkan mahasiswa Teknik Sipil Program Sarjana, atas nama: Rifat Syauqi Hazairin, NIM: 19511109.

Tim peneliti mengapresiasi dan mengucapkan terima kasih kepada Pimpinan UII yang telah memberikan hibah penelitian kampus lestari Inovasi program Bangunan Cerdas guna mendukung kelestarian lingkungan kampus.

*Wassalamu'alaikum Wr. Wb.*

Yogyakarta, 20 Oktober 2023

Ketua Tim Peneliti,



Prof. Ir. Mochamad Teguh, MSCE, PhD

## DAFTAR ISI

HALAMAN SAMPUL	i
HALAMAN PENGESAHAN	ii
PRAKATA	iii
DAFTAR ISI	iv
DAFTAR TABEL	vi
DAFTAR GAMBAR	vii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	7
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	9
2.1. Kebijakan Pemerintah	9
2.2. Dampak dan solusi pasca bencana gempa	9
2.3. UII Green campus Lestari: sumber daya dan fasilitas pendukung	11
2.4. Pengembangan Kebijakan	11
2.4.1. Relevansi Visi dan Misi Institusi	14
2.4.2. Implementasi kebijakan	14
BAB III TUJUAN DAN MANFAAT PENELITIAN	15
3.1. Tujuan Penelitian	15
3.2. Manfaat Penelitian	15
BAB IV METODE PENELITIAN	17
4.1. Pengantar	17
4.2. Ragam Material untuk Spesimen Penelitian	17
4.3. Peralatan inti/pokok	19
4.4. Metode Penelitian ( <i>Experimental Setup</i> ) dan Ragam Benda Uji	20
4.4.1. Metode Pengujian	20
4.4.2. Ragam Benda Uji	21

4.4.3. Rekaman Data	21
<b>BAB V HASIL DAN LUARAN YANG DICAPAI</b>	<b>23</b>
5.1. Pengantar	23
5.2. Pengumpulan dan Analisis Data	23
5.3. Kinerja Struktural	24
5.4. Hasil Pengujian (Mortar, Elemen, dan Komponen)	25
5.4.1. Mortar	25
5.4.2. Kuat Tekan pada Pipa Peralon Diameter 3 inci dan 4 inci	26
5.4.3. Kuat Lentur pada Pipa Paralon Diameter 3 inci dan 4 inci	28
5.4.4. Struktur rangka batang (kuda-kuda)	30
5.4.5. Struktur portal pembentuk dinding	32
5.5. Evaluasi Kelayakan Struktur	37
5.5.1. Material berbahan dasar paralon dan GRC	37
5.5.2. Kinerja struktur rangka kuda-kuda	46
5.5.3. Kinerja dinding searah bidang ( <i>in plane</i> )	50
5.5.4. Kinerja dinding diagonal geser ( <i>shear diagonal</i> )	51
5.6. Luaran Penelitian	53
<b>BAB VI RENCANA TAHAPAN BERIKUTNYA</b>	<b>54</b>
6.1. Pengembangan Model Sambungan Paralon Berkekuatan	54
6.2. Inovasi penggunaan material alternatif pada sambungan elemen struktur	55
6.3. Pengembangan Model Elemen Struktur Dinding	56
6.4. Metode Pengujian Elemen Struktur Skala Penuh	56
<b>BAB VII KESIMPULAN DAN SARAN</b>	<b>58</b>
7.1. Kesimpulan	58
7.2. Saran-saran	59
<b>DAFTAR PUSTAKA</b>	<b>60</b>

## DAFTAR TABEL

Tabel 1.1 Motivasi, Gagasan dan Peluang Peningkatan	3
Tabel 1.2 Hasil Penilaian UII Green Metrik untuk Kategori Pendidikan	5
Tabel 1.3 Green Metric Score untuk Universitas Islam Indonesia Tahun 2021	7
Tabel 5.1 Hasil Pengujian Kuat Tekan Mortar dengan 2 (Dua) Komposisi Campuran yang Berbeda	26
Tabel 5.2 Rekapitulasi kinerja pengujian kuat tekan pada pipa Ø3 inci- 1m	26
Tabel 5.3 Rekapitulasi kinerja pengujian kuat tekan pada pipa Ø4 inci- 1m	26
Tabel 5.4 Rekapitulasi kinerja pengujian kuat lentur pada pipa Ø3 inci- 1m	43
Tabel 5.5 Rekapitulasi kinerja pengujian kuat lentur pada pipa Ø4 inci- 1m	44
Tabel 5.6 Rekapitulasi kinerja pengujian kuat lentur pada pipa Ø3 inci- 2m	46
Tabel 5.7 Rekapitulasi kinerja pengujian kuat lentur pada pipa Ø4 inci- 2m	47

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Peta Jalan Usaha Rintisan Hunian Sementara T-24 berbahan dasar Paralon dan GRC	6
Gambar 1.2 Skema dan Tahapan Usaha Rintisan Huntara Pro-G T-24	6
Gambar 5.1 Denah dan perpektif Huntara Tipe T-24.	25
Gambar 5.2 Model Pengujian Batang Tekan/Kolom	27
Gambar 5.3 Tipikal kerusakan pada pengujian kuat tekan paralon	28
Gambar 5.4 Pengujian batang lentur dengan variasi panjang 1 m dan 2 m	29
Gambar 5.5 Tipikal kerusakan pada pengujian kuat lentur paralon	30
Gambar 5.6 Tipikal struktur rangka kuda-kuda	30
Gambar 5.7 <i>Experimental setup dan deflected shapes</i> dari struktur kuda-kuda tipe 2	31
Gambar 5.8 Model dan <i>experimental set up</i> pada pengujian dinding searah bidang.	33
Gambar 5.9 Model dan <i>experimental set up</i> pada pengujian dinding <i>shear diagonal</i>	34
Gambar 5.10 Model dan <i>experimental set up</i> pada pengujian dinding <i>out of plane</i>	37
Gambar 5.11 Grafik hubungan beban-defleksi vertikal: kuat tekan pipa Ø3 inci - m	38
Gambar 5.12 Grafik hubungan beban-defleksi vertikal: kuat tekan pipa Ø4 inci - m.	39
Gambar 5.13 Grafik hubungan beban-defleksi vertikal: kuat lentur pipa Ø3 inci-1 m.	41
Gambar 5.14 Grafik hubungan beban-defleksi vertikal: kuat lentur pipa Ø4 inci- 1 m.	43

Gambar 5.15 Grafik hubungan beban-defleksi vertikal uji lentur pipa Ø3 inci - 2m	45
Gambar 5.16 Grafik hubungan beban-defleksi vertikal uji lentur pipa Ø4 inci - 2m.	46
Gambar 5.17 Grafik hubungan antara beban dan lendutan pada kuda-kuda kedua tipe.	49
Gambar 5.18 Grafik hubungan antara beban-lendutan pada uji dinding <i>in</i> <i>plane</i> .	50
Gambar 5.19 Grafik hubungan antara beban-lendutan pada uji dinding <i>diagonal geser</i> .	51
Gambar 5.20 Grafik hubungan antara beban-lendutan pada uji dinding <i>out of</i> <i>plane</i> .	52

# **BAB 1**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1. Latar Belakang**

Indonesia merupakan salah satu negara di dunia, yang memiliki kerentanan tinggi terhadap bencana alam, seperti gempa, tsunami, erupsi gunung berapi dan sebagainya. Frekuensi gempa di Indonesia tergolong memiliki frekuensi yang cukup tinggi, setiap ada kejadian gempa masyarakat terdekat lokasi gempa selalu merasakan rambatan gelombang gempa, dari frekuensi rendah hingga tinggi, yang seringkali menimbulkan kepanikan pada orang yang terdampak. Gempa sedang dan besar berpotensi menyebabkan kerusakan pada infrastruktur dengan level kerusakan beragam tergantung dari kemampuan bangunan dalam menahan beban gempa. Dalam rangka membangun bangsa yang tangguh terhadap bencana dan mengambil pelajaran dalam menanggulangi bencana, Pemerintah dengan persetujuan DPR telah menerbitkan Undang-Undang Nomor 24 Tahun 2007 tentang Penanggulangan Bencana. Undang-undang ini disusun dengan menggunakan paradigma bahwa penanggulangan bencana harus dilakukan secara terencana, terpadu, dan terkoordinasi dengan melibatkan para pemangku kepentingan. Undang-undang ini telah memberi mandat kepada pemerintah untuk memberikan perlindungan pada masyarakat dari ancaman bencana, sebagai wujud dari pengejawantahan Pembukaan Undang-Undang Dasar Tahun 1945. Pengurangan risiko bencana merupakan bagian penting dalam Undang-Undang Nomor 24 Tahun 2007, sebagai upaya proaktif dalam mengelola bencana. Pada bulan Desember Tahun 2003, Majelis Umum Perserikan Bangsa-Bangsa telah mengadopsi resolusi 57/254 untuk menempatkan Dekade Pendidikan bagi Pembangunan Berkelanjutan mulai Tahun 2005- 2014, di bawah koordinasi UNESCO. Pendidikan untuk pengurangan risiko bencana (alam) telah diidentifikasi sebagai masalah inti. Dalam Undang-Undang Nomor 20 Tahun 2003 tentang Sistem Pendidikan Nasional pasal 32 ayat 2, juga telah mengakomodasi kebutuhan pendidikan

bencana dalam terminologi pendidikan layanan khusus, yakni pendidikan bagi peserta didik di daerah terpencil atau terbelakang, masyarakat adat yang terpencil, dan/atau mengalami bencana alam, bencana sosial, dan tidak mampu dari segi ekonomi.

Pemerintah melalui Kementerian PUPR terus berupaya dan telah dalam menyelesaikan pembangunan hunian sementara (huntara) bagi korban bencana gempa bumi, yang terjadi di beberapa wilayah. Pembangunan Huntara sangat dibutuhkan oleh Masyarakat yang terdampak, sehingga dibutuhkan waktu yang cepat untuk proses pelaksanaan pembangunannya. Untuk keperluan tersebut dibutuhkan inovasi dan teknologi tepat guna, yang disesuaikan dengan kemampuan pemerintah dan Masyarakat (Sibima, 2017).

Universitas Islam Indonesia (UII) sebagai salah satu lembaga pendidikan tinggi nasional tertua di Indonesia memiliki Visi yang sangat baik, yaitu: *Terwujudnya Universitas Islam Indonesia sebagai rahmatan lil 'alamin, memiliki komitmen pada kesempurnaan (keunggulan), risalah Islamiyah, di bidang pendidikan, penelitian, pengabdian masyarakat dan dakwah, setingkat universitas yang berkualitas di negara-negara maju.* UII (2020) telah mengambil peran, yang sangat komprehensif dan strategis di dalam mengedukasi masyarakat luas melalui program Pendidikan. Salah satu contoh peran UII dalam kaitan pelestarian alam dan lingkungan adalah: Jurusan/Departemen Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, memiliki program studi dari level Sarjana hingga Doktor (S1-S3), memiliki keunikan kurikulum berbasis kebencanaan. Kurikulum ini berbasis kebencanaan berwawasan manajemen risiko bencana dan revolusi industri 4.0 ini merupakan keunggulan Prodi Teknik Sipil, yang langka dan jarang diterapkan di perguruan tinggi lain di Indonesia. Sebagai konsekuensi logis, di jurusan ini cukup banyak ditemukan mata kuliah dan karya penelitian yang bernuansa kajian terhadap bencana alam ditinjau dari berbagai aspek dan perpektif kebencanaan termasuk kepekaan terhadap keberlanjutan lingkungan kampus yang hijau. Untuk memenuhi capaian tersebut, Jurusan Teknik Sipil sedang memutakhirkan semua Kurikulum Program Sarjana, Magister, dan Doktor dengan mempertimbangkan kebutuhan kekinian dan menjawab tantatangan revolusi industri

4.0. Sivitas akademika (dosen dan mahasiswa) sebagai insan akademisi sudah semestinya memiliki kepekaan terhadap keberlanjutan lingkup kampus hijau, sekaligus mengamalkan Firman Allah SWT di dalam Q.S. An-Nisa ayat 9, sehingga tumbuh kesadaran bahwa melestarikan lingkungan kampus menjadi tanggung jawab bersama di semua unit internal perguruan tinggi. Penelitian terdahulu terkait elemen-elemen rumah sederhana tahan gempa beserta material yang dibutuhkan, telah dilakukan oleh beberapa peneliti (dosen Prodi Teknik Sipil), yang didanai oleh hibah Jurusan Teknik Sipil, DPPM UII, dan DRTPM Dikti. Penelitian terdahulu mengacu pada *roadmap* penelitian JTS, FTSP, dan UII antara lain tercakup dalam topik material dan struktur bangunan sederhana (*non-engineered building*). Hasil beberapa penelitian tersebut relevan dan menjadi referensi penting dalam penelitian ini. Tabel 1.1 memperlihatkan motivasi, gagasan dan peluang peningkatan untuk mewujudkan Prototipe T-24 Huntara Pro-G sebagai kontribusi institusional UII terhadap program pemerintah.

Tabel 1.1 Motivasi, Gagasan dan Peluang Peningkatan

Motivasi	Ajuan Gagasan	Peluang peningkatan
Upaya peningkatan kualitas Pendidikan fokus pada Sustainability Report	Melakukan upaya penambahan usaha rintisan berbasis lingkungan berkelanjutan karena terdapat kesenjangan/gap antara materi pendidikan dan usaha rintisan	Peluang sangat besar mengingat beberapa hal berikut: 1. Nilai base line ED.11 UII paling rendah 2. Topik usaha rintisan Huntara berbahan dasar peralon sangat signifikan merespon kebencanaan dan keberlanjutan ditinjau dari aspek kekuatan, keamanan, dan biaya 3. Topik huntara pro-G sangat mendukung pengintegrasian dengan materi pembelajaran mengacu kurikulum berbasis OBE (Outcome Base Education)
Kondisi ED.11 Sustainability Report UII 25/100	Usaha Rintisan Hunian Sementara Berbahan Dasar Paralon dan GRC	Meningkatkan Nilai ED.11 Sustainability Report UII lebih dari 25/100 sebagai dasar usaha rintisan
<b>PRODUCT:</b> PRODUKSI Huntara Pro-G fokus pada kajian arsitektural dan struktur bangunan tanggap bencana dan berkelanjutan	<b>FINANCIAL:</b> PEMBIAYAAN Huntara Pro-G fokus pada kajian arsitektural dan struktur bangunan tanggap bencana dan berkelanjutan	<b>MARKETING &amp; SALES</b> PEMASARAN & PENJUALAN Huntara Pro-G fokus pada kajian arsitektural dan struktur bangunan tanggap bencana dan berkelanjutan

Dalam rangka merealisasikan usaha tersebut di atas, diperlukan skema dan tahapan usaha rintisan Huntara Pro-G T24 (Gambar 1.1) dan didukung dengan peta jalan yang mendukung keberhasilan program ini (Gambar 1.2). Dua proposal berkesinambungan dari Teknik Sipil dan Arsitektur, FTSP, UII telah disetujui dan didanai dalam Hibah Kampus Lestari 2022 ini guna mewujudkan usaha rintisan Pembuatan PROTOTIPE T-24 Hunian Sementara berbahan dasar Paralon dan GRC (Huntara Pro-G). Fokus proposal pertama (Ketua: Prof. Suparwoko): pendekatan arsitektural, sedangkan pada proposal kedua (Ketua: Prof. M. Teguh): pengkajian aspek kekuatan dan keamanan elemen struktur. Pemilihan tema Pendidikan dengan Sub-Tema “Penambahan usaha rintisan berbasis lingkungan berkelanjutan” mengingat Indikator ED.11 Sustainability Report, UII memperoleh nilai terendah 25 dari 100 (Tabel 1.2). Secara kontras nilai total komponen Pendidikan/*Education* tercapai relatif tinggi (Tabel 1.3), sehingga usaha rintisan berbasis riset melalui laboratorium dengan melibatkan dosen, asisten, laboran, dan mahasiswa menjadi sangat penting (Universitas Islam Indonesia, 2021), mengacu roadmap penelitian Huntara berbasis paralon dan GRC atau material sejenisnya (Gambar 1.1) dengan mempertimbangkan skema dan tahapan usaha rintisan Huntara (Gambar 1.2). Rintisan Huntara ini diharapkan berjalan berkesinambungan, sehingga Huntara benar-benar bermanfaat bagi masyarakat terdampak pada khususnya dan masyarakat ekonomi lemah/kurang pada umumnya, agar pemerataan pembangunan yang diprogramkan pemerintah segera terwujud dan dinikmati masyarakat terdampak yang membutuhkannya (Planningnotepad.com, 2012).

Tabel 1.2 Hasil Penilaian UII Green Metrik untuk Kategori Pendidikan

**Education**

Indicator		Score
ED.1	The ratio of sustainability courses towards total courses/modules	300
ED.2	The ratio of sustainability research funding towards total research funding	200
ED.3	Sustainability publications	150
ED.4	Sustainability events	150
ED.5	Sustainability student organizations	150
ED.6	Sustainability websites	150
ED.7	Sustainability report	100
ED.8	Sustainability report	75
ED.9	Sustainability report	100
ED.10	Sustainability report	100
ED.11	Sustainability report	25

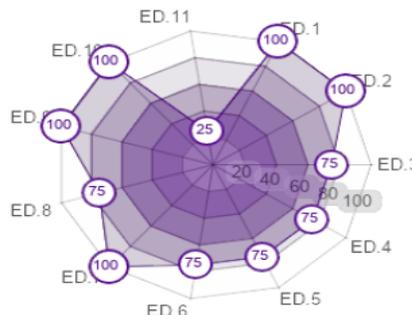
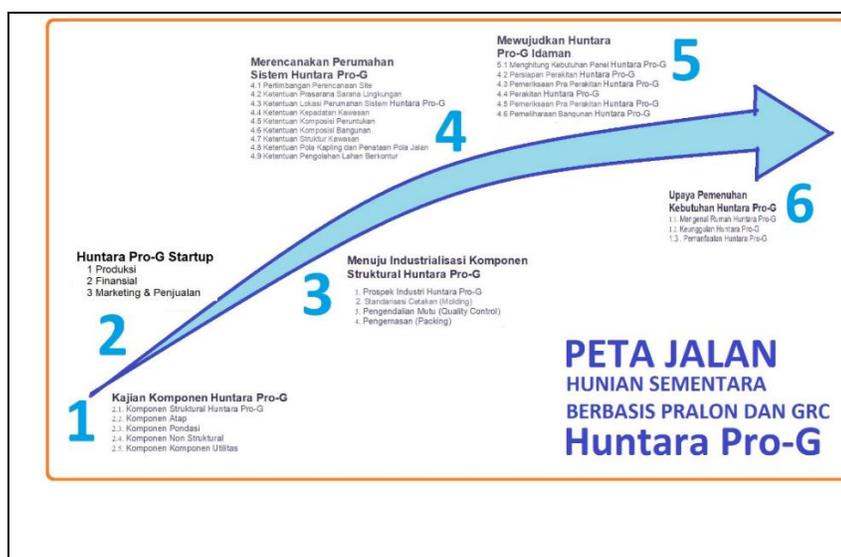


Figure 5.6 Percentage of Score to Maximum Score for Education

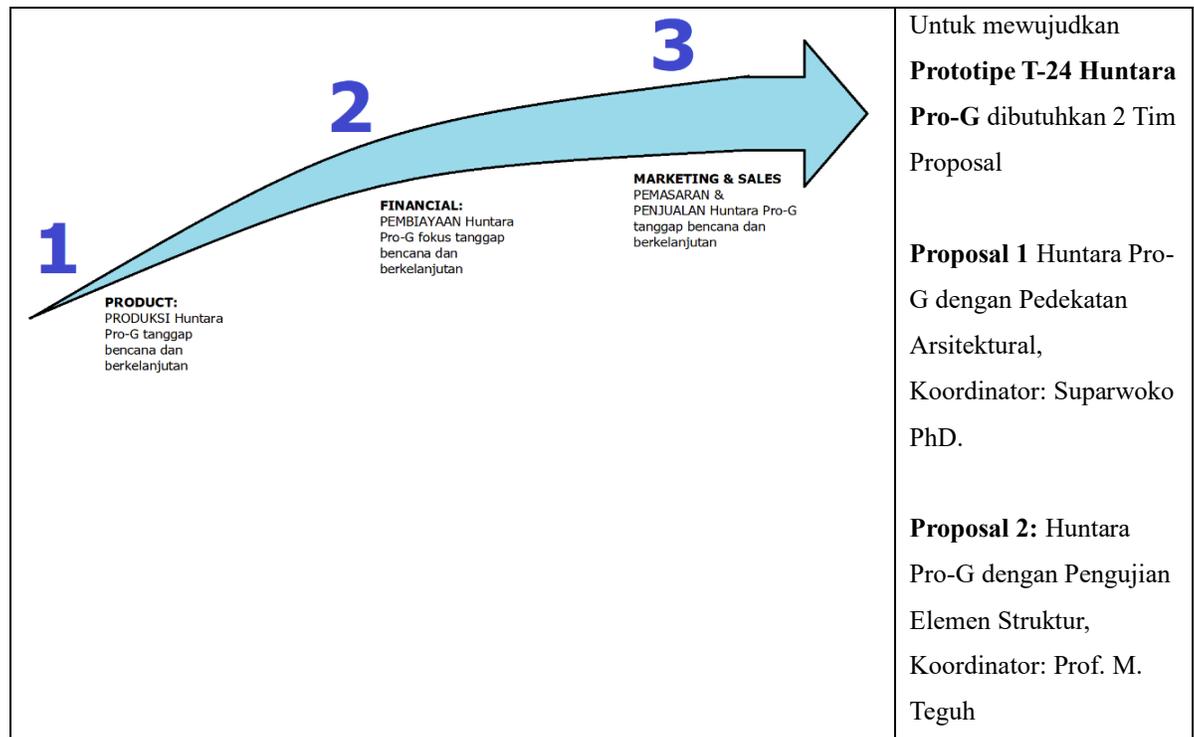
Sumber: (Universitas Islam Indonesia, 2021)



Dalam Gambar 2. Pembuatan Prototipe Huntera Pro-G T-24 berdada pada **Peta Jalan 1** dan **Peta Jalan 2** pada Tahap Pra Produksi

Strategi diatas untuk menggambarkan perlu proses kajian terpada antar Jurusan di FTSP UII

Gambar 1.1 Peta Jalan Usaha Rintisan Hunian Sementara T-24 berbahan dasar Paralon dan GRC



Gambar 1.2 Skema dan Tahapan Usaha Rintisan Huntara Pro-G T-24

Gambaran motivasi dari keikut-sertaan dalam kompetisi hibah kampus lestari ini dapat dijelaskan sebagai berikut ini.

1. Capaian lingkungan keberlanjutan di UII masih perlu terus menerus ditingkatkan dan diantisipasi secara menyeluruh pada posisi yang baik di Green Metric di UII, sehingga perlu ditingkatkan intensitas dan kualitas beberapa aktivitas penunjang, meskipun Universitas Islam Indonesia (UII) telah meraih peringkat 10 nasional di antara 101 perguruan tinggi se-Indonesia, baik negeri maupun swasta.
2. Sivitas akademika, tenaga kependidikan, masyarakat, dan pemerintah memiliki kontribusi signifikan dalam pelestarian lingkungan, termasuk mitigasi dan penanganan kebencanaan.

3. Bagi UII dan perguruan tinggi lain menganggap bahwa tema pendidikan ini sangat penting dalam upaya melembagakan usaha rintisan berbasis lingkungan berkelanjutan. Peluang usaha rintisan tersebut sangat besar mengingat:
  - a) nilai *base line* ED.11 UII masih relatif rendah dan perlu terus ditingkatkan,
  - b) topik usaha rintisan berupa huntara berbahan dasar paralon sangat signifikan untuk dikembangkan dalam merespon permasalahan kebencanaan dan keberlanjutan.
  - c) Topik Huntara Pro-G sangat mendukung materi pembelajaran berbasis laboratorium Bahan Konstruksi Teknik dan Struktur di Jurusan Teknik Sipil, FTSP, UII, yang dapat diintegrasikan ke dalam Kurikulum JTS, (OBE) berbasis kebencanaan.

Tabel 1.3 Green Metric Score untuk Universitas Islam Indonesia Tahun 2021

Category	Point	Maximum Point	Percentage
Setting and Infrastructure (SI)	1,150	1500	76.67 %
Energy and Climate Change (EC)	1,325	2100	63.10 %
Waste (WS)	1,500	1800	83.33 %
Water (WR)	900	1000	90.00 %
Transportation (TR)	1,325	1800	73.61 %
Education (ED)	1,500	1800	83.33 %
<b>Total Score</b>	<b>7,700</b>	<b>10000</b>	<b>77.00 %</b>

Sumber: (Universitas Islam Indonesia, 2021)

## 1.2. Rumusan Masalah

Dalam laporan ini diuraikan 2 (dua) rumusan masalah inti sebagai berikut ini.

1. Bagaimana langkah awal usaha rintisan bisa dilaksanakan dengan baik berupa gambar rencana, gambar detail teknis, pembuatan model, dan pengujian elemen struktur kolom (uji kuat tekan) dan elemen balok (uji lentur) pada bangunan Huntara Pro-G berbahan dasar paralon PVC.

2. Bagaimana membuat usaha rintisan atau *Startup* berkesinambungan melalui produk Prototipe Huntara Pro-G mencakup pentahapan uji kelayakan struktur kuda-kuda, dan portal diperkuat dengan dinding untuk mendukung proses produksi, pembiayaan, pemasaran, dan penjualan.
3. Bagaimana memodelkan benda uji dalam pengujian secara eksperimental di laboratorium terhadap elemen dan struktur Huntara.
4. Bagaimana kinerja dan kelayakan elemen struktur Huntara.

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1. Kebijakan Pemerintah**

Di dalam Perka BNPB nomor 2 Tahun 2012 telah diuraikan dengan jelas tentang pedoman umum pengkajian risiko bencana alam yang terjadi di seluruh wilayah Indonesia, meskipun intensitas bencana yang terjadi dan dampak yang ditimbulkan berbeda-beda. Pemerintah menanggulangi bencana sebagai langkah preventif terhadap tingginya risiko pasca bencana disesuaikan dengan Undang-Undang No 24 tahun 2007. Nurjannah dkk, (2012) menyatakan pemerintah menyusun rencana penanggulangan bencana dimulai dari inisiatif dan komitmen pemerintah. Berkaitan dengan Penanggulangan pasca bencana yang menghantarkan perubahan paradigma mengatasi bencana alam di wilayah Indonesia. Perubahan dari mengatasi menjadi penanganan bencana didasarkan respons terhadap kedaruratan, sehingga kegiatan-kegiatan menjadi preventif, untuk meminimalisasi risiko sebagai bentuk mitigasi bencana. Upaya penanggulangan tersusun dan diatur dalam Rencana Pembangunan Jangka Menengah Nasional (RPJMN), jika ditinjau melalui aspek perencanaan pembangunan yang pada tahun 2015-2019 berkenaan dengan penanggulangan bencana dan stabilisasi ruang hidup. Pemerintah pusat/daerah berwenang dalam melaksanakan penanggulangan bencana melalui pembuatan perencanaan dan pembangunan yang didalamnya termasuk unsur-unsur langkah keputusan pemerintah terhadap bencana.

#### **2.2. Dampak dan solusi pasca bencana gempa**

Indonesia memiliki banyak gunung aktif dan sering mengalami gempa bumi, baik dalam skala kecil maupun skala besar. Mencermati fenomena alam yang seperti ini, edukasi terhadap pengenalan ragam bencana alam dan kiat-kiat pencegahan terhadap dampak dari gempa bumi menjadi penting untuk diprioritaskan kepada seluruh masyarakat Indonesia, terutama kepada masyarakat yang berada di lokasi

rawan gempa (Erlangga, dkk. 2022). Edukasi tersebut dapat dilakukan secara terstruktur dan bertahap, dimulai dari persiapan dalam menghadapi gempa, hingga evakuasi pasca terjadinya gempa. Jika program ini dilakukan dengan baik oleh pemerintah baik pusat maupun daerah, pengurangan risiko bencana di setiap wilayah dapat akan dirasakan manfaatnya oleh masyarakat luas. Berikut ini adalah contoh 5 langkah dari Kemenkes, yang harus dilakukan oleh masyarakat untuk memitigasi dampak dari gempa yang ada di Indonesia.

1. Menyiapkan rencana untuk penyelamatan diri apabila gempa bumi terjadi.
2. Melakukan latihan yang bermanfaat dalam menghadapi reruntuhan saat gempa bumi, seperti merunduk, perlindungan terhadap kepala, berpegangan ataupun dengan bersembunyi di bawah meja.
3. Menyiapkan alat pemadam kebakaran, alat keselamatan standar dan persediaan obat-obatan.
4. Membangun konstruksi rumah yang tahan terhadap guncangan gempa bumi dengan fondasi dan struktur yang kuat. Selain itu, renovasi bangunan lama yang sudah rentan sangat dianjurkan.
5. Memperhatikan daerah rawan gempa bumi dan aturan seputar pengguna lahan yang dikeluarkan oleh pemerintah.

Gempa merupakan salah satu bencana alam yang sulit diprediksi (*unpredictable natural disaster*), namun dengan adanya langkah antisipasi untuk mencegah dampak gempa di atas, minimal diharapkan dapat memberikan kesiapan kepada seluruh masyarakat untuk menghadapi gempa. Selain 5 langkah di atas, pemerintah juga diharapkan memberikan pengaruh terhadap pengurangan jumlah korban dari gempa di daerah-daerah rawan di Indonesia melalui program mitigasi dan penyiapan Huntara yang siap pakai ketika terjadi bencana. Pemerintah selalu menyarankan agar tetap waspada dan menerapkan perilaku hidup bersih dan sehat selama berada di lokasi pengungsian gempa. Segera lakukan pemeriksaan ke fasilitas kesehatan terdekat yang tidak terdampak apabila mengalami gejala penyakit atau cedera selama melakukan

proses evakuasi, agar bisa segera mendapatkan penanganan dari petugas kesehatan secara cepat dan tepat.

### **2.3. UII Green campus Lestari: sumber daya dan fasilitas pendukung**

Menurut Panduan Hibah Kampus Lestari tahun 2022 disebutkan bahwa pelestarian kampus bukan tanggung jawab personal maupun unit tertentu di internal perguruan tinggi. Hal ini dikarenakan kesadaran mengenai keberlanjutan harus dibangun di semua lini dan tingkatan, menurut kriteria yang dikeluarkan oleh *Times Higher Education* (THE) dan *GreenMetric*, yang ternyata banyak komponen yang dapat mendukung lingkungan berkelanjutan di lingkup kampus. Jadi, semua elemen baik dosen, tenaga kependidikan, mahasiswa, bahkan warga sekitar mempunyai saham dalam keberlangsungan lingkungan kampus beserta masyarakat pendukungnya.

Untuk mendukung kelestarian lingkungan kampus, dibutuhkan rumusan kajian pengembangan kebijakan untuk menuju ke arah tersebut. Kajian pengembangan kebijakan ini nantinya akan menjadi pertimbangan bagi Pimpinan Universitas maupun pemangku kepentingan lainnya untuk mengeluarkan kebijakan hingga ke ranah operasional. Rumusan ini di kemudian hari diharapkan menjadi dokumen ilmiah bahkan jika memungkinkan dapat berupa Naskah Akademik, yang berkesinambungan.

### **2.4. Pengembangan Kebijakan**

Pengembangan kebijakan yang tepat terkait dengan Green Metric Kampus Lestari untuk Universitas Islam Indonesia (UII) harus mencakup berbagai aspek dan komitmen untuk menjadikan kampus tersebut lebih berkelanjutan secara lingkungan. Beberapa arah pengembangan kebijakan yang dapat diadopsi oleh UII, antara lain:

1. Pembuatan rencana aksi berkelanjutan  
UII perlu mengembangkan rencana aksi berkelanjutan yang komprehensif mencakup target-target konkret dan waktu pelaksanaan untuk mencapai tujuan keberlanjutan yang ditetapkan oleh *Green Metric*.
2. Penghematan energi

Penghematan energi bisa dimulai dari penerapan kebijakan untuk menghemat energi melalui peningkatan efisiensi penggunaan energi dan investasi dalam sumber energi terbarukan, seperti panel surya atau sistem geotermal.

3. Manajemen air yang efisien  
UII mengembangkan kebijakan untuk mengurangi pemborosan air dan mempromosikan penggunaan air yang efisien di seluruh kampus, termasuk sistem pengumpulan air hujan dan pengolahan limbah air.
4. Pengelolaan limbah  
Kebijakan pengelolaan limbah sangat bermanfaat dalam mendukung pengurangan, daur ulang, dan pengelolaan limbah yang lebih baik di seluruh kampus, serta pengurangan penggunaan plastik sekali pakai.
5. Transportasi berkelanjutan  
Mendorong penggunaan transportasi berkelanjutan, seperti sepeda, kendaraan listrik, atau transportasi umum, serta menyediakan fasilitas yang mendukungnya yang memadai.
6. Pendekatan ramah lingkungan dalam bangunan  
UII perlu menerapkan kebijakan yang mendorong desain dan konstruksi bangunan yang ramah lingkungan dengan menggunakan bahan-bahan daur ulang dan teknologi inovasi yang efisien dalam penggunaan energi.
7. Pendidikan dan kesadaran  
UII hendaknya menjadi inisiator dalam mengintegrasikan pendidikan keberlanjutan dalam kurikulum akademik dan mengadakan program-program pendidikan serta kesadaran keberlanjutan di antara mahasiswa, staf, dan dosen.
8. Kemitraan dengan pihak eksternal  
Berkolaborasi dengan pihak eksternal seperti organisasi lingkungan, pemerintah, dan perusahaan yang berkomitmen terhadap keberlanjutan dapat mendukung upaya-upaya UII dalam mencapai tujuan keberlanjutan.
9. Pemantauan dan pelaporan

Pemantauan dan pelaporan dalam bentuk monev dalam standar penjaminan mutu dalam mengembangkan sistem pemantauan yang efisien untuk mengukur kemajuan dan dampak dari kebijakan keberlanjutan yang diimplementasikan dan secara rutin melaporkan hasilnya.

10. Sertifikasi kampus hijau

UII memiliki Lembaga yang bertugas untuk mengurus sertifikasi atau pengakuan sebagai kampus hijau atau ramah lingkungan melalui lembaga sertifikasi seperti *Green Metric* atau lembaga yang relevan.

11. Perencanaan jangka panjang

Memasukkan keberlanjutan sebagai komponen penting dalam perencanaan jangka panjang dan pengembangan kampus (*Master Plan* Kampus UII), termasuk pertimbangan untuk pertumbuhan dan perkembangan masa depan.

12. Partisipasi seluruh *stakeholder*

UII perlu lebih intensif melibatkan seluruh komunitas kampus, termasuk mahasiswa, dosen, tenaga kependidikan, dan pihak-pihak terkait dalam pengembangan, pelaksanaan, dan evaluasi kebijakan keberlanjutan.

Dengan mengadopsi pendekatan ini dan mengintegrasikannya ke dalam budaya kampus, UII dapat menjadi pusat pendidikan yang berkomitmen terhadap keberlanjutan dan memberikan kontribusi yang positif terhadap lingkungan serta masyarakat di sekitarnya.

Disamping itu, Universitas Islam Indonesia telah melahirkan *Ulil Albab*, hal ini terbukti dari banyaknya jurnal yang diterbitkan baik dalam negeri maupun luar negeri. *Outcome* tersebut nantinya akan dimanfaatkan oleh banyak orang. Bahkan tahun 2013 hingga 2023, UII menjadi salah satu kampus lestari. Upaya dalam mewujudkannya adalah dengan memprioritaskan penanganan persoalan tata ruang menuju green campus. Perencanaan ini mengedepankan upaya pengelolaan tapak berbasis konservasi lahan dan pengendalian air permukaan, pengelolaan transportasi, kendaraan bermotor, sepeda dan pedestrian serta perparkiran yang lebih ramah lingkungan serta pengelolaan keamanan dan mitigasi kebencanaan, pengelolaan limbah dan sampah yang lestari.

#### 2.4.1. Relevansi Visi dan Misi Institusi

Relevansi visi dan misi Universitas Islam Indonesia (UII), sangat penting dalam menentukan arah strategis dan fokus pengembangan universitas. Visi dan misi merupakan panduan utama yang memandu seluruh kegiatan akademik, penelitian, pengabdian kepada masyarakat, dan pengelolaan universitas, yang dituangkan di dalam Rencana Strategis (Renstra) dan Rencana Kerja dan Anggaran Tahunan (RKAT).

Relevansi visi dan misi ini terletak pada pemenuhan peran universitas sebagai lembaga pendidikan Islam yang menyediakan pendidikan berkualitas tinggi sambil mempromosikan nilai-nilai agama dan moral. Dalam konteks ini, UII memberikan kontribusi positif kepada masyarakat, menciptakan pemimpin yang bertanggung jawab, dan berperan dalam pengembangan ilmu pengetahuan dan teknologi. Dengan fokus pada kualitas pendidikan, penelitian yang berdampak, pengabdian kepada masyarakat dan dakwah Islamiah (Catur Dharma UII), UII berusaha untuk mencapai visi dan misi tersebut dan memainkan peran yang relevan perkembangan pendidikan dan masyarakat di Indonesia dan internasional.

#### 2.4.2. Implementasi kebijakan

Implementasi kebijakan *Green Metric* Kampus Lestari untuk Universitas Islam Indonesia (UII) akan memerlukan langkah-langkah konkret yang mencakup berbagai aspek keberlanjutan lingkungan. Berikut contoh implementasi kebijakan *Green Metric* Kampus Lestari untuk UII: audit keberlanjutan awal, pengurangan emisi karbon, konservasi energi, pengelolaan limbah yang lebih baik, air bersih dan pengelolaan limbah cair, penanaman pohon dan ruang terbuka hijau, pendidikan dan kesadaran lingkungan, transportasi berkelanjutan, edukasi dan pelatihan, pengukuran dan pelaporan, dan kemitraan. Hal penting yang patut diingat bahwa implementasi kebijakan keberlanjutan adalah usaha jangka panjang yang memerlukan komitmen berkelanjutan dari seluruh komunitas kampus, termasuk mahasiswa, tenaga kependidikan, dan dosen. Selain itu, pemantauan dan evaluasi terus-menerus diperlukan untuk memastikan pencapaian tujuan keberlanjutan yang ditetapkan.

## **BAB III**

### **TUJUAN DAN MANFAAT PENELITIAN**

#### **3.1. Tujuan Penelitian**

Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi kelayakan elemen struktur yang digunakan dalam PROTOTIPE T-24 hunian sementara yang berbahan dasar Paralon dan GRC. Kelayakan elemen struktur dalam konteks ini mencakup berbagai aspek, seperti kekuatan, daya tahan, efisiensi, dan potensi keberlanjutan dari bahan-bahan tersebut. Dalam pengantar ini dibahas metodologi penelitian yang digunakan untuk mengumpulkan data, menganalisis elemen struktur, dan menilai kelayakannya. Secara spesifik, tujuan ini adalah untuk mengkaji secara teknis melalui uji laboratorium pada elemen struktur PROTOTIPE Hunian Sementara berbahan dasar Paralon dan GRC (Huntara Pro-G), yang dihasilkan dari pendekatan struktur, yaitu uji elemen struktur, yang mencakup elemen fondasi, sloof, kolom, balok, dinding, dan elemen rangka atap untuk kepentingan eksperimen kelayakan dan keamanan bangunan. Pengujian dilakukan bertahap disesuaikan dengan anggaran penelitian dan ketersediaan fasilitas laboratorium. Mengingat kebutuhan anggaran biaya penelitian ini cukup besar, maka penelitian perlu dilakukan secara bertahap atau berkesinambungan. Atas dasar kondisi tersebut, maka dalam penelitian ini prioritas pengujian fokus dilakukan untuk rangka kuda-kuda, portal dari paralon kosong, yang dirangkai dengan dinding berbahan dasar GRC. Untuk pengujian lentur, pengujian tekan pada pipa paralon PVC kosong dan isi mortar dengan campuran 1PC: 3PS dan 1PC: 5PS.

#### **3.2. Manfaat Penelitian**

Hasil penelitian ini merupakan penelitian awal/pendauluan terhadap elemen struktural rumah hunian sementara yang berbasis menggunakan paralon PVC dan GRC. Tindak lanjut penelitian ini mencakup pemodelan sistem portal untuk kerangka rumah dan sistem rangka batang untuk pemodelan rangka kuda-kuda serta elemen

dinding partisi. Selanjutnya hasil-hasilnya diimplementasikan untuk memodelkan huntara. Penelitian sebelumnya terkait dengan material paralon PVC dan GRV masih langka dan belum ada riset komprehensif untuk memanfaatkan material ini sebagai material alternatif untuk membangun Huntara atau rumah sederhana tahan gempa. Demikian juga pengujian detail sambungan dua atau lebih elemen struktural belum ada peneliti yang melakukannya, mengingat tingkat kesulitan yang tinggi khususnya di dalam *experimental setup* dan mekanisme pembebanannya. Oleh karena itu, inovasi material dan metode pelaksanaan menjadi kebutuhan utama dalam melakukan penelitian ini mengingat bahan dasar paralon yang digunakan relatif masih terbatas untuk komponen elemen struktur bangunan sederhana tahan gempa.

## **BAB IV**

### **METODE PENELITIAN**

#### **4.1. Pengantar**

Bab ini menjelaskan metodologi yang digunakan dalam penelitian, termasuk teknik pengambilan data, analisis struktur, serta parameter yang diukur untuk menilai kelayakan struktur bangunan. Penelitian ini memiliki signifikansi penting dalam pengembangan hunian sementara yang efisien, kuat, dan berkelanjutan. Hasil penelitian ini dapat digunakan sebagai dasar untuk perbaikan desain PROTOTIPE T-24 dan menginformasikan keputusan penggunaan bahan-bahan tertentu dalam proyek-proyek sejenis di masa depan. Selain itu, desain prototipe ini dapat dirancang untuk Model Huntara yang cocok diaplikasikan di daerah rentan bencana alam agar menghasilkan Pembangunan Huntara yang efisien biaya dan cepat dalam pelaksanaannya.

#### **4.2. Ragam Material untuk Spesimen Penelitian**

Dalam penelitian ini digunakan material inti berbahan dasar dari pipa paralon berkualitas dan sesuai dengan standar SNI yang berlaku. Material Portland Cement menggunakan tipe 1 dan material pasir dari Gunung Merapi. Kedua material tersebut dicampur dengan air secukupnya dan dibuat mortar dengan perbandingan volume/takaran: 0,5 Air: 1PC : 3Ps dan 0,5 Air: 1PC: 5 Ps. Material dimaksudkan dalam pembuatan struktur kuda-kuda dan portal berupa pipa paralon fabrikasi beserta sambungannya dan menggunakan perekat/lem yang berkualitas untuk menyambung antar elemen. Untuk lapisan dinding digunakan material GRC dengan ketebalan 8 mm, dan dipasang pada dua sisi (luar dan dalam) agar diperoleh kekakuan dinding yang baik dalam menahan beban lateral dan diagonal (representasi beban gempa). Dinding partisi dari GRC ini dilekatkan ke sistem portal pipa paralon dengan menggunakan mur-baut

besi diameter 8 mm dengan jarak 30-35 cm atau sesuai kebutuhan, namun tidak boleh terlalu dekat agar tidak memperlemah sistem portal.

Pipa paralon merupakan salah satu komponen penting dalam sistem pembuangan air hujan di rumah-rumah sederhana. Untuk memastikan pipa paralon berfungsi dengan baik dan tahan lama terhadap pemakaiannya untuk elemen struktur bangunan, ada beberapa sifat mekanis yang perlu diperhatikan antara lain: kekuatan mekanis, ketahanan terhadap: korosi, suhu ekstrem, bahan kimia, tekanan air, dan beban eksternal. Selain itu, pipa paralon memberikan kemudahan dalam pemasangan dan usia pakai (*life time*) yang cukup panjang. Pemilihan kualitas pipa paralon dan sambungannya yang tepat sesuai dengan sifat-sifat mekanisnya akan memastikan bahwa material ini bisa dimanfaatkan untuk fungsi lain dalam membangun Huntera selain fungsi utamanya untuk sistem pemipaan (*plumbing system*). Pada umumnya, pipa paralon yang banyak beredar di pasaran merupakan produk impor dengan standar kualitas JIS atau *Japanese Industrial Standard*. Pipa standar JIS terbagi dalam 3 jenis yang dibedakan menurut diameter dan ketebalan, seperti: tipe AW, tipe D, dan tipe C. Selain itu, pipa paralon tipe SNI juga ditemukan di lapangan.

Pipa paralon memiliki kelebihan apabila digunakan sebagai bagian dari elemen struktur rumah tinggal, antara lain: harga terjangkau, ringan, tahan karat dan korosi, mudah dipasang dan perawatan. Sedangkan kelemahan pipa paralon antara lain: rentan terhadap kerusakan fisik dan suhu ekstrem, keterbatasan ukuran dan batas umur, perlu perlindungan dari sengatan matahari, dan terbatas untuk penggunaan bahan kimia. Atas dasar uraian di atas, dapat disimpulkan bahwa penggunaan pipa paralon beserta sambungannya perlu diperbaiki kelemahannya apabila digunakan untuk material struktur kerangka rumah sederhana, yaitu antara lain dengan mengisi paralon memakai material padat seperti mortar, beton biasa atau serat, atau material lain sejenis, dan diperkuat dengan material yang memiliki kekuatan tarik. Untuk maksud tersebut perlu ditindaklanjuti dengan penelitian yang lebih komprehensif dan didanai yang cukup memadai untuk pengujian laboratorium.

Material lain yang digunakan dalam penelitian ini adalah GRC (*Glassfiber Reinforced Concrete*). GRC merupakan sejenis beton yang diperkuat serat. Produk ini juga dikenal sebagai beton bertulang *glass fiber*, yaitu merupakan material komposit yang terdiri dari pasir halus, semen, polimer akrilik, air, serta serat kaca tahan alkali yang dikenal memiliki kekuatan cukup tinggi. Material GRC dalam penelitian ini dimanfaatkan sebagai lapisan dinding partisi untuk melapisi 2 (dua) bidang permukaan dinding. GRC dipasang dengan cara dilekatkan ke portal pipa paralon dengan menggunakan mur-baut diameter 8 mm dengan jarak 30-35 cm. Fungsi lainnya adalah untuk memberikan pertambahan/*bracing* pada portal dari pipa paralon guna meningkatkan kekakuan portal-dinding.

Untuk membentuk pipa paralon menjadi unit struktur kuda-kuda dan struktur portal digunakan tipe sambungan *elbow socket spigot 90°*, *tee (AW)*, *Y-branch (AW)*. Panjang pipa paralon yang tersedia di pasar, yaitu 4 dan 6 m, sedangkan diameter pipa sangat variatif tergantung kebutuhan di lapangan. Akibat keterbatasan model sambungan pipa, maka untuk mempertemukan lebih dari 3 batang elemen dalam satu sambungan struktur kuda-kuda dan sistem portal atau lainnya, yang presisi dan menyerupai struktur dari baja, sulit dilakukan. Implikasi terhadap kondisi ini menyebabkan kemampuan struktur kuda-kuda dan portal dalam menahan beban relatif rendah karena pusat kekakuan setiap elemen tidak bertemu dalam satu titik pertemuan di sambungan tersebut.

#### **4.3. Peralatan inti/pokok**

Peralatan inti dalam penelitian ini meliputi *loading frame* ukuran/kapasitas sedang dan besar untuk keperluan pengujian elemen struktur. Peralatan inti lainnya antara lain: load cell, data logger, LVDT, *hydraulic jack manual*, *machine pump*, laptop, *special gae*, *loading frame*, meteran, dan peralatan bantu lainnya seperti alat klem penjepit, mesin gergaji, mesin bor, dan mesin gerindra.

#### 4.4. Metode Penelitian (*Experimental Setup*) dan Ragam Benda Uji

Metode penelitian yang digunakan dalam penelitian ini dirancang untuk menyelidiki kelayakan elemen struktur pada PROTOTIPE T-24 hunian sementara berbahan dasar Paralon dan GRC. Dengan pemahaman yang lebih baik tentang karakteristik dan potensi bahan-bahan paralon dan GRC ini, sehingga dapat berkontribusi pada pengembangan solusi perumahan yang lebih baik dan berkelanjutan dalam konteks rintisan hunian sementara (Skok, (2021).

##### 4.4.1. Metode Pengujian

Penelitian ini diawali dengan pengumpulan data sekunder yang mencakup studi pustaka, survei lapangan untuk dokumentasi terkait PROTOTIPE T-24, kebijakan pemerintah dan UII, serta informasi lain terkait bahan-bahan paralon dan GRC. Hasil kegiatan ini akan memberikan informasi dasar pengetahuan awal tentang elemen struktur yang akan dievaluasi. Selanjutnya pengujian laboratorium dilakukan untuk mengukur berbagai parameter fisik dan mekanik elemen struktur.

Pengujian material dimulai dengan menguji kuat tekan mortar dengan komposisi perbandingan volume, yaitu: 1PS:3Ps dan 1PC:5PS. Mortar ini akan diisikan pada pipa paralon diameter 3 inci dan 4 inci untuk pengujian kuat lentur (variasi panjang pipa: 1 m dan 2 m) dan kuat tekan (panjang 1 m). Studi parametrik mencakup pengujian kuat lentur dan tekan untuk elemen balok atau batang tarik dan elemen kolom atau batang tekan, sistem portal yang dilapisi oleh GRC pada kedua sisinya untuk struktur dinding partisi, yang selanjutnya diuji: beban diagonal geser, beban searah bidang, dan beban tegak lurus bidang. Hasil pengujian sistem portal untuk dinding partisi ini menghasilkan kinerja dinding terhadap gaya *diagonal shear, in plane* dan *out of plane*.

Pemantauan lapangan untuk memahami bagaimana elemen struktur berperilaku dalam situasi nyata, pemantauan lapangan dilakukan pada beberapa PROTOTIPE T-24 (ukuran: 4x6 m<sup>2</sup>) yang telah dibangun (target penelitian mendatang). Pengamatan mencakup pengamatan terhadap perubahan perilaku unit/elemen, struktur kuda-kuda

dan struktur portal, bentuk dan tren kerusakan pada pipa dan mortar. Analisis data yang dikumpulkan dari pengujian laboratorium dan pemantauan lapangan akan dianalisis secara komprehensif termasuk analisis numerik pada elemen struktur rangka kuda-kuda, yang diuraikan lebih komprehensif dalam Bab V. Dalam bab ini diuraikan perbandingan data dengan standar keamanan dan kualitas yang relevan, serta pengukuran efisiensi dan potensi keberlanjutan. Evaluasi kelayakan terhadap hasil analisis data digunakan untuk mengevaluasi kelayakan elemen struktur. Evaluasi ini mencakup identifikasi keunggulan, potensi perbaikan, dan rekomendasi terkait penggunaan elemen struktur berbahan Paralon dan GRC dalam PROTOTIPE T-24 (Rahman, dkk., 2020).

#### 4.4.2. Ragam Benda Uji

Dalam penelitian ini, ragam benda uji terdiri dari specimen mortar, pipa paralon kosong, pipa paralon diisi dengan mortar campuran 1PC:3PS dan 1PC:5Ps dengan variasi panjang 1m dan 2 m. Benda uji dalam bentuk struktur kuda-kuda tipe 1 dan 2, 3 (tiga) buah benda uji berbentuk portal yang dilapisi GRC ketebalan 8 mm di kedua sisinya. Geometri struktur kuda-kuda dan portal diperlihatkan pada gambar-gambar pada bab berikutnya.

#### 4.4.3. Rekaman Data

Di dalam penelitian ekaperimental ini, semua data yang dibaca oleh LVDT diteruskan ke data logger yang terhubung ke komputer, dan kemudian datanya direkam dalam file khusus setiap ragam pengujian. Jumlah LVDT yang dipasang, disesuaikan dan diselaraskan dengan target pengukuran defleksi vertikal/horizontal. Dalam penelitian ini tidak digunakan *strain gauge* untuk mengukur regangan pada material. Data rekaman selanjutnya diproses dan dianalisis menggunakan Microsoft Excel dan hasilnya bisa ditampilkan di dalam bentuk tabel atau gambar sesuai kebutuhan.

Data penelitian yang telah terkoleksi, setelah diproses dan dianalisis, selanjutnya hasil tersebut dapat dibahas kinerja struktural dari unit atau elemen

Huntara. Fokus penelitian ini diarahkan pada pengujian kinerja struktural pada Huntara berbahan dasar paralon PVC baik pada kinerja portal maupun kinerja rangka batang (struktur kuda-kuda). Kinerja dimaksud adalah menguji kekuatan tarik, tekan, lentur, dan tipikal kerusakan yang ditimbulkan akibat dibebani oleh beban statis vertikal.

## **BAB V**

### **HASIL DAN LUARAN YANG DICAPAI**

#### **5.1. Pengantar**

Bab ini membahas hasil-hasil yang diperoleh dari penelitian mengenai kelayakan elemen struktur pada prototipe T-24 hunian sementara berbahan dasar Paralon dan GRC (Huntara Pro-G). Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi dan mengevaluasi kualitas serta keberlanjutan dari struktur bangunan hunian sementara tersebut. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan wawasan yang berharga untuk pengembangan lebih lanjut dalam domain ini.

#### **5.2. Pengumpulan dan Analisis Data**

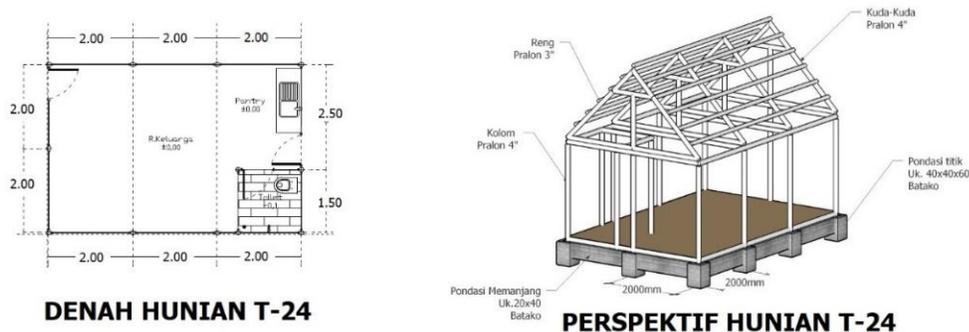
Pengumpulan data yang relevan selama pengujian benda uji dilakukan dengan cermat, yaitu: beban, lendutan, deformasi, dan kerusakan. Pengumpulan ini mencakup data kekuatan material, pengukuran dimensi, defleksi vertikal/horizontal, data beban yang diterapkan pada bangunan, bentuk kerusakan, dan semua parameter yang relevan dengan kelayakan struktur.

Dari hasil pengumpulan data pengujian, selanjutnya dilakukan analisis data untuk memperoleh kuat tekan mortar, kuat tekan dan kuat lentur pada pipa paralon kekuatan struktural elemen kuda-kuda dan sistem portal untuk dinding partisi Huntara. Analisis ini mencakup *load-displacement* respons baik pada uji elemen pipa paralon maupun sistem rangka batang dan portal. Khusus untuk benda uji berbentuk struktur kuda-kuda dilakukan analisis numerik menggunakan Software SAP2000 untuk menentukan kinerja struktur akibat beban terpusat yang diletakkan pada titik puncak kuda-kuda. Untuk pengumpulan data hasil pengujian laboratorium: beban vs defleksi vertikal/lendutan dan beban vs defleksi lateral masing-masing dilakukan di 2 titik buhul yang ditentukan dengan memasang LVDT (*Linear Variable Differential Transformer*). Demikian juga untuk 3 (tiga) ragam pengujian sistem portal, yang dilapisi kedua

sisinya dengan GRC, data dikumpulkan dengan memasang LVDT sebanyak 5 titik untuk setiap jenis pengujian tergantung dari target kinerja struktural yang diinginkan (*shear diagonal, in plane, dan out of plane*). Rekaman data beban dan LVDT dilakukan oleh *data logger* yang terkoneksi dengan komputer. Ketelitian data sangat dipengaruhi oleh tahapan pembebanan melalui *load cell* yang dilakukan melalui pompa *hydraulic jack*, yang dioperasikan secara manual oleh operator. Kontrol terhadap lendutan untuk mencapai beban maksimal dilakukan melalui layer monitor data logger dan pengamatan visual.

### **5.3. Kinerja Struktural**

Tinjauan kinerja struktural didasarkan pada hasil pengujian laboratorium dan/atau analisis struktur secara numerik dengan menggunakan software professional SAP2000 berbasis pada metode elemen hingga sistem 3D (*three-dimensional system*). Hasil pengujian di laboratorium kemudian dibandingkan dengan hasil numerik untuk ditentukan seberapa teliti atau tren kinerja apakah hasil-hasilnya memenuhi kriteria kelayakan dan standar yang relevan, seperti pedoman teknis yang berlaku atau SNI terkait. Interpretasi hasil terhadap kelayakan struktural didasarkan pada kinerja keseluruhan elemen yang terbentuk dalam struktur kuda-kuda dan struktur portal sebagai dinding partisi. Mengingat material pembentuknya berasal dari material paralon yang sifatnya masih pada tahapan uji-coba untuk diaplikasikan pada struktur utama Huntara, maka dalam analisis numerik diperlukan beberapa pendekatan atau asumsi teknis disebabkan oleh keterbatasan model sambungan paralon hasil fabrikasi. Denah dan perspektif Huntara Tipe T-24 disajikan di Gambar 5.1 Denah dan perpektif Huntara Tipe T-24. Gambar 5.1.



Gambar 5.1 Denah dan perpektif Huntara Tipe T-24.

#### 5.4. Hasil Pengujian (Mortar, Elemen, dan Komponen)

Dalam subbab ini ditampilkan hasil pengujian laboratorium baik pada mortar, elemen pipa maupun komponen struktur kuda-kuda dan portal.

##### 5.4.1. Mortar

Mortar yang dipakai untuk mengisi pipa paralon pada pengujian tekan dan lentur menggunakan dua (2) komposisi campuran, yaitu memakai perbandingan volume campuran 0,5:1:5 dan 0,5:1:3 (air: Portland Cement: Pasir), BSN (2002). Setelah komposisi tersebut dicampur dengan baik kemudian dicetak ke dalam cetakan yang dibuat dari baja cor dengan ukuran 50x50x50 (mm<sup>3</sup>), masing-masing sebanyak 5 (lima) sampel benda uji. Setelah mortar berumur 24 jam kubus mortar dikeluarkan dari cetakan untuk selanjutnya direndam dalam air hingga mencapai umur yang ditentukan (28 hari), kemudian sampel ditiriskan hingga SSD (*saturated surface dry*) dan siap diuji tekan. Tabel 1 menunjukkan komposisi campuran beserta hasil pengukuran lapangan terhadap sampel, dan hasil pengujian kuat desak/tekan mortar (Hadi, dkk, 2016).

Dalam penelitian ini digunakan 2 (dua) komposisi campuran untuk menghasilkan kuat tekan yang berbeda. Kedua campuran mortar tersebut diisikan ke dalam pipa paralon untuk tujuan pengujian kuat tekan dan lentur dengan 2 (dua) variasi diameter pipa (3 inci dan 4 inci) dan panjang pipa (1000 mm dan 2000 mm). Untuk

pengujian kuat tekan pipa paralon kosong dan isi mortar, karena alasan keselamatan selama pengujian, maka panjang pipa dibatasi hanya 1000 mm, sedangkan untuk pengujian kuat lentur digunakan panjang pipa lebih panjang hingga 2000 mm dan dimungkinkan menggunakan panjang pipa yang lebih besar. Tabel 5.1 menunjukkan kuat tekan rerata pada mortar campuran 0,5:1:3 sebesar 24,84 MPa lebih tinggi dibandingkan dengan mortar campuran 0,5:1:5 sebesar 16,78 MPa. Perbedaan kuat tekan ini sejalan dengan penggunaan pasir yang lebih banyak komposisinya dalam campuran tersebut, semakin besar volume/takaran pasir tetapi volume air dan semen yang konstan di setiap komposisi campuran akan menghasilkan kuat tekan yang semakin rendah. Untuk penelitian mendatang, bahan pengisi pipa paralon bisa dikembangkan dengan bahan selain mortar, misal dari beton biasa, beton serat, dan ditambahkan dengan material lain yang memiliki kontribusi terhadap kekuatan tarik.

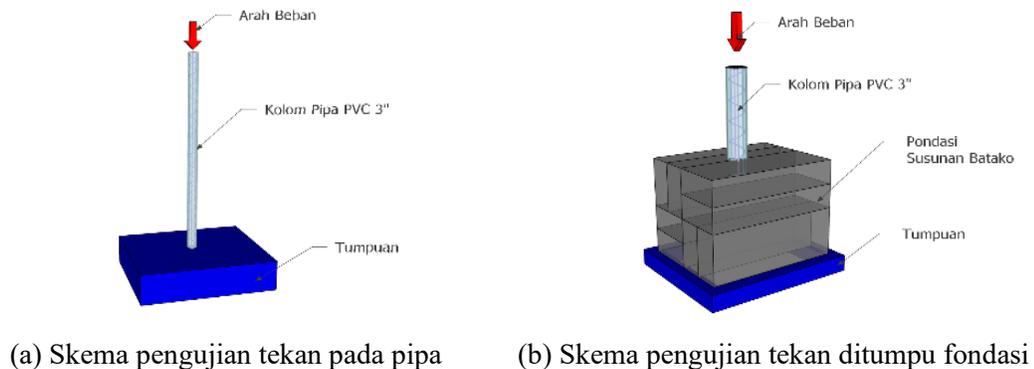
Tabel 5.1 Hasil Pengujian Kuat Tekan Mortar dengan 2 (Dua) Komposisi Campuran yang Berbeda

No	Komposisi campuran	Ukuran benda uji			Luas tampang	Berat		Beban maks	Kuat desak		Standar deviasi
		Lebar	Penjang	Tinggi		Unit	Volume		Unit	Rerata	
		mm	mm	mm	mm <sup>2</sup>	gram	kg/m <sup>3</sup>	N	MPa	MPa	
1	0,5 : 1 : 5	48,15	50,95	49,55	2453,24	239	1966,14	34678	14,14	16,78	3,12
2	0,5 : 1 : 5	50,45	49,95	51,35	2519,98	251	1939,71	37572	14,91		
3	0,5 : 1 : 5	48,55	51,20	48,25	2485,76	252	2101,09	38995	15,69		
4	0,5 : 1 : 5	50,85	50,25	50,70	2555,21	238	1837,14	43900	17,18		
5	0,5 : 1 : 5	48,75	49,10	49,30	2393,63	245	2076,17	52631	21,99		
6	0,5 : 1 : 3	50,30	50,10	50,10	2520,03	255	2019,75	60332	23,94	24,84	0,60
7	0,5 : 1 : 3	49,85	49,05	49,65	2445,14	241	1985,15	60577	24,77		
8	0,5 : 1 : 3	49,30	50,90	50,35	2509,37	246	1947,02	62097	24,75		
9	0,5 : 1 : 3	48,55	51,20	51,30	2485,76	248	1944,80	63520	25,55		
10	0,5 : 1 : 3	50,60	50,05	50,40	2532,53	248	1942,97	63765	25,18		

#### 5.4.2. Kuat Tekan pada Pipa Peralon Diameter 3 *inchi* dan 4 *inchi*

Dalam pengujian tekan pada pipa paralon digunakan pipa diameter 3 inci dan 4 inci dengan panjang 1000 mm, sebagaimana terlihat pada Gambar 5.2. Mengingat sifat

material paralon yang elastis (mudah terlentur) apabila diberikan beban tekan/desak, maka panjang batang tekan dibatasi hanya 1000 mm, agar diperoleh hasil kuat tekan yang lebih optimal. Oleh karena itu, untuk memperoleh kinerja struktural yang baik, maka setiap elemen pembentuk struktur rangka dan portal perlu dilakukan pengujian laboratorium. Di dalam pengujian pipa paralon dilakukan pada pipa kosong dan pipa diisi dengan mortar (2 komposisi campuran, lihat Tabel 1) dengan jumlah sampel sebanyak 2 (dua) buah. Dalam pengujian kuat tekan, pipa dipasang tegak/vertikal dan setiap ujung pipa dipasang sepatu dari baja, yang diklem ke profil balok baja sebagai dudukan di bawah pipa, dan di ujung atas pipa agar penempatan *load cell* lebih presisi dan mudah dalam penyetulan benda uji dalam posisi tegak lurus.

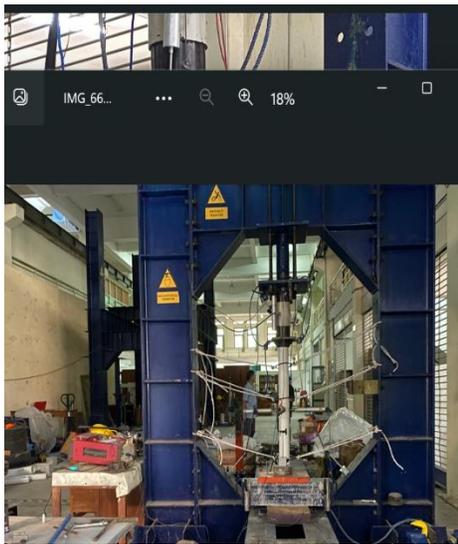


Gambar 5.2 Model Pengujian Batang Tekan/Kolom

Tinggi sampel benda uji tekan dibatasi hanya sebatas 1000 mm disebabkan oleh keterbatasan tinggi *loading frame* dan alasan keselamatan kerja. Penelitian ini tergolong kategori inovatif dalam menggunakan material pipa paralon beserta sambungannya dan material GRC (*Glassfiber Reinforced Concrete*) sebagai kerangka bangunan Huntara, baik untuk struktur rangka atap maupun struktur portal untuk penyangga dinding partisi.

Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik, JTS, FTSP, UII masih memiliki keterbatasan peralatan bantu (asesori penelitian) untuk berbagai ragam pengujian

elemen dan struktur bangunan. Dengan keterbatasan tersebut, maka dalam pengujian pipa paralon terhadap kuat tekan digunakan peralatan yang sederhana dengan prinsip utama untuk keberhasilan pengujian dan keselamatan kerja selama proses pengujian berlangsung. Gambar 5.3 memperlihatkan bagaimana *experimental set up* benda uji dilakukan dan tipe kerusakan tekuk pada paralon.



(a) *Experimental set up*

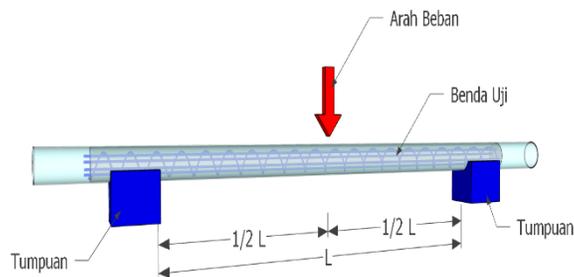


(b) Pipa Tertekuk

Gambar 5.3 Tipikal kerusakan pada pengujian kuat tekan paralon

#### 5.4.3. Kuat Lentur pada Pipa Paralon Diameter 3 inci dan 4 inci

Pengujian batang lentur dilakukan pada pipa paralon diameter 3 inci dan 4 inci dengan panjang masing-masing 1000 mm dan 2000 mm. Pengujian ini diorientasikan untuk batang tarik pada struktur kuda-kuda, seperti batang bawah, yang biasanya mengalami lenturan di tengah bentangan ketika diberikan beban terpusat vertikal. Gambar 5.4 memperlihatkan model pengujian lentur, yang dimodelkan sebagai struktur balok tertumpu sederhana (*simple beam*).



(a) *Simple beam model*



(b) *Experimental set up*

Gambar 5.4 Pengujian batang lentur dengan variasi panjang 1 m dan 2 m

Di dalam pengujian lentur ini, pipa paralon kosong dan diisi mortar dengan 2 komposisi campuran yaitu: 0,5Air:1PC:3Ps dan 0,5Air:1PC:5Ps, dan digunakan panjang pipa 1 m dan 2 m dengan skema pembebanan berupa beban terpusat di titik tengah bentangan guna menghasilkan kuat lentur maksimal. Mengingat pipa paralon memiliki kelemahan terhadap kerusakan fisik, seperti: tersobek, retak yang menjalar, tekuk/*buckling*, terputus akibat tegangan lentur yang besar, yang diawali dari serat tepi bawah dari pipa kemudian menjalar ke atas hingga terputus. Gambar 5.5a memperlihatkan model kerusakan pipa paralon kosong yang tertekuk dan mengalami deformasi (perubahan bentuk) ke bawah akibat beban lentur. Berbeda dengan pipa paralon yang diisi dengan mortar (Gambar 5.5b), kerusakan akibat beban tegak lurus pipa (lentur) diawali oleh kerusakan/patah mortar di dalam pipa kemudian terjadi retak yang menjalar dan memanjang, dan seiring bertambahnya beban, maka pipa akhirnya terputus di tengah bentangan tepat di bawah beban terpusat. Dari hasil pengujian kedua ragam benda uji ini (pipa kosong dan pipa diisi mortar) menunjukkan sifat mekanis pipa paralon yang diberikan *treatment* dengan mengisi mortar, yang memiliki kuat tekan terukur, ternyata menghasilkan kinerja struktural yang lebih tinggi dalam menahan beban lentur.



(a) Pipa kosong

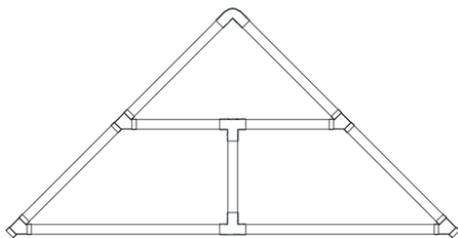


(b) Pipa diisi mortar

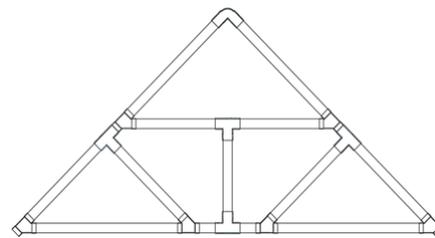
Gambar 5.5 Tipikal kerusakan pada pengujian kuat lentur paralon

#### 5.4.4. Struktur rangka batang (kuda-kuda)

Gambar 5.6 memperlihatkan dua tipikal struktur rangka kuda-kuda, yang diuji dalam penelitian ini. Dua model kuda-kuda ini termasuk bentuk yang relatif simpel karena keterbatasan model/bentuk sambungan paralon yang diproduksi/dipasarkan, maka model sambungan tidak bisa dibentuk mengikuti kaidah ilmu statika, karena sambungan yang lebih dari 3 batang yang bertemu dalam satu titik buhul tidak bisa disambung dengan jenis sambungan yang tersedia. Konsekuensinya, titik pusat berat setiap batang yang disambung tidak bisa bertemu dalam satu titik guna memenuhi kaidah kestabilan titik buhul dalam struktur. Kondisi ini terjadi pada kuda-kuda tipe 2, karena terdapat 3 sambungan, yang melibatkan lebih dari 3 batang yang bertemu di satu titik buhul dalam satu sambungan (Gambar 5.6b).



(a) Tipe 1



(b) Tipe 2

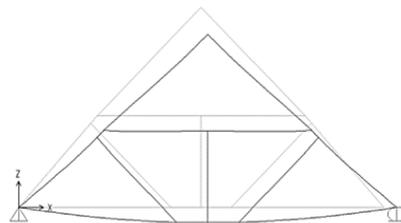
Gambar 5.6 Tipikal struktur rangka kuda-kuda

Hal penting lainnya adalah merakit rangka kuda-kuda tipe 2, ternyata dalam prakteknya jauh lebih sulit dari pada kuda-kuda tipe 1. Perakitan lebih dari 3 batang untuk disatukan dalam satu titik buhul/*joint* membutuhkan kecermatan yang tinggi, akurasi dalam mengukur panjang batang termasuk saambungannya, dan teknik yang baik, serta membutuhkan tukang yang berpengalaman. Masalah ini penting untuk diperhatikan mengingat batang-batang tersebut harus dirangkai dengan sambungan pipa paralon menggunakan lim khusus paralon, sehingga waktu rekatannya sangat cepat, dan sambungan menjadi cepat menyatu. Jika terjadi kesalahan dalam perakitan, hal ini identik dengan kegagalan, karena sambungan sudah tidak bisa diperbaiki lagi.

Rencana awal (jika dana penelitian mencukupi) akan dilakukan pengujian pipa paralon kosong dan diisi dengan mortar. Namun karena kesulitan yang tinggi, maka pengisian mortar ke dalam pipa paralon yang sudah terangkai menjadi struktur rangka kuda-kuda dibatalkan, sehingga dalam penelitian ini hanya dipakai pipa kosong dengan diameter,  $\varnothing = 3$  inci. Kuda-kuda mempunyai bentangan 4 m dan ketinggian 2 m serta membentuk sudut kemiringan  $45^\circ$ . Gambar 5.7a memperlihatkan penyetelan struktur rangka kuda-kuda diuji di laboratorium dengan beban terpusat diletakkan di titik/*joint* paling atas. Dari hasil analisis struktur kuda-kuda dengan menggunakan software SAP2000 dengan mengadopsi sistem dua dimensi. Berikut contoh defleksi vertikal dan horizontal, yang ditampilkan dari hasil pengujian laboratorium (Gambar 5.6a) dan hasil analisis numerik (Gambar 5.7b).



(a) *Experimental setup tipe 2*



(b) *Deflected shaped tipe 2 (numerik/SAP2000)*

Gambar 5.7 *Experimental setup dan deflected shapes* dari struktur kuda-kuda tipe 2

#### 5.4.5. Struktur portal pembentuk dinding

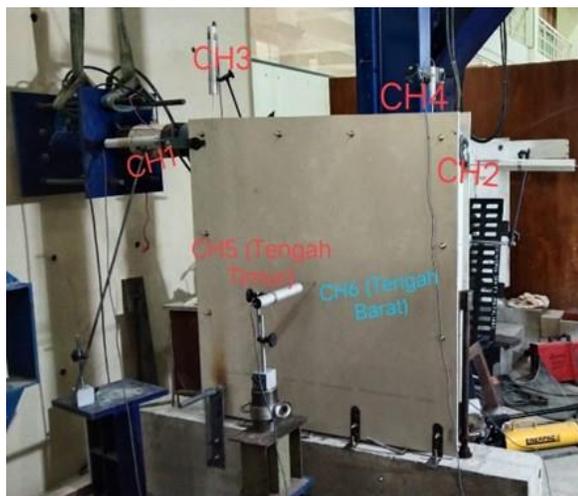
Tipikal struktur portal berukuran 1000x1000 mm<sup>2</sup> dengan menggunakan pipa paralon diameter,  $\varnothing = 4$  inci, dan sambungannya. Untuk membentuk sebuah portal dibutuhkan 4 batang pipa dan dirangkai menjadi satu bentuk portal yang kompak dengan sambungan pipa, jenis elbow 90°,  $\varnothing = 4$  inci, dan direkatkan dengan lem khusus paralon. Portal tipikal dibuat sebanyak 3 buah untuk dimanfaatkan sebagai struktur kerangka dinding, yang diuji untuk menahan beban searah bidang (*in plane*), geser diagonal (*diagonal shear*), dan tegak lurus bidang (*out of plane*). Tiga model pengujian dinding ini merupakan rekayasa struktur inovatif menggunakan material dari pipa paralon dan GRC dipakai lapisan dinding guna mengantisipasi rumah Huntara, yang dibangun di wilayah rentan bencana alam, yang salah satu bencana adalah gempa bumi.

##### 1. Pengujian dinding searah bidang (*in plane*)

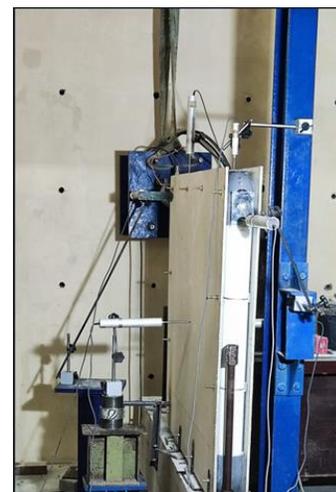
Pemodelan elemen dinding di dalam penelitian ini dijelaskan dalam Gambar 5.8 mencapai tampak depan dan samping, sehingga terlihat rangkaian pipa paralon sebagai kerangka dinding dengan jelas. Dalam pengujian ini membutuhkan *rigid wall* untuk meletakkan dudukan *load cell* dan *rigid floor* dipakai untuk fondasi dinding dan untuk meletakkan benda uji dengan tepat.

Sebelum elemen dinding bisa dirangkai dengan kerangka/portal pipa paralon kosong, maka kerangka disiapkan terlebih dahulu sebagaimana diuraikan di subbab sebelumnya. Kerangka yang sudah siap dilakukan pengeboran sebanyak 12 lubang atau setiap sisi diperkuat dengan 4 lubang dengan jarak 30-35 cm, seperti terlihat pada Gambar 5.8a. Untuk Langkah awal, lapisan dinding dari bahan GRC dengan tebal 8 mm dilekatkan ke portal paralon dan disesuaikan lubang yang telah disiapkan, kemudian diperkuat dengan mur-baut  $\varnothing 8$  mm serta dieratkan secukupnya. Pengeratan harus cukup terukur agar tidak sampai terjadi perlemahan baik di permukaan GRC maupun pada pipa (kerangka). Kehatian-hatian ini diperlukan mengingat sifat material GRC yang tidak terlalu kuat dan pipa paralon yang kosong mudah terkekuk. Hal lain yang harus diperhatikan adalah mobilitas benda uji dari tempat pembuatan ke tempat

pengujian, *loading frame*, penyetelan benda uji harus sesuai dengan target kinerja pengujian, penempatan titik pembebanan (*load cell*) harus tepat pada posisi yang ditargetkan, dan *loading scheme* harus dilakukan secara perlahan disesuaikan dengan benda uji. Posisi benda uji harus tepat, tegak lurus, dan dijamin saat dibebani arah lateral oleh *load cell* tidak menimbulkan efek puntir atau miring ke kiri/kanan, yang bisa menyebabkan keruntuhan dini (*premature collapse*). Apabila kondisi seperti ini terjadi, maka pengujian ini dapat disimpulkan terjadi kegagalan dan tidak bisa ditentukan kinerja struktural dinding. Untuk menghasilkan kinerja dinding akibat beban searah bidang, beban dipusat pada *joint* kiri atas. Beban ini merupakan simulasi pengujian laboratorium dan dapat dikatakan sebagai representasi dari gaya gempa yang arahnya lateral. Dalam pengujian ini dipasang 5 buah LVDT untuk mengukur perubahan tempat kedudukan setiap titik yang ditentukan. Merujuk Gambar 5.8a, titik buhul kiri atas dipasang 2 LVDT untuk mengukur gerakan horizontal dan vertikal, 2 LVDT dipasang di titik tengah dan tegak lurus bidang dinding untuk mengukur gerakan lateral tegak lurus, dan 1 LVDT dipasang di titik buhul kanan atas arah horizontal.



(a) Tampak depan model benda uji



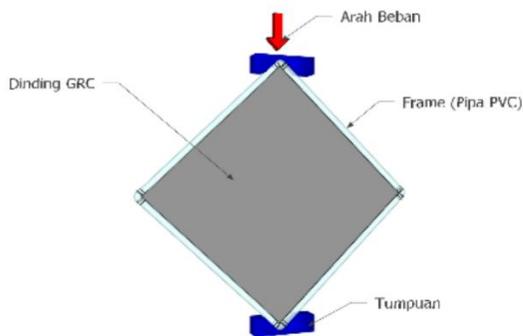
(b) Tampak samping model benda uji

Gambar 5.8 Model dan *experimental set up* pada pengujian dinding searah bidang.

Setelah penyetalan selesai, selanjutnya benda uji siap dilakukan pengujian searah bidang dengan skema pembebanan dimulai dari 0 hingga mencapai beban maksimum dan dipakai *displacement control*. *Load cell* dikendalikan secara manual dengan *hand hydraulic pump*, agar lebih terkontrol pergerakan beban lateral seiring pertambahan *lateral deflection* hingga mencapai kinerja struktural dinding dapat dicapai dengan mengolah data rekaman beban dan *lateral deflection* dari *data logger*.

## 2. Pengujian dinding diagonal geser (*shear diagonal*)

Menurut Teguh (2006) kerusakan umum pada dinding pasangan bata sebagai *non-structural element* dalam struktur bangunan membentuk kerusakan berupa retak geser (arah diagonal). Kerusakan ini diakibatkan oleh gerakan gaya gempa bolak balik, membentuk huruf “X”. Untuk mengantisipasi terhadap kerusakan tersebut, metode pengujian dinding disederhanakan menurut standar ASTM dengan model dan penyetalan eksperimental seperti terlihat pada Gambar 5.9. Pada pengujian ini, dinding yang telah distel seperti layaknya pengujian dinding lainnya, dengan perbedaan utama terletak pada orientasi arah beban yang berbeda (searah, diagonal, dan tegak lurus bidang). Kerangka dinding dari pipa paralon kosong dilapisi dinding GRC pada dua sisinya dan dilekatkan dengan kekuatan mur-baut Ø8 mm panjang 12 cm, dengan antara 30-35 cm.



(a) Sketsa pengujian geser diagonal



(b) Pengujian geser diagonal

Gambar 5.9 Model dan *experimental set up* pada pengujian dinding *shear diagonal*

Penyetelan benda ujian dilakukan sangat berhati-hati mengingat posisi dinding diberdirikan dalam arah diagonal. Pada ujung bawah dan atas dinding dipasang sepatu terbuat dari pelat baja, yang membentuk sudut siku-siku, dan digunakan untuk tumpuan dinding di bagian bawah dan bagian ujung atas dipakai untuk penempatan *load cell*. Untuk menjamin dinding pada posisi tegak lurus dan menjaga keselamatan laboran, maka dipasang tali pengikat, untuk mengantisipasi terjadinya gerakan lateral, yang bisa menyebabkan kegagalan dalam pengujian saat dinding dibebani arah vertikal.

Untuk keperluan pengujian ini dipasang 5 buah LVDT untuk mengukur perubahan tempat kedudukan setiap titik yang ditentukan. Merujuk Gambar 5.9b, titik buhul teratas dipasang 1 LVDT untuk mengukur gerakan vertikal, 2 LVDT dipasang di titik tengah dan tegak lurus bidang dinding untuk mengukur gerakan lateral tegak lurus, dan 2 LVDT dipasang di titik buhul kiri dan kanan arah untuk mengukur gerakan arah horizontal.

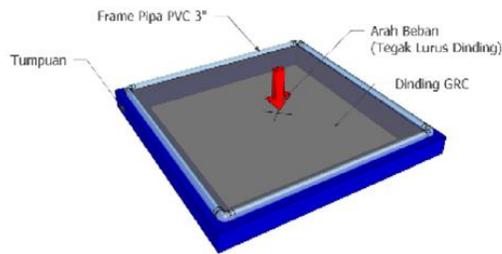
Untuk pembebanan dalam pengujian dinding pada arah diagonal ini, *load cell* ditempatkan pada titik buhul teratas dan menempel pada sepatu dari pelat baja sebagai media untuk meneruskan beban dari *load cell* ke elemen dinding. Selain itu, sepatu baja juga dipasang di titik buhul bawah sebagai tumpuan agar tidak terjadi kerusakan pada saat mulai dibebani. Skema pembebanan dimulai dari 0 hingga mencapai beban maksimum dan dipakai *displacement control*. *Load cell* dikendalikan secara manual dengan *hand hydraulic pump*, agar lebih terkontrol pergerakan beban lateral seiring pertambahan *vertikal deflection* hingga mencapai kinerja struktural dinding dapat dicapai dengan mengolah data rekaman beban dan *vertical deflection* dari *data logger*, yang terhubung dengan komputer. Semua LVDT terpasang menghasilkan rekaman data defleksi vertikal dan horizontal tergantung dari arah penempatan jarum.

### 3. Pengujian dinding tegak lurus (*out of plane*)

Pada saat sedang berlangsung gempa, rambatan gelombang gempa terjadi dari pusat gempa melalui lapisan tanah dasar menuju berbagai objek di atas tanah. Rambatan gelombang gempa yang melalui tanah lunak akan membutuhkan waktu

getaran lebih lama dibandingkan tanah keras (Erlangga, 2022). Dampak kerusakan terjadi paling awal pada elemen bangunan non-struktur, seperti kaca pecah, kerusakan pada fungsi arsitektural, dan lain-lain. Dampak kerusakan dinding non-struktural biasanya membentuk garis keretakan dua arah diagonal bersilangan dan seringkali kerusakan tersebut mengarah tidak hanya pada arah sebidang dinding tetapi juga tegak lurus bidang. Tipe kerusakan dinding tegak lurus terhadap bidang dinding pasca kejadian gempa akan terlihat dengan jelas keluar dari sumbu utama dinding. Atas dasar fenomena dampak kerusakan dinding pasca gempa, maka dalam penelitian ini pengujian kinerja benda uji terhadap beban tegak lurus bidang dipandang penting untuk dilakukan. Penelitian sebelumnya tentang objek kasus seperti ini masih langka ditemukan atau masih terbatas ditemukan di dalam *international article references*.

Kompleksitas dalam *experimental setup* pada pengujian ini tidak terlalu tinggi dibandingkan pada penelitian dinding sebelumnya, karena tuntutan akurasi yang tinggi untuk menghindari kegagalan dini. Untuk tumpuan keempat sisi dinding digunakan profil baja WF (ukuran profil bebas), yang dibentuk segi empat ukuran 1 m<sup>2</sup>, yang penting kerangka profil baja tersebut rata/datar sebagai tumpuan untuk meletakkan dinding seperti pada Gambar 5.10. Selanjutnya, dinding diposisikan terletak datar di atas 4 sisi tumpuannya. *Load cell* diposisikan tepat di titik tengah dinding, tegak lurus bidang, dan dipasang 5 buah LVDT. Sebanyak 4 buah LVDT ditempatkan di empat sudut dinding arah vertikal dan 1 buah LVDT dipasang di titik beban. Dengan pemasangan 5 LVDT ini semua data beban dan lendutan (defleksi vertikal) bisa terukur dan direkam oleh *data logger*, yang dihubungkan ke komputer. Pembebanan diberikan secara bertahap dengan *hand hydraulic pump*, agar lebih terkontrol pergerakan beban vertikal hingga mencapai kinerja struktural dinding dapat dicapai dengan mengolah data rekaman beban dan *vertical deflection* dari *data logger*, yang terhubung dengan komputer. Keempat LVDT yang terpasang bisa digunakan untuk mengontrol defleksi vertikal yang terjadi di 4 titik, yaitu sudut-sudut dinding. Mengingat material GRC sebagai lapisan dinding merupakan jenis material yang relatif lunak, maka perubahan tempat kedudukan (defleksi vertikal) tidak terlalu besar.



(a) Sketsa pengujian *out of plane*

(b) Pengujian *out of plane*

Gambar 5.10 Model dan *experimental set up* pada pengujian dinding *out of plane*

## 5.5. Evaluasi Kelayakan Struktur

Sub-bab ini menjelaskan bagaimana evaluasi kelayakan struktur dilakukan pada struktur kuda-kuda berbahan dasar dari pipa paralon, yang disambung dengan sambungan fabrikasi dari paralon untuk dibentuk menjadi sistem rangka yang kokoh. Penggunaan pipa paralon sebagai material pembentuk struktur rangka kuda-kuda untuk bangunan *non-engineered*, seperti Huntara, merupakan inovasi baru, yang belum pernah diuji sebelumnya di laboratorium oleh para peneliti. Selain menguji struktur rangka batang, dalam penelitian ini juga dilakukan pengujian sistem portal untuk memperkuat elemen dinding partisi dengan cara melapisi portal paralon pada kedua sisi dinding dengan material GRC setebal 8 mm yang diperkuat dengan mur-baut diameter 8 mm dengan jarak antara 30-35 cm. Evaluasi kinerja struktur dalam penelitian ini diuraikan lebih detail pada subbab berikutnya.

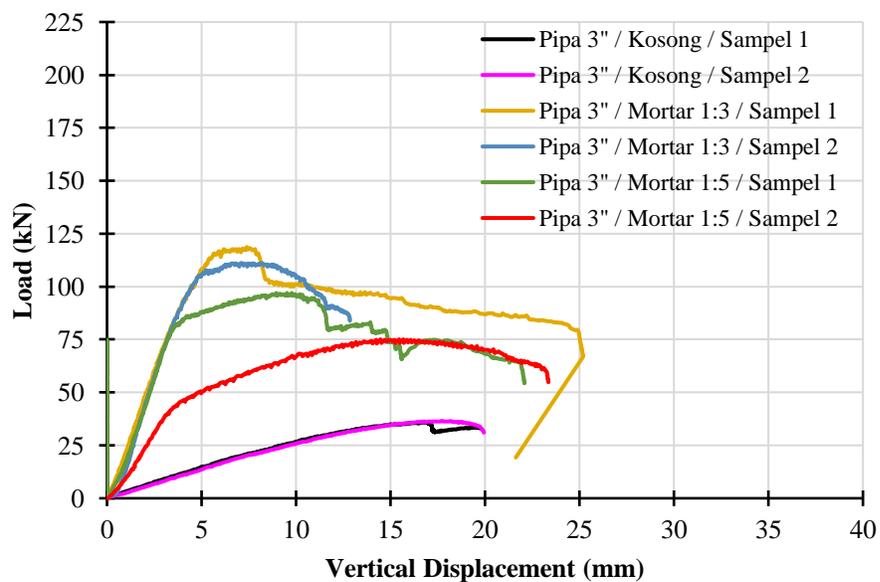
### 5.5.1. Material berbahan dasar paralon dan GRC

Setiap bagian struktur bangunan ditemukan elemen atau batang tekan dan lentur. Kinerja kedua jenis batang yang berbeda ini sangat dipengaruhi oleh jenis dan kualitas material. Dalam konteks penelitian ini, kedua jenis batang tersebut lebih diorientasikan untuk memenuhi kebutuhan struktur rangka kuda-kuda, sehingga benda uji yang dibuat dari pipa paralon divariasikan antara pipa kosong dan pipa isi mortar (1:3 dan 1:5) untuk Ø3 inci dan Ø4 inci dengan panjang pipa 1 - 2 (m).

## 1. Pengujian elemen tekan

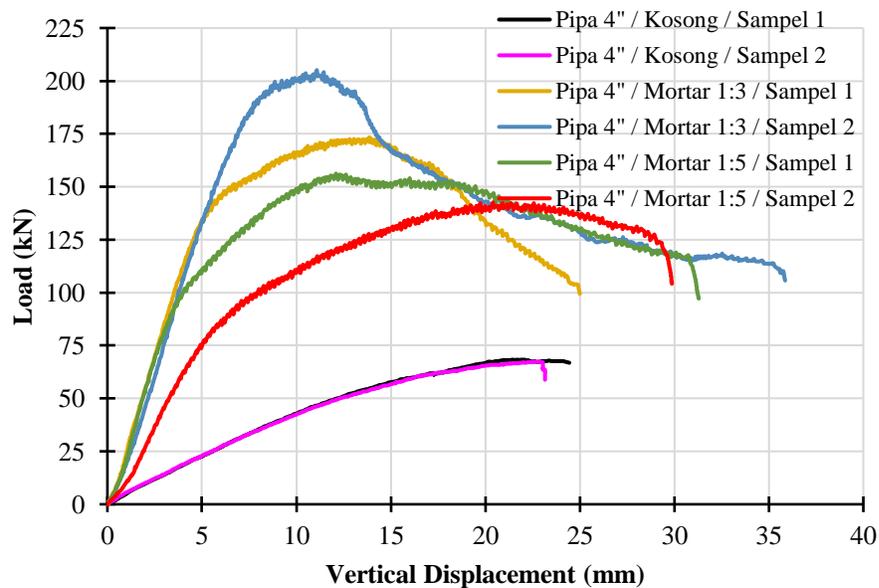
Pada pengujian elemen tekan hanya dipakai pipa paralon dengan panjang 1,0 m karena alasan keselamatan selama pengujian berlangsung. Sampel benda uji terbuat dari pipa Ø3 inci dan Ø4 inci untuk panjang pipa 1 m. Dalam pengujian ini dipakai 3 variasi benda uji, terdiri dari: 2 pipa kosong, 2 pipa isi mortar dengan campuran 1PC : 3Ps dan 1PC : 5Ps, sehingga total spesimen ada 6 buah.

Untuk pipa kosong bisa langsung dilakukan pengujian, sedangkan pipa isi mortar bisa diuji setelah mortal umur minimal 14 hari. Beberapa catatan untuk pengisian mortar ke dalam paralon harus dijamin padat dan dihindari adanya rongga udara (udara terjebak dalam pipa), karena akan berpengaruh terhadap kuat tekan. Perlakuan yang sama diberikan untuk semua benda uji pipa isi mortar, lalu direndam dalam air untuk rawatan sampai umur yang ditentukan. Hasil pengujian kuat tekan pipa paralon dengan 3 variasi untuk pipa Ø3 inci terlihat pada Gambar 5.11, sedangkan untuk 3 variasi pipa Ø4 inci diperlihatkan pada Gambar 5.12. Setiap paket pengujian dengan ragam variasinya ditampilkan dalam grafik hubungan beban dan lendutan. Dari keenam grafik ini dapat dievaluasi kelayakan elemen dalam menahan beban aksial.



Gambar 5.11 Grafik hubungan beban-defleksi vertikal: kuat tekan pipa Ø3 inci - m

Dari Gambar 5.11 memperlihatkan 3 variasi benda uji terdiri dari: pipa kosong, dan pipa isi mortar dengan 2 variasi komposisi campuran yang berbeda dan setiap variasi benda uji dibuat 2 sampel untuk pipa Ø3 dan Ø4 (inci) dengan panjang 1 m. Untuk sampel TO31 menunjukkan kinerja yang sama untuk kedua sampel, mencapai beban optimum yang mampu ditahan oleh pipa ini sebesar 36,04 kN dan menghasilkan defleksi vertikal sebesar 19,84 mm. Capaian kinerja struktural pengujian kuat tekan rerata pada pipa paralon isi mortar (1:5) pada sampel T1531 lebih tinggi dibandingkan sampel TO31, yaitu sebesar 86,15 kN dan menghasilkan defleksi vertikal rerata sebesar 22,72 mm. Seiring dengan kuat tekan yang tinggi pada campuran mortar 1:3, maka apabila mortar tersebut diisikan pada pipa paralon ternyata menghasilkan kekuatan yang signifikan besar, yaitu 115,53 kN, namun lendutan atau defleksi vertikal sedikit lebih kecil sebesar 19,72 mm dibandingkan dengan T031 dan T1531 (Tabel 5.2). Dari ke 3 sampel ini bisa disimpulkan kekuatan pipa paralon T1331 mampu menahan beban aksial terbesar, namun sampel ini lebih getas atau *displacement ductily* lebih rendah dibanding 2 sampel lainnya. Selain pengaruh kuat tekan mortar, kualitas pipa paralon (bahan dasar, dimensi, dan ketebalan) sangat berpengaruh terhadap kinerja pipa.



Gambar 5.12 Grafik hubungan beban-defleksi vertikal: kuat tekan pipa Ø4 inci - m.

Selanjutnya dalam skema pengujian yang sama pada pipa Ø4 inci dengan panjang 1 m (Tabel 5.3) menghasilkan kekuatan sekitar 60% lebih tinggi, dari pipa Ø3 inci (T1341>T331). Kenaikan kapasitas pipa paralon ini disebabkan oleh diameter tampang yang lebih besar, meskipun ketebalan pipa (Ø3 dan Ø4 inci) sama. Secara umum, ketebalan pipa paralon tidak selalu mengikuti diameter pipa, namun tergantung dari beberapa faktor, antara lain: tekanan air, suhu, jenis material, dan standar penggunaan yang berlaku, dan ditentukan oleh produsen dan organisasi standar industri, seperti SNI.

Tabel 5.2 Rekapitulasi kinerja pengujian kuat tekan pada pipa Ø3 inci- 1m

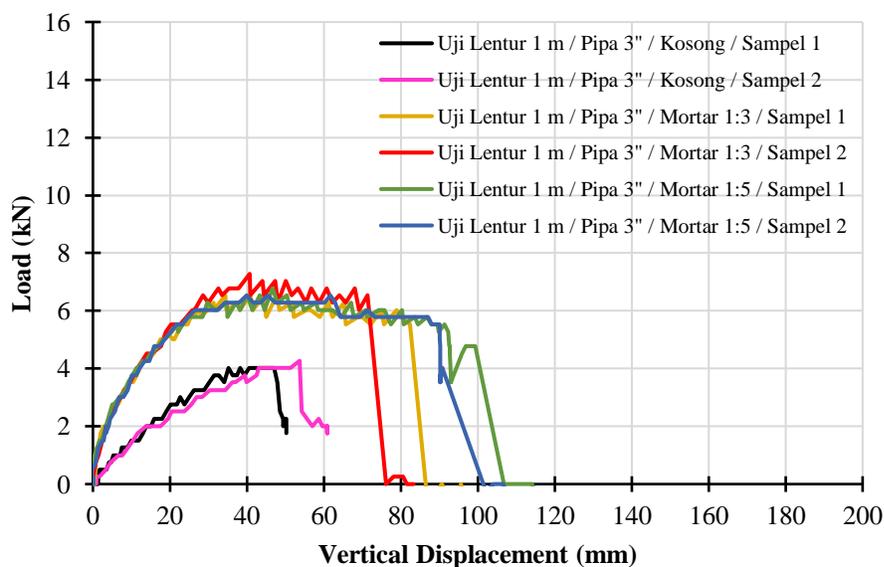
Sampel		Campuran mortar (PC:Ps)	Beban aksial (kN)		Defleksi vertikal (mm)	
Kode	Nomor		Unit	Rerata	Unit	Rerata
TO31	1	-	36,54	36,54	19,94	19,94
TO31	2	-	36,54		19,94	
T1531	1	1:5	97,20	86,15	22,09	22,72
T1531	2	1:5	75,10		23,36	
T1331	1	1:3	113,13	115,53	12,85	19,02
T1331	2	1:3	117,94		25,19	

Tabel 5.3 Rekapitulasi kinerja pengujian kuat tekan pada pipa Ø4 inci- 1m

Sampel		Campuran mortar (PC:Ps)	Beban aksial (kN)		Defleksi vertikal (mm)	
Kode	Nomor		Unit	Rerata	Unit	Rerata
TO41	1	-	68,29	67,78	24,44	23,79
TO41	2	-	67,28		23,15	
T1541	1	1:5	142,63	147,54	29,87	30,89
T1541	2	1:5	152,46		31,92	
T1341	1	1:3	172,62	188,87	25,00	30,43
T1341	2	1:3	205,13		35,86	

## 2. Pengujian elemen lentur

Pengujian elemen lentur dalam penelitian ini diorientasikan untuk menguji kinerja batang pada struktur rangka kuda-kuda yang mengalami lentur seperti batang bawah atau elemen balok. Material batang ini dari pipa PVC kelas AW, yang memiliki kualitas baik dengan karakteristik memiliki dinding pipa yang tebal 3,1 mm dan 4,1 mm untuk masing-masing pipa diameter Ø3 dan Ø4 inci serta mampu menahan tekanan 150-500 Psi. Mengingat sifat material ini memiliki elastisitas yang tinggi, namun kuat tariknya dan modulus elastisitasnya (3000 MPa) relatif rendah, maka pipa mudah mengalami kelenturan ketika dibebani arah tegak pada lurus batang. Atas pertimbangan tersebut di dalam pengujian ini panjang batang dibatasi hanya 1 hingga 2 m, semakin panjang batangnya semakin rendah tinggi kelenturannya. Kondisi ini terjadi pada pipa kosong, namun kapasitas lentur dari batang akan meningkat seiring dengan penambahan mortar yang diisikan penuh ke dalam pipa, yang akan membentuk tampang batang komposit (perpaduan material PVC dengan mortar). Gambar 5.13 memperlihatkan hasil pengujian lentur untuk ke 3 model sampel yang berbeda, menghasilkan perbedaan kinerja pipa lentur yang signifikan antara LO31 dan L1541.



Gambar 5.13 Grafik hubungan beban-defleksi vertikal: kuat lentur pipa Ø3 inci–1 m.

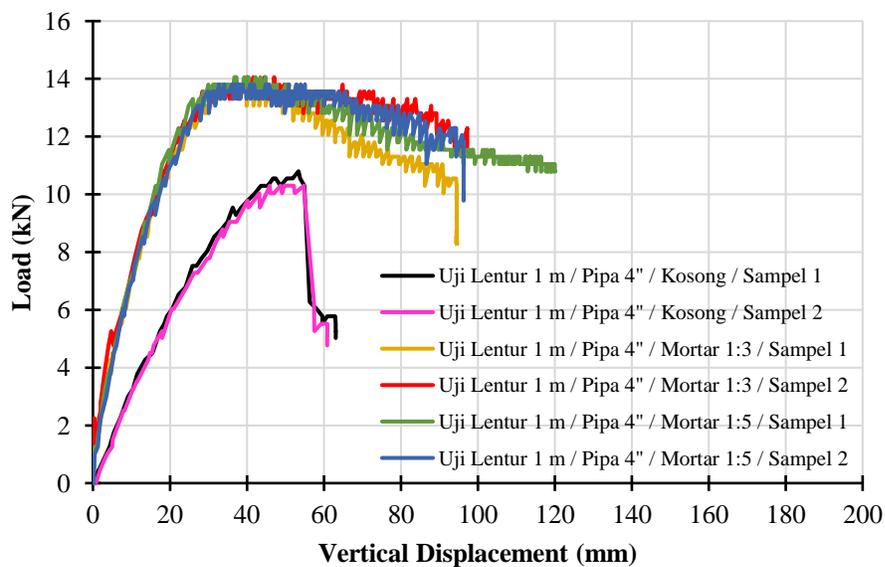
Dari grafik *load-displacement response* (Gambar 5.13) terlihat kapasitas pipa paralon yang diisi dengan mortar (L1531 dan L1331) menunjukkan kinerja 60-70% lebih tinggi dibanding dengan pipa kosong (L031). Hasil rekapitulasi pengujian batang lentur pada pipa Ø3 inci- 1m (Tabel 5.4) terdapat inkonsistensi beban lentur sedikit lebih rendah dari pada pipa dengan perbandingan mortar yang lebih rendah kuat tekannya (L1531), namun pipa ini (L1331) mencapai lendutan terbesar. Salah satu faktor penyebab kondisi ini kemungkinan diakibatkan oleh pemadatan mortar dalam pipa (L1331) kurang sempurna dan masih terdapat gelembung udara, sehingga menghasilkan kemampuan pipa dalam menahan beban lentur lebih rendah.

Tabel 5.4 Rekapitulasi kinerja pengujian kuat lentur pada pipa Ø3 inci- 1m

Sampel		Campuran mortar (PC:Ps)	Beban lentur (kN)		Lendutan (mm)	
Kode	Nomor		Unit	Rerata	Unit	Rerata
LO31	1	-	4,02	4,14	50,21	55,58
LO31	2	-	4,27		60,95	
L1531	1	1:5	6,53	6,90	96,93	90,13
L1531	2	1:5	7,28		83,33	
L1331	1	1:3	6,78	6,65	117,31	114,40
L1331	2	1:3	6,53		111,49	

Menurut ilmu mekanika bahan, setiap tampang dari suatu elemen diperbesar ukurannya akan berimplikasi langsung terhadap kenaikan kapasitasnya di dalam menahan beban. Hal ini terbukti dalam penelitian ini, bahwa pipa dengan Ø4 inci- 1m mampu mencapai beban lentur hingga lebih dari 200% dari pada pipa dengan Ø3 inci- 1m, sebagaimana ditampilkan di dalam Gambar 5.14 dan diperjelas oleh hasil rekapitulasi beban puncak dan lendutan maksimum pada Tabel 5.4 dan Tabel 5.5. Kondisi sebaliknya terjadi pada kapasitas lentur pipa Ø4 inci- 1m justru menurun dibandingkan dengan Ø3 inci- 1m, hal ini disebabkan oleh batas elastisitas pipa PVC

telah terlampaui. Fenomena dalam pengujian pipa Ø4 inci- 1m ini cukup menarik karena pada fase pembebanan lentur untuk semua tipe sampel 1 dan 2 tiap kelompok sampel memiliki tren *load-displacement response* relatif sama, yaitu dimulai dari pembeban awal menuju beban batas elastik kurangnya sangat berdekatan dan cenderung berimpit, namun pada sampel L1541 dan L1341 mengalami beban yang fluktuatif kecuali sampel L041. Tren lenturan juga tidak terlalu signifikan berbeda antara kedua diameter pipa.



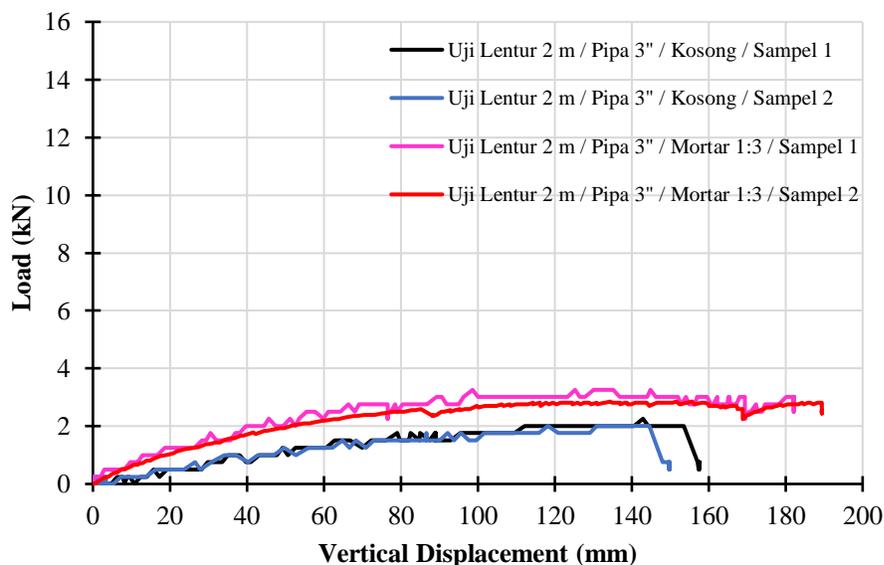
Gambar 5.14 Grafik hubungan beban-defleksi vertikal: kuat lentur pipa Ø4 inci– 1 m.

Tabel 5.5 Rekapitulasi kinerja pengujian kuat tekan pada pipa Ø4 inci- 1m

Sampel		Campuran mortar (PC:Ps)	Beban aksial (kN)		Lendutan (mm)	
Kode	Nomor		Unit	Rerata	Unit	Rerata
LO41	1	-	10,80	10,55	63,12	62,00
LO41	2	-	10,30		60,88	
L1541	1	1:5	13,81	13,93	94,58	95,91
L1541	2	1:5	14,06		97,24	
L1341	1	1:3	14,06	13,93	120,18	108,22
L1341	2	1:3	13,81		96,36	

Hasil pengujian untuk pipa Ø3 inci - 2m dan Ø4 inci - 2m menghasilkan kinerja yang sangat berbeda disebabkan oleh panjang pipa 2 kali lebih panjang dibandingkan pengujian sebelumnya, yaitu 2 m (Gambar 5.15 dan Gambar 5.16). Faktor utama terhadap penurunan kinerja pipa ini disebabkan oleh sifat dan kualitas material pipa paralon, yang difungsikan untuk menahan beban lentur, semakin panjang pipa, semakin besar lenturannya. Menurut teori lentur, besar kecilnya lenturan/lendutan sangat dipengaruhi oleh beban, panjang batang, modulus elastisitas, dan inersia dari batang lentur tersebut. Perbedaan mendasar terletak pada sifat material, yaitu modulus elastisitas rendah material PVC ( $E = 3000 \text{ MPa}$ ) dibandingkan dengan material lain, misalnya pipa baja yang mempunyai modulus elastisitas sangat besar ( $E_s = 200.000 \text{ MPa}$ ). Merujuk teori kekuatan material (*strength of material*), persamaan lendutan/defleksi vertikal merupakan fungsi dari model struktur dan beban yang terpasang, panjang batang, modulus elastisitas bahan/material, dan momen inersia tampang batang, misalnya balok terdukung sederhana (*simply supported beam*). Mengingat pada penelitian sebelumnya kinerja batang lentur diisi mortar (1:3) lebih baik dari pada diisi mortar (1:5), maka dalam pengujian ini campuran mortar (1:5) tidak diuji lagi untuk panjang pipa 2 m, namun jumlah sampel pada pipa kosong dan pipa diisi mortar (1:3) dibuat masing-masing 3 buah, seperti terlihat dalam tabel rangkuman data pengujian ini (Tabel 5.5 dan Tabel 5.6).

Dalam pengujian untuk pipa Ø3 inci dan Ø4 inci dengan panjang 2m dengan pembebanan lentur diaplikasikan secara bertahap (*incremental load steps*) membuktikan kinerja pipa paralon (PVC) sangat dipengaruhi oleh beberapa faktor, antara lain: sifat dan kualitas material, model elemen struktur, skema pembebanan, geometri elemen. Sebagai contoh pipa PVC yang diuji dengan bentangan lebih panjang akan menghasilkan beban lentur yang mampu ditahan lebih besar tetapi kuat lenturnya menurun (lendutan besar) pada tampang/diameter pipa yang sama, baik kondisi kosong maupun diisi mortar. Kenaikan beban lentur bisa mencapai 100% pada diameter pipa Ø4 inci dibandingkan dengan Ø3 inci, namun tidak demikian pada lendutan yang dapat ditahan oleh kedua tampang pipa tersebut tidak jauh berbeda.

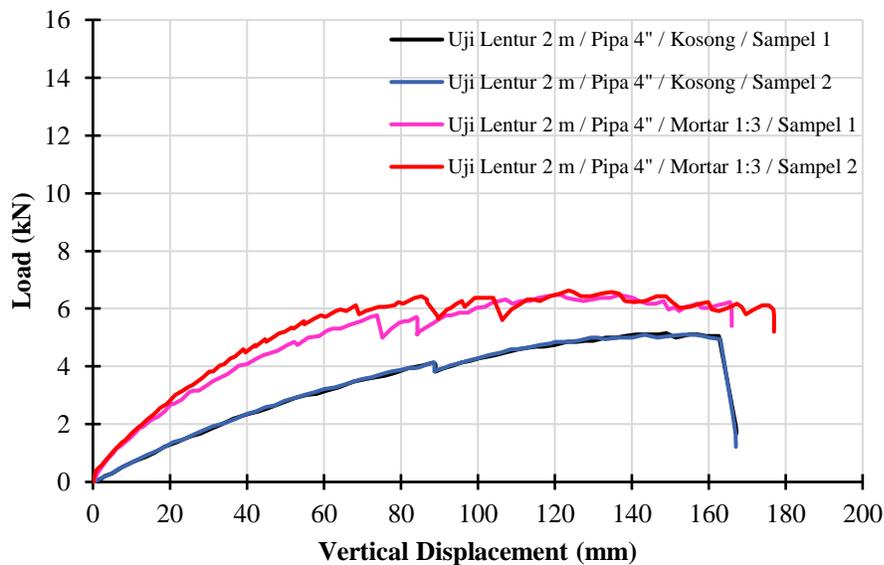


Gambar 5.15 Grafik hubungan beban-defleksi vertikal uji lentur pipa Ø3 inci - 2m

Tabel 5.6 Rekapitulasi kinerja pengujian kuat lentur pada pipa Ø3 inci- 2m

Sampel		Campuran mortar (PC:Ps)	Beban lentur (kN)		Lendutan (mm)	
Kode	Nomor		Unit	Rerata	Unit	Rerata
LO32	1	-	2,26	2,13	157,63	153,75
LO32	2	-	2,01		149,87	
L032	3	-	2,09		155,65	
L1332	1	1:3	3,26	2,93	182,12	182,2
L1332	2	1:3	2,86		189,40	
L1332	3	1:3	3,00		175,00	

Kondisi serupa terjadi pada capaian sampel L1332 dalam menahan beban lentur relatif sama dibandingkan dengan 2 sampel lainnya, tetapi memiliki lendutan lebih rendah disebabkan kemungkinan oleh mortar dalam pipa yang cukup padat. Oleh karena itu, pemanfaatan pipa paralon (PVC) untuk material struktur bangunan Huntara harus direncanakan dengan baik kebutuhan dan peruntukan elemennya.



Gambar 5.16 Grafik hubungan beban-defleksi vertikal uji lentur pipa Ø4 inci - 2m.

Tabel 5.7 Rekapitulasi kinerja pengujian kuat lentur pada pipa Ø4 inci- 2m

Sampel		Campuran mortar (PC:Ps)	Beban lentur (kN)		Defleksi vertikal (mm)	
Kode	Nomor		Unit	Rerata	Unit	Rerata
LO42	1	-	5,15	5,12	167,18	167,09
LO42	2	-	5,10		167,00	
L1342	1	1:3	6,48	6,49	165,98	144,69
L1342	2	1:3	6,63		176,98	
L1342	3	1:3	6,37		91,12	

### 5.5.2. Kinerja struktur rangka kuda-kuda

Metode pengujian beban searah bidang pada elemen dinding dengan static incremental biasanya menggunakan pendekatan analisis non-linear, yang mempertimbangkan efek non-linear, antara lain: deformasi besar, kekakuan material yang bervariasi, dan perubahan geometri struktur akibat beban searah. Dalam metode ini, beban diterapkan secara bertahap (*incremental load steps*) dan analisis dilakukan

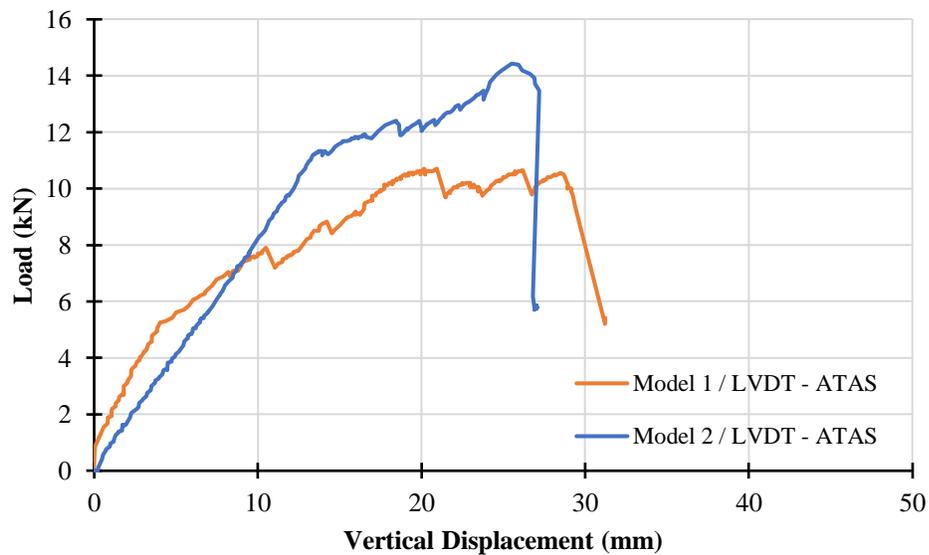
pada setiap langkah beban untuk memahami respons struktur secara mendalam. Dalam pengujian di laboratorium, *load cell* dan *LVDT* dipasang sesuai rencana (*experimental setup*) guna mencapai tujuan penelitian yang ditargetkan dan beban dikendalikan melalui *load cell* yang dipompa dengan *manual hydraulic jack*. Demikian juga jumlah *LVDT* yang akan dipasang dan lokasi/letak titik pemasangan harus tepat dan sesuai target data pengukuran yang diinginkan.

Di dalam penelitian ini dilakukan pengujian 2 sampel struktur rangka kuda-kuda berbahan dasar dari pipa paralon (PVC) kosong, seperti terlihat pada Gambar 5.6. Sejalan penelitian ini, analisis numerik dilakukan untuk kedua tipe kuda-kuda dengan menggunakan Software SAP2000 dengan sistem dua dimensi, kemudian hasil-hasilnya bisa dibandingkan dengan hasil pengujian di laboratorium. Untuk keperluan analisis numerik, input data diusahakan semaksimal mungkin sesuai dengan data penelitian laboratorium, baik geometri struktur, model struktur, material, dan skema pembebanan untuk kedua tipe kuda-kuda. Khusus untuk pembebanan diberikan secara bertahap setiap interval 2 kN dengan beban maksimal 16 kN. Bentuk struktur kuda-kuda tipe/model 1 relatif simpel dibandingkan tipe 2 yang lebih kompleks, keduanya memiliki kemampuan. Setelah hasil analisis numerik diplot di dalam grafik hasil *trendline* menunjukkan grafik hubungan beban-defleksi vertikal, yang membentuk garis lurus untuk kedua tipe. Perbedaannya terletak pada beban dan defleksi yang relatif lebih besar untuk tipe 2 dibandingkan tipe 1. Hasil analisis ini memperjelas teori kekuatan material (*strength of materials*) bahwa ketika beban ditambahkan bertahap (*incremental load steps*), maka karakteristik material pipa PVC tidak memperlihatkan sifat non-linear (*non-linear behavior*) setelah beban elastik tercapai. Kondisi inilah yang menyebabkan grafik *load-displacement response* membentuk garis lurus. Faktor penyebab utamanya adalah sifat non-linier material tidak dimasukkan dalam analisis numerik, jadi analisis numerik ini masih relatif simpel karena, namun jika sifat material non-linier diperhitungkan akan berdampak pada kompleksitas analisis non-linier, tetapi menghasilkan kinerja struktural kuda-kuda yang lebih akurat dan mendekati hasil pengujian laboratorium. Hasil analisis numerik ini tidak ditampilkan dalam laporan

penelitian ini. Selanjutnya pembahasan lebih difokuskan pada capaian hasil pengujian laboratorium untuk kedua tipe kuda-kuda.

Gambar 5.17 menampilkan grafik hubungan antara beban dan lendutan pada titik tengah bentangan kuda-kuda kedua tipe atau pada jarak  $L/2$  ( $L$  = panjang bentangan kuda-kuda). Berkaitan dengan pembuatan benda uji struktur kuda-kuda tipe 1 dan 2, beberapa hal penting yang menjadi catatan utama adalah ketepatan pengukuran panjang setiap elemen kuda-kuda, sistem penyambungan yang tepat dan akurat, kerapian ujung elemen yang akan disambung dengan alat sambung dari PVC fabrikasi, penggunaan jenis lem paralon, dan dibutuhkan tenaga tukang yang berpengalaman. Kekuatan utama dari struktur kuda-kuda berbahan dasar pipa paralon kosong ini terletak pada kualitas sambungan, antara lain dibutuhkan kecermatan dalam penyambungan dimulai pada saat penyiapan bahan, pengamplasan ujung pipa dan sambungan, hingga pelaksanaan penyambungan. Pada awal uji coba pengujian beban untuk kuda-kuda tipe 1, terbukti bahwa kekurang-sempurnaan dalam pembuatan struktur kuda-kuda berdampak langsung terjadinya kerusakan dini *premature collapse* pada beban yang masih sangat rendah. Kerusakan terjadi pada salah satu sambungan di salah satu tumpuan, kegagalan ini tidak diawali dengan tanda-tanda bunyi keretakan, tetapi langsung terjadi keruntuhan tiba-tiba dengan lepasnya pipa pada sambungan tersebut, dan beban dari *load cell* sudah tidak bisa dinaikkan lagi. Pengalaman kegagalan ini dipakai sebagai catatan penting dalam membuat benda uji yang lain. Kunci permasalahan terletak pada teknik penyambungan batang pipa dengan sambungan PVC, yaitu kedalaman pipa yang masuk ke dalam sambungan harus sesuai spesifikasi pabrik, 5 – 6 cm, kedua sisi/bidang yang akan disambung harus dikasarkan arah melingkar pipa, kemudian dibersihkan dari debu kotoran dan diolesi lem “isarplas” secukupnya pada kedua sisi yang akan disambung, selanjutnya ujung batang pipa ditekan masuk dalam sambungan hingga mencapai batas sambungan (5-6 cm) ditahan beberapa menit agar pipa tidak tertarik keluar dari sambungan. Dengan teknik yang sama, pekerjaan penyambungan pada sambungan yang lain dapat dilanjutkan hingga terbentuk struktur kuda-kuda yang direncanakan.

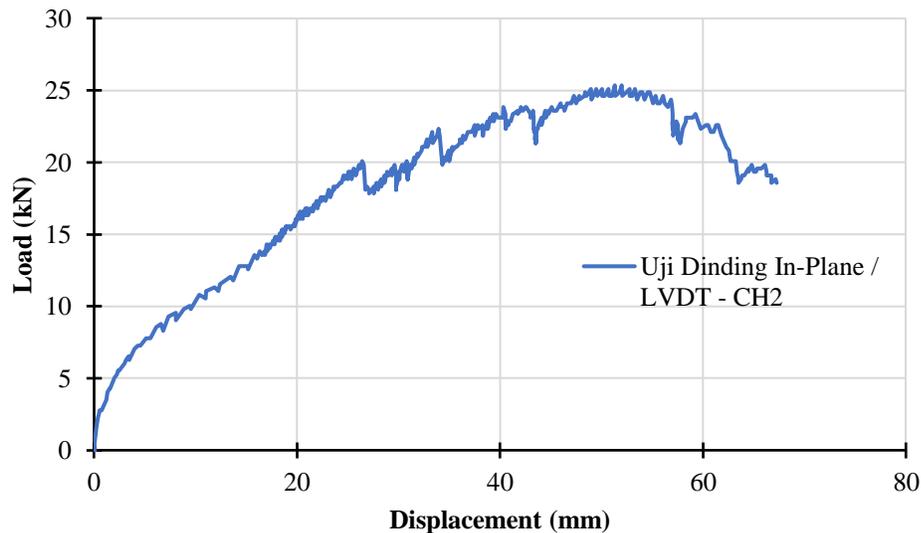
Dari perbandingan grafik *load-displacement response* kuda-kuda tipe 1 dan 2 telah mendemonstrasikan kinerja strukturalnya. Benda uji tipe 1 mampu menahan beban gravitasi maksimum 10,61 kN atau setara dengan 1,08 ton dengan lenturan maksimum terjadi 31,21 mm, sedangkan benda uji tipe 2 mampu melampaui beban gravitasi sebesar 14,43 kN atau setara dengan 1,47 ton, tetapi lenturan yang dicapai lebih rendah yaitu 26,80 mm. Benda uji tipe 2 pasca capaian beban maksimum tidak sampai terjadi keruntuhan atau deformasi, namun karena alasan keamanan kemudian pembebanan dihentikan akibat terjadi eksentrisitas beban pada arah *out of plane*, yang bisa menyebabkan struktur kuda-kuda mengalami puntir. Kejadian ini bisa diatasi dengan cara benda uji diberi penghantar dari rangka baja pada kedua sisinya di 3 titik (tengah bentangan, kiri dan kanan) agar struktur bebas bergerak vertikal dan tidak terjadi puntir dengan syarat alat bantu ini tidak boleh menghambat pergerakan rangka batang pada saat pembebanan berlangsung hingga mencapai beban maksimal. Dengan capaian kinerja struktural kedua benda uji ini, maka benda uji tipe 2 lebih baik dibanding tipe 1 dan direkomendasi untuk digunakan sebagai bagian dari struktur atap dari rumah Huntara (Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan, 2016).



Gambar 5.17 Grafik hubungan antara beban dan lendutan pada kuda-kuda kedua tipe.

### 5.5.3. Kinerja dinding searah bidang (*in plane*)

Dalam penelitian ini diuji kinerja dinding yang mengalami pembebanan searah bidang (Gambar 5.18), diagonal geser (Gambar 5.19), dan tegak lurus bidang (Gambar 5.20). Ide utama pengujian ini dilatar belakangi oleh fenomena arah beban gempa yang terdeteksi tidak hanya satu arah tetapi beberapa arah, yang berpotensi menimbulkan kerusakan struktur utama bangunan dan non-struktur, seperti dinding pasangan atau partisi, kosen pintu/jendela, kaca dan lain sebagainya. Yang dimaksud elemen dinding dalam penelitian ini, adalah pipa paralon kosong yang dirangkai dengan sambungan PVC membentuk kerangka/portal ukuran 1,0x1,0 m<sup>2</sup>, kemudian lapisan dinding terbuat dari GRC dengan ketebalan 8 mm dilekatkan pada kedua sisi portal paralon tersebut dan diperkuat dengan mur-baut seperti ditampilkan di Gambar 5.8 – 5.10.



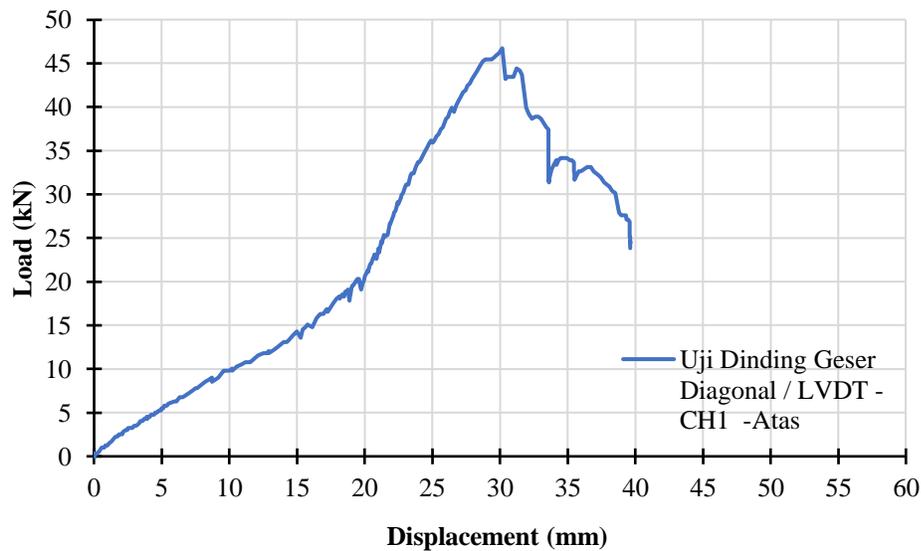
Gambar 5.18 Grafik hubungan antara beban-lendutan pada uji dinding *in plane*.

Kinerja struktural dinding dalam menahan beban searah bidang ditampilkan dalam Gambar 5.18 memperlihatkan dinding mampu menahan beban lateral sebesar 25,36 kN atau setara dengan 2,56 ton dengan perpindahan lateral maksimum 66,74 mm. Dari grafik ini terlihat dengan jelas elastisitas portal pipa paralon kosong sangat baik ditandai dengan capaian *displacement ductility* cukup besar. Kerusakan terletak

pada sambungan portal di titik beban diikuti oleh kerusakan (sobek menjalar lateral dari sisi di bawah beban menuju bagian tengah dinding atas) kedua lapisan dinding di lokasi tersebut dan di titik fondasi bagian tarik (di bawah titik beban dengan tipe kerusakan yang sama), namun secara umum portal masih relatif utuh kecuali ujung sambungan PVC yang dikenai oleh *load cell* mengalami kerusakan.

#### 5.5.4. Kinerja dinding diagonal geser (*shear diagonal*)

Pada pengujian dinding dengan beban arah geser diagonal dan diposisikan seperti Gambar 5.9 dengan memasang sepatu besi di ujung atas tempat penempatan beban diagonal terhadap bidang geser dinding dan di ujung bawah tempat tumpuan. Pembebanan bertahap diberikan melalui *load cell*, yang dipompa secara manual dengan pompa hidrolik agar lebih terkontrol setiap langkah pembebanan. Pengujian ini mengacu standar ASTM.



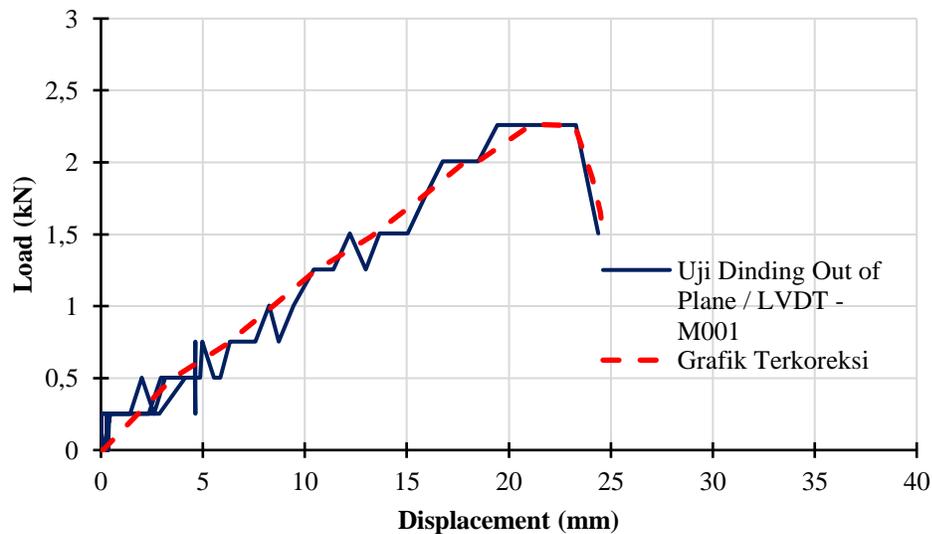
Gambar 5.19 Grafik hubungan antara beban-lendutan pada uji dinding *diagonal geser*.

Pada interval beban 10 sampai 35 kN terlihat grafik pergerakan beban kurang stabil dan kondisi ini terlihat dari grafik cenderung turun, sementara lendutan

cenderung lebih besar. Selanjutnya beban dinaikkan lagi hingga mencapai beban puncak sebesar 46,20 kN kemudian mengalami penurunan sampai mencapai beban terendah sebesar 24,36 kN, dan lendutan maksimum tercapai pada 39,63 mm. Kerusakan terjadi di sambungan pipa PVC, dan akibat gaya geser diagonal, maka lapisan GRC pecah di kedua ujung/sudut dinding dan garis retak horizontal menjalar dari sudut kiri menuju sudut kanan dinding.

#### 5.5.5. Kinerja dinding tegak lurus bidang (*out of plane*)

Subbab 5.4.3 telah menjelaskan penyetalan dinding dengan beban arah tegak lurus bidang, yang identik dengan pengujian dinding GRC. Mengingat material GRC merupakan salah satu material bangunan modern yang kini banyak dipakai karena sangat fleksibel dan memiliki daya tahan yang baik. *GRC board* ini biasanya dipakai sebagai alternatif pengganti papan multiplek, papan gipsum, papan HMR, atau papan material MDF. *GRC (Glass-Reinforced Concrete board* terbuat dari campuran semen dengan serat kaca yang dibentuk menjadi bidang, seperti papan atau dikenal dengan istilah papan semen.



Gambar 5.20 Grafik hubungan antara beban-lendutan pada uji dinding *out of plane*.

Mengingat kekuatan material GRC tidak terlalu besar, maka beban optimum yang dapat dicapai juga rendah, yaitu hanya sebesar 2,26 kN atau setara dengan 230,46 kg. Kerusakan terjadi tepat dimulai dari titik tengah dinding atau di bawah *load cell* kemudian menjalar ke tepi dinding membentuk garis lurus, sehingga dinding GRS terbelah menjadi dua bagian. Grafik yang dihasilkan kurang halus karena fluktuasi pembebanan dan setelah bidang dinding mulai retak, maka papan GRC sudah tidak mampu menahan beban. Apabila dilakukan koreksi dari grafik hasil pengujian, maka kurvanya relatif lebih halus.

Faktor lain yang menyebabkan kekuatan dinding pada saat dibebani tegak lurus bidang adalah di antara lapisan GRC terjadi rongga selebar diameter pipa paralon sebagai rangka dinding karena tidak diisi oleh material padat, yang bisa menyatukan lapisan papan GRC dan memperkuat kekakuan dinding. Dengan demikian benda uji ini lebih difokuskan pada pengujian lentur papan GRC saja, yang dapat dipastikan kinerja strukturalnya sangat rendah. Oleh karena itu, penggunaan papan GRC akan lebih tepat untuk dinding bagian dalam rumah Huntara atau sebagai partisi/pemisah ruangan, sedangkan bagian luar untuk fungsi dinding yang lebih kuat untuk kebutuhan keamanan diperlukan material lain yang memenuhi syarat kekuatan, ringan, dan mudah dipasang serta harga terjangkau.

## **5.6. Luaran Penelitian**

Dalam laporan ini, luaran penelitian dirangkum secara sistematis menjawab rumusan masalah dan tujuan penelitian. Cakupan dalam pembahasan termasuk hasil-hasil penelitian termasuk rekomendasi perbaikan, temuan penting, serta implikasi dari hasil penelitian terhadap pengembangan hunian sementara berbahan dasar paralon dan GRC. Mengingat keterbatasan dana penelitian, materi penelitian difokuskan pada pengujian laboratorium pada material mortar sebagai pengisi pipa, elemen struktur, baik untuk keperluan batang tekan maupun lentur, struktur kuda-kuda, dan dinding dengan arah pembebanan sebidang, geser diagonal, dan tegak lurus bidang. Hasil kinerja struktural tersebut ini di atas memberikan kontribusi ilmiah untuk Huntara.

## **BAB VI**

### **RENCANA TAHAPAN BERIKUTNYA**

#### **6.1. Pengembangan Model Sambungan Paralon Berkekuatan**

Penggunaan material paralon untuk elemen struktur secara umum masih jarang dipakai oleh perencana karena keterbatasan sifat material tersebut. Dalam penelitian ini, material berbasis pipa paralon dimanfaatkan untuk sistem struktur atap, portal utama bangunan, dinding, dan elemen non-struktur (arsitektural) lainnya.

Keterbatasan model sambungan pipa paralon yang diproduksi dan dipasarkan di lapangan menjadi kendala utama dalam merencanakan struktur portal yang lebih kokoh, kuat, menyatu, dan memenuhi kaidah ilmiah sebagai struktur bangunan tahan gempa untuk *non-engineered building*, seperti Huntara, atau rumah hunian penduduk lainnya. Sedangkan membuat inovasi sambungan yang tidak dilakukan secara fabrikasi akan menghasilkan kekuatan yang lemah di sambungan terutama untuk menyatukan pipa elemen struktur yang lebih dari 3 batang bertemu dalam satu titik buhul. Untuk mengatasi masalah ini, penelitian lebih komprehensif perlu dilakukan dengan melibatkan langsung industri pipa paralon melalui skema kerjasama penelitian kolaboratif. Rekayasa pembuatan model sambungan pipa untuk kebutuhan portal utama tidak cukup dengan memodifikasi model sambungan fabrikasi yang ada, karena sambungan tersebut membutuhkan kekokohan, kekompakan, dan kekuatan setelah dipakai untuk merangkai beberapa elemen pipa yang harus disambung menjadi satu kesatuan titik buhul (*joint*), sehingga memenuhi kaidah stabilitas titik buhul dalam perspektif ilmu statika. Apabila permasalahan ini dapat teratasi, maka inovasi lebih lanjut untuk mengembangkan model-model sambungan yang memiliki kekuatan dan kekakuan guna menghasilkan bangunan Huntara yang tahan terhadap guncangan gaya gempa dapat terealisasi dengan baik. Pengembangan model sambungan PVC perlu mendapatkan perhatian serius dari para pemangku kepentingan, sekiranya material pipa paralon ini bisa diterima, diadopsi, dan dipraktikkan oleh masyarakat luas.

## **6.2. Inovasi penggunaan material alternatif pada sambungan elemen struktur**

Alternatif penggunaan material lain seperti baja ringan yang berkualitas dapat dimanfaatkan untuk keperluan yang sama dalam menyediakan kebutuhan rumah hunian khususnya masyarakat terdampak suatu bencana alam. Pengembangan berkesinambungan terhadap pemakaian material alternatif dengan memadukan antara pipa paralon dan baja ringan dengan biaya terjangkau oleh masyarakat bisa diteliti lebih lanjut sepanjang kinerja struktural dapat memenuhi standar teknis dan mengikuti SNI terkait.

Inovasi pada sambungan pipa paralon dengan menggunakan pelat baja ringan atau pelat baja, yang diperkuat dengan memasang mur-baut secukupnya, bisa menjadi solusi yang lebih memenuhi syarat stabilitas dan kekakuan sambungan. Selanjutnya untuk meningkatkan kuat tekan dan lentur pipa paralon dapat dilakukan dengan mengisinya menggunakan mortar, beton, atau material lain sejenis, yang memiliki kuat tekan/lentur sekurang-kurangnya setara dengan beton normal. Semakin tinggi kuat tekan material pengisi pipa, semakin tinggi kekuatan tekan/lentur yang dihasilkan. Kelebihan sistem sambungan pipa paralon dengan pelat baja adalah pipa dapat disambung mengikuti tata cara penyambungan elemen struktur kuda-kuda yang benar bahwa titik berat setiap elemen akan bertemu dalam satu titik buhul, sehingga kesetimbangan gaya di setiap titik buhul harus sama dengan nol. Persyaratan yang terakhir ini belum bisa dipenuhi dalam pembuatan benda uji kuda-kuda tipe 2, karena terdapat 3 elemen pipa yang bertemu di satu titik buhul, dan ditemukan 2 titik buhul dengan kondisi yang sama. Selain itu, tipe 2 ini bahkan memiliki 5 batang yang bertemu dalam satu titik buhul, sehingga struktur kuda-kuda tipe 2 ini menjadi kurang tepat/ideal dipandang dari perspektif ilmu mekanika, karena kebutuhan model sambungan PVC yang dibutuhkan tidak tersedia di pasaran. Di sisi yang lain, keinginan membuat inovasi dengan merekayasa model yang menjadi kebutuhan lapangan belum teruji dalam skala laboratorium dan keterbatasan referensi dan publikasi ilmiah terkait topik ini masih tinggi.

### **6.3. Pengembangan Model Elemen Struktur Dinding**

Kesulitan utama dalam memilih material dinding, yang dipasang pada portal pipa PVC adalah sistem penyambungan dan perlengkapan asesori yang diperlukan untuk membentuk elemen dinding yang kokoh, kuat, dan berfungsi dengan baik. Cukup banyak pilihan jenis material dinding yang bisa dipakai untuk memenuhi kebutuhan pembangunan Huntara atau bangunan untuk dipersiapkan ketika bencana alam terjadi. Di dalam pengembangan model struktur dinding hendaknya memperhatikan aspek kemanfaatan dan keterjangkauan ekonomi masyarakat serta memenuhi aspek keamanan, kenyamanan, dan kekuatan bangunan. Pengembangan model dinding ke arah modern biasanya identik membutuhkan biaya mahal, sehingga tidak terjangkau masyarakat terdampak. Untuk itu diperlukan strategi yang baik untuk pengembangan model dinding, yang memperhatikan kebutuhan dan kemampuan masyarakat luas.

### **6.4. Metode Pengujian Elemen Struktur Skala Penuh**

Setelah pengujian elemen struktur bangunan berhasil dilakukan dalam penelitian ini, maka untuk target pengujian mendatang lebih difokuskan pada pengujian struktur bangunan dengan skala penuh (1:1) dan tiga dimensi, yang diuji di laboratorium dengan diberikan beban siklis (jika memungkinkan peralatan uji tersedia) atau minimal beban lateral, dengan perlengkapan pengujian yang lengkap (Teguh, 2017), seperti *loading frame*, *rigid wall*, *rigid floor*, *load cell*, *strain gauge*, *LVDT*, *data logger*, laptop, dan perlengkapan bantu lainnya.

Pengujian bangunan skala penuh belum banyak dilakukan oleh para peneliti sebelumnya karena keterbatasan peralatan uji dan ketersediaan dana yang terbatas, namun apabila penelitian ini dilakukan kolaborasi dengan industry, maka keinginan untuk menguji kinerja struktur bangunan Huntara dapat direalisasikan. Selain pengujian laboratorium, analisis sistem tiga dimensi menggunakan analisis elemen hingga (*three dimensional finite element analysis*) dapat digunakan untuk menjustifikasi hasil-hasil yang diperoleh dari kedua model pengujian tersebut.

## BAB VII

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 7.1. Kesimpulan

Berdasarkan pembahasan terhadap hasil-hasil penelitian, dapat disimpulkan beberapa hal penting berikut ini.

1. Inovasi untuk penyediaan rumah sederhana Huntara T-24 berbahan dasar pipa paralon dan papan GRS, yang didesain sesuai kaidah rumah sederhana ramah gempa dan ramah lingkungan, sangat dibutuhkan khususnya untuk membantu menyelesaikan permasalahan kebutuhan rumah hunian sementara pasca bencana alam.
2. Pengujian material mortar dengan perbandingan 1PC:5Ps dan 1PC:3Ps menghasilkan kuat tekan yang cukup baik setara dengan mutu beton normal, sehingga bisa digunakan untuk material pengisi pipa paralon.
3. Pengujian elemen struktur
  - a. Kuat tekan dan lentur pipa paralon: pipa paralon kosong dan diisi dengan mortar baik untuk panjang 1 m maupun 2 m memiliki perbedaan kuat tekan dan lentur yang signifikan.
  - b. Kinerja struktural rangka kuda-kuda pipa paralon kosong tipe 2 lebih kuat dalam menahan beban gravitasi dibandingkan tipe 1, karena struktur pembentuknya lebih kokoh dan panjang batang tiap elemen lebih pendek.
  - c. Kinerja struktural dinding:
    - 1) Beban searah bidang (*in plane*), sistem portal dari rangkaian pipa paralon kosong dilapisi papan GRC pada kedua sisinya mampu menyerap beban lateral atau searah bidang yang baik.
    - 2) Beban diagonal geser (*shear diagonal*), sistem pembebanan ini lebih mencerminkan kompleksitas gaya-gaya yang bekerja pada sistem portal dari

pipa paralon kosong, yang dirangkai dengan papan GRC pada kedua sisinya serta diperkuat dengan mur-baut yang dipasang ada jarak 30-35 cm.

4. Beban tegak lurus bidang (*out of plane*), ternyata kurang maksimal karena dipengaruhi oleh ketebalan papan GRC dan jenis material pembentuknya.

## 7.2. Saran-saran

Beberapa saran berikut ini diuraikan dengan merujuk hasil penelitian ini, baik hasil pengujian material/elemen maupun struktur bangunan lainnya.

1. Kualitas material pengisi/mortar dapat ditingkatkan kuat tekannya dengan komposisi campuran yang lebih baik atau bisa digunakan material beton, beton serat, atau sejenis yang memiliki kuat tekan lebih tinggi dari mortar.
2. Model sambungan PVC yang diproduksi fabrikasi masih sangat terbatas untuk kebutuhan sambungan, yang bisa mempersatukan lebih dari 3 elemen pipa. Inovasi manual untuk kebutuhan sambungan PVC tidak dianjurkan karena kualitasnya tidak terjamin.
3. Material pipa paralon beserta perlengkapannya (sambungan PVC dan lem) dan papan GRC, yang dipakai sebagai material bahan konstruksi Huntara belum sepenuhnya memenuhi standar desain bangunan tahan gempa, sehingga masih diperlukan inovasi material, pengembangan elemen dan desain struktur, dan metode pelaksanaannya. Pipa paralon dan sambungan PVC yang akan dipakai untuk kebutuhan rangka kuda-kuda, kerangka/portal bangunan, perlengkapannya harus berkualitas baik dan tebal memenuhi standar SNI, minimal kelas AW atau lebih baik.
4. Perlu kajian perbandingan biaya ekonomis dan efektif untuk Pembangunan Huntara berbahan dasar pipa paralon dan papan GRC dengan menggunakan bahan lain seperti baja ringan atau perpaduan keduanya, agar biaya lebih terjangkau dan desainnya memenuhi kaidah bangunan tahan gempa.

## DAFTAR PUSTAKA

- BSN (2019). SNI 2847-2019: Persyaratan beton struktural untuk bangunan gedung dan penjelasan (2019), Percetakan BSI, Jakarta.
- BSN (2002). Metode Pengujian Kekuatan Tekan Mortar Semen Portland untuk Pekerjaan Sipil (SNI 03-6825-2002). Departemen Pekerja Umum. Bandung.
- BSN (2002). Perhitungan Kadar Lumpur dalam Agregat (SNI 03-1970-1990). Departemen Pekerja Umum. Bandung.
- BSN (2002). Spesifikasi Mortar untuk Pekerjaan Pasangan Dinding (SNI 03-6882-2002). Departemen Pekerja Umum. Bandung. Kementerian Pekerja Umum. (n.d.). Rumah Ber-SNI: Membangun Rumah Sederhana. <https://simantu.pu.go.id/content/?id=3607#!>
- Erlangga, W., Teguh, M., Saputro, I. T. (2022). Development of Time Histories Based on Shallow Crustal Earthquake Sources Considering the New Version of the Indonesian Earthquake Map, Proceedings of the 5th International Conference on Sustainable Civil Engineering Structures and Construction Materials, Springer, pp 483–496.
- Hadi, S., Takwin, R. N. A., dan Dani, A. (2016). Uji Kekuatan Tekan dan Kekuatan Lentur Pipa Air PVC, Jurnal Logic. Vol. 16. No.1. Maret 2016.
- Menteri Pekerja Umum dan Perumahan. (2016). Konstruksi Rumah Sederhana. [http://ciptakarya.pu.go.id/bangkim/simpp/portal/assets/public/03\\_Konstruksi\\_Rumah\\_Sederhana\\_2017.pdf](http://ciptakarya.pu.go.id/bangkim/simpp/portal/assets/public/03_Konstruksi_Rumah_Sederhana_2017.pdf)
- Nurjanah,dkk. 2012. Manajemen Bencana. Bandung: ALFABETA.
- Planningnotepad.com. (2012). Design Thinking Series #3: Rapid Prototyping. Planningnotepad.Com. <http://www.planningnotepad.com/2012/02/design-thinking-series-3-rapid.html>
- Rahman, A. P., Listiani, A., Susanti, E., Musthafa, H., Sena, P.G., Shafna, S. E. (2020). ANTARA: Antisipasi Bencana Dengan Huntara, Nuansa Cendekia, Bandung.
- Sibima PUPR. (2017). SNI - Daftar Standar dan Pedoman Bahan Konstruksi Bangunan dan Rekayasa Sipil. [https://sibima.pu.go.id/pluginfile.php/39753/mod\\_resource/content/1/Resume Daftar SNI Bidang Konstruksi.pdf](https://sibima.pu.go.id/pluginfile.php/39753/mod_resource/content/1/Resume_Daftar_SNI_Bidang_Konstruksi.pdf)
- Skok, D. (2021). Startup Roadmap: 9 Steps to Repeatable, Scalable and Profitable Growth. For Entrepreneur. <https://www.forentrepreneurs.com/startup-roadmap/>

- Teguh, M. (2016). Structural Behaviour of Precast Reinforced Concrete Frames on a Non- Engineered Building Subjected to Lateral Loads. *International Journal of Engineering and Technology Innovation (IJETI)*, Vol. 6, No. 2, 2016, halaman 152 – 164.
- Teguh, M. (2017). Experimental Evaluation of Masonry Infill Walls of RC Frame Buildings Subjected to Cyclic Loads. *Procedia Engineering* 171 (2017) 191-200.
- Teguh, M., and Rahmayanti, N. (2021). Flexural behavior of confined masonry walls using interlocking concrete blocks subjected to out-of-plane loads, *International Journal of GEOMATE (Indexed by Scopus, Q3, SJR = 0.3 (2019))*, May., 2021, Vol.20, Issue 81, pp.179-184.
- Teguh, M., Rivai, F. W., Rahmyanti, N., and Pradana, E. W. (2020). Experimental investigation on the interlocking concrete block for masonry wall of non-engineered earthquake-resistant buildings, *E3S Web of Conferences*, indexed by Scopus (SJR 2018=0,17), Volume 156 (2020).
- Teguh, M., and Rahmayanti, N. (2021). Mechanical Properties of Various Models of Interlocking Concrete Blocks under In-Plane and Out-of-Plane Loads, *Key Engineering Materials*, indexed by Scopus, Q4, SJR = 0,20 (2021), Vol. 881, pp 149-156.
- UII. (2020). Rencana Strategis Universitas Islam Indonesia 2018-22022. <https://services.uui.ac.id/bpp/2021/06/25/rencanastrategis-universitas-islam-indonesia-2018-2022/>
- Universitas Islam Indonesia. (2021). Fact File 2021 UI Green Metric, World University Rankings.