



GRAHA ILMU

Kenyamanan Termal Ruang

Konsep dan Penerapan pada Desain

Dr. Sugini



Kenyamanan Termal Ruang

Konsep dan Penerapan pada Desain



GRAHA ILMU

Kenyamanan Termal Ruang

Konsep dan Penerapan pada Desain

Dr. Sugini

KENYAMANAN TERMAL RUANG; Konsep dan Penerapan pada Desain,

oleh Dr. Sugini

Hak Cipta © 2014 pada penulis



GRAHA ILMU

Ruko Jambusari 7A Yogyakarta 55283

Telp: 0274-882262; 0274-889398; Fax: 0274-889057

E-mail: info@grahailmu.co.id

Hak Cipta dilindungi undang-undang. Dilarang memperbanyak atau memindahkan sebagian atau seluruh isi buku ini dalam bentuk apa pun, secara elektronik maupun mekanis, termasuk memfotokopi, merekam, atau dengan teknik perekaman lainnya, tanpa izin tertulis dari penerbit.

ISBN: 978-602-262-175-1

Cetakan ke I, tahun 2014

PRAKATA

Bismillahirrohamanirrohim

Pukur dipanjatkan kepada Allah SWT atas terselesaikannya buku dengan judul “Kenyamanan Termal Ruang-Konsep dan Penerapan pada Desain”. Buku ini ditujukan untuk referensi bagi berbagai pihak berkaitan dengan topik kenyamanan termal ruang aktivitas dan rekayasanya seperti mahasiswa arsitektur baik S1, S2 atau S3, dosen atau pengembang ilmu rekayasa termal termasuk para praktisi yang berkecimpung dalam rekayasa bangunan dan ruang lain. Ruang dalam hal ini meliputi ruang bangunan sampai dengan ruang interior terkecil.

Setelah membaca buku ini maka diharapkan para pembaca akan dapat memahami apa itu kenyamanan termal, mengapa itu menjadi penting dan sejauh mana ilmu itu telah dikembangkan baik dalam tataran paradigmatis, konsep, teori serta modelnya. Selain itu, pada ranah yang lebih aplikatif, setelah membaca buku ini diharapkan pembaca akan mendapatkan gambaran bagaimanakah kenyamanan termal terbentuk dalam ruang dan bagaimanakah rekayasa dalam desain dilakukan agar kualitas nyaman termal ruang tercapai.

Buku ini distrukturkan dalam delapan bab yang masing-masing berisi tentang: Bab 1 berisi pendahuluan yang menjelaskan penting dan kritisnya judul buku ini. Bab ini berisi sub topik kenyamanan termal ruang aktivitas dan dilema dalam isu penciptaan lingkungan yang berkelanjutan dan sub topik perkembangan studi topik kenyamanan termal ruang; Bab 2, berisi uraian tentang paradigma dan konsep kenyamanan termal yang akan menjelaskan perkembangan dan paradigma-paradigma dalam studi kenyamanan termal, konsep, variabel-variabel

yang berkaitan dengan kenyamanan termal serta teori bagaimana variabel-variabel tersebut terkonstruksi; Bab 3 berisi tentang indeks termal ruang yang akan membicarakan perkembangan indeks kenyamanan termal ruang dari awal sampai saat ini, yang kemudian pembahasan akan lebih fokus pada indeks termal ruang PMV yang digunakan sebagai dasar standar ISO untuk kenyamanan termal. Pada bagian ini juga disajikan usulan model pengembangan PMV oleh penulis yaitu PMV_{tap} dan PMV_{tapsem} yang sampai saat buku ini ditulis sedang dalam proses penelitian berkelanjutan; Bab 4 menguraikan beberapa penelitian lain yang berkaitan dengan topik dan model kenyamanan termal baik di Indonesia ataupun di Dunia; Bab 5 berisi tentang rentang dan standar termal nyaman. Dalam bagian ini dijelaskan tentang termal netral, rentang nyaman termal dari berbagai hasil penelitian di dalam negeri atau di luar negeri termasuk yang dilakukan oleh penulis serta standar termal nyaman berdasarkan indeks termal yang digunakan dalam rekayasa ruang untuk kenyamanan termal; Bab 6 mengurai gambaran kualitas termal ruang di beberapa kasus bangunan yang pernah diteliti penulis; Bab 7 menyampaikan arahan desain dalam rekayasa kenyamanan termal ruang dan penerapan model indeks PMV_{tap} dalam proses desain pada umumnya dan SNI 03-6572-2001 pada khususnya; Bab 8 menjelaskan rekayasa alamiah bangunan untuk termal dan model penyelesaian persoalan kenyamanan termal dalam desain bangunan. Pada bagian ini, selain disampaikan prinsip penyelesaian persoalan kenyamanan termal dalam desain secara teoritis, juga disampaikan penerapan prinsip tersebut dalam praxis di kasus Tugas Akhir Kesarjanaan di prodi Arsitektur yang menjadi bimbingan penulis.

Banyak sekali pihak yang mendukung terselesaikannya buku ini. Beberapa data dan gambar pelengkap diambil atau dimodifikasi oleh penulis dari sumber yang telah disebutkan namanya. Penulis sangat berterimakasih kepada pihak-pihak tersebut dan semoga berkenan adanya. Secara institusional penulis berterima kasih kepada Universitas Islam Indonesia tempat penulis berkarier selama ini, khususnya kepada Prodi Arsitektur Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan UII beserta segenap pimpinannya, Rektor, Dekan dan KaProdi. Selain itu penulis berterima kasih kepada DIKTI karena telah memberikan hibah untuk penerbitan buku ini. Secara personal penulis berterima kasih kepada para Guru, Dosen, Pembina Riset terutama Prof. Achmad Djunaedi, Jatmiko Adi Suryabrata, Ph.D, Alm. Dr. Sugiyanto, Alm. Mas Santosa Ph.D, Prof. Sudaryono, Alm. Dr Ardi Pardiman dan pendamping penulisan buku ini Prof. Prasasto Satwiko. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada Teman Sejawat di Prodi Arsitektur FTSP UII serta adik-adik mahasiswa yang tidak dapat disebutkan namanya satu persatu. Dalam kesempatan ini penulis juga berterima kasih kepada suami tercinta Dadang Aruman Sudarsono dan anak-anak terkasih Fajar Muhamad Gustav, Rizky Muhamad Ramadhan dan Aulia Rahma Nastiti atas pengorbanan, kemakluman dan dukungan moril sehingga buku ini dapat selesai.

Usaha terbaik sudah dilakukan namun demikian tiada gading yang tak retak, pastilah ada kesalahan dan kekurangan yang harus diperbaiki. Untuk itu penulis mengharapkan masukannya di email sugini@uii.ac.id. Di luar itu semua, penulis mengharap agar buku ini bermanfaat adanya.

Tiada daya upaya selain ijin Allah, segala kebenaran datangnya dari Allah dan segala kealpaan adalah milik penulis sebagai manusia ciptaanNya yang jauh dari sempurna, semoga Allah memaafkan segala kesalahan dan kekurangan, semoga Allah ridho dan melimpahkan barokah pada buku ini dan bagi para pembaca sekalian.

Yogyakarta, Oktober 2013

Sugini

DAFTAR ISI

PRAKATA	v
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR TABEL	xxiii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Kenyamanan Termal dan Isu Penciptaan Lingkungan yang Berkelanjutan	1
1.2. Perkembangan Studi Topik Kenyamanan Termal Ruang	7
BAB II PARADIGMA DAN KONSEP KENYAMANAN TERMAL.....	15
2.1. Paradigma-Paradigma dalam Studi Kenyamanan Termal ...	15
2.2. Variabel yang Berkaitan dengan Kenyamanan Termal	23
BAB III INDEKS TERMAL RUANG	49
3.1. Perkembangan Indeks Termal	49
3.2. Model PMV	56
3.3. Model <i>adaptif Auliciems, De Dear & Brager dan Nicol & Humphreys</i>	67
3.4. Model indeks kenyamanan termal PMVtap.....	68
3.5. Model-Model yang Mungkin Dikembangkan	77

BAB IV	BEBERAPA PENELITIAN TENTANG TOPIK DAN MODEL KENYAMANAN TERMAL RUANG	83
	4.1. Penelitian-Penelitian Lain di Luar Indonesia yang Berkaitan dengan Penelitian Indeks Termal PMV	83
	4.2. Penelitian-Penelitian Kenyamanan Termal Di Indonesia ...	86
BAB V	RENTANG DAN STANDAR TERMAL NYAMAN.....	95
	5.1. Termal Netral dan Rentang Nyaman Termal	95
	5.2. Parameter Kenyamanan Termal PMV _{tap} dan Termal Netral	107
BAB VI	GAMBARAN KUALITAS TERMAL RUANG DI BEBERAPA KASUS BANGUNAN DI YOGYAKARTA	121
	6.1. Sebaran Lokasi Kasus Bangunan dan Sampel.....	121
	6.2. Teknik Penentuan Jumlah Sampel	124
	6.3. Metoda Pengukuran	125
	6.4. Kualitas Termal Ruang Bangunan Kasus.....	128
	6.5. Kualitas Termal Ruang Seluruh Kasus Bangunan	143
	6.6. Kualitas Ruang Berdasarkan Stimulus Kepadatan, Kuat Penerangan, Keterbukaan Visual Ruang dan Kebisingan....	144
	6.7. Gambaran, Pengalaman dan Gaya Hidup Termal Penghuni	150
	6.8. Penilaian Penghuni terhadap Kebebasan dalam Mengendalikan Penghawaan Ruang	152
	6.9. Karakteristik Fisiologis, Demografi dan Status Sosial Penghuni Ruang	153
	6.10. Kondisi Termal Lingkungan Luar.....	157
BAB VII	ARAHAN DESAIN UNTUK KENYAMANAN TERMAL RUANG DAN PENERAPAN MODEL INDEKS PMVTAP	161
	7.1. Strategi Pengendalian Iklim Ruang	161
	7.2. Pendekatan Rekayasa Bangunan untuk Kenyamanan Termal	163
	7.2.1. Metoda untuk menetapkan arahan desain bangunan untuk kenyamanan termal berdasarkan kerangka langkah penetapan desain bangunan Lippsmiere	164
	7.2.2. Diagram Kenyamanan termal <i>SET</i> , <i>Discomfort</i> dan <i>w</i> dalam Morris & Markus.....	166
	7.2.3. Tabel <i>Mahoney</i>	169
	7.2.4. Diagram <i>Olgay</i>	176
	7.2.5. Diagram <i>Givoni</i>	177

7.3. Penerapan Model dalam Proses Desain pada Umumnya.....	180
7.4. Model PMVtap dan SNI 03-6572-2001	182
BAB VIII REKAYASA DESAIN DAN MODEL PENYELESAIAN PERSOALAN KENYAMANAN TERMAL	187
8.1. Kulit Bangunan, Lantai Dinding dan Atap	188
8.2. Bentuk Massa	198
8.3. Rekayasa Orientasi Bangunan untuk Termal	209
8.4. Bukaan Ventilasi dan Peneduhan	223
8.5. Rekayasa Ruang Luar untuk Kenyamanan Termal	227
DAFTAR PUSTAKA	237
GLOSARIUM	247
INDEKS	251

7.3. Penerapan Model dalam Proses Desain pada Umumnya.....	180
7.4. Model PMVtap dan SNI 03-6572-2001	182
BAB VIII REKAYASA DESAIN DAN MODEL PENYELESAIAN PERSOALAN KENYAMANAN TERMAL	187
8.1. Kulit Bangunan, Lantai Dinding dan Atap	188
8.2. Bentuk Massa	198
8.3. Rekayasa Orientasi Bangunan untuk Termal	209
8.4. Bukaan Ventilasi dan Peneduhan	223
8.5. Rekayasa Ruang Luar untuk Kenyamanan Termal	227
DAFTAR PUSTAKA	237
GLOSARIUM	247
INDEKS	251

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1	<i>Aspek guna dalam rekayasa ruang aktivitas dan bangunan</i>	2
Gambar 2	<i>Proporsi pemanfaatan energi dunia 1998</i>	4
Gambar 3	<i>Proporsi pemanfaatan energi hingga tahun 2020.....</i>	5
Gambar 4	<i>Komposisi penggunaan energi dunia berdasar jenis sumber energi.....</i>	5
Gambar 5	<i>Sebaran Gas Rumah Kaca Hingga Th 2000.....</i>	6
Gambar 6	<i>Peningkatan temperatur bumi hingga tahun 2000</i>	7
Gambar 7	<i>Skema peta taksonomi studi kenyamanan termal</i>	8
Gambar 8	<i>Skema taksonomi alternatif paradigma sebagai sikap dalam melihat kenyamanan termal</i>	16
Gambar 9	<i>Sistem Jejak Sensasi Sakit dan Temperatur</i>	16
Gambar 10	<i>Pengaruh stimulus suhu terhadap reseptor dingin, hangat, nyeri dingin dan nyeri panas</i>	17
Gambar 11	<i>Proses perolehan panas dan pembuangan panas badan</i>	18
Gambar 12	<i>Keseimbangan panas fisiologis.....</i>	18
Gambar 13	<i>Kondisi dalam badan ketika terjadi peningkatan produksi panas badan dan atau disertai penurunan proses buang panas melalui evaporasi, radiasi konveksi dan konduksi.....</i>	19

Gambar 14	Kondisi dalam badan ketika terjadi penurunan produksi panas badan dan atau disertai peningkatan proses buang panas melalui evaporasi, radiasi konveksi dan konduksi.....	19
Gambar 15	<i>Vasodilasi</i> terjadi pada kondisi panas, <i>vasokonstriksi</i> terjadi pada kondisi dingin.....	20
Gambar 16	Skema pencapaian kondisi homeostatis berdasarkan pada paradigma termo-adaptif-fisiologis.....	21
Gambar 17	Prinsip kerja termoregulator perilaku	22
Gambar 18	Skema kaitan kerja stres lingkungan fisik, sistem termoregulator, Sensasi kenyamanan termal dan variabel-variabelnya dalam pendekatan termo-adaptif-psikologis	23
Gambar 19	Contoh jenis pakaian, koefisien insulasi unit dan nilai insulasi pakaian.....	26
Gambar 20	Kondisi asimetri.....	28
Gambar 21	Skema proses persepsi dalam kaitan dengan stres lingkungan.....	30
Gambar 22	Teori <i>determinisme s-r</i>	33
Gambar 23	Teori <i>interaksionime s-o-r</i>	33
Gambar 24	Teori <i>Transaksionime S-O-T-R</i>	34
Gambar 25	Zona netral penghuni ruang, kesempatan adaptasi dan pengendalian ruang	35
Gambar 26	Skema Peta Sensori.....	36
Gambar 27	Skema kerangka teori variabel-variabel psikologis yang diduga berkaitan dengan persepsi kenyamanan termal	39
Gambar 28	Hubungan variabel-variabel kenyamanan termal dalam konsep kenyamanan termal termo adaptif psikologis	43
Gambar 29	Kenyamanan termal ruang yang dirasakan penghuni dalam paradigma termoadaptif fisiologis sebagai dasar model indeks termal PMV	45
Gambar 30	Kenyamanan termal ruang yang dirasakan penghuni dalam paradigma termoadatif psikologis sebagai dasar model indeks termal PMVtap.	45
Gambar 31	Parameter-parameter potensial penentu kenyamanan termal dalam model PMVtap termo adaptif psikologis	46

Gambar 32	Bias antara PMV dengan sensasi termal aktual skala ASHRAE.....	63
Gambar 33	Hubungan PMV dan prosentasi ketidakpuasaan antara tiga tipe bangunan yang berbeda: ventilasi alamiah, ventilasi mekanis, HVAC	64
Gambar 34	Proses penelitian	70
Gambar 35	Prosedur pengembangan model PMVtapsem.....	79
Gambar 36	Pathdiagram analisis SEM terhadap 900 data terpilih	80
Gambar 37	Zone nyaman termal menurut PMV Fanger dan zone nyaman pada lingkup umum berdasarkan PMVtap.	97
Gambar 38	Kurve estimasi regresi suhu udara (t_a) terhadap PMV.....	98
Gambar 39	Kurve estimasi regresi temperatur efektif ET^* terhadap PMV.	98
Gambar 40	Sebaran lokasi tujuh unit bangunan.....	122
Gambar 41	Suhu udara di DIY	123
Gambar 42	Kelembaban udara DIY	123
Gambar 45	Sebaran populasi pada unit bangunan.....	124
Gambar 46	Sebaran sampel pada unit bangunan.....	124
Gambar 47	Alat untuk mengukur suhu udara dan suhu radiasi (a), termometer bola kering, bola basah dan bola hitam yang dirakit dengan sensor termocouple (b) serta pembaca data digital yang dapat melayani 10 sensor secara bersamaan (c).....	125
Gambar 48	Alat pengukur kecepatan angin, anemometer.....	126
Gambar 49	Pengukur kelembaban, hygrometer yang menyatu dengan pengukur tekanan suara dan kuat penerangan	126
Gambar 50	Ilustrasi persiapan pengambilan data: seting alat.....	127
Gambar 51	Ilustrasi persiapan pengambilan data: cek pengkabelan	127
Gambar 52	Pengambilan data pada ruang kantor bersama (a), ruang kantor pribadi (b), ruang kelas (c) dan ruang workshop/produksi pabrik mtg (d)	128
Gambar 53	Ilustrasi bentuk bangunan rektorat UII	128

Gambar 54	Ruang dalam, aktivitas dan pakaian dalam pekerjaan kantoran di unit rektorat UII	129
Gambar 55	Kualitas termal ruang subyektif di rektorat UII.....	130
Gambar 56	Kualitas termal ruang obyektif di rektorat UII	130
Gambar 57	Ilustrasi bentuk bangunan Mataram Tunggal Garment.....	130
Gambar 58	Ilustrasi ruang dalam, aktivitas, pakaian di perkantoran (a), aktivitas ruang produksi pabrik sewing (b), cutting (c dan d) di MTG	131
Gambar 59	Kualitas termal ruang subyektif di MTG.....	132
Gambar 60	Kualitas termal ruang obyektif di MTG.....	132
Gambar 61	Ilustrasi bentuk bangunan jurusan Teknik Arsitektur FT UGM	132
Gambar 62	Ruang dalam, aktivitas dan pakaian responden di arsitektur UGM pada ruang kelas klasikal (a), studio (b) dan kantor administrasi akademik serta kantor dosen (c dan d).....	133
Gambar 63	Kualitas termal ruang subyektif di arsitektur UGM	134
Gambar 64	Kualitas termal ruang obyektif di arsitektur UGM	134
Gambar 65	Ilustrasi bentuk bangunan FTSP UII.....	134
Gambar 66	Ruang dalam, aktivitas dan pakaian responden di FTSP UII pada ruang kuliah (a), (b) dan ruang kantor (c), (d).....	135
Gambar 67	Kualitas termal ruang subyektif di FTSP UII	136
Gambar 68	Kualitas termal ruang obyektif di FTSPUII.....	136
Gambar 69	Ilustrasi bentuk bangunan kantor pusat UGM	137
Gambar 70	Ilustrasi ruang dalam, aktivitas dan pakaian responden di kantor pusat UGM.....	137
Gambar 71	Kualitas termal ruang subyektif di kantor pusat UGM.....	138
Gambar 72	Kualitas termal ruang obyektif di kantor pusat UGM	138
Gambar 73	Ilustrasi gedung Psikologi UGM	139
Gambar 74	Ilustrasi ruang dalam, aktivitas dan pakaian responden di Psikologi UGM	139
Gambar 75	Kualitas termal ruang subyektif di Psikologi UGM	140

Gambar 76	Kualitas termal ruang obyektif di Psikologi UGM.....	140
Gambar 77	Ilustrasi gedung Psikologi UII	141
Gambar 78	Ilustrasi ruang dalam, aktivitas dan pakaian responden di Psikologi UII.....	141
Gambar 79	Kualitas termal ruang subyektif di Psikologi UII	142
Gambar 80	Kualitas termal ruang obyektif di Psikologi UII.....	142
Gambar 81	Kualitas termal ruang subyektif berdasar voting responden ..	144
Gambar 82	Kualitas termal ruang obyektif berdasarkan indeks PMV ..	144
Gambar 83	Perbedaan kualitas termal berdasar voting responden dengan PMV	144
Gambar 84	Kualitas kesesakan ruang berdasarkan persepsi penghuni terhadap stimulus kepadatan orang.....	145
Gambar 85	Kualitas kepadatan orang dalam ruang	145
Gambar 86	Kualitas kesesakan ruang berdasarkan persepsi penghuni terhadap stimulus kepadatan barang/perabot.....	146
Gambar 87	Kualitas kepadatan barang/perabot dalam ruang	146
Gambar 88	Ilustrasi variasi kepadatan ruang dengan kualitas kesesakan yang berbeda	147
Gambar 89	Kualitas penerangan gelap terang ruang berdasarkan persepsi penghuni terhadap stimulus kuat penerangan gelap terang.....	147
Gambar 90	Kualitas kuat penerangan ruang.....	147
Gambar 91	Kualitas keterbukaan visual ruang berdasarkan persepsi penghuni terhadap keterbukaan visual keluar.....	148
Gambar 92	Kualitas keterbukaan visual ruang berdasarkan perbandingan luas bukaan visual terhadap luasan bidang pelingkup	148
Gambar 93	Ilustrasi variasi kualitas gelap terang ruang yang berbeda ..	148
Gambar 94	Ilustrasi variasi kualitas keterbukaan visual ruang ke luar ..	149
Gambar 95	Kualitas kebisingan ruang berdasarkan penilaian penghuni terhadap stimulus kebisingan.....	149
Gambar 96	Kualitas kebisingan ruang.....	149

Gambar 97	Penghuni dan gambaran bayangan kenyamanan termalnya terhadap ruang yang akan direspon.....	150
Gambar 98	Penghuni dan pengalaman ketidaknyamanan termal.....	150
Gambar 99	Penghuni dan lama waktu tinggal di ruang ber AC dalam kesehariannya rata-rata.	151
Gambar 100	Penghuni dan jenis penghawaan dominan di rumah.....	152
Gambar 101	Penghuni dan jenis penghawaan dominan di tempat kerja (r. Kuliah/kantor/pabrik)	152
Gambar 102	Penghuni dan kebebasan mengendalikan penghawaan ruang dalam kesehariannya.....	153
Gambar 103	Penghuni dan kebebasan mengendalikan penghawaan di ruang yang direspon.....	153
Gambar 104	Sebaran responden berdasarkan karakteristik jenis kelamin	154
Gambar 105	Sebaran responden berdasarkan karakteristik usia	154
Gambar 106	Sebaran responden berdasarkan karakteristik tingkat pendidikan.....	155
Gambar 107	Sebaran responden berdasarkan karakteristik jenis pekerjaan	155
Gambar 108	Sebaran responden berdasarkan pendapatan pribadi	156
Gambar 109	Sebaran responden berdasarkan pendapatan bersama keluarga.....	157
Gambar 110	Karakteristik suhu udara luar.....	158
Gambar 111	Karakteristik kelembaban relatif udara luar.....	158
Gambar 112	Kecepatan angin luar arah Utara.....	159
Gambar 113	Kecepatan angin luar arah Timur.....	159
Gambar 114	Kecepatan angin luar arah Selatan.....	159
Gambar 115	Kecepatan angin luar arah Barat.....	159
Gambar 116	Kerangka langkah penetapan arahan desain menurut Lippsmiere.....	164
Gambar 117	Skema tahapan penetapan arahan desain untuk kenyamanan termal menurut Lippsmiere.....	166

Gambar 118	Diagram <i>Olgay</i> untuk input data kabupaten Sleman berdasarkan data sekunder	177
Gambar 119	Contoh hasil analisis dengan diagram <i>Givoni</i> di daerah Yogyakarta selama satu tahun.....	179
Gambar 120	Contoh hasil analisis dengan diagram <i>Givoni</i> di daerah Yogyakarta pada bulan Januari	179
Gambar 121	Contoh hasil analisis dengan diagram <i>Givoni</i> di daerah Yogyakarta pada bulan Febuari.....	180
Gambar 122	Aplikasi model temuan dalam proses desain	181
Gambar 123	Perencanaan teknis sistem pengkondisian udara	184
Gambar 124	Usulan alternatif penerapan model PMVtap pada prosedur perencanaan teknis sistem pengkondisian udara untuk pengembangan SNI 03-6572-2001	184
Gambar 125	Perpindahan panas secara konduksi.....	188
Gambar 126	Perpindahan panas secara konveksi.....	189
Gambar 127	Perpindahan panas secara radiasi.....	190
Gambar 128	Tiga sifat termal material	191
Gambar 129	Ilustrasi termal kapasitas, a) paling kiri rendah, b) tengah sedang, c) paling kanan tinggi	192
Gambar 130	Nilai U.....	193
Gambar 131	Faktor aliran panas matahari.....	194
Gambar 132	Waktu selang	195
Gambar 133	Tipe arsitektur rumah dengan material berbeda pada iklim yang berbeda	195
Gambar 134	Material Kayu pada bangunan Tradisional	196
Gambar 135	Sebuah Rumah Vernakular dari kayu di Sulawesi Selatan, Indonesia	196
Gambar 136	Dinding batu kali 2,5 bata dengan penyelesaian plester.....	197
Gambar 137	Dinding batu kali ekspos	197
Gambar 138	Rasio luas permukaan dan volume dan kapasitas termal (<i>thermal capacity</i>) serta faktor kehilangan panas (<i>heat loss</i>)	199

Gambar 139	Gubahan massa rumah Bali	200
Gambar 140	Rumah panggung di Sulawesi.....	200
Gambar 141	Rumah panggung di Sulawesi Selatan.....	201
Gambar 142	Anatomi massa berdasarkan jumlah rongga ruangnya	202
Gambar 143	Modifikasi rumah tradisional di Pulau Samosir Indonesia dengan proporsi yang pipih memanjang.....	203
Gambar 144	Blok massa gedung laboratorium terpadu UII.....	204
Gambar 145	Denah, tampak dan potongan gedung laboratorium terpadu UII.....	204
Gambar 146	Massa rongga tunggal dengan tata ruang selasar dua sayap	205
Gambar 147	Penentuan ruang antara berdasarkan sudut ruang antara bangunan.....	206
Gambar 148	Penerapan <i>space angle</i> pada desain	207
Gambar 149	Pengaruh ketinggian langit langit dengan kenyamanan termal	208
Gambar 150	Bukaan ventilasi bawah pada gedung laboratorium terpadu UII.....	209
Gambar 151	<i>Azimuth</i> dan <i>Altitude</i> (Sumber: Lippsmiere,1990).....	211
Gambar 152	Diagram matahari.....	212
Gambar 153	Peta pedoman waktu	213
Gambar 154	Diagram angin dengan skala ketebalan.....	214
Gambar 155	Diagram angin dengan skala jumlah garis.....	214
Gambar 156	Contoh visualisasi peta angin hasil software	215
Gambar 157	Lokasi kasus model 1	216
Gambar 158	Gubahan massa dengan orientasi berdasarkan pertimbangan mendapatkan angin yang besar dan menghindari arah matahari negatif sehingga kenyamanan termal tercapai.....	219
Gambar 159	Posisi bukaan dengan pembayang	222
Gambar 160	Contoh variasi bukaan dan pembayang pada praktek rekayasa bangunan untuk termal.....	223

Gambar 161	Prinsip perhitungan pembayang horisontal, p_h didasari oleh sudut jatuh bayangan vertikal (SBV).....	226
Gambar 162	Prinsip perhitungan pembayang vertikal, p_v didasari oleh sudut jatuh bayangan horisontal (SBH).....	227
Gambar 163	Permukaan tanah akan menentukan perolehan panas ruang atau bangunan	228
Gambar 164	Perbandingan kemiringan tanah dengan intensitas radiasi matahari.....	230
Gambar 165	<i>Orientasi site</i> terhadap matahari akan menentukan potensi site terhadap perolehan kualitas radiasi matahari yang dibutuhkan bangunan	231
Gambar 166	Variasi intensitas pulau panas perkotaan (<i>urban heat island</i>) berdasarkan perbedaan temperatur maksimum harian antara pusata urban dan sub urban di sanghai.....	232
Gambar 167	Penataan lansekap dengan tatanan pohon membentuk lorong angin	233
Gambar 168	Contoh penataan elemen vegetasi yang membentuk tanggul angin.....	234
Gambar 169	Bayangan angin dalam <i>site</i>	235
Gambar 170	Peneduhan dengan vegetasi yang tepat pada posisi11i yang tepat.....	235

DAFTAR TABEL

Tabel 1	Aktivitas dan nilai metabolisme	25
Tabel 2	Indikator termal dan karakteristiknya.....	51
Tabel 3	Skala sensasi kenyamanan termal dari ASHRAE dan bedford ...	61
Tabel 4	Tipe iklim Atkinson dan karakteristiknya.....	66
Tabel 5	Hasil proses peroleh model	71
Tabel 6	Zone nyaman termal berdasarkan model khusus pada kelompok kasus yang spesifik	99
Tabel 7	Ploting, model regresi ta dan ET* terhadap PMV dan nilai batas nyaman termal ta dan ET* pada kelompok kasus spesifik	104
Tabel 8	Perbandingan hasil penelitian Sugini, 2007 dengan penelitian-penelitian lain sebelumnya	115
Tabel 9	Kualitas termal ruang obyektif bangunan rektorat UII.....	129
Tabel 10	Kualitas termal ruang obyektif bangunan MTG.....	131
Tabel 11	Kualitas termal ruang obyektif bangunan arsitektur FT UGM....	134
Tabel 12	Kualitas termal ruang obyektif bangunan FTSP UII	136
Tabel 13	Kualitas termal ruang obyektif bangunan kantor pusat UGM.....	138

Tabel 14	Kualitas termal ruang obyektif bangunan Psikologi UGM.....	140
Tabel 15	Kualitas termal ruang obyektif bangunan Psikologi UII.....	142
Tabel 16	Unjuk kerja termal ruang dalam bangunan lingkup populasi.....	143
Tabel 17	Adubois, level metabolisme aktivitas dan pakaian.....	154
Tabel 18	Suhu udara luar °C (ta), kelembaban udara relatife luar %(rh), dan Kecepatan angin luar m/dt arah utara (vu)/timur (vt)/selatan(vs)/barat (vb).....	158
Tabel 19	Strategi pengendalian iklim ruang.....	162
Tabel 20	Contoh hasil identifikasi data untuk analisis dengan tabel Mahoney	170
Tabel 21	Contoh hasil analisis dengan Tabel Mahoney	171
Tabel 22	Contoh hasil rekomendasi berdasarkan analisis dengan Tabel Mahoney	172
Tabel 23	Input data kabupaten Bantul dan hasil print outnya	173
Tabel 24	Contoh hasil print out analisis berdasarkan Tabel Mahoney dengan data sekunder kabupaten Bantul	174
Tabel 25	Rekomendasi hasil analisis dengan Tabel Mahoney untuk data sekunder kabupaten Bantul.....	175
Tabel 26	Input data bioklimatik kabupaten Sleman	176
Tabel 27	Input data pada simulasi Tabel Givoni untuk kota Yogyakarta ...	178
Tabel 28	Suhu lingkungan.....	217
Tabel 29	Kelembaban sekitar lokasi.....	217
Tabel 30	Pemecahan persoalan orientasi massa dan gubahan massa untuk kenyamanan termal model kasus.....	218
Tabel 31	Uji letak pembayang berdasarkan simulasi azimuth	220
Tabel 32	Material dan reflektivitasnya	229

BAB I

PENDAHULUAN

Pengantar

Bab pendahuluan ini adalah bab yang ditujukan agar para pembaca memahami mengapa pembicaraan tentang kenyamanan termal dan rekayasannya menjadi penting. Kesadaran pentingnya topik yang diurai dalam buku ini menjadi penting sebagai motivasi dalam menyelesaikan pembacaan buku ini. Secara lebih rinci para pembaca diharapkan menjadi paham bahwa usaha pencapaian kenyamanan termal dalam desain ruang aktivitas menjadi dilematis dalam penciptaan lingkungan berkelanjutan. Setelah menyelesaikan bab ini pembaca juga dapat mengetahui perkembangan studi kenyamanan termal.

1.1. Kenyamanan Termal dan Isu Penciptaan Lingkungan yang Berkelanjutan

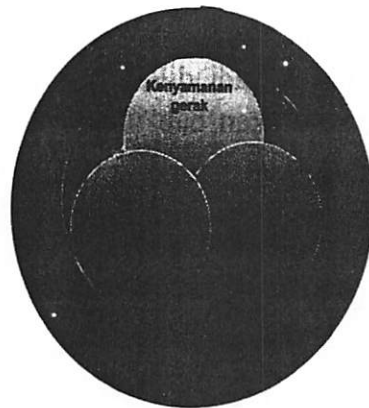
Kenyamanan termal dan ruang aktivitas

Ruang aktivitas dalam bangunan sebagai wujud dari produk desain arsitektur mempunyai beberapa fungsi. Pertama sebagai pelindung (*shelter*), ke dua sebagai wadah aktivitas dan ke tiga mempunyai fungsi sosial budaya (Markus & Moris, 1980). Dalam kaitannya sebagai fungsi pelindung, maka ruang bangunan harus mampu menjaga agar penghuni tetap selamat dan aman dari tantangan, bahaya dan gangguan dari luar. Gangguan tersebut termasuk di dalamnya adalah tantangan iklim atau cuaca. Sebagai wadah aktivitas, ruang bangunan harus mewujudkan kondisi lingkungan yang paling nyaman untuk penyelenggaraan aktivitas secara maksimal.

Berdasarkan uraian Vitruvius dalam bukunya *de architectura* dapat disimpulkan bahwa sebuah bangunan arsitektur atau lebih luas lagi ruang aktivitas lingkungan buatan haruslah mengandung tiga kualitas yaitu *firmitas*, *utilitas*, *venustas*. *Firmitas* adalah kekuatan, daya tahan, *utilitas* adalah berguna dan *venustitas* adalah keindahan. Dalam kegunaan maka sebuah ruang aktivitas dan bangunan haruslah memenuhi tuntutan paling dasar yaitu kenyamanan. Kenyamanan yang paling dasar adalah kenyamanan gerak, termal termasuk dalam hal ini adalah penghawaan dan kenyamanan indrawi yang meliputi kenyamanan visual dan kenyamanan akustikal.

Intelektual, performansi persepsual manusia secara umum akan mencapai kondisi terbaik bila manusia itu ada dalam kondisi nyaman termal (Fanger, 1982). Pernyataan Fanger ini ternyata sesuai dengan kesimpulan Vitelg & Smith (1946) dalam Altman & Stokol (Alman & Stokol, 1987). Berdasarkan Fine & kobrick (1978), Worth (1950). Papler (1958) dalam Altman & Stokol (1987) dapat disimpulkan bahwa para pekerja kantor dan pabrik mengalami penurunan kemampuan pekerjaan repetitif mereka ketika mereka berada dalam ruang yang panas dan lembab.

Nyaman termal selain memegang peran dalam penciptaan kondisi ruang yang nyaman bagi aktivitas, juga akan berdampak pada kesehatan penghuni bangunan. Bell & Greene (1982) dalam Evans & Cohen (1987) mengatakan bahwa suhu *core* badan melebihi 37°C akan mengakibatkan *stroke*, kelelahan panas dan akhirnya mengantar pada kematian.



Gambar 1 Aspek guna dalam rekayasa ruang aktivitas dan bangunan

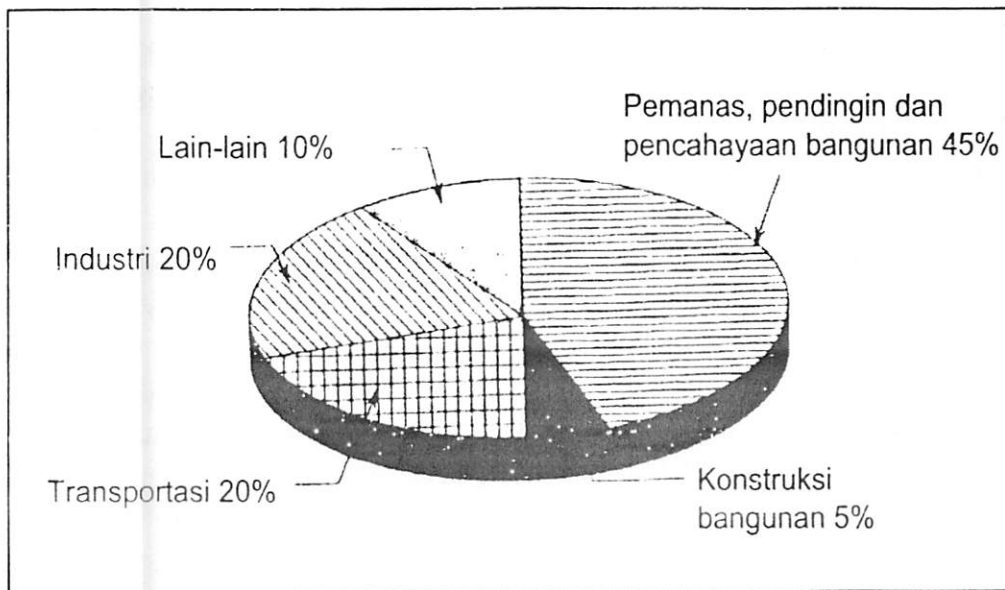
Berdasarkan uraian tersebut di atas dapat disimpulkan pentingnya pemenuhan tuntutan kenyamanan termal dalam desain ruang. Dengan demikian dapat disadari bahwa ruang haruslah memenuhi tuntutan aspek kenyamanan termal.

Rekayasa termal ruang dan penciptaan lingkungan berkelanjutan

Kesadaran pentingnya kenyamanan termal ruang mendorong dikembangkannya rekayasa pencapaian kenyamanan termal dengan berbagai cara. Penggunaan pendekatan aktif dalam pencapaian kenyamanan termal memang terbukti efektif. Persoalannya kemudian adalah bahwa sebagian besar usaha pemenuhan tuntutan kenyamanan termal bangunan dicapai melalui pemanfaatan sumber daya alam dengan eksploitasi yang tidak seimbang. Clements dan Croome menggambarkan adanya keunikan hubungan antara pencapaian kenyamanan termal dengan 'biaya' sumberdaya yang harus dikeluarkan. Keunikan tersebut haruslah berakhir pada keseimbangan yang paling menguntungkan tidak hanya pada jangka pendek tetapi juga jangka panjang. Dengan demikian desain ruang dan bangunan arsitektur tentulah harus merupakan perpaduan yang seimbang antara pemenuhan tuntutan kenyamanan termal dengan pemanfaatan sumber daya secara berkelanjutan. Dalam hal ini arsitek dan semua perekayasa ruang lainnya mempunyai peran untuk menjaga keberlangsungan sumber daya alam. Akan tetapi kecenderungan yang terjadi saat ini adalah berkebalikan. Usaha pemenuhan tuntutan kenyamanan termal dilakukan dengan semena-mena sehingga terjadi pemborosan sumber daya dan bahkan merusak lingkungan yang lebih luas.

Kondisi tersebut di atas dapat dilihat dari konsumsi energi saat ini. Di negara berkembang konsumsi energi meningkat dengan cepat. Bila dilihat dari kebutuhan energi berdasarkan rata-rata perkapita maka negara-negara berkembang diperkirakan berpotensi menaikkan konsumsi energi hingga 300%. Sementara itu dari keseluruhan konsumsi energi dunia, persentase terbesar pemanfaatan energi adalah untuk pendinginan dan pencahayaan bangunan yaitu 45 % (Rigg & Lahav, 2001 dalam Krishan, Yannas, Baker, Szokolay, 2001). Dalam hal ini pendinginan yang dilakukan dalam bangunan ditujukan untuk usaha pencapaian kenyamanan termal.

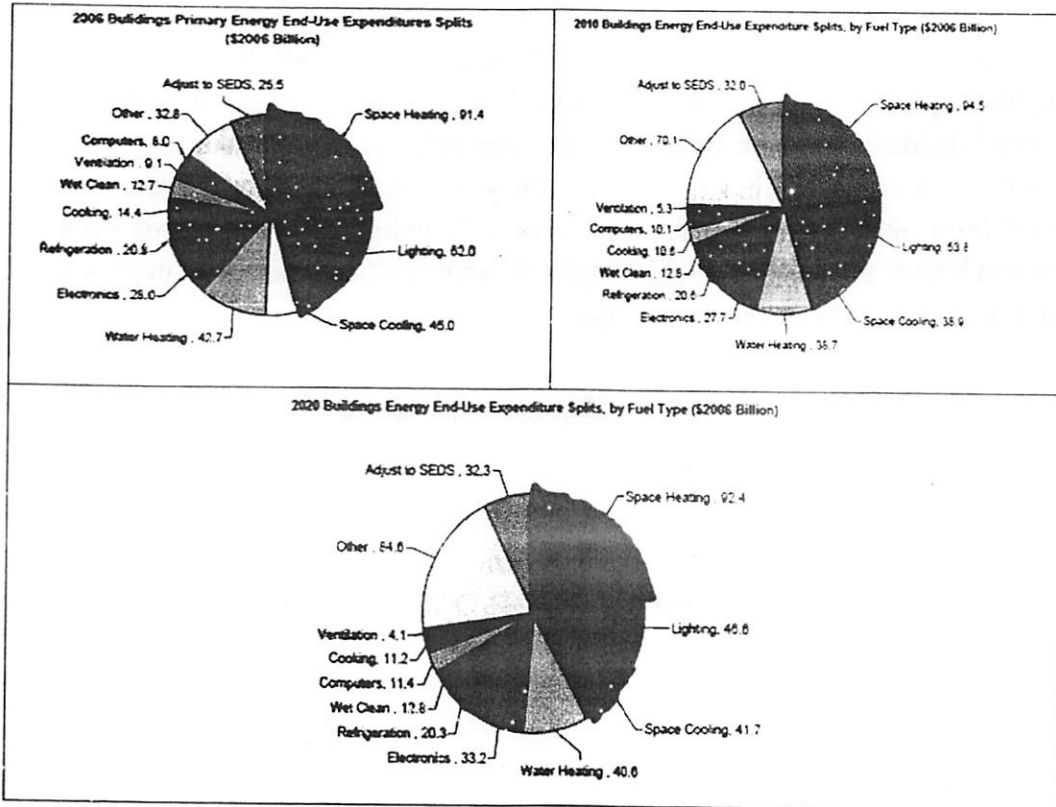
Gejala yang sama juga terjadi bila dilihat dari data statistik di Amerika. Gambar 3 menunjukkan konsumsi energi untuk berbagai variasi pengoperasian bangunan dalam dolar. Dapat dilihat bahwa dari tiga data gambar tersebut mulai tahun 2006, 2010 sampai prediksi 2020 terlihat bahwa jumlah konsumsi energi untuk urusan penghawaan ruang mendekati 40% .



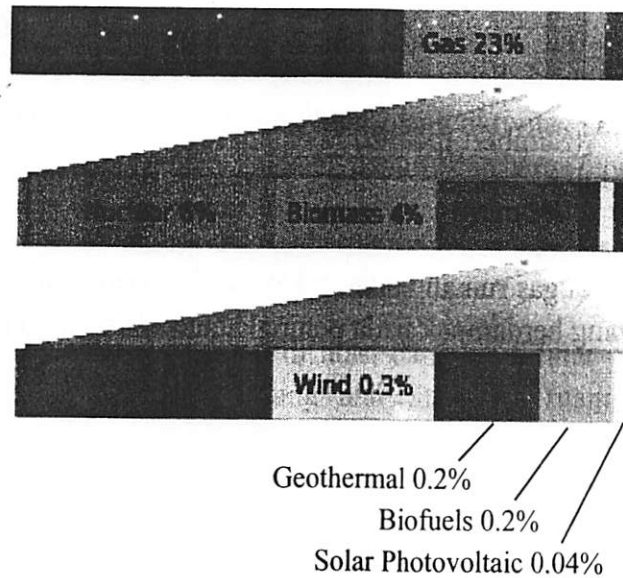
Gambar 2 Proporsi pemanfaatan energi dunia 1998

(Sumber: Tony Rigg & Ruth Lahav, 2001)

Tombazis (2001) mengatakan pada akhir abad ini 50% penduduk dunia telah tinggal di daerah urban. Dua puluh persen darinya mengkonsumsi 80% dari total energi yang tersedia. Lima puluh persen energi tersebut digunakan untuk membangun dan mengoperasikan bangunan. Energi tersebut sebagian besar bersumber pada bahan bakar yang sulit bahkan tidak dapat diperbaharui yaitu bahan bakar fosil. Gambar 4 menunjukkan bahwa proporsi sumber energi dunia yang dimanfaatkan terbesar adalah minyak yaitu sebesar 37%.

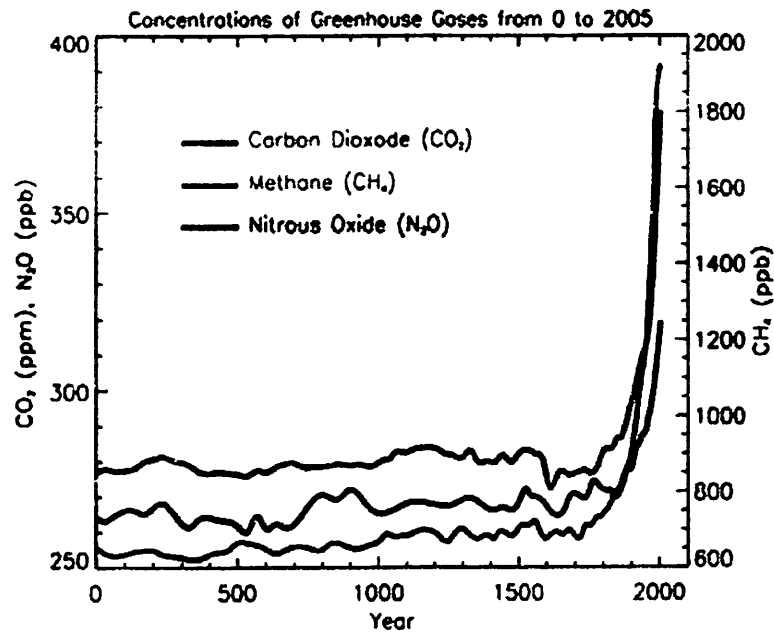


Gambar 3 Proporsi pemanfaatan energi hingga tahun 2020
(Sumber: D&R International, Ltd, 2008)



Gambar 4 Komposisi penggunaan energi dunia berdasar jenis sumber energi
(Sumber: British Petroleum, 2006 dalam Wikipedia, Down Load 2011)

Selain ketidakseimbangan yang berkenaan dengan pemborosan energi, penggunaan penghawaan buatan ternyata berdampak pada kerusakan lingkungan. Seperti telah diketahui sistem penghawaan buatan melibatkan proses refrigasi yang melibatkan gas-gas berbahaya merusak ozon yang membahayakan lingkungan. Nicol (2003) menyimpulkan bahwa ternyata 75% polusi karbon dioksida pada bangunan kantor sewa bersumber dari operasi bangunan yang menyangkut proses pendinginan, pemanasan, fan dan pompa.

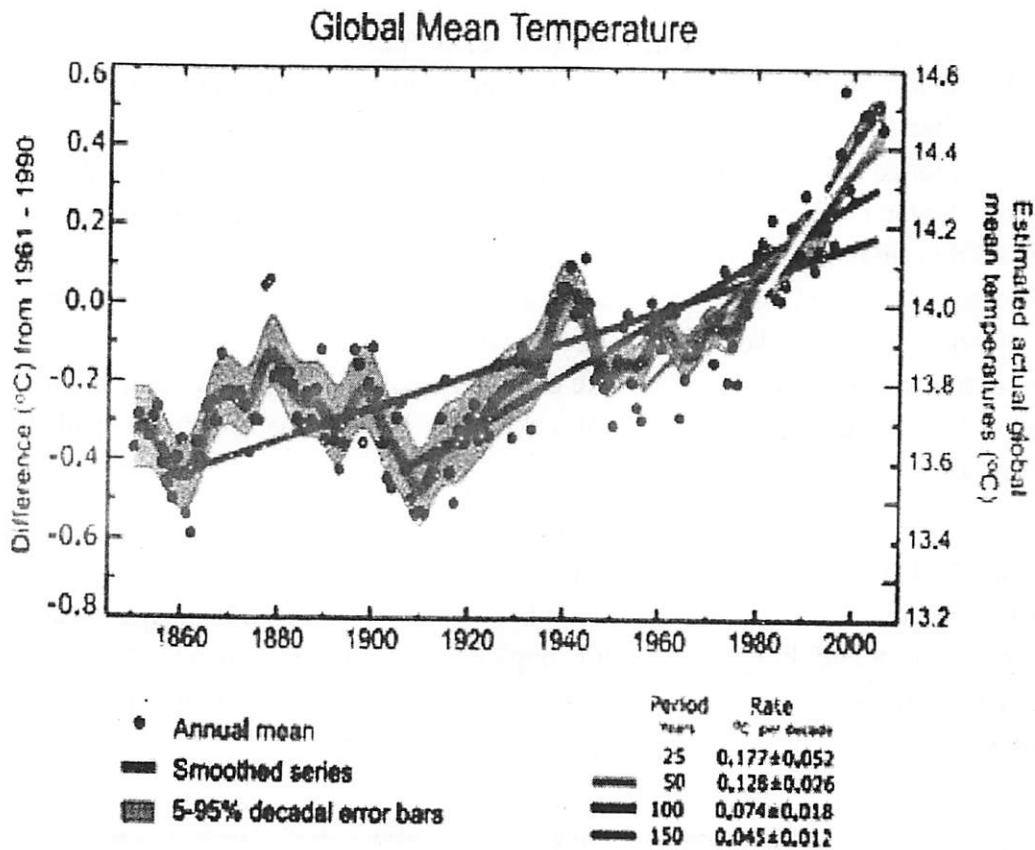


Sumber: IPCC (2007)

Gambar 5 Sebaran Gas Rumah Kaca Hingga Th 2000

(Sumber: Ipc, 2007 dalam Kamase, 2008)

Penggunaan gas *refrigeran* pada rekayasa kenyamanan termal makin meningkatkan emisi gas rumah kaca yang berdampak pada peningkatan reradiasi panas ke bumi yang berdampak pada peningkatan suhu bumi.



Source: IPCC (2007)

Gambar 6 Peningkatan temperatur bumi hingga tahun 2000

(Sumber: Ipcc, 2007 dalam Kamase, 2008)

Alenia tersebut di atas dapat memperlihatkan adanya dilema yang terjadi dalam pemikiran desain ruang arsitektur dan ruang aktivitas pada umumnya. Di satu sisi kenyamanan termal adalah hal yang penting dan harus dipenuhi, di sisi lain harus dipikirkan juga dengan serius usaha penghematan energi untuk konservasi sumber daya alam dan pengendalian polutan untuk menciptakan lingkungan yang berkelanjutan.

Berkaitan dengan hal tersebut di atas, dapatlah dilihat pentingnya topik kenyamanan termal dalam studi ruang arsitektur dan ruang aktivitas pada umumnya.

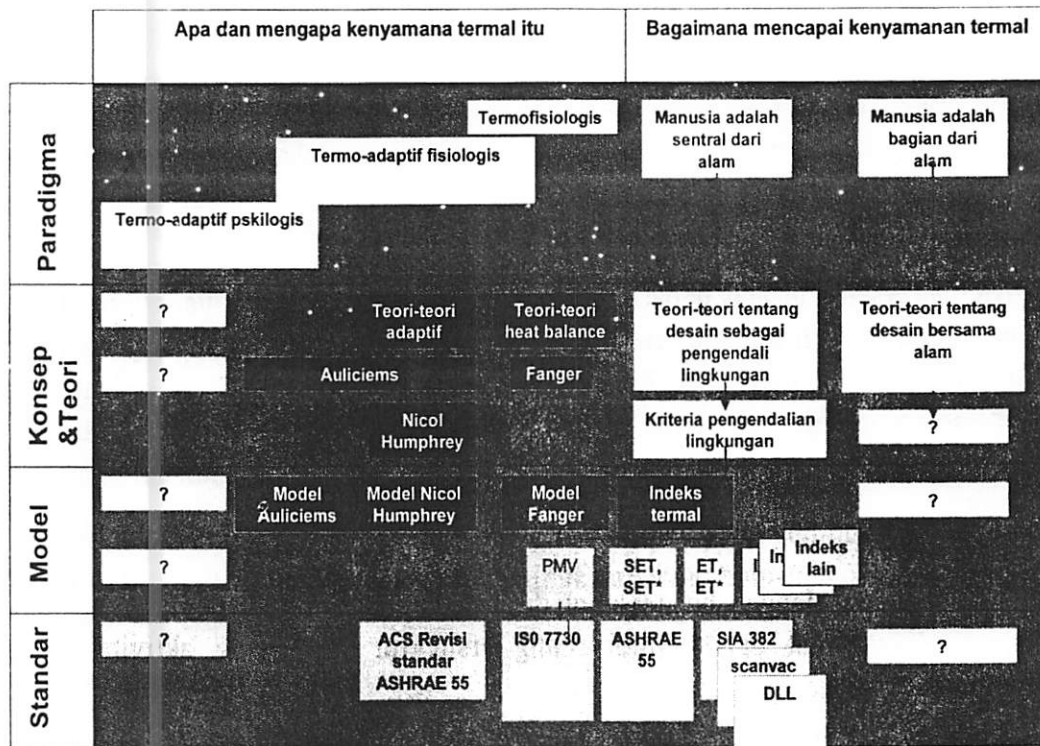
1.2. Perkembangan Studi Topik Kenyamanan Termal Ruang

Taksonomi area studi kenyamanan termal dalam dunia arsitektur

Keraf dan Dua (2001) membagi macam-macam pengetahuan menurut polanya menjadi empat. Macam pengetahuan tersebut adalah tahu akan, tahu bahwa, tahu mengapa dan tahu bagaimana.

Sugini (2002) berdasarkan pada pembagian pengetahuan menurut Keraf dan Dua menyusun taksonomi studi kenyamanan termal seperti yang tergambar pada Gambar 7. Dalam studi kenyamanan termal terdapat dua sub area besar. Area pertama adalah sisi yang memfokuskan pada studi-studi untuk memastikan jawaban tentang pertanyaan “apa dan mengapa” kenyamanan termal itu. Area ke dua adalah area yang memfokuskan studi-studinya pada “bagaimana kenyamanan” tersebut harus dicapai. Area pertama akan memastikan tuntutan dari isi yang harus diwadahi oleh ruang bangunan arsitektur pada khususnya dan ruang aktivitas pada umumnya. Area ke dua, memastikan bagaimana tuntutan isi tersebut harus dipenuhi oleh bangun arsitektur dan bangun ruang aktivitas pada umumnya.

Pada masing-masing sub area besar tersebut terdapat paradigma-paradigma yang melahirkan konsep dan teori serta model-model yang berbeda dalam melihat apa itu kenyamanan termal dan bagaimana kenyamanan termal harus dicapai. Dua area ini saling mendukung membentuk lingkaran proses yang sinergis. Namun demikian untuk kepentingan studi, harus ditetapkan titik awal studi itu harus dimulai.



Gambar 7 Skema peta taksonomi studi kenyamanan termal

(dikembangkan dari Sugini, 2003)

Kenyamanan termal dan perkembangan studinya

Pada awalnya usaha penemuan kenyamanan termal dilakukan bersamaan dengan dikembangkannya ilmu obat-obatan dan *thermometry* pada abad 18 dan 19 (Bedford dalam Markus, Morris, 1980). Pada tahun 1923, Houghten, Yaglou dan koleganya merintis studi yang mengarah pada usaha pencarian indeks termal. Tiga parameter dalam variabel fisis berupa temperatur udara, kelembaban, kecepatan udara dikombinasikan dalam persamaan ET (*Effective Temperature*). Indeks termal ET ini akan memberikan sensasi yang kemudian didefinisikan sebagai *comfort* atau *discomfort* oleh seseorang di laboratorium. Prinsip ini kemudian dikembangkan untuk mencari indikator-indikator termal dan persamaannya yang dianggap lebih mendekati kenyamanan termal. Hingga pada tahun 1980, Herrington dan Gagge menemukan enam parameter yang menentukan kenyamanan termal. Temuan Herrington dan Gagge ini menjadi dasar kriteria *comfort* dari ASHRAE (*American Society of Heating Refrigeration and Air Conditioning Engineer*) selama satu dekade dan ditulis dalam *ASHRAE Handbook of Fundamentals*. Dari sini kemudian diusulkan indeks termal baru yang dimaksudkan untuk memperbaiki indeks termal yang telah dihasilkan terdahulu. Indeks termal baru tersebut antara lain ET* (*New Effective temperature*). ET* kemudian dikembangkan lagi sehingga didapat SET (*Standard Effective Temperature*). Indeks termal SET ini juga berdasar pada kerja Fanger. Pada bukunya *Thermal Comfort Analysis and Applications in Environmental Engineering*, 1982, Fanger menyampaikan satu model indeks termal yang disebut PMV.

Perkembangan dalam paradigma dan konsep serta model indikator kenyamanan termal

Perkembangan paradigma tentang kenyamanan termal telah bergerak mulai termofisiologis, termo-adaptif-fisiologis sampai pada termo-adaptif-psikologis.

Pada mulanya studi kenyamanan termal yang telah dilakukan dan telah banyak menjadi dasar standar serta arahan desain adalah teori dan konsep yang didasari anggapan bahwa variabel aspek fisik-fisiologis dapat dipisahkan dengan variabel aspek psikologis dan sosio kultural. Konsep dan teori ini didasari oleh dua paradigma termo fisiologis dan terutama oleh paradigma termo-adaptif-fisiologis.

Berdasarkan Markus & Morris (1980), Mc Intyre (1980), Fanger (1982), Nobert Lechner (1991) dan Moore (1993) dapat dirangkum bahwa kondisi nyaman termal tercapai apabila terjadi keseimbangan panas badan internal (*heat balance*). Keadaan nyaman tercapai bila badan dalam kondisi *homeostatis*. Hal ini tercapai bila produk panas badan internal dari proses metabolisme dikurangi evaporasi karena penguapan dari kulit dan pernafasan, dikurangi atau ditambah panas radiasi dan konveksi akibat transfer panas dari badan ke atau dari lingkungan sama dengan nol.

Dalam usaha untuk mencapai lingkungan yang nyaman termal telah berusaha disusun indeks termal. Indeks termal tersebut merupakan indikator yang melibatkan parameter yang telah "diuji" mempunyai hubungan dalam menentukan kenyamanan termal. Parameter itu adalah tingkat metabolisme, cara berpakaian, suhu udara, suhu radiasi, kecepatan angin dan kelembaban.

Adapun indeks termal populer yang telah disusun adalah PMV. Pada perkembangannya, hasil penelitian lapangan (*non chamber*) yang berusaha tidak memisahkan subyek dengan lingkungannya menemukan bahwa indeks termal PMV beserta standar yang telah dibuat berdasarkan (standar ISO) ternyata tidak dapat digunakan untuk memprediksi dengan tepat. Beberapa penelitian yang menjadi dasar kesimpulan tersebut adalah penelitian dari Jami (1995) di Pakistan, Williamson dkk (1995) di Australia, Karyono (1995) di Jakarta, Indonesia. Selain penelitian *non chamber* tersebut ternyata juga terdapat penelitian dengan *chamber* yang mengantar pada hasil tidak sesuaiannya indeks termal PMV dengan hasil percobaan (Shin-ichi, Jepang). Malama dan Sharples (1996) juga melakukan penelitian dengan *chamber* yang memungkinkan subyek untuk menentukan sendiri arah dan kecepatan angin di dalam ruang yang paling disukai. Dari sini juga ditemukan bahwa PMV tidak dapat digunakan untuk memprediksikan. Penemuan sejalan dengan pendapat Ong (1995) yang mengatakan model PMV sebagai dasar penetapan standar ISO 7730 lebih banyak menimbulkan pertanyaan dari pada pemecahan masalah, terutama untuk *desain individual*. Untuk itu Malama dan Sharples mengusulkan PS model. Suatu indeks termal yang diusulkan dapat digunakan pada kondisi yang memberikan penghuni kesempatan untuk aktif berpartisipasi dalam membentuk lingkungan.

Hasil-hasil penelitian tersebut di atas maka makin menguatkan dugaan diperlukannya dan pentingnya pengembangan paradigma baru. Dalam hal ini penulis menawarkan paradigma alternatif. Paradigma yang ditawarkan tersebut adalah paradigma termo-adaptif-psikologis. Paradigma ini sebenarnya tidak benar-benar baru. Keberadaan akan cara pandang paradigma ini sudah disadari, namun pada tingkat pengembangan bangun teori dan konsepnya masih merupakan hal yang baru untuk dimulai.

Pertanyaannya kemudian adalah apakah pengembangan paradigma baru yang ditawarkan tersebut juga diperlukan bagi Indonesia. Ada enam riset telah dilakukan berkaitan dengan topik kenyamanan termal di Indonesia. Keenam penelitian tersebut mengerucut pada kesimpulan adanya perbedaan yang signifikan antara penerapan model-model kenyamanan termal khususnya PMV dengan kenyamanan termal di ruang nyata di Indonesia, khususnya di Surabaya, Jakarta dan Yogyakarta.

Mas Santosa (1986) telah melakukan penelitian lapangan dengan melihat faktor iklim dan pengaruhnya pada desain bangunan di Indonesia. Penelitian dilakukan dengan responden yang berlokasi di Surabaya (pulau Jawa bagian Timur). Dari penelitiannya disimpulkan bahwa indikator termal yang berkaitan dengan kenyamanan termal di Indonesia adalah temperatur udara. Rentang nyaman termal berkisar $\pm 1.6^{\circ}\text{C}$ dari 27.1°C dan tidak berbeda secara signifikan bila dibandingkan dengan persyaratan termal untuk orang-orang di daerah iklim tropis hangat lembab pada umumnya. Dari penelitian ini juga disimpulkan bahwa pernyataan Fanger dalam penelitian-penelitiannya yang mengatakan bahwa hanya produksi panas metabolisme dan pakaian yang menentukan respon manusia terhadap temperatur lingkungan tidak terbukti.

Karyono (1995) berdasarkan penelitiannya menyatakan bahwa rentang nyaman termal pada bangunan perkantoran di Jakarta (pulau Jawa bagian Barat) adalah 23.3°C sampai dengan 29.5°C . Dari penelitian Karyono juga dapat disimpulkan bahwa indeks termal PMV tidak sesuai dengan respon pekerja kantor terhadap lingkungan termal ruangnya. Dari lapangan didapat bahwa standar yang didasarkan pada indikator PMV terlalu berlebihan untuk orang yang tinggal di Indonesia. Hal ini dapat menjadi petunjuk tentang telah terjadinya pemborosan energi pada operasional penghawaan buatan di Indonesia selama ini.

Pemborosan energi selama ini dapat diperjelas gambarannya berdasarkan pada Oseland (1994). Oseland menjelaskan bahwa pengurangan suhu satu derajat akan menghemat 10 % biaya penghawaan ruang. Penghematan 10 % ini berarti menghemat 5% dari total biaya bahan bakar yang dibutuhkan rumah tangga atau 3% untuk operasional kantor dengan penghawaan alamiah. Selain itu pengurangan satu derajat dalam desain ruang dengan penghawaan buatan akan berpotensi untuk mencegah terjadi emisi CO_2 yang berlebihan.

Uraian tersebut di atas mengantar pada kesimpulan bahwa model-model indikator kenyamanan termal yang didasarkan pada kerangka paradigma termo-adaptif fisiologis harus ditinjau kembali. Perlu dikembangkan model-model yang didekati dengan cara pandang yang berbeda. Alternatif cara pandang yang ketiga adalah paradigma termo-adaptif-psikologis. Permasalahannya adalah kemudian seperti apakah model-model indikator kenyamanan termal termo adaptif psikologis tersebut? Variabel-variabel apakah yang menentukan model-model indikator kenyamanan termal tersebut?

Untuk dapat menjawab permasalahan tersebut di atas dapat dilakukan dengan strategi mengembangkan model-model indikator kenyamanan termal termo-adaptif-fisiologis yang telah ada sekarang dan menemukan parameter-parameter yang menentukan model-model baru tersebut.

Indeks termal

Selama ini telah banyak dikembangkan bermacam-macam indeks termal. Di antara indeks termal yang sudah digunakan sebagai dasar pengembangan standar desain adalah PMV (*predicted mean vote*). PMV adalah model matematis berupa indeks yang memberikan gambaran dugaan jawaban *voting* tentang derajat kenyamanan termal sebuah ruang dengan suhu udara tertentu, suhu radiasi tertentu, kelembaban tertentu dan kecepatan angin tertentu bagi seseorang dengan aktivitas tertentu dan pakaian tertentu pula. PMV diformulasikan oleh Fanger, didasarkan oleh penelitiannya sendiri dan hasil dari penelitian Nevin dkk (Fanger, 1982). Penelitian-penelitian pendukung untuk melengkapi asumsi dasar formula PMV telah cukup lengkap. Pada sisi praxis PMV adalah indeks yang populer dan menjadi dasar penyusunan standar ISO 7730. Standar ini digunakan para insinyur untuk penetapan desain yang berkenaan pencapaian kenyamanan termal seperti AC dan sebagainya. Namun penelitian-penelitian lanjutan dari berbagai peneliti, terutama Humphreys dan Nicol menyimpulkan adanya bias yang signifikan antara PMV dan hasil *voting* dari responden di ruang-ruang nyata. Satu penyebab keberadaan bias tersebut adalah perbedaan individual (*individual differences*). PMV diduga telah mengeliminir faktor perbedaan individu.

Dalam paradigma kenyamanan termal termo-adaptif-psikologis, selain ditentukan perbedaan fisiologis *individual* dan variabel fisik iklim mikro ruang, maka kenyamanan termal ditentukan oleh perbedaan psikologis *individual*. Dalam hal ini perbedaan psikologis *individual* berkaitan dengan proses psikologis seseorang dalam mempersepsi stimulus termal lingkungan. Proses mempersepsi stimulus termal lingkungan tersebut berkaitan dengan persepsi seseorang terhadap pengalaman termal masa lalu. Cara seseorang mempersepsi pengalaman termal masa lalu secara subyektif dan kondisi obyektif pengalaman termal masa lalu seseorang berkaitan dengan situasi sosial dan kontekstual termal masa lalunya.

Indeks termal PMV_{tap} diusulkan oleh Sugini (2007) berdasarkan pada riset disertasinya dan telah dipublikasi dalam jurnal Internasional tahun 2012. Indeks ini dihasilkan dengan strategi pemecahan permasalahan melalui pencarian model dengan mengembangkan PMV melalui pencarian pola perbedaan hasil *voting* di lapangan dengan PMV. Dalam pencarian indeks PMV_{tap} tersebut Sugini juga sekaligus mengidentifikasi parameter-parameter variabel perbedaan-perbedaan psikologis *individual* yang menentukan pola perbedaan tersebut. Model ini pada tahun 2013 mulai dikembangkan lagi dengan pendekatan SEM sesuai rekomendasi hasil risetnya di tahun 2007.

Pertanyaan-Pertanyaan untuk Dijawab

Berikut adalah beberapa pertanyaan untuk dijawab:

1. Jelaskanlah mengapa pembicaraan tentang kenyamanan termal dan rekayasannya menjadi penting.
2. Berikanlah kasus-kasus aktual dan kontekstual yang menunjukkan dilema yang menunjukkan pentingnya kenyamanan termal dan rekayasannya
3. Gambarkanlah peta area studi kenyamanan termal.
4. Jelaskanlah perkembangan studi kenyamanan termal dengan menunjukkan perbedaan-perbedaan penekanan dan atau paradigma yang ada.

oooOooo

BAB II

PARADIGMA DAN

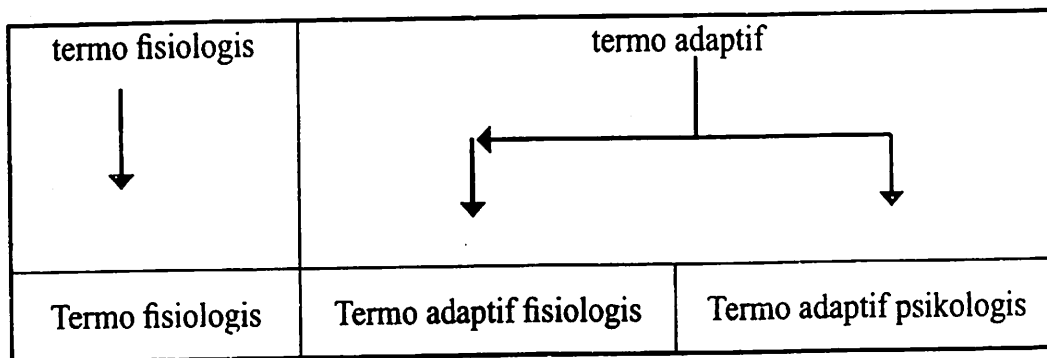
KONSEP KENYAMANAN TERMAL

Pengantar

Bab ini ditujukan agar setelah membaca bagian ini pembaca memahami paradigma yang telah berkembang dalam studi kenyamanan termal. Secara lebih detail setelah membaca bagian ini diharapkan pembaca dapat lebih memahami konsep-konsep yang berkembang dalam paradigma-paradigma yang ada. Pemahaman akan keberagaman paradigma dan konsep-konsep yang berkembang di dalamnya akan memberikan dampak kepada pembaca dalam bersikap tepat pada konteks kasus pembicaraan kenyamanan termal dan rekayasanya.

2.1. Paradigma-Paradigme dalam Studi Kenyamanan Termal

Berdasarkan peta taksonomi studi kenyamanan termal Sugini (2002) dan Hoppe (2002), maka Sugini (2003) menyusun tiga paradigma tentang apa dan mengapa kenyamanan termal itu. Taksonomi paradima tersebut dapat dilihat pada Gambar 8 berikut.



Gambar 8 Skema taksonomi alternatif paradigma sebagai sikap dalam melihat kenyamanan termal

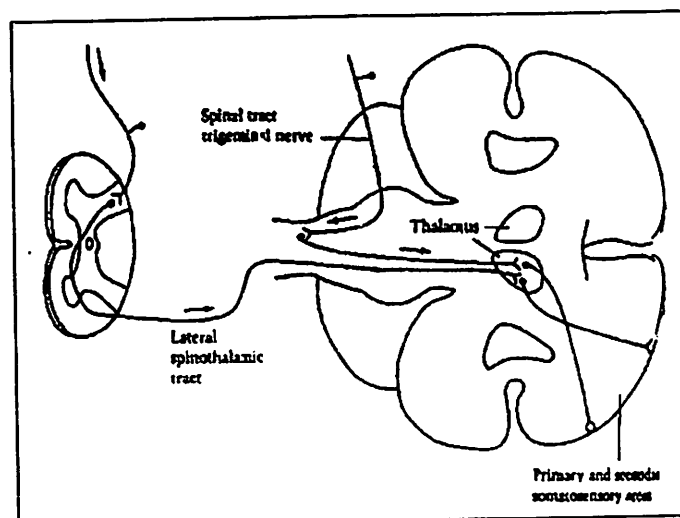
(Sumber: Sugini, 2007)

Tiga paradigma tersebut adalah termo-fisiologis, termo-adaptif-fisiologis dan termo-adaptif-psikologis. Tiga paradigma tersebut mendefinisikan konsep kenyamanan termal sebagaimana terinci sebagai berikut.

2.1.1. Termofisiologis

Kenyamanan termal sebagai proses *thermophysiological* menganggap bahwa nyaman dan tidaknya lingkungan termal akan tergantung pada menyala dan matinya signal nyeri dari syarat reseptor termal yang terdapat di kulit dan otak.

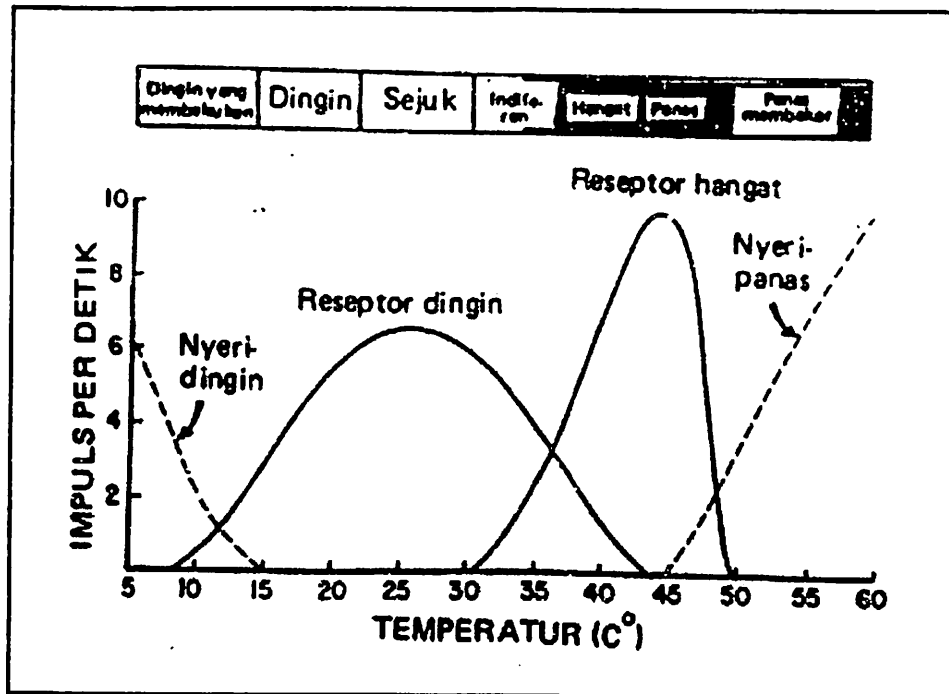
Sensasi temperatur akan dimulai dengan dibawanya informasi hangat dan dingin oleh sistem syarat melalui bagian-bagian yang spesifik menuju ke bagian otak yang disebut thalamus (Farland, 1981), seperti terlihat pada gambar berikut:



Gambar 9 Sistem Jejak Sensasi Sakit dan Temperatur

(Sumber : Farland, 1981)

Tingkatan suhu dibedakan oleh organ sensoris reseptor dingin, reseptor hangat dan reseptor nyeri. Reseptor nyeri meliputi reseptor nyeri dingin dan reseptor nyeri panas. Reseptor dingin dan hangat terletak di bawah kulit yang terletak secara terpisah. Pada Gambar 10 dapat dilihat karakter pengaruh stimulus suhu terhadap reseptor suhu sensasi dingin, sejuk, hangat dan panas.



Gambar 10 Pengaruh stimulus suhu terhadap reseptor dingin, hangat, nyeri dingin dan nyeri panas

(Sumber: Guyton, 1922)

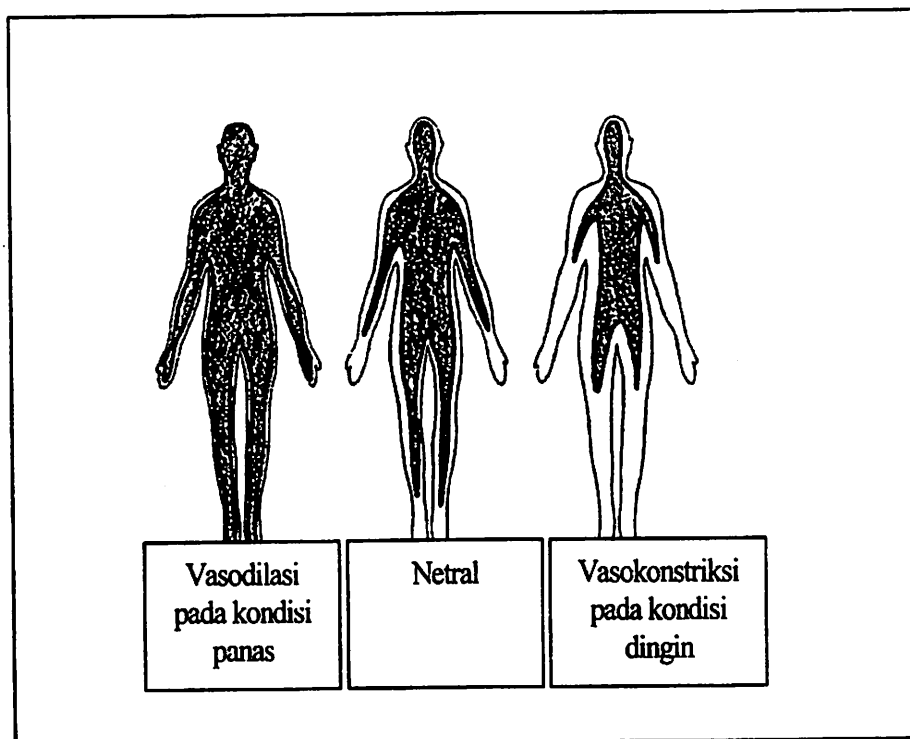
Namun selanjutnya diketahui bahwa reseptor suhu mempunyai kemampuan untuk beradaptasi terhadap stimulus suhu. Keterangsangan reseptor suhu akan menurun bersamaan dengan lama waktu stimulus suhu yang sama. Kemudian akan terjadi keterangsangan reseptor suhu lagi bila terjadi perubahan stimulus suhu.

2.1.2. Thermo-Adaptif –Fisiologis

Pendekatan adaptasi fisiologis dalam hal ini adalah pendekatan *heat balance* (keseimbangan panas) yang dalam hal ini nyaman termal dicapai bila aliran panas ke dan dari badan manusia seimbang dan temperatur kulit serta tingkat berkeringat badan ada dalam rentang nyaman. Di dalam proses tersebut akan terjadi adaptasi fisiologis dengan mengandalkan kerja termoregulator fisiologis.

Pencapaian keseimbangan panas akan menyebabkan kondisi seimbang. Kondisi seimbang ini disebut homeostatis. Apabila terjadi kondisi tidak setimbang, maka *hypothalamus* (bagian otak yang berfungsi sebagai termostat) akan memerintah sistem termoregulator badan untuk melakukan aktivitas internal dalam badan yang akan mengembalikan kesetimbangan panas tersebut. Aktivitas-aktivitas tersebut berupa mekanisme berkeringat, sistem isolator tubuh, perubahan aliran darah, dsb (Guyton, 1992). Demikian seterusnya proses fisiologis pencapaian keseimbangan panas itu terjadi. Sistem termoregulator akan mengalami pembiasaan dengan lingkungan klimatis dan bentuk aktivitasnya sehingga akan tercapai *aklimatisasi*.

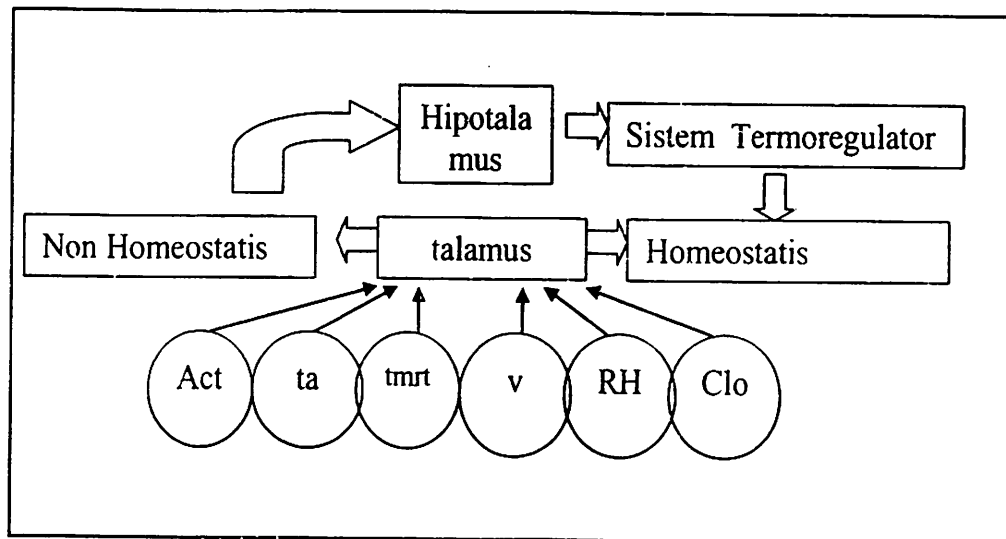
Proses simpan dan buang panas sesuai kebutuhan keseimbangan panas juga melibatkan proses *vasodilasi* dan *vasokonstriksi*. Proses *vasodilatasi* adalah proses penyebaran aliran darah ke permukaan tubuh. Dengan tersebarnya darah ke permukaan tubuh akan membuat suhu kulit lebih tinggi dari lingkungan. Kondisi ini menyebabkan terjadinya proses pembuangan panas yang lebih cepat ke lingkungan. Sebaliknya proses *vasokonstriksi* akan mempertahankan aliran darah tetap terkumpul pada bagian dalam tubuh (Gambar 15). Kondisi ini menyebabkan suhu kulit lebih dingin dari lingkungan. Hal ini menyebabkan terjadinya penghambatan pelepasan panas ke lingkungan.



Gambar 15 *Vasodilasi terjadi pada kondisi panas, vasokonstriksi terjadi pada kondisi dingin.*

(Sumber: Edholm, 1978 dalam Moore, 1993)

Berdasarkan uraian tersebut di atas dapat digambarkan sistem pencapaian kondisi homeostatis dalam pendekatan *termo-adaptif-fisiologis* dapat digambarkan dalam ilustrasi sebagai berikut dalam Gambar 16.

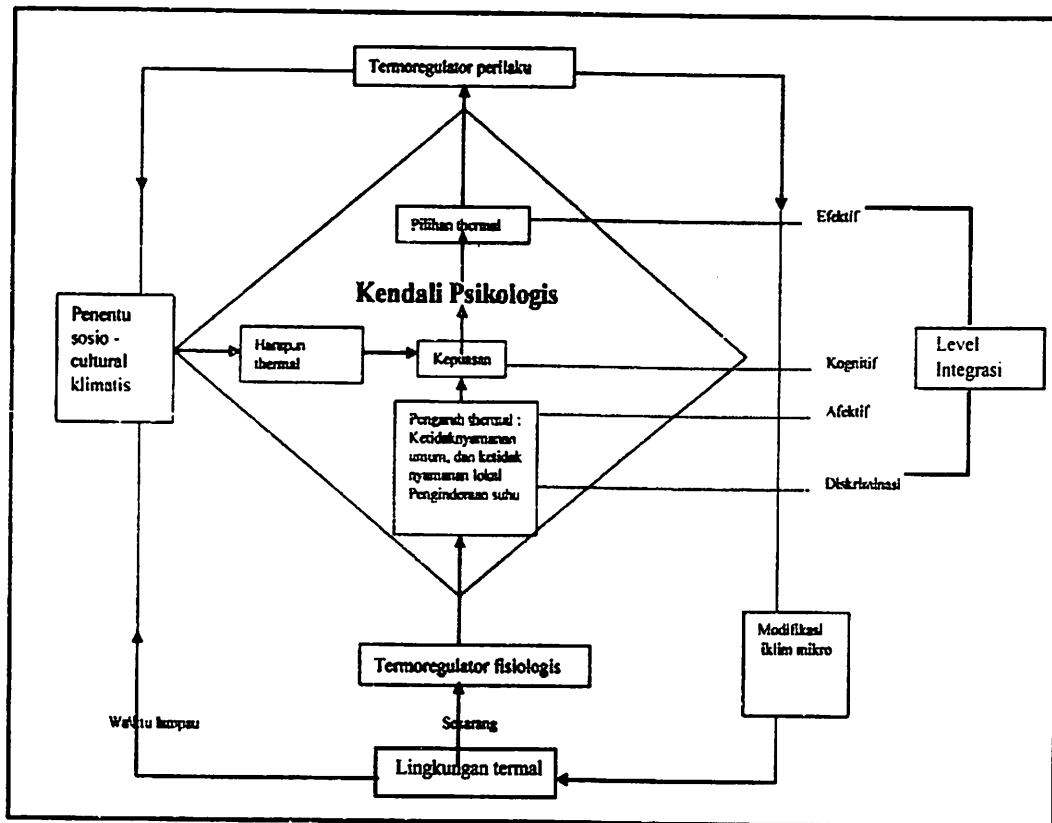


Gambar 16 Skema pencapaian kondisi homeostatis berdasarkan pada paradigma termo-adaptif-fisiologis (Sumber, Sugini, 2007)

Adaptasi fisiologis yang berlangsung lama karena terbentuk oleh kondisi iklim membentuk suatu komposisi keseimbangan baru yang khas disebut proses *aklimatisasi*. *Aklimatisasi* adalah proses adaptasi yang pada awalnya lebih berkonotasi adaptasi fisiologis melalui mekanisme adaptasi fisiologis (bell dkk, 2001). Mallick (1996) mendapatkan bahwa kecenderungan orang pada berbagai lokasi yang berbeda akan mengalami aklimatisasi yang berbeda. Orang yang telah lama tinggal di daerah yang panas cenderung akan lebih toleran terhadap suhu yang panas. Sebaliknya orang yang sudah terbiasa lama tinggal di daerah dingin akan cenderung toleran dengan kondisi dingin.

2.1.2. Termo-Adaptif-Psikologis

Dalam pendekatan termo-adaptif-psikologis kenyamanan termal adalah kondisi pikiran yang mengekspresikan kepuasan dengan lingkungan termalnya. Pencapaian kondisi nyaman termal akan berkaitan dengan *thermal neutrality*. *Thermal neutrality* adalah suatu kondisi yang menyebabkan seseorang lebih suka pada keadaan yang tidak lebih hangat atau tidak lebih dingin dari kondisi itu. Di dalam proses tersebut akan terjadi proses adaptasi fisiologis, psikologis dengan mengandalkan kerja termoregulator perilaku baik *overt behavior* atau *covert behavior*. Auliciems menggambarkan kerja termoregulator perilaku sebagai terskemakan pada Gambar 17.

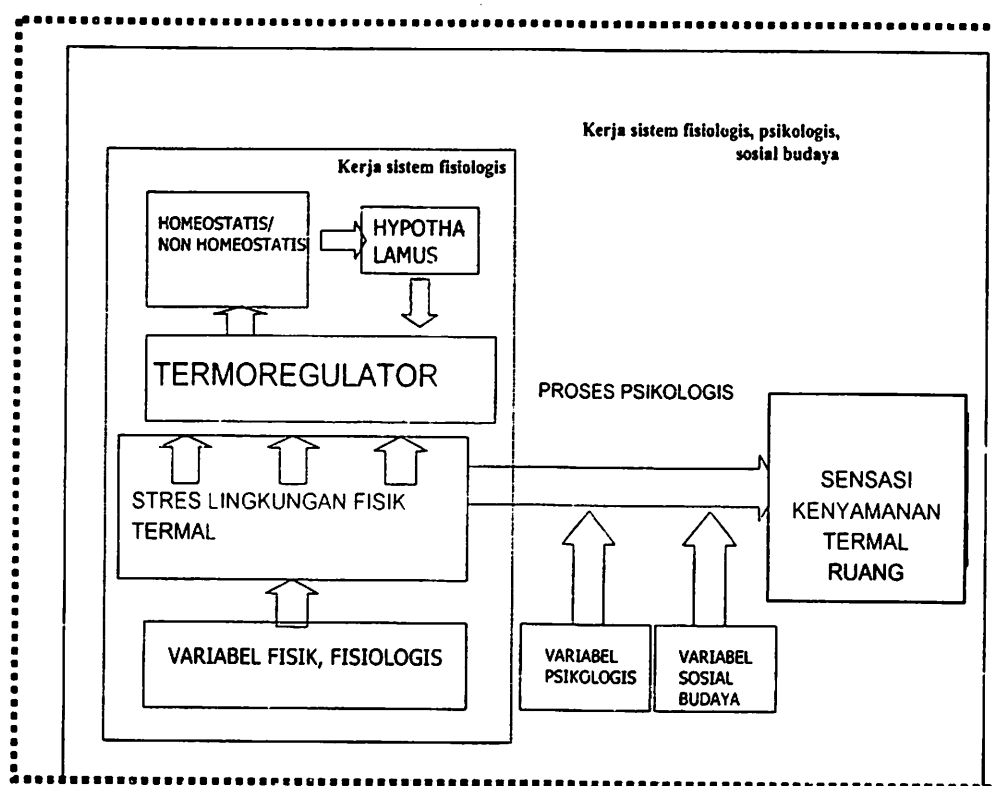


Gambar 17 Prinsip kerja termoregulator perilaku

(Sumber : Modifikasi Auliciems,1987)

Dalam konsep model adaptif yang dikembangkan dalam proyek riset model adaptif ASHRAE RP-884 dari Universitas Macquarie (1996) diterangkan bahwa badan akan menjaga keseimbangan panasnya termalnya dengan berbagai cara. Pertama dengan sistem termoregulator fisiologis misalnya berkeringat, menggigil perubahan penyebaran darah di badan. Sistem termoregulator fisiologis yang sudah menyesuaikan dengan lingkungan dalam waktu tertentu akan membentuk adaptasi fisiologis (*aklimatisasi*). Ke dua adaptasi perilaku. Adaptasi perilaku dapat berwujud terbuka berupa tindakan yang merubah iklim lingkungan sehingga sesuai dengan kenyamanan yang diharapkan. Adaptasi perilaku tertutup berupa adaptasi psikologis, seperti merubah tingkat harapan, merubah persepsi dan penilaian dan pilihan termal.

Dalam mencapai kesetimbangan panas badan, sistem termoregulator badan akan menerima tekanan terus menerus. Cara persepsi fikir orang dalam merespon tekanan-tekanan pada termoregulator badannya akan tercerminkan dalam kondisi pikir tingkat kepuasan berupa kenyamanan termal, yang secara skematis dapat dilihat pada Gambar 18.



Gambar 18 Skema kaitan kerja stres lingkungan fisik, sistem termoregulator, Sensasi kenyamanan termal dan variabel-variabelnya dalam pendekatan termo-adaptif-psikologis

(Sumber, Sugini, 2007)

2.2. Variabel yang Berkaitan dengan Kenyamanan Termal

Berdasarkan Gambar 18 maka dapat dipahami bahwa sensasi kenyamanan termal tidak langsung ditentukan oleh stres fisik lingkungan termal. Ada proses psikologis yang menjembatani antara stres fisik lingkungan termal ke sensasi kenyamanan termal. Dalam proses psikologis tersebut terlibat faktor-faktor psikologis dan faktor-faktor sosial budaya. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa variabel-variabel psikologis berkaitan dengan faktor-faktor sosial budaya.

2.2.1. Variabel-variabel fisik fisiologis

Beberapa faktor yang berkaitan dengan kenyamanan termal adalah sebagai berikut (Fanger, 1982):

- (1) Produksi panas internal yang ditentukan oleh tingkat metabolisme dalam badan dan tingkat aktivitas.
- (2) Kehilangan panas karena respirasi melalui paru-paru.
- (3) Kehilangan panas melalui penguapan kulit.

- (4) Kehilangan panas melalui radiasi dan konveksi dari permukaan luar badan ke bagian tubuh yang tertutup pakaian.

Empat hal tersebut akan berkaitan dengan enam faktor sebagai berikut:

- (1) Tingkat aktivitas.
- (2) *Thermal resistance* dari pakaian.
- (3) Temperatur udara.
- (4) Temperatur radian rata-rata (*mean radiant temperature*)
- (5) Kecepatan udara relatif.
- (6) Kelembaban udara relatif.

Enam faktor tersebut dikelompokkan menjadi dua. Pertama, faktor klimatis yang meliputi temperatur udara, temperatur radiasi, kecepatan udara dan kelembaban. Ke dua, faktor personal, yang meliputi tingkat metabolisme yang ditentukan oleh faktor aktivitas dan tingkat resistensi dari pakaian yang ditentukan oleh faktor pakaian.

1. Faktor-faktor klimatis ruang

a) Temperatur udara

Temperatur udara (t_a) yang dimaksud adalah temperatur hasil pengukuran bola kering atau yang disebut temperatur bola kering (DBT). Alat yang digunakan untuk mengukur temperatur udara adalah termometer bola kering. Untuk iklim hirarki lokal, sebagai catatan meteorologis, alat yang digunakan adalah Stevenson Screen yang dilengkapi termometer untuk mengukur DBT. Untuk area di dalam bangunan digunakan sebuah *sling psychrometer*. Untuk di dalam ruang digunakan termometer yang pegangannya dapat diputar dan pengukuran dilakukan sambil memutar sensor sehingga akan menghindari radiasi. Secara umum kondisi yang nyaman akan terjadi pada rentang 16°C sampai dengan 28°C .

b) Temperatur radiasi

Temperatur radiasi adalah temperatur yang disebabkan karena panas yang ditimbulkan oleh radiasi. Untuk ruang luar, temperatur radiasi akan bersumber pada radiasi matahari dan pengukuran dilakukan dengan *solarimeter*. Radiasi dari matahari diukur dengan satuan watt per luasan area. Untuk di dalam ruang, temperatur radiasi dominan disebabkan karena radiasi benda sekitar dan elemen ruang. Alat yang digunakan untuk pengukuran temperatur radiasi di dalam ruang disebut *globe thermometer*, sebuah termometer yang tabungnya ditempatkan di pusat bola tembaga yang dicat hitam. Temperatur radiasi rata-rata ($t_{r,t}$) dalam ruang diukur dengan satuan *centigrade*.

c) Kelembaban relatif

Kelembaban relatif adalah jumlah uap air di udara yang diekspresikan dengan prosentasi. Pengukuran kelembaban diukur dilakukan dengan alat hydrometer

bola kering dan hydrometer bola basah atau sling pycrometer. Kelembaban relatif dapat juga di duga dengan pengukuran *wet bulb temperature* (wbt).

Pada umumnya kelembaban relatif akan memberikan kondisi nyaman pada 20% sampai dengan 90%.

d) Kecepatan udara

Kecepatan angin pada stasiun meteorologi diukur dengan anemometer. Kecepatan udara di dalam ruang dapat diukur dengan kata thermometer. Prinsip kerja kata thermometer adalah dengan memasukan tabung kata thermometer ke dalam air panas sehingga air raksa naik pada posisi tertentu. Setelah itu kata thermometer di angkat. Kecepatan penurunan kolom air raksa menunjukkan kecepatan angin pada ruang tersebut.

2. Faktor-faktor personal

a) Aktvitas

Kenyamanan termal dilandasi oleh tercapai keseimbangan panas badan. Badan akan memelihara panas badan dalam kondisi $37^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$. Dengan demikian produksi panas badan dan pelepasan panas badan harus seimbang.

Produksi panas badan dihasilkan dari ujud sampingan proses metabolisme perubahan energi kimia dari makanan menjadi energi inekanik gerakan yang akan terujud dalam aktivitas tertentu. Semakin besar dan cepat metabolisme semakin besar produksi panas badan internal (Moore, 1993).

Besar dan cepatnya metabolisme akan dilihat dari aktivitasnya. Satuan untuk mengukurnya diujudkan dalam dua satuan yaitu rate metabolisme dan w/m^2 met. Secara lebih detail ukuran-ukuran aktivitas dapat dilihat pada tabel berikut

Tabel 1 *Aktivitas dan nilai metabolisme*

No	Aktivitas	W/m ²	Rate metabolisme
1	Duduk santai	58	1
2	Berdiri santai	70	1,2
3	Memperbaiki jam	65	1,1
4	Aktivitas sedentari (kantor, sekolah, hunian, laboratorium)	70	1,2
5	Menyetir mobil	80	1,4
6	Berdiri, aktivitas ringan (belanja, laboratorium, industri ringan)	93	1,6
7	Mengajar	95	1,6











Lanjutan Tabel 1

No	Aktivitas	W/m ²	Rate metabolisme
8	Pekerjaan rumah tangga antara lain mencuci	100	1,7
9	Berjalan dengan kecepatan 2 km/jam	110	1,9
	Berdiri, aktivitas medium (pekerjaan rumah)	116	2
10	Berjalan dengan kecepatan 5 km/jam	200	3,4

(Sumber : Innova, Air Tech. Instrument, down load 2002)

b) Pakaian

Seperti yang telah diuraikan pada butir aktivitas, kenyamanan termal akan ditentukan pada keseimbangan panas antara produksi panas internal dengan pelepasan panas badan. Pelepasan panas badan terjadi melalui evaporasi, konveksi, radiasi dan konduksi. Yang menentukan konveksi, radiasi dan konduksi adalah resistensi pakaian. Faktor pakaian diukur dengan *level of clothing* atau clo. Skala dimulai dengan 0 untuk tidak berpakaian sampai yang tertinggi menunjukkan tingkat ketertutupan dan jumlah dan bahan pakaian. Secara detail sebagai contoh dapat dilihat pada Tabel 19 berikut. Insulasi pakaian yang dipakai adalah penjumlahan insulasi dari semua jenis pakaian yang dikenakan.

	0.19		0.28
+			
	0.04		0.25
+			
	0.11		0.04
+			
	0.02		0.25
+			
	0.02		0.05
	<u>0.02</u>		<u>0.04</u>
	0.38		0.91

Gambar 19 Contoh jenis pakaian, koefisien insulasi unit dan nilai insulasi pakaian

(Sumber: Thermal Comfort Innova, down load 2002)

c) **Usia, jenis kelamin, postur badan dan siklus menstruasi serta makanan**
Berdasarkan penelitian Fanger (1982), dapat disimpulkan bahwa pernyataan dalam Hand Book ASHRAE yang menyebutkan bahwa semua pria dan wanita di atas usia 40 th lebih suka temperatur yang lebih hangat, ternyata tidak terbukti. Penelitian yang membandingkan subyek mahasiswa yang berbeda usia ternyata memberikan gambaran temuan termal netral yang identik. Hal yang senada juga dihasilkan dari penelitian rohles (Fanger, 1982), sehingga dapat disimpulkan bahwa usia bukanlah variabel yang signifikan dalam menentukan penilaian kenyamanan termal.

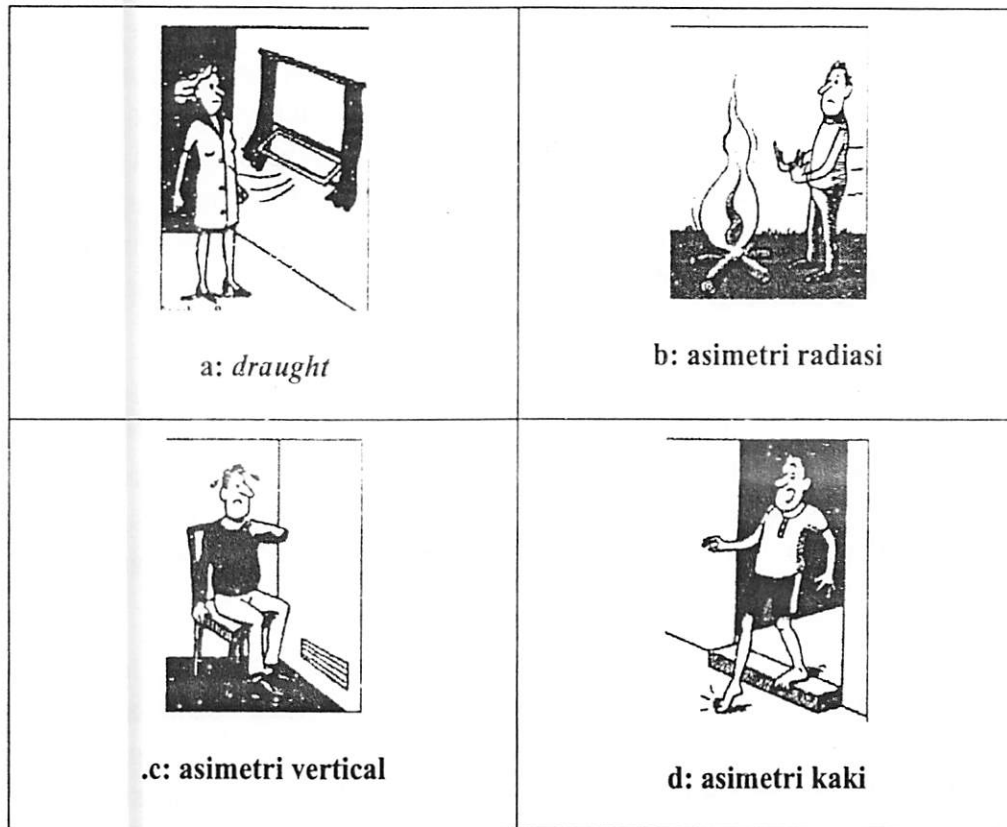
Fanger juga mengadakan penelitian untuk mengenali apakah postur badan, jenis kelamin dan siklus menstruasi akan mempengaruhi sikap seseorang terhadap derajat kenyamanan termal. Dari penelitiannya ternyata disimpulkan bahwa tidak terdapat perbedaan yang signifikan antara orang yang dikategorikan sebagai kurus dan gemuk dalam aplikasi persamaan termalnya. Demikian juga dengan jenis kelamin dan siklus menstruasi (Fanger, 1982).

Pemasukan makanan mempengaruhi produksi panas badan internal, sehingga berpengaruh terhadap keseimbangan panas yang pada akhirnya berdampak pada sensasi kenyamanan termal. Hal ini berkaitan dengan aksi dinamis yang spesifik dalam metabolisme tubuh. Aktivitas dinamis spesifik dari makanan akan berada dalam kondisi puncak pada 1-2 jam sesudah pemasukan yang kemudian berkurang sampai 4 hingga 6 jam dari pemasukan. Namun demikian berdasarkan penelitian Nevins dan Nielsen ternyata tidak ditemukan perbedaan yang signifikan antara eksperimen yang dilakukan pada waktu pagi, siang dan sore.

3. Faktor-faktor fisik lain

***Draught*, kondisi termal ruang asimetri**

Draught adalah pendinginan bagian badan karena konveksi yang tidak diharapkan (Fanger, 1982). Asimetri termal ruang adalah kondisi yang spesifik sehingga bagian badan kita mengalami perbedaan panas yang relatif ekstrim dibandingkan dengan bagian badan lainnya.



Gambar 20 Kondisi asimetri

(Sumber: Thermal Comfortinova, download 2002)

Pada Gambar 20 dapat dilihat beberapa kondisi termal ruang yang spesifik sehingga pada akhirnya akan mempengaruhi persepsi kenyamanan termal ruang. Gambar 20.a dapat dilihat gejala *draught*. Gambar 20.b dan Gambar 20.c menunjukkan kondisi asimetri. Gambar 20.d lebih spesifik menunjukkan perbedaan yang ekstrim antara kaki yang menginjak lantai yang dingin dengan kaki yang menginjak lantai yang hangat atau panas.

Kondisi demikian tentunya akan menyebabkan persepsi kenyamanan termal ruang secara keseluruhan menjadi berbeda bila dibandingkan dengan ruang yang tidak memberikan kondisi yang demikian. Untuk itu dalam penelitian-penelitian yang berkaitan dengan persepsi kenyamanan termal harus Diyakinkan agar subyek yang diamati terhindar dari kondisi-kondisi demikian, sehingga tidak menimbulkan bias dalam pengambilan data.

2.2.2. Variabel-variabel psikologis

Penilaian seseorang terhadap kenyamanan termal lingkungannya adalah bentuk respon manusia tersebut terhadap lingkungan termalnya. Dengan demikian respon kenyamanan termal seseorang adalah bentuk hubungan aspek psikologis manusia

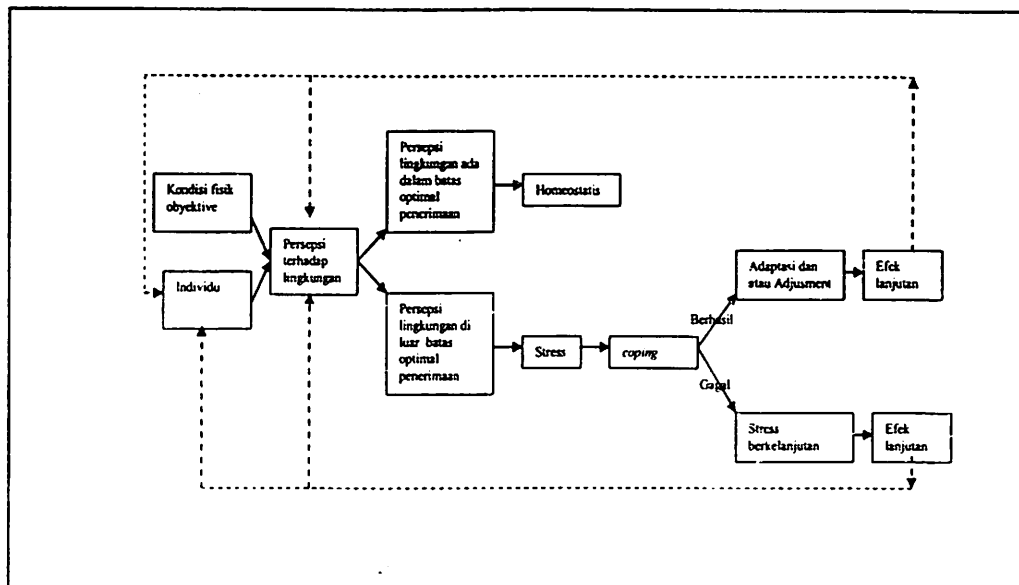
dengan lingkungannya, sehingga pendekatan psikologi lingkungan akan dapat digunakan untuk mengkaji kenyamanan termal

Dalam psikologi lingkungan dikenal adanya teori stres lingkungan dan busur refleksi. Dalam mengupas variabel-variabel psikologis lingkungan, teori-teori ini akan digunakan sebagai cara untuk mencari variabel-variabel psikologis yang berkaitan dengan respon kenyamanan termal.

1. Kenyamanan termal sebagai respon terhadap stres lingkungan

Dalam teori stres lingkungan, perilaku manusia adalah bentuk dari produk *coping* terhadap stres lingkungan. Perilaku yang dimaksud di sini meliputi perilaku terbuka (*over behavior*) dan perilaku tertutup (*cover behavior*). Yang termasuk perilaku terbuka adalah perilaku yang dapat diamati secara visual, seperti tingkah laku, sedangkan perilaku tertutup adalah perilaku yang tidak dapat diamati secara visual. Perilaku tersebut berupa sikap, kecenderungan, pilihan dan sebagainya, yang dapat digali melalui cara-cara bertanya secara langsung ataupun tidak langsung. *Coping* yang dimaksud disini adalah proses manusia tersebut dalam mengatasi stres tersebut.

Sebagaimana telah diketahui, hubungan manusia secara psikologis dengan lingkungan dimulai dalam proses persepsi. Proses persepsi berawal ketika terjadi proses penginderaan lingkungan. Dalam hal kenyamanan termal, penginderaan diawali dengan adanya stimulus-stimulus fisis termal. Stimulus tersebut akan dipersepsi oleh individu dengan karakteristik perbedaan masing-masing. Perbedaan individu tersebut meliputi antara lain kemampuan atau *level adaptasi*, kendali psikologis, faktor personal yang berkaitan dengan hubungan sosial dengan komunitas, lama keterpampangan terhadap stimulus tersebut dan sebagainya. Dari rangsang-rangsang stimulus-stimulus tersebut melalui proses persepsi akan dapat dirasa apakah lingkungan termal ada dalam batas toleransi nyaman atau tidak. Bila kondisi termal ada dalam batas optimal toleransi individu tersebut, maka akan terjadi kondisi homeostatis. Bila kondisi termal ada di luar batas yang optimal toleransi individu, maka akan terjadi ketegangan yang menimbulkan stres. Dalam kondisi stres tersebut akan terjadi usaha pengatasan *coping*. Bila individu sukses dalam *coping*, maka akan terjadi adaptasi atau *adjustment* yang akan dilanjutkan dengan efek lanjutan. Bila individu gagal dalam *coping* maka akan terjadi stres berkelanjutan yang akan menimbulkan efek lanjutan. Secara skematis hal tersebut dapat dilihat dalam gambar berikut.



Gambar 21 Skema proses persepsi dalam kaitan dengan stres lingkungan

(Sumber: Bell dkk, 1978)

Bila dikaitkan dengan skema Gambar 21, maka enam faktor pada variabel fisik fisiologis adalah stimulus yang akan memberikan tekanan pada sistem termoregulator badan dalam mencapai kesetimbangan panas. Besarnya tekanan-tekanan dari ke enam faktor tersebut akan menimbulkan ketegangan atau stres fisiologis. Persepsi orang dalam merespon stres fisiologis tersebut diterjemahkan dalam sikap penilaian orang tersebut terhadap kenyamanan termal ruangnya.

Penilaian orang terhadap lingkungan sebagai bagian dari respon stresor lingkungan oleh Evans, Sheldon, Cohen (1987) ditentukan oleh dua kelompok variabel. Kelompok variabel tersebut adalah variabel *individual* dan variabel situasional. Variabel *individual* oleh peneliti dalam hal ini disebut sebagai variabel perbedaan-perbedaan psikologis individual (*individual psychological differences*). Variabel situasional oleh peneliti dalam hal ini disebut sebagai variabel perbedaan-perbedaan kontekstual (*contextual differences*).

Menurut Evans dkk. (1987), variabel-variabel *individual* yang berpengaruh pada tahap penilaian hasil lintasan *coping* pertama meliputi karakteristik *individual*, usia dan gender. Variabel yang termasuk karakteristik *individual* adalah keringkihan (*vulnerability*) dan sensitivitas serta *hardiness*. *Hardiness* meliputi komitmen, kecenderungan dalam menilai suatu tuntutan sebagai tantangan, dan *self-efficacy*. Usia dan gender akan menentukan keringkihan dan sensitivitas. Berpengaruhnya gender dalam menentukan respon stimulus juga sesuai dengan pendapat Hedge (1982). Namun demikian khusus untuk stresor termal Fanger (1982), Moore (1993), De Dear dkk (1993) menemukan bahwa usia dan gender tidak signifikan mempengaruhi penilaian kenyamanan termal. Berkaitan dengan

hal ini maka penulis berkesimpulan bahwa keringkahan dan sensitivitas psikologis (termasuk di dalamnya usia dan gender) bukan merupakan variabel yang menentukan penilaian kenyamanan termal ruang.

Variabel-variabel *individual* yang mempengaruhi penilaian *coping* lintasan ke dua adalah variabilitas sumber daya *coping*, pengalaman masa lalu yang berkaitan dengan pembelajaran dan harapan terhadap stresor yang spesifik, pengalaman *level stimuli* masa lalu, gender dan kultur. Variabel pengalaman masa lalu dalam konteks stresor berdasarkan termal berdasarkan Fanger (1982), Moore (1993), Brager & De Dear (1998) dapat diturunkan dalam variabel operasional daerah tempat tinggal terlama dan pengalaman akan homeostatis termal. Dear, Fountain, Popovic, Watkins, Brager, Arens, Benton (1993) dalam penelitiannya pada lingkungan kantor di iklim panas lembab menyimpulkan bahwa jenis penghawaan ruang tempat tinggal yang biasa dan atau sebelumnya ditinggali tidak mempengaruhi penilaian kenyamanan termal pada ruang dengan penghawaan terkendali (ber AC). Yang menjadi pertanyaan adalah bagaimana dengan penilaian pada ruang dengan penghawaan alamiah? Ada kemungkinan jenis penghawaan ruang yang biasa dan atau sebelumnya ditinggali akan mempengaruhi penilaian kenyamanan termal ruang pada ruang dengan penghawaan alamiah.

Variabel kultur etnis dalam konteks penilaian stresor termal ternyata tidak berpengaruh secara signifikan. Fanger (1982) dan Moore (1993) melakukan penelitian yang berkaitan dengan kebangsaan individu pada kelompok kaukasian. Dari penelitian ini ternyata dapat disimpulkan bahwa kultur etnis tidak mempengaruhi sensasi kenyamanan termal. Berdasarkan penelitian ini maka dapat diduga bahwa perbedaan antar etnis pada kelompok asian tidak berpengaruh pada perbedaan yang mungkin timbul dalam penilaian kenyamanan termal ruang.

Salling dan Harvey (1981) memerinci variabel-variabel *individual* yang menentukan respon terhadap stimulus lingkungan sebagai bagian dari sensitivitas terhadap stresor dalam dua kelompok variabel. Kelompok pertama adalah variabel-variabel karakteristik kepribadian dan ke dua adalah variabel-variabel karakteristik *individual* yang terbentuk karena situasi sosial.

Variabel-variabel karakteristik kepribadian meliputi rasa aman (*security*), percaya diri (*self-confidence*), kepuasan, penghargaan terhadap diri sendiri (*self-esteem*), kendali terhadap hidup, orientasi terhadap keberhasilan (*achievement*) dan kecenderungan dalam kepuasan (*satisfaction*). Ke dua adalah variabel *individual* yang terbentuk karena situasi sosialnya; meliputi besar keluarga (jumlah anak), okupansi (buruh, pekerja kantoran), pendapatan, pendidikan dan status keluarga (orang tua tunggal dengan kepala rumah tangga wanita, bercerai).

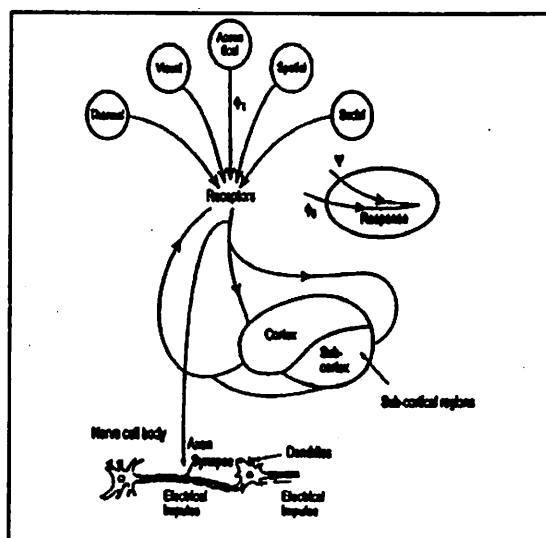
Evans, Allen, Tatalla, Meaga (1996) menjelaskan bahwa dampak *multiple stressor* juga akan berperan dalam respon terhadap stresor. Campbell (1982)

Konsep kesempatan adaptasi nampaknya dapat dibuktikan kebenarannya dengan hasil penelitian Rowe (1996). Rowe meneliti empat kelompok bangunan yang meliputi: (1) bangunan dengan ventilasi alamiah (*naturally ventilated*, NV) dengan adaptasi sesuai permintaan, (2) bangunan NV dengan fan dan pemanas *portable*, (3) bangunan NV dengan pendingin tambahan, (4) bangunan dengan AC berjendela mati. Dari empat jenis bangunan tersebut skor kenyamanan termal terendah justru terjadi pada bangunan tipe ke empat, yaitu bangunan dengan AC berjendela mati. Pada akhir laporannya Rowe menyimpulkan bahwa sistem pasif pada NV yang memberikan peluang kepada penghuni untuk memilih ventilasi sesuai keinginan penghuni mempunyai rentang kenyamanan termal tinggi. Hal ini disebabkan karena adanya akses kendali dan potensi kendali ruang bagi penghuni.

Uraian tersebut di atas mengantar pada kesimpulan bahwa kesempatan untuk mengendalikan lingkungan termal baik yang bersifat potensial atau akses nyata dalam kendali ruang akan menentukan tingkat kenyamanan termal.

3. Kenyamanan termal sebagai bagian respon holistik individu terhadap lingkungan

Pembicaraan tentang persepsi lingkungan melibatkan proses kognisi, afeksi, dan konasi seseorang terhadap lingkungannya. Proses kognisi meliputi proses penerimaan, pemahaman dan pemahaman tentang lingkungannya. Proses afeksi meliputi proses perasaan, emosi, keinginan dan nilai-nilai tentang lingkungannya (Haryadi & Setiawan, 1995). Bila lingkungan yang dimaksud tersebut adalah lingkungan termal ruang, maka persepsi seseorang terhadap lingkungan termalnya akan berkaitan dengan kondisi psikologis orang tersebut terhadap fisik ruang, lingkungan komunitas dalam ruang, dan obyek aktivitas yang dilakukan atau dihadapi. Hal ini disebabkan karena persepsi kenyamanan termal seseorang adalah bagian dari respon individu terhadap lingkungan secara holistik.



Gambar 26
Skema Peta Sensori

(Sumber: Croome, 1997)

Berdasarkan skema peta sensori Croome (1997) (Gambar 26) dapat dilihat bahwa secara keseluruhan stimulus termal berkaitan dengan stimulus visual, akustikal, spasial dan bahkan sosial.

Faktor-faktor psikologis meliputi kondisi psikologis seseorang terhadap fisik ruang, lingkungan komunitas dalam ruang, dan obyek aktivitas yang dilakukan atau dihadapi. Parson (2003) dan Wong dkk., (2002) berpendapat bahwa persepsi terhadap lingkungan termal adalah proses kognitif yang holistik akumulatif. Hal ini sesuai dengan hasil riset Sugini (2003) tentang pemaknaan istilah-istilah kenyamanan termal kaitannya dengan variabel klimatis. Berdasarkan penelitian Sugini (2003) yang melibatkan 332 responden, dapat diidentifikasi variabel di luar variabel iklim ruang yang menurut sebagian responden harus dilihat sebagai variabel yang menentukan kenyamanan termal. Dari penelitian ini dapat diduga bahwa faktor fisik psikologis ruang yang akan menjadi variabel penentu kenyamanan termal adalah pencahayaan, akustik kebisingan dan kepadatan ruang gerak.

Faktor utama kondisi pencahayaan yang mempengaruhi visual adalah iluminasi atau kuat penerangan dan silau (Guinness dkk., 1981). Satuan kuat penerangan adalah lux atau footcandle atau lumen/sqfeet (Guinness dkk., 1981 dan Egan, 1983). Kebisingan akustik adalah suara yang dikategorikan sebagai suara yang tidak dikehendaki (Egan, 1988). Satuan kebisingan adalah dB (Guinness dkk., 1981, Egan, 1988, Doelle, 1986). Namun demikian perlu diingat, aspek utama dalam melihat variabel pencahayaan, kebisingan dan kepadatan adalah pada aspek psikologisnya.

Dari uraian tersebut di atas maka variabel persepsi stimulus fisis lain yang menentukan persepsi individu terhadap stimulus termal ruang adalah:

- 1) Variabel subyektif persepsi terhadap kualitas terang gelap yang akan berasosiasi dengan variabel obyektif kuat penerangan dengan satuan lux atau *footcandle* atau lumen/sqfeet dan variabel subyektif persepsi terhadap silau.
- 2) Variabel subyektif terhadap derajat kebisingan yang akan berasosiasi dengan variabel obyektif tekanan suara kebisingan dengan satuan dB.
- 3) Variabel subyektif terhadap kepadatan dan ruang gerak adalah kesesakan atau *crowded*. *Crowded* berkaitan dengan persepsi ketidakcukupan ruang (Moos, 1975), merupakan hasil persepsi terhadap pengalaman tentang kepadatan (Gifford, 1987). Beberapa penelitian yang diarahkan pada kesesakan dikaitkan dengan variabel-variabel obyektif kepadatan (Loomis dkk., 1978).

Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya dalam Croome (1977), persepsi terhadap lingkungan sosial akan menjadi satu kesatuan yang holistik bersama dengan persepsi seseorang terhadap termal. Lingkungan sosial terdekat dalam ruang adalah lingkungan komunitas orang-orang dalam ruang tersebut, sehingga

Variabel-variabel berkaitan dengan proses adaptasi dalam termo regulator psikologis

kelompok variabel pengalaman termal sesaat

- 8) Variabel jenis penghawaan ruang.
- 9) Kualitas kesesakan ruang. Kualitas kesesakan ruang adalah kualitas ruang dilihat dari penilaian kesesakan oleh penghuni terhadap stimulus kepadatan orang dan kepadatan barang.
- 10) Kualitas kebisingan. Kualitas kebisingan dalam hal ini adalah kualitas ruang dilihat dari penilaian kebisingan oleh penghuni terhadap stimulus kebisingan.

Kelompok variabel pengalaman termal masa lalu

- 11) Gambaran bayangan kenyamanan termal ruang yang akan direspon.
- 12) Pengalaman ketidaknyamanan termal.

Situasi kontekstual termal masa lalu.

Situasi kontekstual termal masa lalu meliputi gaya hidup termal . Gaya hidup termal meliputi variabel:

- 13) Jenis penghawaan dominan di rumah.
- 14) Jenis penghawaan dominan di tempat kerja/kuliah.
- 15) Lama waktu rata-rata di ruang AC dalam keseharian.
- 16) Kebebasan mengendalikan penghawaan ruang dalam kesehariannya.

Situasi kontekstual masa lalu juga meliputi :

- (17) Tempat tinggal terlama

Situasi sosial.

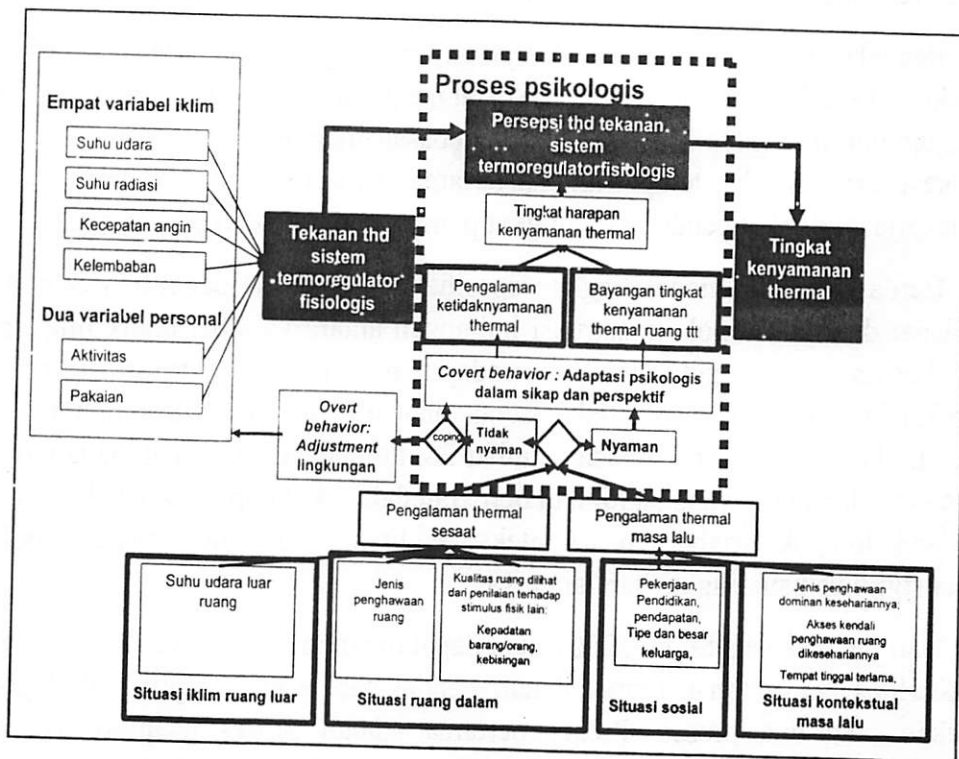
Situasi sosial meliputi status sosial yang terdiri dari :

- 18) Jenis pekerjaan.
- 19) Pendidikan,
- 20) Tingkat pendapatan,
- 21) Tipe keluarga besar keluarga.

Hasil pembahasan penelitian Sugini, 2007 berkaitan dengan variabel-variabel tersebut di atas menunjukkan bahwa kualitas termal ruang akan ditentukan juga oleh perbedaan psikologis individu, sehingga secara keseluruhan dapatlah diabstraksikan bahwa bahwa kualitas termal ruang akan ditentukan oleh variabel klimatis ruang dalam dan luar, variabel fisiologis dan perbedaan psikologis individu penghuni ruang. Abstraksi teori ini makin menunjukkan eksistensi dari paradigma termo adapif psikologis.

Berdasarkan skema teoritis hipotetis proses kerja variabel-variabel kenyamanan termal dalam konsep kenyamanan termal termo adaptif psikologis dan hasil temuan penelitian Sugini, 2007 dapatlah disusun konstruksi hubungan antara variabel iklim ruang dalam dan luar, variabel fisiologis individu dan psikologis individu dan kenyamanan termal dalam ruang secara keseluruhan sebagai Gambar 28.

Gambar 28 tersebut dapatlah dijelaskan sebagai berikut. Kondisi klimatis ruang dalam dan kondisi fisiologis individu penghuni akan memberikan tekanan terhadap system termoregulator fisiologis badan. Kemudian pikiran akan mempersepsikan tekanan terhadap system termoregulaor fisiologis tersebut. Dari proses tersebut kemudian derajat kenyamanan termal ruang akan ditetapkan oleh penghuni ruang berupa ekspresi penilaian kenyamanan termal ruang.



Gambar 28 Hubungan variabel-variabel kenyamanan termal dalam konsep kenyamanan termal termo adaptif psikologis (Sumber: Sugini, 2007)

Bagaimana pikiran mempersepsikan tekanan terhadap termoregulator fisiologis tersebut ditentukan oleh tingkat harapan termal individu penghuni terhadap ruang yang direspon dan tekanan psikologis yang berkaitan dengan persepsi dia terhadap stimulus fisik lain dalam ruang tersebut. Tingkat harapan termal penghuni akan ditentukan atau dapat diukur dari gambaran bayangan kenyamanan termal ruang tersebut dalam pikiran penghuni. Seperti apakah

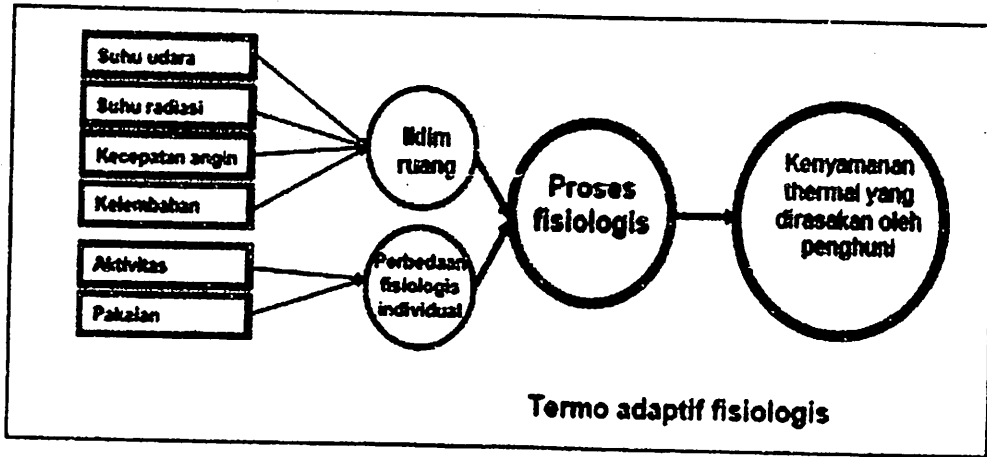
gambaran bayangan kenyamanan termal ruang dalam pikiran penghuni ditentukan oleh proses adaptasi psikologis dalam sikap dan perspektif. Sebuah proses perilaku tertutup (*covert behaviour*) yang berisi *coping* terhadap kondisi ketidaksesuaian-ketidaksesuaian. Proses sesuai dan tidak sesuai tersebut akan berkaitan dengan pengalaman termal penghuni tersebut. Baik pengalaman termal sesaat sebelum masuk dalam ruang dan pengalaman termal masa lalu.

Pengalaman termal sesaat berupa kondisi klimatis ruang luar yang dialami penghuni sebelum masuk ke ruangan. Dalam hal ini Nicol dkk, De Dear dkk, dan Auliciems menurunkan dalam parameter suhu udara luar. Setelah ada di dalam ruang pengalaman termal sesaat akan dilengkapi dengan pengalaman meruang yang berkaitan dengan jenis penghawaan ruang, kualitas kesesakan ruang dan kualitas kebisingan ruang yang direpson.

Pengalaman termal masa lalu atau jangka panjang terbentuk oleh perbedaan situasi kontekstual masa lalu dan situasi sosial penghuni. Situasi kontekstual masa lalu tergantung dari gaya hidup termal, kebebasan mengendalikan penghawaan ruang kesehariannya dan tempat tinggal terlama. Situasi sosial akan terdiri dari jenis pekerjaan, tingkat pendidikan, tingkat pendapatan, tipe dan besar keluarga.

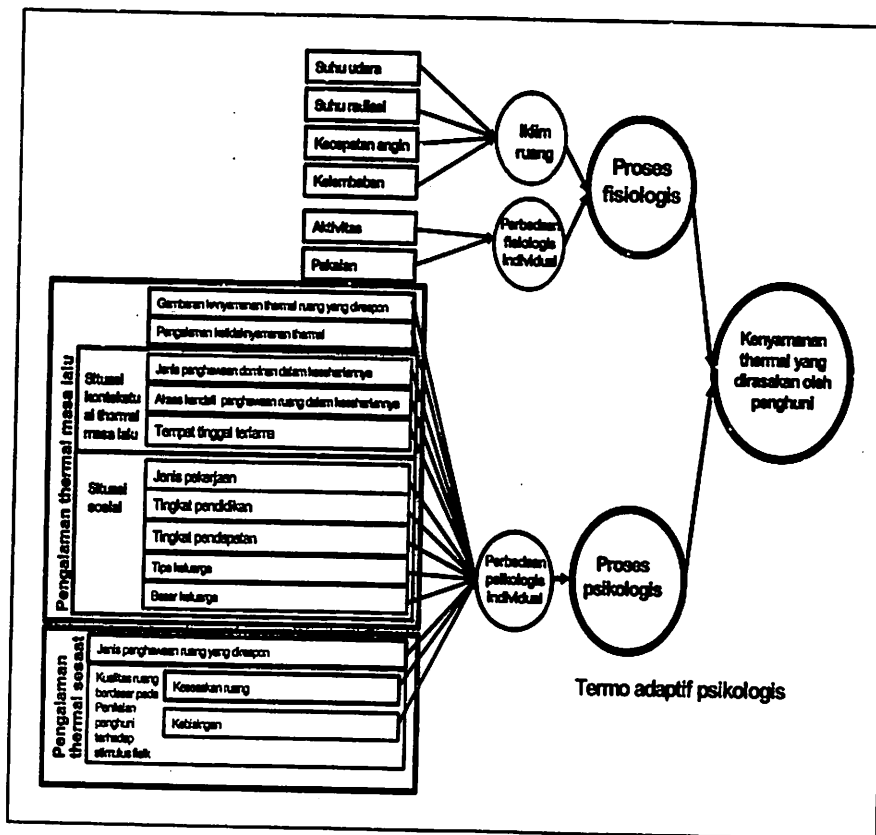
Berdasarkan 17 model lingkup spesifik dalam kasus penelitian Sugini, 2007 dapat disusun 17 pola konstruksi hubungan antara variabel untuk lingkup khusus berdasar pada pendekatan termo adaptif psikologis. Secara prinsip pola konstruksi hubungan tersebut adalah sama dengan pola konstruksi hubungan antara variabel lingkup seperti pada Gambar 28. Perbedaannya adalah pada jenis variabel-variabel detail yang signifikan berperan dalam kelompok variabel situasi sosial dan kelompok variabel situasi kontekstual klimatis masa lalu serta kelompok variabel stimulus fisik lingkungan lainnya.

Dari pembahasan Sugini, 2007 juga dapat disimpulkan bahwa secara garis besar kualitas kenyamanan termal dalam pendekatan termo adaptif psikologis ditentukan oleh dua proses. Proses pertama adalah proses adaptasi dalam termoregulator fisiologis dan ke dua adalah proses adaptasi psikologis dalam termoregulator psikologis. Secara prinsip perbandingan kerangka hubungan variabel-variabel kenyamanan termal ruang berdasarkan pendekatan paradigma termo adaptif fisiologis dengan kerangka hubungan variabel-variabel berdasarkan pendekatan paradigma termo adaptif psikologis dapat dilihat pada ilustrasi Gambar 29 dan Gambar 30.



Gambar 29 Kenyamanan termal ruang yang dirasakan penghuni dalam paradigma termoadaptif fisiologis sebagai dasar model indeks termal PMV (Sumber: Sugini, 2007)

Gambar 29 adalah gambar yang menunjukkan variabel-variabel yang harus diperhatikan dalam menentukan kualitas termal ruang dalam pendekatan paradigma termo adaptif fisiologis berdasarkan pada indeks kualitas termal PMV.

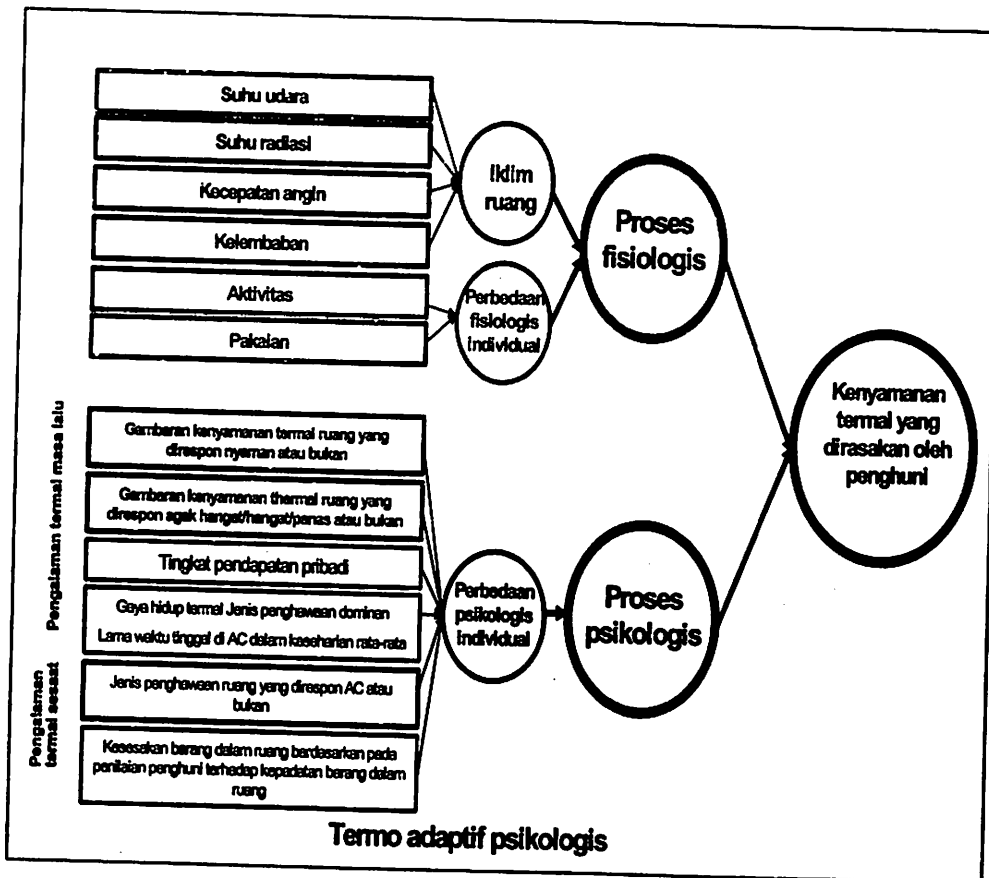


Gambar 30 Kenyamanan termal ruang yang dirasakan penghuni dalam paradigma termoadaptif psikologis sebagai dasar model indeks termal PMVtap.

(Sumber: Sugini, 2007)

Gambar 30 adalah gambar yang menunjukkan variabel-variabel yang harus diperhatikan dalam menentukan kualitas termal ruang dalam pendekatan paradigma termo adaptif psikologis berdasarkan pada indeks kualitas termal PMVtap. Gambar tersebut menunjukkan bahwa langkah pertama seorang arsitek menentukan kombinasi standar iklim ruang untuk desain adalah dengan memperhatikan karakteristik individu penghuni dan karakteristik lain dalam ruang.

Namun demikian berdasarkan pencermatan pada parameter-parameter yang potensial pada lingkup model umum secara lebih fokus disimpulkan diantara 21 parameter lengkap tersebut di atas ada 12 parameter penentu yang lebih potensial. Dua belas parameter-parameter tersebut terdiri dari enam parameter fisik fisiologis dan enam parameter perbedaan psikologis. Dua belas parameter-parameter tersebut merupakan ukuran dari 11 variabel yang terdiri dari 6 variabel fisik fisiologis dan 5 variabel perbedaan psikologis. Secara skematis dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 31 Parameter-parameter potensial penentu kenyamanan termal dalam model PMVtap termo adaptif psikologis.

(Sumber: Sugini, 2007)

Pertanyaan-Pertanyaan untuk Dijawab

Berikut adalah pertanyaan-pertanyaan untuk melihat pemahaman pembaca setelah menyelesaikan bab ini:

- 1) Sebutkan dan jelaskan tiga paradigma kenyamanan termal yang telah dan sedang dikembangkan sampai saat ini.
- 2) Jelaskan secara detail konsep-konsep yang berkembang dalam paradigma-paradigma yang ada.
- 3) Sebutkan variabel-variabel yang menentukan kenyamanan termal menurut konsep kenyamanan termal pada tiga paradigma yang berkembang. Jelaskanlah mengapa variabel-variabel tersebut menentukan kenyamanan termal.
- 4) Setelah menyelesaikan bab ini, sikap seperti apakah yang semestinya harus dikembangkan dalam melihat kualitas termal ruang dan dalam menetapkan standar arahan desain untuk termal.

oooOooo

BAB III

INDEKS TERMAL RUANG

Pengantar

Indeks termal ruang adalah parameter untuk mengindikasikan derajat kualitas termal ruang. Pemahaman indeks termal ini sangat penting untuk diketahui agar kita dapat mengukur kualitas termal ruang dan kita dapat menetapkan secara terukur kualitas kenyamanan termal ruang aktivitas yang harus dicapai dalam rekayasa ruang atau bangunan. Setelah membaca bab ini diharapkan pembaca menjadi paham perkembangan indeks termal ruang. Secara lebih detail pembaca diharapkan menjadi lebih paham jenis-jenis indeks termal dan konsep apa yang melatarbelakanginya. Dengan pemahaman ini pembaca tidak hanya menjadi lebih paham dalam memilih indeks yang tepat sesuai konteks permasalahan desain yang dihadapi, namun juga dapat lebih bijaksana dalam menurunkannya pada parameter-parameter standar untuk arahan desain.

3.1. Perkembangan Indeks Termal

Seperti yang telah dikemukakan pada bagian pendahuluan, studi tentang termal sudah dimulai dan dikembangkan secara simultan bersamaan dengan perkembangan ilmu pengobatan atau obat-obatan dan *thermometry* pada abad 18 dan 19. Menurut Bedford dalam Markus dan Morris (1980) maka perkembangan studi termal dapat diruntut sebagai berikut :

- 1) Arbuthnot (1733) dengan penemuan efek pendinginan
- 2) Sir John Leslie (1804) dengan penemuan tentang penggunaan termometer alkohol untuk mengukur kecepatan angin.

- 3) Heberden (1826) dengan penggunaan termometer untuk indikator dingin dan penggunaan kata *thermometer* untuk mengukur kemampuan lingkungan untuk mendinginkan udara dan mengukur kecepatan angin.
- 4) Tredgold (1824) dengan temuan efek radiasi panas pada kebutuhan manusia terhadap temperatur udara.
- 5) Komisi *general board of health* (1857) dengan studi yang menghasilkan rekomendasi bahwa temperatur dinding ruang harus paling sedikit sama dengan temperatur keseluruhan ruang.
- 6) Aitken (1887) dengan studi temperatur bola hitam (*black globe temperature*) untuk mengukur radiasi dan kecepatan angin.
- 7) Awal abad 19 diakuinya pentingnya pengendalian kelembaban baik dalam kondisi ekstrim kering dan ekstrim basah dalam pertimbangan-pertimbangan yang berkenaan dengan sensasi termal.
- 8) Berdasarkan pengaruh temuan Lavoiser pada abad 19 dipercayai CO_2 merupakan faktor yang menyebabkan *discomfort*.
- 9) Petten Kofler (1862) mengenalkan teori '*anthropotoxin*' yaitu material organik yang terserap oleh kulit yang menyebabkan ketidaknyamanan. Teori ini hanya bertahan sampai dengan tahun 1913. Setelah itu ditinggalkan.
- 10) Hill mengenalkan penggunaan kata *thermometer* untuk studi yang merekomendasikan temuan-temuan tentang *cool heads, warmfeet, varying radiant heat, variabel breeze dan relative humidity*. Kemudian Hill bersama Verner, Bedford dan Warner (1929-1930) di Inggris meneruskan kerjanya dengan studi-studi aplikasi pada industri.
- 11) Houghton, Yaglou (1923) yang mampu menjelaskan efek kombinasi temperatur udara, kelembaban dan kecepatan angin dengan menemukan indikator termal ET (*effective temperature*). Prinsip ini dimantapkan dan segera mempengaruhi desain AC di Amerika Serikat, Inggris, Australia dan di negara-negara tropis.
- 12) ET mengabaikan efek radiasi termal. Untuk ruang dalam dengan langit-langit, lantai dan dinding yang hangat dimana sumber radiasi di dalam ruang tinggi dan pada kondisi ruang dengan sinar matahari langsung maka efek radiasi termal tidak boleh diabaikan, sehingga Verner (1930) berdasarkan kerja Aitken mengembangkan *globe thermometer* untuk mengukur radiasi panas. Bedford dan lainnya menggunakan *black globe thermometer* untuk studi-studi yang pada akhirnya menemukan efek radiasi panas dan radiasi dingin. Bedford bekerja berdasarkan konsep Barker (1926) tentang *mean radiant temperature*. Sebagai catatan, Dufton (1929) mengembangkan *eupatheoscope* alat yang dapat dikatakan sama dengan *globe thermometer*. Dengan alat ini Dufton menemukan *equivalent temperature* (t_{eq}).

- 13) Verner dan Warner (1932) menggunakan *globe temperatur* sebagai koreksi temperatur bola basah dalam perhitungan ET.
- 14) Bedford (1946) mempublikasikan usulan tentang *corrected effective temperature* (cet). Penyederhanakan yang dilakukan Bedford ini mengantar pada kesadaran akan adanya hubungan indikator termal dengan pakaian dan tingkat aktivitas.
- 15) Winslow, Herrington dan Gagge (1980) mempublikasikan temuannya tentang enam variabel yang menjadi dasar kriteria nyaman ASHRAE. Hasil dari perkembangannya adalah ditemukannya *to* (temperatur operative), *new effective temperature* (ET*) dan yang terakhir hingga sekarang adalah *standard effective temperature* (SET). Sebagai catatan, bersama SET ada dua indikator lain yang dapat menggambarkan kenyamanan termal dalam ruangan. Yaitu *discomfort* (disc) yang menggambarkan tingkat ketidaknyamanan dan *w* yang menggambarkan prosentasi permukaan badan yang lembab berkeringat.
- 16) Fanger (1982) mempublikasikan prosedur baru untuk mengevaluasi iklim dalam ruang. Publikasi ini berdasarkan pada riset-riset laboratoris terdahulunya
- 17) Humphrey (1995) mengemukakan bahwa arahan termal internasional baru harus dikembangkan berbasis pada prinsip-prinsip adaptif berdasar studi lapangan.

Indikator termal

Berdasarkan Koenigsberger dkk (1973), Morris, Markus (1980) dan Fanger (1982) dan penelitian yang dilakukan penulis dapat disusun indikator termal sebagai terinci pada Tabel 2 berikut.

Tabel 2 Indikator termal dan karakteristiknya

No	Jenis	Oleh	Karakteristik
1	<i>Effective temperature</i> (ET)*	Hougton & yaglou (1923) Amerika	Skala yang dibentuk oleh <i>equal comfort line</i> pada <i>psycrometric chart</i> Pada awalnya dibentuk oleh pensetaraan pada variabel suhu di udara jenuh dan diam. Kemudian berkembang ditambahkan variabel kelembaban dan pergerakan udara

Lanjutan Tabel 2

No	Jenis	Oleh	Karakteristik
2	<i>Corrected effective temperature (cet)</i>		Koreksi ET dengan penambahan variabel radiasi
3	<i>Equivalent warmth (ew) *</i>	Bedford Inggris	<p>Skala kehangatan ekuivalen yang disusun dalam sebuah nomogram dengan variabel penentu suhu, kelembaban, temperatur radiasi rata-rata, temperatur kulit dan pakaian. Bersamaan dengan itu juga dikumpulkan data tentang pendapat respon subyektif orang yang diamati terhadap lingkungan termalnya</p> <p>Reliabel untuk kondisi < 35°C pada rh rendah dan <30°C pada rh tinggi</p> <p>Underestimate pada kondisi dengan pendinginan karena pergerakan udara dan kelembaban tinggi</p>
4	<i>Operative temperature (ot) *</i>	Winslow Herington & Gagge USA	<p>Secara prinsip hampir sama dengan ew. Merupakan kombinasi antara efek radiasi dan suhu udara.</p> <p>Studi diambil pada daerah spesifik dingin dengan kelembaban rendah dan pergerakan udara diabaikan</p>
5	<i>Equatorial comfort index (eci) *</i>	Webb 1960 Singapura	Variabel penentu: temperatur udara, kelembaban, pergerakan udara. Bersamaan dengan itu pula dikumpulkan pendapat respon subyektif dari orang-orang yang sudah diaklimatisasi.
			Hasil nomogram mirip dengan nomogram ET.

Lanjutan Tabel 2

No	Jenis	Oleh	Karakteristik
6	<i>Resultant temperature (rt) *</i>	Missenard Perancis	<p>Sedikit pengembangan dari ET. Nomogram yang ditemukan mirip dengan ET</p> <p>Reliabel di iklim sedang tetapi tidak reliable untuk iklim tropis dan pendinginan karena pergerakan udara, suhu > 35°C rh 80%</p>
7	<i>Predicted four hour sweat rate (p4hr) *</i>	British Naval Authority 1947	<p>Riset diarahkan pada stres fisik yang diindikasikan melalui rate berkeringatnya badan, denyut nadi dan panas internal.</p> <p>Pada riset ini diperhatikan juga: pakaian, temperatur udara, kelembaban, pergerakan udara dan temperatur radiasi udara rata-rata</p> <p>Sesuai untuk kondisi temperatur tinggi dan tidak sesuai untuk temperatur <28°C.</p> <p>Underestimate untuk kondisi dengan pendinginan karena pergerakan angin dan kelembaban tinggi.</p>
8	<i>Heat stress index (his) *</i>	Usa	<p>Mirip dengan p4hr dengan penambahan variabel produksi panas karena metabolisme.</p> <p>Reliabel untuk: Udara diam dengan suhu 27°C-35°C Rh 30% sd 80% Rh rendah dengan suhu tinggi Tidak sesuai untuk zone comfort</p>
9	<i>Grafik bioclimatic*</i>	V. Olgyay Australia	Grafik bioclimatic menggambarkan zone kenyamanan yang ditentukan oleh: DBT, rh, v dan radiasi

Lanjutan Tabel 2

No	Jenis	Oleh	Karakteristik
10	<i>Index of thermal stress (its) *</i>	Givoni	<p>Indeks stres termal dikembangkan melalui perhitungan tingkat pendinginan yang dihasilkan akibat proses berkeringat.</p> <p>Perhitungan untuk menyusun indeks stres termal didasarkan pada model biophysical dari sistem hubungan manusia dengan lingkungan. Yang melibatkan faktor termal obyektif dan subyektif.</p> <p>Perhitungan sangat rumit sehingga hanya cocok untuk pekerja riset dan tidak akan mudah untuk digunakan oleh para praktisi.</p>
11	<i>Standard of effective temperature (SET) **</i>		<p>Indeks termal yang didasarkan pada efek empat variabel iklim: suhu udara, suhu radiasi rata-rata, kecepatan angin dan kelembaban. (t_a, t_{mrt}, v, rh) dan dua variabel personal pakaian dan derajat metabolisme yang digambarkan dengan aktivitas (clo dan met)</p>
12	<i>Discomfort (disc) **</i>		<p>Menunjukkan derajat ketidaknyamanan yang memberikan perbandingan langsung kombinasi kondisi ketidaknyamanan dingin dan hangat dengan enam variabel kenyamanan termal (t_a, t_{mrt}, v, rh, clo dan met)</p>
13	W^{**}		<p>Indeks termal yang didasarkan dari prosentasi luas permukaan badan yang lembab berkeringat. W adalah respon yang diakibatkan kerja dari enam variabel kenyamanan termal</p>

Lanjutan Tabel 2

No	Jenis	Oleh	Karakteristik
14	PPD (<i>predicted percentage of dissatisfied</i>)	Fanger 1982	Indikator yang menggambarkan dugaan prosentasi orang yang tidak puas dengan kondisi lingkungan termal dengan kombinasi empat variabel iklim (suhu udara, suhu radiasi rata-rata, kelembaban dan kecepatan angin) dan cara berpakaian serta aktivitas tertentu.
15	PMV (<i>predicted mean vote</i>)	Fanger 1982	Indikator yang diturunkan dari persamaan kenyamanan yang akan memberikan prediksi sensasi kenyamanan termal seseorang terhadap lingkungan termal dengan kombinasi empat variabel iklim (suhu udara, suhu radiasi rata-rata, kelembaban dan kecepatan angin) dan cara berpakaian serta aktivitas tertentu.
16	PMVtap	Sugini 2007	<p>Indikator pengembangan PMV Fanger dengan menambahkan parameter-parameter dari variabel perbedaan psikologis sebagai koreksi atas bias PMV. Perbedaan terletak pada pengembangan paradigma dari termo adaptif fisiologis kepada paradigma yang diusulkan oleh Sugini, 2007 yaitu paradigma termo adaptif psikologis.</p> <p>Model PMVtap dengan pendekatan regresi telah ditemukan dalam satu proses penelitian yang utuh dan <i>adequate</i> untuk lingkup batasan penelitian pijakan. Untuk aplikasi yang lebih luas perlu diperkokoh dengan menguji reliabilitasnya pada penelitian dengan lingkup populasi yang lebih luas.</p>

Lanjutan Tabel 2

No	Jenis	Oleh	Karakteristik
17	PMVtapsem	Sugini 2013	Model PMVtap dengan pendekatan regresi telah ditemukan dalam satu proses penelitian yang utuh dan adequate untuk lingkup batasan penelitian pijakan. Untuk aplikasi yang lebih luas perlu diperkokoh dengan menguji reliabilitasnya pada penelitian dengan lingkup populasi yang lebih luas. Sampai saat ini sedang dikembangkan model PMV tap dengan pendekatan SEM oleh penulis. Pada saat buku ini disusun proses sedang berjalan pada tahap uji matematis.

3.2. Model PMV

3.2. 1. Konsep dan formula model

PMV, *prediction mean vote*, adalah model yang menghubungkan antara sensasi termal dengan kombinasi dua variabel personal dan empat variabel iklim (Fanger, 1982). Sensasi termal diskalakan dengan menggunakan tujuh titik skala psiko-fisis dari ASHRAE. Dua variabel personal yang dimaksud adalah tingkat metabolisme yang dilihat dari aktivitas dan tingkat insulasi yang dilihat dari cara berpakaian. Sedangkan empat variabel iklim yang dimaksud adalah suhu udara (t_a), suhu radiasi (t_{mrt}), kelembaban (rh), dan pergerakan angin (v) (Fanger, 1982). Berdasarkan dua variabel personal dan empat variabel iklim ruang kita dapat menduga pendapat penghuni tentang sensasi kenyamanan rata-rata dari ruang yang diukur. Dari sekian model, PMV adalah model yang digunakan sebagai dasar untuk menyusun standar desain pengendalian udara ISO 7730 (Havenith, Holmer, Parson, 2002; Olesen, Parson, 2002).

Landasan teori untuk menyusun model PMV adalah teori Fanger. Teori Fanger didasari oleh paradigma bahwa kenyamanan termal adalah proses keseimbangan panas (*heat balance*). Fanger menjelaskan bahwa kondisi nyaman termal tercapai bila sistem termoregulator badan berpelihara dalam kondisi konstan. Kenyamanan termal akan dirasakan seseorang bila orang itu dalam posisi seimbang antara produksi panas badan internalnya dengan panas yang dibuang melalui proses evaporasi, radiasi dan konveksi badan ke lingkungan. Fanger menulisnya dalam persamaan yang kemudian disebut sebagai persamaan kenyamanan Fanger sebagai berikut (Fanger, 1982):

$$H - e_d - e_{sw} - e_{rc} - l = k = r + c \quad (3.1)$$

H : produksi panas internal badan

e_d : kehilangan panas melalui difusi uap air melalui kulit.

e_{sw} : kehilangan panas melalui evaporasi keringat dari permukaan kulit.

e_{rc} : kehilangan panas laten melalui respirasi (paru-paru).

L : kehilangan panas melalui pernafasan

K : perpindahan panas dari kulit ke permukaan luar badan yang tertutup pakaian.

R : kehilangan panas melalui radiasi dari permukaan luar badan yang tertutup pakaian.

C : kehilangan panas melalui konveksi dari permukaan luar badan yang tertutup pakaian.

Konsep dari model PMV adalah bahwa dalam kondisi nyaman maka beban termal sama dengan nol dalam hal mana kondisi ini akan ditopang oleh mekanisme badan untuk merubah temperatur rata-rata kulit dan proses berkeringat. Proses tersebut akan bervariasi sesuai dengan produksi panas internal persatu satuan luas permukaan badan. Secara matematis konsep ini dapat ditulis sebagai berikut Fanger, 1982.

$$Y = f\left(L, \frac{H}{A_{Du}}\right) \dots\dots\dots(3.2)$$

Di mana:

Y = sensasi kenyamanan termal berdasarkan skala tujuh poin psiko fisikal ASHRAE.

L = beban termal badan.

H/adu = produksi panas badan internal persatusatuan luas permukaan badan

Dari prinsip tersebut kemudian dirumuskan formula melalui penurunan dan substitusi yang rumit. Secara ringkas rumus tersebut diformulasikan sebagai berikut:

PMV =

$$\left[0,352e^{-0,042\left(\frac{M}{A_{Du}}\right)} + 0,032 \left\{ \begin{aligned} &\left\{ \frac{M}{A_{Du}}(1-\eta) \right\} - \left\{ 0,35 \left[43 - 0,061 \frac{M}{A_{Du}}(1-\eta) - p_a \right] \right\} - \\ &\left\{ 0,42 \left[\frac{M}{A_{Du}}(1-\eta) - 50 \right] \right\} - \left\{ 0,0023 \frac{M}{A_{Du}}(44 - p_a) \right\} - \\ &\left\{ 0,0014 \frac{M}{A_{Du}}(34 - t_a) \right\} - \left\{ 3,4 \cdot 10^{-8} f_d \left[\frac{(t_{cl} + 273)^4}{(t_{mrt} + 273)^4} - \right] \right\} \\ &- \left\{ f_d h_c(t_{cl} - t_a) \right\} \end{aligned} \right] \dots\dots\dots (3.3)$$

Dimana:

$$t_{cl} = \frac{35,7 - 0,032 \frac{M}{A_{Du}}(1-\eta) - 0,18I_{cl}}{\left[3,4 \cdot 10^{-8} f_{cl} \left[(t_{cl} + 273)^4 - (t_{mrt} + 273)^4 \right] + f_{cl} h_e(t_{cl} - t_a) \right]} (^\circ C) \dots (3.4)$$

$$\begin{aligned}
 He = & 2,05(t_{cl} - t_a)^{0,24} \text{ untuk } 2,05(t_{cl} - t_a)^{0,25} > 10,4\sqrt{v} \\
 & 10,4\sqrt{v} \text{ untuk } 2,05(t_{cl} - t_a)^{0,25} < 10,4\sqrt{v}
 \end{aligned}$$

M/adu = jumlah energi yang dihasilkan dari metabolisme kcal/jam m² yang dapat diindikasikan dengan jenis aktivitas melalui suatu satuan derajat metabolisme (met).

H = efisiensi tenaga mekanis yang dihasilkan terhadap energi yang dihasilkan dari proses metabolisme w/m

Fcl = perbandingan luas permukaan badan yang berpakaian dengan luas permukaan badan yang tidak berpakaian yang akan tergantung dengan tipe pakaian.

Icl = insulasi panas dari permukaan badan yang berpakaian yang akan tergantung dengan tipe pakaian.

Pa = tekanan uap air

- Ta = temperatur udara
T_{mrt} = temperatur radiasi rata-rata
V = kecepatan angin

Berdasarkan persamaan tersebut maka dapat dilihat bahwa perhitungan PMV sangat rumit bila dilakukan secara manual. Untuk itu telah dilakukan penyusunan program yang memudahkan perhitungan PMV dengan software komputer. Software yang telah dapat didownload secara bebas adalah program kenyamanan termal ASHRAE.

3.2.2. Penelitian untuk penyusunan model PMV

Penelitian yang menjadi dasar penyusunan formulasi PMV adalah gabungan dari penelitian-penelitian yang dilaksanakan oleh Fanger, Nevins, dan Mc Nall. Data-data untuk aktivitas *sedentary* diambilkan dari riset Fanger dan Nevins sedangkan untuk data-data aktivitas yang tinggi diambil dari riset Mc Nall. Riset Fanger melibatkan responden orang Denmark Eropa sedangkan riset Nevins melibatkan responden orang Amerika.

Pada riset Fanger sendiri pelaksanaan risetnya adalah sebagaimana yang akan diuraikan berikut (Fanger, 1982). Pada prinsipnya metode risetnya dapat digolongkan pada metoda eksperimental dengan *chamber* (ruang tertutup). Penelitian dilakukan di Universitas Teknik Denmark.

Responden

Pelaksanaan penelitian melibatkan 128 orang Denmark dengan usia rata-rata 23 th terdiri dari 64 pria dan 64 wanita serta 128 orang Denmark dengan usia rata-rata 64 th terdiri dari 64 pria dan 64 wanita.

Karakteristik antropometri responden kelompok kuliah dapat diperinci sebagai berikut. Tinggi rata-rata 168,2 m dengan standard deviasi (sd)= $\pm 5,4$ cm untuk responden perempuan dan 179,6 cm dengan sd= $\pm 6,0$ cm untuk responden laki-laki. Berat rata-rata 57,1 kg dengan sd= $\pm 7,4$ untuk responden perempuan dan 71,4 kg dengan sd= $\pm 8,1$ kg untuk responden laki-laki. Permukaan du bois badan untuk responden perempuan rata-rata adalah 1,64 m² dengan sd= $\pm 0,12$ m². Permukaan du bois badan untuk responden laki-laki rata-rata adalah 1,77 m² dengan sd= $\pm 0,17$ m². Karakteristik responden total untuk kelompok usia kuliah adalah tinggi rata-rata 173,9 cm dengan sd= ± 9 cm, berat rata-rata 64,2kg dengan sd= $\pm 10,5$ kg, permukaan badan du bois 1,77m² dengan sd= ± 0.17 m²

Karakteristik antropometri kelompok responden usia lanjut adalah sebagai dirinci berikut tinggi rata-rata 161,3 m dengan sd= $\pm 3,8$ cm untuk responden perempuan dan 171,4 cm dengan sd= $\pm 6,6$ cm untuk responden laki-laki. Berat

rata-rata 63,9 kg dengan $sd = \pm 10,8$ kg untuk responden perempuan dan 74 kg dengan $sd = \pm 11,9$ kg untuk responden laki-laki. Permukaan du bois badan untuk responden perempuan rata-rata adalah $1,67 \text{ m}^2$ dengan $sd = \pm 0,14 \text{ m}^2$. Permukaan du bois badan untuk responden laki-laki rata-rata adalah $1,85 \text{ m}^2$ dengan $sd = \pm 0,17 \text{ m}^2$. Karakteristik responden total untuk kelompok usia lanjut adalah tinggi rata-rata 166,4 cm dengan $sd = \pm 7,9 \text{ cm}$, berat rata-rata 69 kg dengan $sd = \pm 12,4 \text{ kg}$, permukaan badan du bois $1,77 \text{ m}^2$ dengan $sd = \pm 0,18 \text{ m}^2$.

Bagi pengembang dan peneliti kenyamanan termal yang berfokus pada pengembangan model PMV Fanger, hal yang perlu diperhatikan adalah karakteristik antropometri yang berkenaan dengan permukaan du bois. Hal ini disebabkan karena salah satu variabel fisiologis dalam formula PMV yang nantinya diasumsikan adalah fungsi dari karakteristik permukaan du bois badan. Untuk dapat melihat apakah asumsi yang nantinya dipakai dapat juga digunakan untuk karakteristik responden yang akan diteliti maka perlu dilihat karakteristik responden pada populasi yang akan diteliti.

Berdasarkan data antropometri permukaan badan du bois responden Karyono (1995) dan dengan kenyataan bahwa postur tubuh orang-orang pegawai kantor di Jakarta tidak terlalu berbeda dengan postur tubuh kelompok populasi yang akan diteliti, maka dapat dilihat bahwa permukaan du bois badan responden yang diteliti akan berkisar $1,28 \text{ m}^2 - 2,11 \text{ m}^2$ dengan rata-rata $1,6 \text{ m}^2$ dan $sd = \pm 0,16 \text{ m}^2$. Berdasarkan kondisi ini maka penerimaan asumsi permukaan du bois badan dalam penurunan rumus PMV dapat diperkirakan.

Pakaian

Saat pelaksanaan, pakaian subyek diatur sesuai kebutuhan kombinasi pakaian penelitian. Dalam hal ini karakteristik pakaian disetarakan dengan nilai clo dari kombinasi pakaian dari penelitian nevens sebesar 0,6 clo. Dalam penelitian Fanger kombinasi pakaian antara lain berupa pakaian celana panjang dengan hem katun dilengkapi dengan pakaian dalam.

Dalam penetapan nilai PMV, variabel pakaian adalah variabel aktif yang dapat dirubah, dengan demikian kondisi responden pada penelitian yang akan dilaksanakan dapat diakomodasi oleh model PMV.

Variasi kondisi eksperimen

Perlakuan klimatis dalam ruang *chamber* penelitian terdiri dari empat kombinasi temperatur, dua kombinasi kelembaban dan satu kombinasi kecepatan angin. Empat kombinasi suhu udara meliputi: $21,1^\circ\text{C}$; $23,3^\circ\text{C}$; $25,6^\circ\text{C}$; $27,8^\circ\text{C}$. Dua kombinasi kelembaban relatif adalah $rh = 30\%$ dan $rh = 70\%$, sedangkan satu kombinasi kecepatan angin adalah $v = 0,1 \text{ m/dt}$.

Kisaran kombinasi ini menyebabkan PMV harus diterapkan secara hati-hati. Fanger mengatakan bahwa PMV harus digunakan secara hati-hati bila digunakan pada kombinasi variabel klimatis yang menghasilkan PMV di luar kisaran -2 dan +2. Sementara Humphreys & Nicol (2002) mengatakan bahwa dilapangan PMV mengalami bias yang signifikan pada kondisi iklim ruang dengan suhu di atas 27 °C, kecepatan angin di atas 0,2 m/dt kelembaban di atas 60%. Berkaitan dengan kondisi ini maka penelitian ini harus mewaspadaai tercampurnya faktor campuran kisaran variabel fisik iklim ruang dalam penelitian. Untuk desain penelitian harus disusun agar bias faktor campuran rentang variabel iklim ruang dapat diidentifikasi.

Pengambilan pendapat (voting) kenyamanan termal responden

Pada tahap inti penelitian, subyek diminta melaporkan sensasi termal dengan memilih skala yang telah disediakan pada kuisioner. Tujuh skala ditawarkan meliputi pilihan:

1. Dingin (*cold*).
2. Sejuk (*cool*).
3. Agak sejuk (*slightly cool*).
4. Netral (*neutral*).
5. Agak hangat (*slightly warm*).
6. Hangat (*warm*).
7. Panas (*hot*).

Tujuh skala tersebut mengacu pada perbandingan dua macam skala sebagai terlihat pada Tabel 3 berikut:

Tabel 3 *Skala sensasi kenyamanan termal dari ASHRAE dan bedford*

	Skala ASHRAE	Skala pensetaraan	Bedford	
7	Panas (hot)	3	Sangat terlalu panas (much too ot)	7
6	Hangat (warm)	2	Terlalu panas (too hot)	6
5	Agak hangat (slightly warm)	1	Hangat nyaman (comfortably warm)	5
4	Netral (neutral)	0	Nyaman (comfortable)	4
3	Agak sejuk (slightly cool)	-1	Sejuk nyaman (comfortably cool)	3
2	Sejuk (cool)	-2	Terlalu sejuk	2
1	Dingin (cold)	-3	Sangat terlalu sejuk	1

(Sumber: Sugini, 2007 berdasarkan pada modifikasi Nicol & Humphreys, 2002 dan Mc Intyre, 1980)

Kegiatan yang dilakukan adalah kegiatan yang masuk dalam kegiatan *sedentary*, yaitu kegiatan duduk, membaca atau belajar serta kegiatan lain yang sejajar dengan kegiatan tersebut. Subyek masih diperbolehkan sedikit berbincang sepanjang tetap memperhatikan pada lingkungan termalnya. Analisis data dilakukan secara statistik dengan alat statistik regresi. Dari hasil hubungan yang ditemukan tersebut, kemudian diformulasikan hubungan antara sensasi kenyamanan termal dengan dua variabel personal dan empat variabel iklim. Dari formulasi ini dibuatlah tabel yang dapat digunakan untuk memprediksi sensasi kenyamanan termal rata-rata yang akan dirasakan orang, *prediction mean vote* (PMV).

3. 2. 3. Bias PMV

Dalam uji validasi berdasarkan data kasar yang dihasilkan dari berbagai riset yang dilakukan Humhreys dan Nicol (2002) ternyata ditemukan bias yang signifikan antara PMV dengan hasil di lapangan. Ada tiga faktor yang diduga menjadi penyebab bias tersebut.

- 1) Pada koleksi data. Dalam hal ini diduga adanya kemungkinan bias dalam pengkategorian pada skala ASHRAE.
- 2) Pada persamaan PMV itu sendiri. Seperti yang diketahui, kenyamanan termal akan melibatkan variabel yang kompleks yang meliputi variabel fisik fisiologis dan psikologis. Namun demikian pada formula PMV faktor-faktor disederhanakan meliputi faktor-faktor fisik yang eksak.
- 3) Ketidaksesuaian pada aplikasi di lapangan. PMV diturunkan dari riset-riset dalam kondisi *steady state* di *chamber* yang tidak pernah bisa persis mewakili atau terjadi pada kondisi sehari-hari.

a. Bias PMV dan kategori pada skala ASHRAE

Seperti telah diketahui bahwa skala tujuh titik ASHRAE tidak menggunakan istilah nyaman melainkan bersumbu pada term dingin (*cold*), sejuk (*cool*), agak sejuk (*slightly cool*), netral, agak hangat (*slightly warm*) dan hangat (*warm*) serta panas (*hot*).

Penelitian Sugini, 2003 yang berjudul *the Meaning of Termal Comfort Qualtiy Terms in Relations with Climatic Variabels* memberikan hasil bahwa diantara tujuh istilah kualitas kenyamanan termal maka istilah yang tidak bias adalah istilah sejuk dan pengap.

Bila dilihat istilah-istilah yang digunakan oleh penskalaan tujuh titik ASHRAE maka istilah sejuk, dingin dan pengap adalah istilah yang relatif tidak mempunyai bias yang tinggi, sehingga kecurigaan Nicol dan Humphreys tentang kemungkinan bias PMV pada proses pengumpulan data diduga tidak

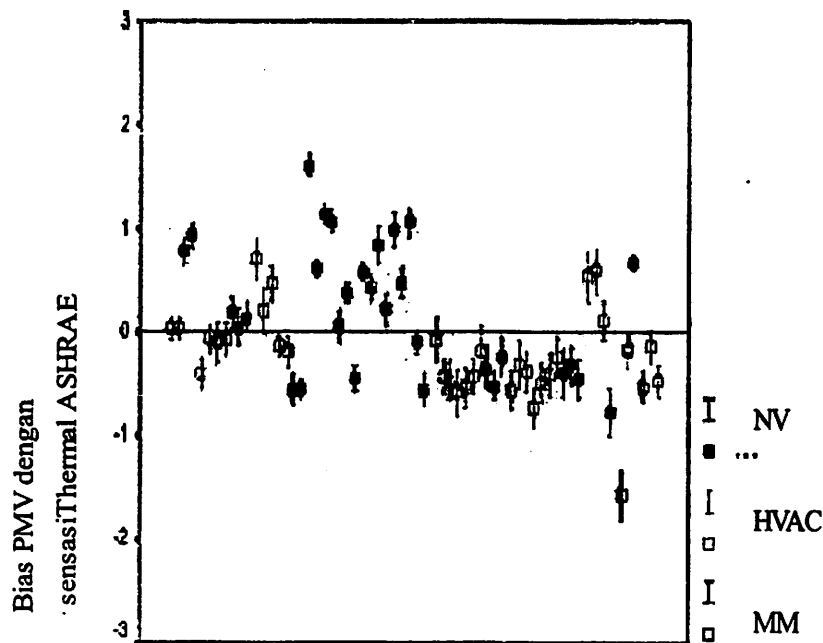
akan signifikan. Dengan demikian maka penskalaan tujuh titik ASHRAE dapat digunakan dalam penjaringan pendapat atau *voting* tentang derajat kenyamanan termal ruang penelitian di Indonesia.

Di samping hal tersebut, ada cara-cara yang diharapkan dapat membantu untuk memberikan gambaran tentang sensasi termal dalam pengumpulan data. Salah satunya dengan penambahan tanda-tanda atau bahasa gambar. Auliciems, 1989 dalam Nancy, 1989 menyajikan gambar-gambar yang diharapkan dapat mengurangi bias simantik.

b. Bias PMV dan aplikasi lapangan

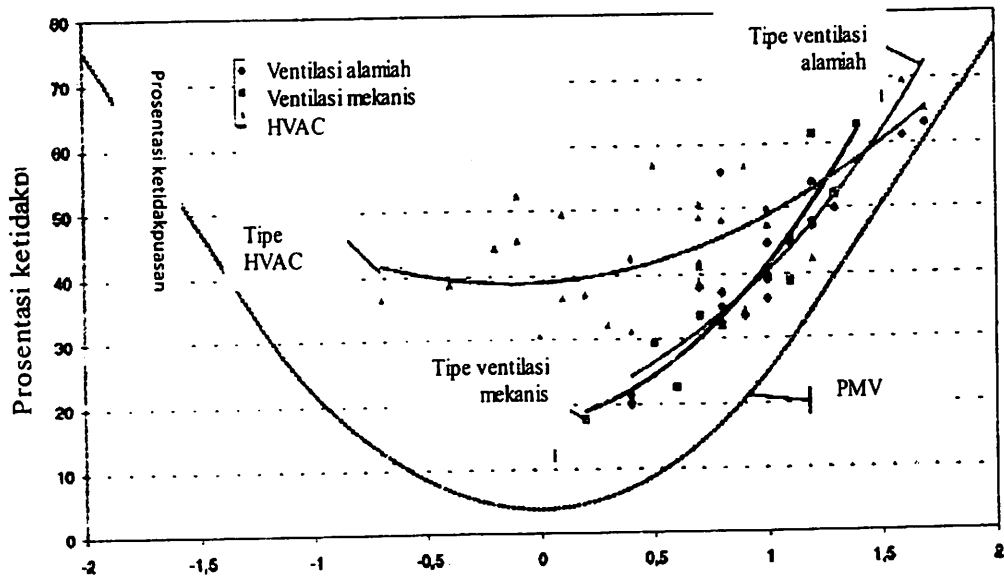
PMV dan sistem penghawaan bangunan

Secara lebih terinci PMV ternyata mengalami bias yang signifikan pada bangunan dengan sistem ventilasi alamiah seperti dapat dilihat pada Gambar 32. Hal ini diduga disebabkan karena bias yang disebabkan oleh ketidaksesuaian aplikasi dilapangan dengan riset-riset di *chamber* yang didukung oleh sistem HVAC. Hal ini diperkuat dengan penelitian Linden, Boerstra, Raue (2001) yang membuktikan adanya perbedaan persentasi ketidakpuasan dengan tipe bangunan. Secara rinci dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 32 Bias antara PMV dengan sensasi termal aktual skala ASHRAE

(Sumber : Humphreys, Nicol, 2002 dengan modifikasi)



Gambar 33 Hubungan PMV dan prosentasi ketidakpuasan antara tiga tipe bangunan yang berbeda: ventilasi alamiah, ventilasi mekanis, HVAC

(Sumber : Linden, Boerstra, Raue, Kurves, 2001)

PMV dan aktivitas

Menurut Humphreys dan Nicol (2002) bias PMV akan semakin besar seiring dengan derajat metabolisme dari aktivitas. PMV tidak akan mengalami bias yang signifikan pada aktivitas dengan *level* aktivitas sampai dengan 1,4 met. Sesuai tabell dapat dilihat bahwa aktivitas pembelajaran di sekolah atau bangunan pendidikan termasuk dalam rentang aktivitas 1,2 met. Dengan demikian bias PMV yang disebabkan karena derajat metabolisme aktivitas di ruang pembelajaran dan kantor diduga tidak akan terjadi. Namun demikian untuk meyakinkan bahwa bias aktivitas PMV dapat diidentifikasi maka disarankan bagi para pembaca yang akan melakukan penelitian harus menyusun sedemikian rupa desain penelitiannya sehingga bias karena faktor campuran dapat diidentifikasi.

PMV dan konteks iklim bangunan Yogyakarta

Berdasarkan pembagian iklim menurut Atkinson (Evans,1980) daerah iklim dibagi menjadi tiga daerah. Pertama iklim hangat lembab (Warm Humid,WH), panas kering (*Hot Dry*, HD), dan komposit atau monsoon. Secara lebih detail terdapat pembagian daerah sub grup yang meliputi iklim kepulauan tropis, gurun pasir maritime, dan pegunungan tropis. Secara detail karakteristiknya dapat dilihat pada Tabel 4.

Yogyakarta adalah daerah hangat lembab yang terletak di $7^{\circ}.33'-8^{\circ}.12'$ LS dan $110^{\circ}.00-110^{\circ}.50'$ BT. Kondisi geografi Yogyakarta ditandai dengan kondisi sebagai berikut (bpsd, 2001)

- 1) Ketinggian 100m-499m di atas permukaan laut.
- 2) Suhu udara antara $22,3^{\circ}\text{C}-32,7^{\circ}\text{C}$.
- 3) Kelembaban udara antara 35% sampai dengan 97%
- 4) Kecepatan angin 01 knot-05knot.
- 5) Curah hujan 0,01-100,00 mm dengan hujan terbanyak pada bulan Januari.

Hasil analisis Humphreys dan Nicol (2002) menunjukkan PMV akan mengalami bias yang signifikan pada kondisi di atas 27°C , pada kelembaban di atas 60% dan kecepatan angin di atas 0,2m/dt.

Berdasarkan pada hal tersebut di atas maka bangunan ventilasi alamiah di daerah hangat lembab, pegunungan tropis diduga akan memberikan bias yang signifikan. Dengan demikian berarti bias yang signifikan antara PMV dengan kondisi di lapangan diduga juga akan terjadi pada bangunan ventilasi alamiah di Yogyakarta. Namun demikian dikatakan berdasarkan Humphreys dan Nicol (2002) PMV mempunyai prospek untuk diimprovisasi dan dikembangkan sehingga tidak terjadi bias yang signifikan (Humphreys, Nicol, 2002). Berkenaan dengan kemungkinan munculnya bias klimatis dalam penelitian maka desain penelitian harus disusun agar faktor campuran karena bias klimatis dapat diidentifikasi.

Tabel 4 Tipe iklim Atkinson dan karakteristiknya

	Hangat Lembab (WH)	Panas Kering (HD)	Komposit atau Monson (C)	Kepulauan Tropis	Gurun Pasir Maritim	Pegunungan Tropis	Komposit dengan musim dingin	Sub tropis
Lokasi	15°LS-15°LU	15°-30°C disebelah Utara /Selatan Katulistiwa	Zone antara WH dan HD	15°C-25° disebelah Utara atau di sebelah Selatan Katulistiwa	Zone dengan iklim gurun yang terpengaruh oleh laut	Daerah katulistiwa dengan ketinggian 1000m	20°-30°	25°-45° dari katulistiwa
Temperatur udara Rerata bulanan Range perbedaan	20°C-30°C 10°C	tinggi 15°C	Pada musim tertentu sama dengan WH dan musim yang lain sama dengan HD lamanya musim WH 2-10 bul	Rerata sama dengan WH dengan range perbedaan 20°C	Sama dengan HD	Suhu lebih rendah 4°C dibandingkan dengan iklim dataran rendah yang bersebelahan	30° di bulan terpanas dan 15 °C atau lebih rendah pada waktu musim dingin	Range berkisar 5°C - 25°C
Kelembaban Rerata Maksimum	60% 90%-100%	30%-45% Evaporasi tinggi	Berubah antara range WH dan HD seiring dengan perubahan suhu	Rerata sama dengan WH, terjadi penurunan pada musim kering sampai 60%	40%-90%	Kelembaban tinggi, namun lebih rendah sedikit dibanding WH	50% pada musim HD, 60% pada musim dingin dan 60%-70% di musim WH	
Curah hujan	1000 mm dengan satu/dua musim kering	0-150mm	200mm	800mm-1200mm. Pada lokasi datangnya angin dan bukit sd 5000mm	250mm	1000mm	500mm	Lebih rendah dari 250 mm
Matahari (radiasi)	Kelembaban dan awan mengurangi radiasi tetapi meningkatkan difusi radiasi	Langit biru dominan, kadang-kadang awan cerah dipagi hari dan di musim yang lebih dingin, Debu yang menyebabkan cerah langit yang menyakitkan	Berubah sesuai musim	Langit cerah dengan awan yang tersebar. Durasi matahari dan intensitas radiasi langsung lebih tinggi dar WH	Langit seperti iklim gurun, difusi radiasi sama dengan HD	Penutupan awan bervariasi sesuai dengan musim. Makin tinggi altitude intensitas radiasi makin tinggi	Sama dengan iklim komposit dengan intensitas radiasi yang tinggi pada musim HD. Sudut radiasi rendah pada musim dingin.	
Angin Kecepatan Arah	Rata-rata kecepatan rendah namun pada satu/dua arah utama tertentu tinggi Variasi tinggi	Kecepatan angin meningkat hingga siang dan turun di sore hari. Kadang dengan badai pasir	Pola berubah sesuai dengan musim	Kecepatan angin umumnya tetap dan lebih tinggi dibanding WH.	Hembusan ringan dari laut dan pantai	Sama dengan WH dan ditentukan oleh topografi	Arah angin sama pada musim HD dan dingin dan berubah pada WH	

(Sumber : Sugini, 2007 berdasarkan Evans, 1980)

Bias PMV juga terbukti pada studi-studi terkini yang ditujukan untuk mengkaji indeks PMV. Sebagai contoh adalah kajian yang dilakukan oleh Ahmet Ugursal dan Charles H. Culp, 2012.

3.3. Model adaptif Auliciems, De Dear & Brager dan Nicol & Humphreys

Model Auliciems, De Dear & Brager dan Nicol & Humphreys adalah model yang disusun atas dasar pandangan bahwa kenyamanan termal tidak hanya ditentukan oleh variabel iklim dalam kondisi statis dan tidak hanya ditopang oleh sistem termoregulator fisiologis saja, tetapi ditopang pula oleh termoregulator perilaku. Oleh sebab itu maka faktor-faktor yang menentukan derajat kenyamanan termal tidak hanya ditentukan oleh 4 variabel iklim ruang dan dua variabel personal, tetapi dipengaruhi oleh variabel-variabel psikologis yang kompleks. Berdasarkan pandangan ini maka model adaptif Auliciems, De Dear dan Nicol & Humphreys di susun melalui penelitian lapangan.

Walaupun pada konsep pendekatannya kenyamanan termal ditentukan oleh variabel-variabel yang kompleks tapi variabel yang menentukan dalam model-model ini adalah temperatur udara luar. Hal ini disebabkan karena variabel-variabel psikologis dan fisiologis pada akhirnya akan dimoderatori oleh variabel udara luar. Pemilihan pakaian seseorang ketika akan ke luar rumah, ke kantor dan sebagainya akan ditentukan oleh cuaca luar. Cuaca saat ini dan masa lampau akan mempengaruhi tingkat harapan dan kemakluman seseorang terhadap lingkungan termal yang dihadapinya (disarikan dari Sugini, 2002).

Adapun tiga model tersebut adalah sebagai berikut:

1) Model Adaptif Auliciems (Alan Hedge, 2003 dan 2007):

$$T_n = 9,22 + 0,48 t_a + 0,14 t_{mno} \dots\dots\dots(3.5)$$

T_n : temperatur netral

T_a : temperatur udara.

T_{mno} : temperatur udara luar bulanan rata-rata

2) Model Nicol & Humphreys (Nicol & Humphreys, 2002)

$$T_c = 13,5 + 0,54 t_o \dots\dots\dots(3.6)$$

T_c : temperatur comfort atau nyaman

T_o : temperatur operatif udara luar

3) Model De Dear & Brager (De Dear & Brager, 2002)

$$T_c = 17,8 + 0,31 t_{a, out} \dots\dots\dots(3.7)$$

T_c : temperatur comfort atau nyaman

$T_{a, out}$: temperatur udara luar

Model-model adaptif tersebut di atas menunjukkan bahwa pada akhirnya suhu udara luar adalah variabel penentu temperatur nyaman. Dalam hal mana variabel suhu udara luar dapat dilihat sebagai tiga alternatif besaran : temperatur udara luar, temperatur udara luar bulanan rata-rata dan temperatur operatif. Sebagai mana diketahui, temperatur udara operatif akan ditentukan oleh temperatur udara dan temperatur radiasi rata-rata.

Model PMV_{new}

Selain model tersebut di atas, dari penelitiannya Nicol & Humphreys juga telah merumuskan model PMV_{new}. Nicol dan Humphreys dengan menggunakan data sekunder dari hasil penelitian yang tersebar diberbagai bagian dunia telah mengusulkan suatu model untuk memperbaiki atau memperkecil bias PMV karena persamaan sebagai berikut:

$$PMV_{new} = 0,8(PMV - D_{PMV-ASHRAE}) \quad \dots\dots\dots(3.8)$$

PMV new = PMV hasil koreksi persamaan

$$D_{PMV-ASHRAE} = -4,03 + 0,0949T_{op} + 0,00584(RH) \quad \dots\dots\dots(3.9) \\ + 1,201(met \times clo) + 0,000838T_{out}^2$$

Top = temperatur operatif

Rh = kelembaban relatif

Met = tingkat metabolisme, aktivitas

Clo = tingkat insulasi pakaian

3.4. Model indeks kenyamanan termal PMV_{tap}

Model ini adalah model yang diformulasikan berdasarkan penelitian disertasi Sugini yang dilakukan mulai 2005 sampai dengan 2007. Ditujukan untuk mencari model baru yang dapat merangkum tidak hanya variabel-variabel termal pada aspek fisik fisiologis tetapi juga merangkum variabel-variabel psikologis. Penelitian ini dilakukan dengan pendekatan paradigma termo adaptif psikologis. Penelitian ini mengajukan strategi pemecahan permasalahan melalui pencarian model indeks baru dengan mengembangkan PMV melalui pencarian pola perbedaan PMV dengan hasil *voting* di lapangan. Penelitian ini juga sekaligus mengidentifikasi parameter-parameter variabel perbedaan-perbedaan psikologis individual yang menentukan pola perbedaan tersebut.

Tujuan dari penelitian ini adalah mencari model indeks kenyamanan termal termo adaptif psikologis PMV_{tap} dan parameter-parameternya melalui pengembangan model indeks termal PMV pada ruang dalam bangunan di Yogyakarta.

Penelitian ini dibatasi pada responden usia remaja akhir hingga dewasa. Dasar pertimbangannya adalah bahwa subyek yang telah berada pada masa remaja akhir dan dewasa telah menyelesaikan tugas perkembangan fisik, psikis dan sosialnya (Sartini Nuryanto, 1992 berdasarkan pada Havighurst, 1955 dan Dusek, 1977).

Populasi akan dibatasi pada subyek dengan atribut jenis pekerjaan mahasiswa, pekerja kantoran dan pekerja pabrik di ruang produksi. Lingkup populasi penelitian ini dibatasi pada tujuh unit bangunan yang terdiri dari bangunan rektorat UII, pabrik Mataram Tunggal Garment, arsitektur UGM, FTSP UII, kantor pusat UGM, Psikologi UII dan Psikologi UGM.

Lokasi penelitian adalah Yogyakarta Indonesia. Tempat penelitian adalah pada tujuh unit bangunan seperti yang telah dijelaskan dalam batasan penelitian. Yogyakarta adalah daerah hangat lembab yang terletak di $7^{\circ}.33'-8^{\circ}.12'$ ls dan $110^{\circ}.00'-110^{\circ}.50'$ bt. Kondisi geografi Yogyakarta ditandai dengan kondisi sebagai berikut (BPSD, 2001): (1) ketinggian 100m-499m di atas permukaan laut; (2) suhu udara antara $22,3^{\circ}\text{C}-32,7^{\circ}\text{C}$; (3) kelembaban udara antara 35% sampai dengan 97%; (4) kecepatan angin 01 knot-05knot; (5) curah hujan 0,01-100,00 mm dengan hujan terbanyak pada bulan Januari.

Tipe desain penelitian yang akan dilaksanakan. Didasarkan pada pembagian tipe desain penelitian oleh Nazir (1985). Tipe penelitian dilihat dari aspek kendali maka penelitian ini disebut dengan penelitian *ex post facto* atau penelitian *after fact* (Anne Mayer, 1980). Pengendalian dilakukan sesudah kejadian dilakukan dengan melakukan kendali pada tahap analisisnya. Tipe penelitian dilihat dari aspek waktu maka penelitian ini pada prinsipnya dilakukan dengan desain penelitian *cross sectional*. Untuk kepentingan validasi ada bagian dari analisis dalam penelitian ini yang dilakukan untuk menguji factor campuran.

Jumlah sampel penelitian lapangan ditentukan berdasarkan Tabel Kerjije dengan tingkat kepercayaan 95%. Jumlah populasi untuk seluruh unit dalam bangunan kurang lebih adalah 9000-9354 penghuni. Berdasarkan Tabel Kerjji, populasi sebesar 9000 orang membutuhkan 368 sampel. Namun demikian, karena dalam penelitian *eks post facto* pengendalian dilakukan pada saat analisis, maka jumlah sampel ditetapkan sebanyak 1040 orang. Jumlah sebaran sampel perunitnya mendekati proporsional. Responden dan titik amatan dipilih secara acak.

Dilihat dari bentuknya maka data penelitian terdiri dari data fisik fiologis obyektif, data subyektif dan data turunan. Data fisis diambil dengan alat-alat yang sesuai. Suhu diambil dengan thermometer DBT dan BGT dengan sensor thermocouple dan pembaca digital. Kelembaban diukur dengan hygrometer, kecepatan angin dengan anemometer. Data dimensi spasial diukur dengan alat ukur panjang. Data kuat penerangan diukur dengan lightmeter sedangkan

kebisingan dengan *soundlevelmeter*. Data fisiologis dan data sikap penilaian subyektif diukur dan atau dikumpulkan dengan kuisioner. Data turunan didapat dengan mengolah data empiri lapangan dengan formula matematis baik secara manual atau menggunakan software.

Dalam mencapai sasaran tersebut di atas maka tahapan penelitian Sugini, 2007 dapat digambarkan sebagai berikut:



Gambar 34 Proses penelitian

(Sumber : Sugini, 2007)

Proses pengambilan semua bentuk data tersebut untuk setiap titik amatan (responden) dilakukan bersamaan. Dengan demikian setiap titik amatan (responden) akan memiliki semua bentuk data tersebut di atas. Metode analisis dan informasi akan menggunakan metode statistikal. Tahapan secara rinci adalah sebagai berikut: (1) kalkulasi data kasar menjadi informasi dasar; (2) tahap analisis pengolahan informasi dasar menjadi informasi yang berkaitan dengan sasaran penelitian; (3) analisis untuk menguji hipotesis model b vor -PMV yang diajukan (dimodifikasi dari Vincent Gasperzs, 1995); (4) tahapan analisis untuk pengujian validitas dan realibilitas penelitian di dalamnya termuat uji reliabilitas aplikasi model temuan ; (5) uji kelayakan praktis.

Model PMVtap Umum dan Khusus

Dari hasil penelitian Sugini 2007 diperoleh model-model PMVtap umum dan khusus sebagai berinci dalam tabel berikut.

Tabel 5 Hasil proses peroleh model

No	Spesifikasi cakupan model	Hasil tahap uji kelayakan praktis*
1	Umum	$PMV_{tap6} = PMV + \tilde{Y}_{vor} PMV6$ $\tilde{Y}_{vor} PMV6 = 0.712 d1 + 0.803d2 + 0.238 xls6 + 0.044 dxls13 - 0.892 dxk8 - 0.233dxk2$ $PMV_{tap6} = PMV + 0.712 d1 + 0.803d2 + 0.238 xls6 + 0.044 dxls13 - 0.892 dxk8 - 0.233dxk2$
2	model AC	$Model PMV_{tap7} = PMV + \tilde{Y}_{vor} - PMV7$ $\tilde{Y}_{vor} - PMV7 = 0.672 d1 - 0.374d1x11 + 0.164 xls6 + 0.045 xls7 - 0.559 dxls10 - 0.353 dxls11 - 0.33dxls1$ $PMV_{tap7} = PMV + 0.672 d1 - 0.374d1x11 + 0.164 xls6 + 0.045 xls7 - 0.559 dxls10 - 0.353 dxls11 - 0.33dxls1$
3	model NV	$Model PMV_{tap12} = PMV + \tilde{Y}_{vor} - PMV12$ $\tilde{Y}_{vor} - PMV12 = 0.787 d1 + 0.718 d2 + 0.345 d3 - 0.259 d2xls9$ $PMV_{tap12} = PMV + 0.787 d1 + 0.718 d2 + 0.345 d3 - 0.259 d2xls9$
4	model bebas	$Model PMV_{tap15} = PMV + \tilde{Y}_{vor} - PMV15$ $\tilde{Y}_{vor} - PMV15 = 0.297 + 0.506 d1 + 0.576d2d3 + 0.489 d2x11 + 0.121 xls7 + 0.454 d1x1x9 + 0.356 dxls3 - 0.672 dxk8 - 0.62 dxk1$ $PMV_{tap15} = PMV + 0.297 + 0.506 d1 + 0.576d2d3 + 0.489 d2x11 + 0.121 xls7 + 0.454 d1x1x9 + 0.356 dxls3 - 0.672 dxk8 - 0.62 dxk1$
5	model tidak bebas	$Model PMV_{tap26} = PMV + \tilde{Y}_{vor} - PMV26$ $\tilde{Y}_{vor} - PMV26 = 0.882 d1 + 1.045d2 - 0.275dxls1 - 0.742dxk8$ $PMV_{tap26} = PMV + 0.882 d1 + 1.045d2 - 0.275dxls1 - 0.742dxk8$
6	model stimulus lain nyaman	$Model PMV_{tap34} = PMV + \tilde{Y}_{vor} - PMV34$ $\tilde{Y}_{vor} - PMV34 = 0.743 d1 + 0.836d2 - 0.595d1x11 - 0.593dxk8$ $PMV_{tap34} = PMV + 0.743 d1 + 0.836d2 - 0.595d1x11 - 0.593dxk8$
7	model AC & stimulus lain nyaman	$Model PMV_{tap39} = PMV + \tilde{Y}_{vor} - PMV39$ $\tilde{Y}_{vor} - PMV39 = 0.571 d1 - 0.764dxls10 - 0.555dxls11$ $PMV_{tap39} = PMV + 0.571 d1 - 0.764dxls10 - 0.555dxls11$
8	model NV & stimulus lain nyaman	$Model PMV_{tap40/42} = PMV + \tilde{Y}_{vor} - PMV40/42$ $\tilde{Y}_{vor} - PMV40/42 = -3.472 + 0.982 d1 + 1.404d2 + 2.4 dxls11 + 1.108dxls1$ $PMV_{tap40/42} = PMV - 3.472 + 0.982 d1 + 1.404d2 + 2.4 dxls11 + 1.108dxls1$

Lanjutan Tabel 5

No	Spesifikasi cakupan model	Hasil tahap uji kelayakan praktis*
9	model AC & bebas	Model PMVtap46=PMV+ \bar{Y} vor-PMV46 \bar{Y} vor-PMV46=0.238+0.641 d1-0.553dx12 +0.083 xls7-0.434 dxls11-0.38 dxk2 PMVtap46=PMV+0.238+0.641 d1-0.553dx12 +0.083 xls7-0.434 dxls11-0.38 dxk2
10	model NV & bebas	Model PMVtap50=PMV+ \bar{Y} vor-PMV50 \bar{Y} vor-PMV50=1.013+0.526 d2d3+0.547 d2x11 + 0.125xls7 +0.74 d1xls9-0.846 dxk1 PMVtap50=PMV+1.013+0.526 d2d3+0.547 d2x11 + 0.125xls7 +0.74 d1xls9-0.846 dxk1
11	model AC & tidak bebas	Model PMVtap53=PMV+ \bar{Y} vor-PMV53 \bar{Y} vor-PMV53= 0.676 d1+0.986 d2 -0.96 d1x11-0.88 d2x11-1.88 d3x11+0.236 xls6 +0.065 xls13-0.24dxls14-0.54 dxls1-0.3dxls2 PMVtap53=PMV+0.676 d1+0.986 d2 -0.96 d1x11-0.88 d2x11-1.88 d3x11+0.236 xls6 +0.065 xls13-0.24dxls14-0.54 dxls1-0.3dxls2
12	model NV & tidak bebas	Model PMVtap62=PMV+ \bar{Y} vor-PMV62 \bar{Y} vor-PMV62=1.995 d1+1.604 d2 +1.51 d3-2.202 d1d3-1.596 d2d3-0.167 xls8-2.208 dxls10+2.811 dxls11-0.5 dxk5 PMVtap62=PMV+1.995 d1+1.604 d2 +1.51 d3-2.202 d1d3-1.596 d2d3-0.167 xls8-2.208 dxls10+2.811 dxls11-0.5 dxk5
13	model bebas & stimulus lain nyaman	Model PMVtap72=PMV+ \bar{Y} vor-PMV72 \bar{Y} vor-PMV72= 1.065d2d3+ 3.071 d1x11 +4.658 d2x11+4.18d3x11 -2.46 dxls10-1.11 dxls11-0.13 xls13-0.9 dxk8 PMVtap72=PMV+1.065d2d3+ 3.071 d1x11 +4.658 d2x11+4.18d3x11 -2.46 dxls10-1.11 dxls11-0.13 xls13-0.9 dxk8
14	model tidak bebas & stimulus lain nyaman	Model PMVtap76=PMV+ \bar{Y} vor-PMV76 \bar{Y} vor-PMV76=0.878 d1+ 1.166 d2 -1.889 d2d3 - 0.163 xls8 + 1.014 d1xls9 - 0.09 xls13 PMVtap76=PMV+0.878 d1+ 1.166 d2 -1.889 d2d3 - 0.163 xls8 + 1.014 d1xls9 - 0.09 xls13
15	model AC, bebas, stimulus lain nyaman	Model PMVtap83=PMV+ \bar{Y} vor-PMV83 \bar{Y} vor-PMV83= -1.297 dx12+ 1.35 d1x11+1.764 d2x11-1.65 dxls14 PMVtap83=PMV-1.297 dx12+ 1.35 d1x11+1.764 d2x11-1.65 dxls14
16	model NV, bebas, stimulus lain nyaman	Model PMVtap86=PMV+ \bar{Y} vor-PMV86 \bar{Y} vor-PMV86=1.239+1.04 d2d3-2.31 d1x11 PMVtap86= PMV+1.239+1.04 d2d3-2.31 d1x11

Lanjutan Tabel 5

No	Spesifikasi cakupan model	Hasil tahap uji kelayakan praktis*
17	model AC, tidak bebas, stimulus lain nyaman	Model $PMV_{tap88} = PMV + \tilde{Y}_{vor} - PMV88$ $\tilde{Y}_{vor} - PMV88 = -0.278$ xls7 $PMV_{tap88} = PMV - 0.278$ xls7
18	model NV, tidak bebas, stimulus lain nyaman	Model $PMV_{tap90} = PMV + \tilde{Y}_{vor} - PMV90$ $\tilde{Y}_{vor} - PMV90 = 1.668 + 2.717 d1 + 1.395 d2 - 2.689 d2d3 - 1.98 dx12 - 0.861$ xls8-2.052 dxls11 $PMV_{tap90} = PMV + 1.868 + 2.717 d1 + 1.395 d2 - 2.689 d2d3 - 1.98 dx12 -$ 0.861 xls8-2.052 dxls1
19	model NV & stimulus lain nyaman	Model $PMV_{tap 40/42} = PMV + \tilde{Y}_{vor} - PMV40/42$ $\tilde{Y}_{vor} - PMV40/42 = -3.472 + 0.982 d1 + 1.404d2 + 2.4 dxls11 + 1.108dxls1$ $PMV_{tap40/42} = PMV - 3.472 + 0.982 d1 + 1.404d2 + 2.4 dxls11$ $+ 1.108dxls1$
20	model AC & bebas	Model $PMV_{tap46} = PMV + \tilde{Y}_{vor} - PMV46$ $\tilde{Y}_{vor} - PMV46 = 0.238 + 0.641 d1 - 0.553dx12 + 0.083 xls7 - 0.434 dxls11 -$ $0.38 dxk2$ $PMV_{tap46} = PMV + 0.238 + 0.641 d1 - 0.553dx12 + 0.083 xls7 - 0.434$ $dxls11 - 0.38 dxk2$
21	model NV & bebas	Model $PMV_{tap50} = PMV + \tilde{Y}_{vor} - PMV50$ $\tilde{Y}_{vor} - PMV50 = 1.013 + 0.526 d2d3 + 0.547 d2x11 + 0.125xls7 + 0.74$ $d1xls9 - 0.846 dxk1$ $PMV_{tap50} = PMV + 1.013 + 0.526 d2d3 + 0.547 d2x11 + 0.125xls7 + 0.74$ $d1xls9 - 0.846 dxk1$
22	model AC & tidak bebas	Model $PMV_{tap53} = PMV + \tilde{Y}_{vor} - PMV53$ $\tilde{Y}_{vor} - PMV53 = 0.676 d1 + 0.986 d2 - 0.96 d1x11 - 0.88 d2x11 - 1.88$ $d3x11 + 0.236 xls6 + 0.065 xls13 - 0.24dxls14 - 0.54 dxls1 - 0.3dxls2$ $PMV_{tap53} = PMV + 0.676 d1 + 0.986 d2 - 0.96 d1x11 - 0.88 d2x11 - 1.88$ $d3x11 + 0.236 xls6 + 0.065 xls13 - 0.24dxls14 - 0.54 dxls1 - 0.3dxls2$
23	model NV & tidak bebas	Model $PMV_{tap62} = PMV + \tilde{Y}_{vor} - PMV62$ $\tilde{Y}_{vor} - PMV62 = 1.995 d1 + 1.604 d2 + 1.51 d3 - 2.202 d1d3 - 1.596 d2d3 -$ $0.167 xls8 - 2.208 dxls10 + 2.811 dxls11 - 0.5 dxk5$ $PMV_{tap62} = PMV + 1.995 d1 + 1.604 d2 + 1.51 d3 - 2.202 d1d3 - 1.596$ $d2d3 - 0.167 xls8 - 2.208 dxls10 + 2.811 dxls11 - 0.5 dxk5$
24	model bebas & stimulus lain nyaman	Model $PMV_{tap72} = PMV + \tilde{Y}_{vor} - PMV72$ $\tilde{Y}_{vor} - PMV72 = 1.065d2d3 + 3.071 d1x11 + 4.658 d2x11 + 4.18d3x11$ $- 2.46 dxls10 - 1.11 dxls11 - 0.13 xls13 - 0.9 dxk8$ $PMV_{tap72} = PMV + 1.065d2d3 + 3.071 d1x11 + 4.658 d2x11 + 4.18d3x11$ $- 2.46 dxls10 - 1.11 dxls11 - 0.13 xls13 - 0.9 dxk8$

Lanjutan Tabel 5

No	Spesifikasi cakupan model	Hasil tahap uji kelayakan praktis*
25	model tidak bebas & stimulus lain nyaman	Model $PMV_{tap76} = PMV + \bar{Y}_{vor-PMV76}$ $\bar{Y}_{vor-PMV76} = 0.878 d1 + 1.166 d2 - 1.889 d2d3 - 0.163 xls8 + 1.014 d1xls9 - 0.09 xls13$ $PMV_{tap76} = PMV + 0.878 d1 + 1.166 d2 - 1.889 d2d3 - 0.163 xls8 + 1.014 d1xls9 - 0.09 xls13$
26	model AC, bebas, stimulus lain nyaman	Model $PMV_{tap83} = PMV + \bar{Y}_{vor-PMV83}$ $\bar{Y}_{vor-PMV83} = -1.297 dx12 + 1.35 d1xl1 + 1.764 d2xl1 - 1.65 dxls14$ $PMV_{tap83} = PMV - 1.297 dx12 + 1.35 d1xl1 + 1.764 d2xl1 - 1.65 dxls14$
27	model NV, bebas, stimulus lain nyaman	Model $PMV_{tap86} = PMV + \bar{Y}_{vor-PMV86}$ $\bar{Y}_{vor-PMV86} = 1.239 + 1.04 d2d3 - 2.31 d1xl1$ $PMV_{tap86} = PMV + 1.239 + 1.04 d2d3 - 2.31 d1xl1$
28	model AC, tidak bebas, stimulus lain nyaman	Model $PMV_{tap88} = PMV + \bar{Y}_{vor-PMV88}$ $\bar{Y}_{vor-PMV88} = -0.278 xls7$ $PMV_{tap88} = PMV - 0.278 xls7$
29	model NV, tidak bebas, stimulus lain nyaman	Model $PMV_{tap90} = PMV + \bar{Y}_{vor-PMV90}$ $\bar{Y}_{vor-PMV90} = 1.668 + 2.717 d1 + 1.395 d2 - 2.689 d2d3 - 1.98 dx12 - 0.861 xls8 - 2.052 dxls11$ $PMV_{tap90} = PMV + 1.668 + 2.717 d1 + 1.395 d2 - 2.689 d2d3 - 1.98 dx12 - 0.861 xls8 - 2.052 dxls11$

(Sumber: Sugini, 2007)

Keterangan tabel:

PMV _{tap}	= derajat kenyamanan termal berdasarkan model kenyamanan termal thermo adaptif psikologis. Berupa skala interval	.d1xls9	= tipe keluarga orang tua tunggal dan bukan, berupa skala nominal: tipe orang tua tunggal=1 bukan = 0
PMV	= <i>predicted mean vote</i> ; indeks kenyamanan termal yang menunjukkan derajat kenyamanan termal berdasarkan model kenyamanan termal adaptif fisiologis. Nilai skala interval hasil akumulasi melalui persamaan Fanger yang ditentukan oleh variabel penentu: suhu udara (t_a , °C); suhu radiasi rata-rata (t_{mrt} , °C); kelembaban relative (rh, %); kecepatan angin (v , m/dt); pakaian (clo); aktivitas (met)	.d2xls9	= tipe keluarga orang tua lengkap dan bukan, berupa skala nominal: tipe orang tua lengkap=1 bukan = 0
.d1	= gambaran kenyamanan termal ruang yang dibayangkan. berupa nilai nominal, nyaman=1, bukan nyaman=0.	.d3xls9	= tipe keluarga tanpa orang tua dan bukan, berupa skala nominal: tipe tanpa orang tua =1 bukan = 0
.d2	= gambaran kenyamanan termal ruang yang dibayangkan. berupa nilai nominal, agak hangat/hangat/panas=1, bukan agak hangat/hangat/panas=0.	.d1xls10	= jenis penghawaan ruang dominan di rumah. Berupa skala nominal alamiah=1 bukan =0
.d3	= pengalaman ketidaknyamanan termal berupa nilai nominal, sering tidak nyaman=1, bukan sering tidak nyaman (sering nyaman)=0.	.d1xls11	= jenis penghawaan ruang dominan di tempat kerja/kuliah. Berupa skala nominal: alamiah=1 bukan =0
.d1d3	= gambaran kenyamanan termal ruang yang dibayangkan dan pengalaman ketidaknyamanan termal berupa nilai nominal: gambaran kenyamanan termal ruang nyaman dan pengalaman ketidaknyamanan termal sering tidak nyaman=1, bukan =0.	.xls13	= lama waktu tinggal di ruang AC dalam kesehariannya. berupa skala ordinal. Tidak pernah <lama waktu< 1 jam = 0 1 jam <= lama waktu < 2 jam = 1 2 jam <= lama waktu < 3 jam = 2 3 jam <= lama waktu < 4 jam = 3 4 jam <= lama waktu < 5 jam = 4 5 jam <= lama waktu < 6 jam = 5 6 jam <= lama waktu < 7 jam = 6 7 jam <= lama waktu < 8 jam = 7 dst
.d2d3	= gambaran kenyamanan termal ruang yang dibayangkan dan pengalaman ketidaknyamanan termal berupa nilai nominal:	.d1xls14	= kebebasan mengendalikan penghawaan ruang dikesehariannya bebas =1 tidak bebas=0
		.d1xls1	= tempat tinggal terlama. Berupa nilai nominal: di yogyakarta =1 bukan= 0
		.d1xls2	= jenis kelamin. Berupa nilai nominal: laki-laki =1 perempuan= 0

	gambaran kenyamanan termal ruang agak hangat/hangat/panas dan pengalaman ketidaknyamanan termal	.dxls3	= suku. berupa nilai nominal: jawa =1 bukan= 0
	sering tidak nyaman=1, bukan =0..		
.d1x11	= jenis pekerjaan mahasiswa dan bukan mahasiswa = 1 bukan = 0	.dxk8	= jenis penghawaan ruang yang direpson. Berupa skala nominal: AC = 1 alamiah/alamiah +fan = 0
.d2x11	= jenis pekerjaan kantor dan bukan pegawai kantor = 1 bukan = 0	.dxk1	= persepsi penghuni terhadap kesesakan orang dalam ruang. berupa skala nominal: cenderung tidak nyaman = 1 cenderung nyaman = 2
.d3x11	= jenis pekerjaan pabrik, produksi dan bukan pegawai pabrik, produksi = 1 bukan= 0		
.dx12	= tingkat pendidikan <= sma atau bukan <= sma =1 > sma = 0	.dxk2	= persepsi penghuni terhadap kesesakan barang atau perabot dalam ruang. berupa skala nominal: cenderung tidak nyaman = 1 cenderung nyaman = 2
.xls6	= income pribadi, berupa skala ordinal income pribadi <=1 jt =1; 1 jt < income pribadi <=2 jt =2; 2 jt < income pribadi <=3 jt =3; 3 jt < income pribadi <=4 jt =4; 4 jt < income pribadi <=5 jt =5 dst.	.dxk3	= persepsi penghuni terhadap kuat penerangan dalam ruang. berupa skala nominal: cenderung tidak nyaman = 1 cenderung nyaman = 2
.xls7	= income bersama keluarga, berupa skala ordinal. income pribadi <=1 jt =1; 1 jt < income pribadi <=2 jt =2; 2 jt < income pribadi <=3 jt =3; 3 jt < income pribadi <=4 jt =4; 4 jt < income pribadi <=5 jt =5 dst.	.dxk4	= persepsi penghuni terhadap keterbukaan visual ruang. berupa skala nominal: cenderung tidak nyaman = 1 cenderung nyaman = 2
.xls8	=besar keluarga dilihat dengan jumlah orang dalam keluarga, berupa skala ordinal jumlah orang <=2 =1; jumlah orang 3 =2; jumlah orang 4 =3; jumlah orang 5 =4; jumlah orang 6 =5 jumlah orang >=7 =6	.dxk5	= persepsi penghuni terhadap kebisingan ruang. berupa skala nominal: cenderung tidak nyaman = 1 cenderung nyaman=2

3.5. Model-Model yang Mungkin Dikembangkan

Seperti yang telah dijelaskan, pencarian model indeks PMVtap oleh penulis th 2007 dalam disertasinya dilakukan dengan mengembangkan model PMV. Pengembangan model PMV dilakukan dengan mengelola perbedaan antara kualitas termal ruang berdasarkan pendapat penghuni dengan kualitas termal prediktif PMV (bvor-PMV). Pengelolaan dilakukan dengan mencari pola regresi linier antara bvor-PMV sebagai variabel dependen dengan variabel-variabel penentu perbedaan psikologis individu. Penelitian ini tidak berpretensi untuk menelusuri bagaimana struktur proses kerja hubungan variabel penentu perbedaan psikologis dalam proses psikologis penghuni. Dengan demikian model regresi linier sudah cukup untuk memodelkan PMVtap. Apabila ingin menelusuri bagaimana struktur proses kerja hubungan variabel penentu perbedaan psikologis dalam proses psikologis penghuni maka model regresi linier belum dapat secara lengkap menggambarkan konstruksi hubungan dengan struktur bertingkat sesuai kerangka teori hipotetiknya.

Dalam penelitian tersebut di atas dilihat adanya peluang untuk mengembangkan model indeks termal dengan pendekatan analisis lain. Salah satunya dengan menggunakan model persamaan struktural atau SEM (Maruyama, 1998). Pengembangan dengan model ini akan memungkinkan ditemukannya model yang bisa menjelaskan struktur kerja variabel penentu perbedaan psikologis individu dalam penilaian kualitas kenyamanan termal ruang. Bentuk hasil model ini mestinya lebih kompleks dibanding dengan model regresi linier PMVtap, sehingga walaupun pengembangan model PMVtap melalui alat persamaan struktural atau sem akan menggambarkan dengan lebih presisi konstruksi teorinya namun ada kemungkinan pada *level* aplikasi praktis di dunia desain arsitektur akan lebih sulit digunakan.

Model PMVtapsem

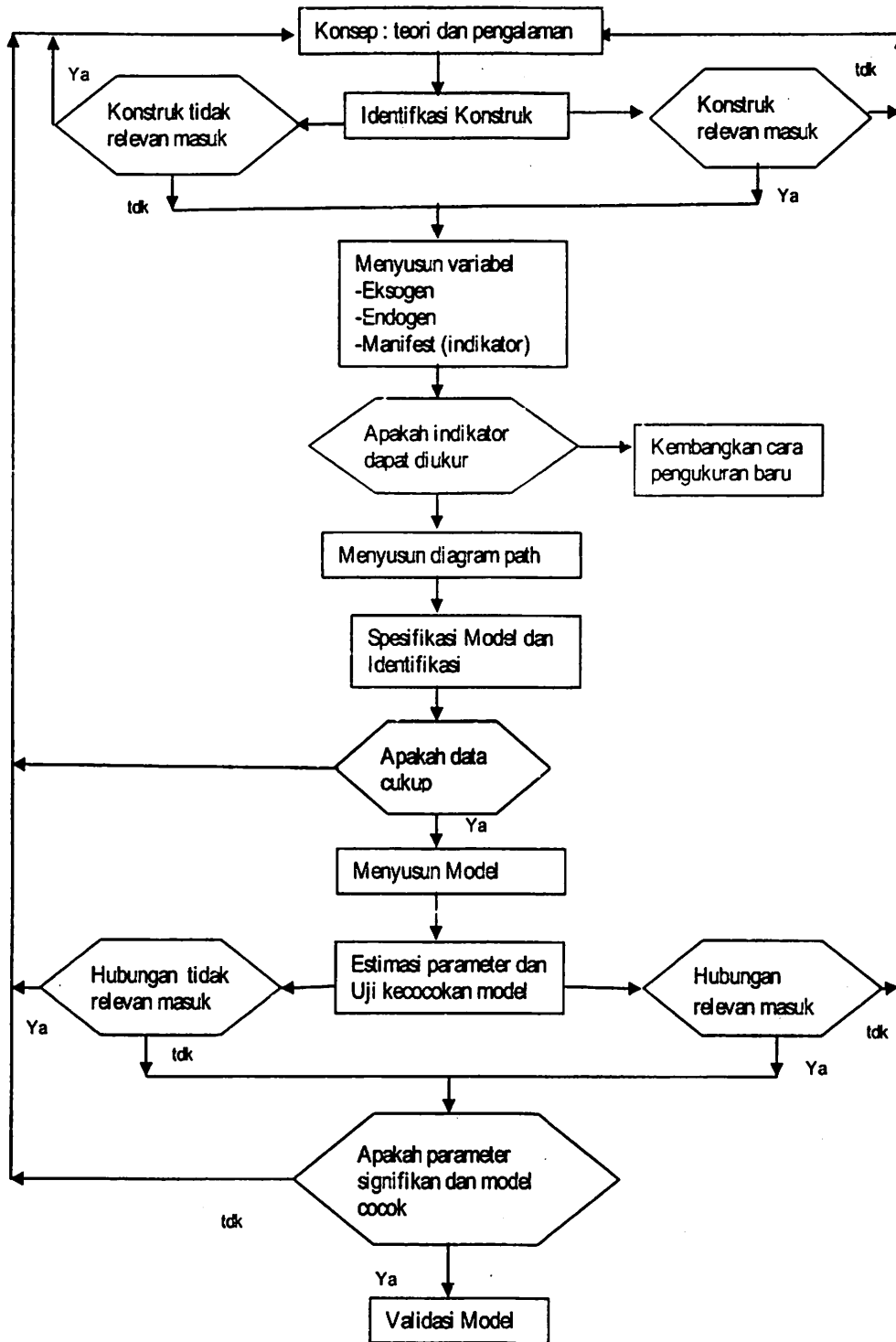
Sugini, 2013 memulai penelitian untuk mengembangkan PMVtap dengan pendekatan SEM. Model itu diusulkan dengan nama PMVtapsem. Pada saat penulisan buku ini, penelitian sedang berjalan pada tahap pengembangan matematis. Dari tahap ini akan dilanjutkan tahap uji empiris di lapangan.

Terdapat beberapa software SEM yang beredar dipasaran, diantaranya LISREL, AMOS, EQS. Ada 7 (tujuh) tahapan pokok yang harus dilakukan dalam menggunakan teknik analisis dengan SEM dalam sebuah kegiatan penelitian yaitu (Hair et al, 1998):

1. Pengembangan Model Teoritis. Pada tahap ini, sebuah model yang mempunyai justifikasi teoritis yang kuat dikembangkan.

2. Pengembangan Diagram Alur (Path Diagram). Setelah model teoritis dibangun, maka langkah selanjutnya adalah menggambarkan sebuah path diagram. Path diagram dimaksudkan untuk melihat hubungan kausalitas yang ingin diuji.
3. Konversi diagram alur kedalam persamaan. Setelah teori/model dikembangkan dan digambarkan dalam sebuah diagram alur, maka spesifikasi model dapat dikonversikan ke dalam rangkaian persamaan.
4. Memilih matriks input dan estimasi model yang sesuai. SEM hanya menggunakan matriks varians/kovarians atau matriks korelasi sebagai data input untuk keseluruhan estimasi yang dilakukannya.
5. Kemungkinan munculnya masalah identifikasi. Salah satu persoalan mendasar dalam model struktural adalah masalah identifikasi, yang memberikan indikasi sebuah model dapat diselesaikan dengan baik atau tidak dapat diselesaikan sama sekali. Identifikasi model dimaksudkan untuk menghasilkan serangkaian nilai parameter yang konsisten dengan data.
6. Evaluasi Kriteria *Goodness - of - fit*. Pada langkah ini kesesuaian model dievaluasi, melalui telaah terhadap berbagai kriteria goodness-of-fit.
7. Interpretasi dan Modifikasi Model. Langkah terakhir adalah menginterpretasikan model dan memodifikasikan model bagi model-model yang tidak memenuhi syarat pengujian yang dilakukan.

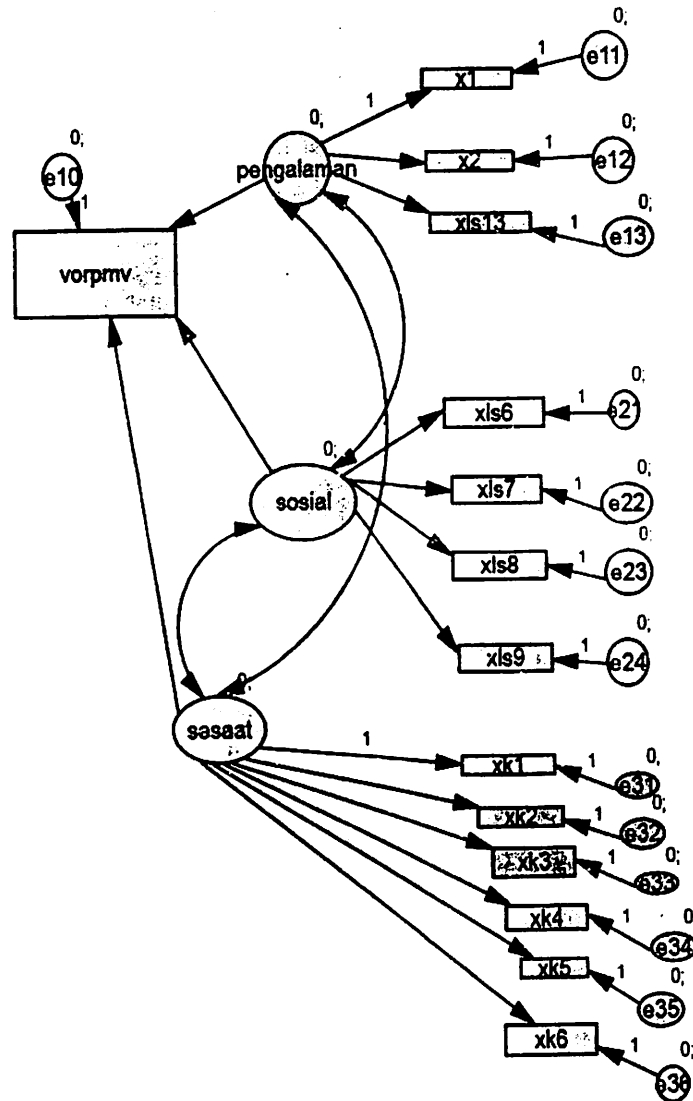
Analisis SEM mencakup tiga tahap yaitu konseptualisasi model, penyusunan diagram alur dan spesifikasi model (Gozali dkk, 2005). Tahap konseptualisasi model berhubungan dengan pengembangan hipotesis (berdasarkan teori) sebagai dasar dalam menghubungkan variabel laten dengan variabel laten yang lain dan variabel indikator. Tahap penyusunan diagram alur (*path diagram construction*), akan memudahkan visualisasi hipotesis yang telah diajukan dalam konseptualisasi model diatas. Tahap spesifikasi model, yaitu tahap penentuan jumlah dan sifat parameter yang diestimasi. Langkah-langkah SEM dapat digambarkan dalam ilustrasi berikut:



Gambar 35 *Prosedur pengembangan model PMVtapsem*

(Sumber: Sugini, Jaka Nugraha, 2013)

Model PMVtapsem sampai dengan tahap pengembangan matematis secara prinsip dapat dilihat pada gambar berikut:



Gambar 36 Pathdiagram analisis SEM terhadap 900 data terpilih
(Sumber: Sugini, Jaka Nugraha, 2013)

Dari gambar tersebut dihasilkan model hubungan antara nilai beda antara kenyamanan termal berdasarkan *voting riel* responden dan nilai PMV (*vorpvmv*) ditentukan oleh variabel pengalaman termal sesaat dan pengalaman termal masa lalu dan kondisi sosial. Parameter-parameter yang berperan pada variabel pengalaman termal sesaat dan masa lalu berbeda baik bobot dan jenis parameternya tergantung pada beberapa kondisi.

Berikut adalah hasil analisis SEM dari 900 data yang tersaring dalam penelitian yang sedang dilakukan penulis th 2013. Model hubungan antara *vorpvmv* dan tiga variabel pengalaman termal masa lalu (Pengalaman), kondisi sosial responden (Sosial) dan kondisi ruang saat itu (Sesaat) adalah sebagai berikut:

$$vorpvmv = a_1 \text{ Pengalaman} + a_2 \text{ Sosial} + a_3 \text{ Sesaat} \dots\dots\dots(3.10)$$

Pengalaman termal masa lalu ditentukan oleh parameter bayangan kualitas kenyamanan termal ruang yang direspon (x_1), pengalaman ketidaknyamanan termal ruang (x_2) dan jenis penghawaan dominan keseharian responden. Model hubungan tersebut adalah sebagai berikut.

$$\text{Pengalaman} = b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 \dots \dots \dots (3.11)$$

Kondisi sosial penghuni ruang ditentukan oleh pendapatan pribadi (x_6), pendapatan keluarga (x_7), besar keluarga (x_8) dan tipe keluarga (x_9). Model persamaannya adalah sebagai berikut:

$$\text{Sosial} = c_1x_6 + c_2x_7 + c_3x_8 + c_4x_9 \dots \dots \dots (3.12)$$

Kondisi ruang saat direspon ditentukan oleh kesesakan orang (x_k1), kesesakan barang (x_k2), penerangan (x_k3), keterbukaan ruang (x_k4), kebisingan (x_k5) dan ketersediaan fasilitas kerja (x_k6). Model hubungan tersebut adalah sebagai berikut:

$$\text{Sesaat} = d_1x_k1 + d_2x_k2 + d_3x_k3 + d_4x_k4 + d_5x_k5 + d_6x_k6 \dots \dots \dots (3.14)$$

Model PMVtap yang ditemukan dalam penelitian Sugini, 2007 adalah model yang dibatasi pada lingkup penelitian pada tujuh kasus bangunan di Yogyakarta. Sebagaimana dijelaskan, lingkup spesifik dari model ini telah juga dirinci. Yogyakarta adalah daerah yang termasuk pada zone iklim hangat lembab. Berdasarkan karakteristik populasi batasan, diharapkan penelitian ini dapat dikembangkan untuk menemukan model PMVtap untuk lingkup populasi lain di daerah-daerah lain yang masuk pada daerah zone iklim hangat lembab. Demikian juga model PMVtapsem Sugini, 2013 yang disajikan dalam buku ini masih dalam tahap uji matematis, sehingga penelitian lanjutan masih harus dilakukan.

Pertanyaan-Pertanyaan untuk dijawab

Berikut adalah pertanyaan-pertanyaan yang perlu dikembangkan jawabannya oleh pembaca:

1. Apakah indeks termal ruang itu?
2. Mengapa indeks termal ini sangat penting untuk diketahui?
3. Sebutkan jenis-jenis indeks termal yang telah dikembangkan dan konsep yang ada dibalik indeks tersebut.
4. Sebutkan parameter-parameter yang menentukan standar untuk arahan desain berdasarkan indeks termal yang ada.
5. Jelaskan hubungan indeks termal PMV Fanger dengan paradigme termo-adapif-fisiologis.

6. Jelaskan bias nilai indeks PMV dengan hasil riset lapangan.
7. Sebutkan dan jelaskan model indeks termal adaptif yang telah dikembangkan.
8. Jelaskan hubungan indeks termal PMV_{tap} Sugini yang sedang dikembangkan dengan paradigma termo-adaptif-psikologis.
9. Jelaskan lebih detail hubungan model PMVFanger dan PMV_{tap} Sugini dalam bentuk formulasi hubungan.
10. Sebutkan ada berapa model formula indeks termal PMV_{tap} yang sedang dikembangkan.

oooOooo

BAB IV

BEBERAPA PENELITIAN TENTANG TOPIK DAN MODEL KENYAMANAN TERMAL RUANG

Pengantar

Berikut ini akan disampaikan hasil-hasil penelitian yang relevan di luar Indonesia dan di Indonesia. Setelah menyelesaikan bab ini maka diharapkan para pembaca mengetahui seluas dan sedalam apa penelitian-penelitian yang berkaitan dengan topik dan model kenyamanan termal ruang khususnya berkaitan dengan indeks termal PMV telah dilakukan. Pengetahuan ini akan sangat penting bagi pembaca untuk dikembangkan lebih lanjut dalam merangkai *state of the art* model kenyamanan termal khususnya tentang indeks PMV. Beberapa hasil penelitian yang disajikan di sini diambil dari kajian *state of the art* tulisan Sugini, 2007.

4.1. Penelitian-Penelitian Lain di Luar Indonesia yang Berkaitan dengan Penelitian Indeks Termal PMV

Bagian ini memuat beberapa penelitian terkini yang berkaitan dengan indeks termal PMV dan berkenaan dengan kenyamanan termal termo adaptif di daerah iklim hangat lembab. Penelitian-penelitian berikut telah dipresentasikan dalam seminar *Comfort And Energy Use In Building- Getting It Right*, 2006 Di Inggris.

1. Andreasi & lamberts

Penelitian ini dikembangkan tahun 2005 di brasil dengan judul *Thermal Comfort In Buildings Located In Region Of Hot And Humid Climate Of Brazil*. Penelitian ini adalah penelitian lapangan yang melibatkan penghuni dengan kegiatan *sedentary*.

Dari penelitian ini dapat disimpulkan bahwa PMV tidak berkorelasi secara baik dengan sensasi termal berdasarkan pada *voting* responden. Dari penelitian ini juga dapat disimpulkan bahwa pada ruang NV 79% responden lebih suka bila lingkungan termalnya dirubah sedangkan pada di ruang AC hanya 55% responden yang menghendaki perubahan tersebut.

2. Barlow&Fiala

Judul penelitian ini adalah *How Adaptive Comfort Theories Might Influence Future Low Energy Office Refurbishment Strategies*. Penelitian ini melibatkan penghuni ruang kantor di Inggris. Data yang dikumpulkan adalah sensasi termal responden, persepsi dan reaksi mereka terhadap kesempatan adaptasi, pencahayaan dan kecepatan angin.

Penelitian ini menyimpulkan beberapa hal sebagai berikut:

- 1) Sensasi hasil *voting* rata-rata dan *voting* tentang termal secara keseluruhan sangat baik berkorelasi dengan suhu harian interior dan eksterior. Sedangkan model keseimbangan panas (*heat balance*) tidak dapat sepenuhnya dijelaskan oleh data empiris.
- 2) Tingkat ketidaknyamanan responden lebih tinggi dibandingkan dengan yang diduga oleh PMV.
- 3) Reaksi adaptasi lingkungan yang disenangi adalah membuka jendela, urutan selanjutnya adalah mematikan lampu untuk mengendalikan perolehan panas. Adapun reaksi merubah pakaian dalam sehari tidak dilakukan.
- 4) Penghuni menginginkan untuk mendapatkan akses dalam pengendalian penghawaan ruang.
- 5) Kesempatan adaptasi pasif dan aktif merupakan strategi yang penting di masa depan dalam pengendalian energi.

3. Gouvea, Labaki, Ruas, Maia

Judul penelitian ini adalah *Thermal Comfort Evaluation: A Study In Corkplaces At The Clothing Industry In Barzil*. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi tempat kerja industri pakaian di kota amparo, Brasil. Pengumpulan data dilakukan dengan kusioner dan pengukuran data iklim ruang dengan alat-alat yang bersesuaian. Dalam penelitian ini juga dilakukan pengumpulan data tentang pakaian dan aktivitas. Penelitian ini menggunakan indeks PMV dan PPD. Dari penelitian ini dihasilkan kesimpulan bahwa termal netral penguni adalah 22,8°C dengan tingkat ketidakpuasan responden adalah 5%.

4. Chirarattananon, Htan, Menon, Vangtook

Judul penelitian ini adalah *Thermal Comfort Assessment In Two Tropical Regions And Radian Cooling As A Passive Cooling Option*. Penelitian dilakukan di Mehran

University, Pakistan dan di Asian Institute Of Technology (AIT) Bangkok Utara. Penelitian di Mehran dilakukan dengan melibatkan pelajar di ruang kelas. Pada ruang diberikan ventilasi dengan fan langit-langit. Dari penelitian ini ditemukan bahwa temperatur efektif netral mendekati temperatur dugaan berdasarkan model adaptif. Di AIT penelitian dilakukan dengan penghuni ruang kelas berac dan ruang kafetaria dengan fan langit-langit. Termal efektif netral mendekati 25°C pada ruang berAC dan 28°C di ruang dengan ventilasi fan. Nilai 28°C ini lebih mendekati nilai berdasarkan model adaptif. Dari penelitian ini dapat disimpulkan bahwa kebangsaan tidak menyebabkan perbedaan yang signifikan.

5. Gossauer, Leonhart, Wagner

Judul penelitian ini adalah *Workplace Occupant Satisfaction- A Study In Sixteen German Office Buildings*. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi tingkat kepuasan penghuni di ruang kerja di 16 kantor di German. Penelitian lapangan dilakukan dengan menggunakan kuisisioner dan pengukuran. Penelitian difokuskan pada kenyamanan termal dengan mencermati temperatur ruang yang dapat diterima oleh penghuni serta variabel pengaruh lain seperti temperatur ruang harian, kualitas udara dalam ruang dan kelembaban. Dari penelitian ini ditemukan metoda evaluasi ruang.

6. Hellwig, Brasche, Bischof

Penelitian yang berjudul *Thermal Comfort In Offices-Natural Ventilation Vs Air Conditioning* ini merupakan penelitian yang melibatkan data subyektif dan obyektif. Penghuni ruang kantor di ruang AC dan NV diteliti antara lain dengan teknik interview. Dari penelitian ini dapat disimpulkan ternyata penghuni ruang NV lebih puas dengan lingkungannya dibanding dengan ruang AC. Beberapa faktor lain yang berpengaruh terhadap kenyamanan termal adalah antara lain: pencahayaan, *draught*, variasi temperatur, akustik, silau dan akses kendali yang diterima. Dari penelitian ini juga disimpulkan bahwa untuk memprediksi ruang AC dapat dicapai dengan model PMV yang dimodifikasi oleh mayer. Sedangkan untuk ruang NV lebih sesuai bila digunakan pendekatan ASHRAE.

7. Adebamowo

Penelitian ini berjudul *Thermal Comfort For Naturally Ventilated Houses In Lagos Metropolis*. Penelitian ini dilakukan di lagos metropolis antara tahun 2005-2006 dan melibatkan 3.698 rumah selama musim penghujan dan musim kemarau.

Kesimpulan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

- 1) PMV menduga lebih pesimis terhadap zone tidak nyaman hangat dibanding dengan hasil *voting* observasi responden.

- 2) Model adaptif memprediksi lebih rendah dibanding termal netral hasil observasi. Namun demikian pada akhirnya penelitian ini menyimpulkan bahwa model adaptif lebih sesuai untuk menilai ruang dibanding PMV. Namun demikian agar pendekatan adaptif menjadi lebih valid perlu dikembangkan metoda pendekatan perilaku.

Dari penelitian-penelitian sampai tahun 2006 tersebut di atas dapat dilihat bahwa PMV memang tidak dapat memprediksi secara baik. Model adaptif adalah model yang lebih mendekati jika digunakan untuk memprediksi dibanding model PMV. Namun demikian walaupun model adaptif lebih mendekati dalam memprediksi kualitas termal sebenarnya, Adebawomo tetap menyarankan agar dicari metoda untuk mengatasi perbedaan yang masih terjadi antara model adaptif dengan hasil observasi lapangan.

Penelitian-penelitian di atas telah menunjukkan beberapa parameter yang perlu dilihat dalam membicarakan kenyamanan termal. Parameter-parameter tersebut antara lain adalah pencahayaan, *draught*, variasi temperatur, akustik dan akses kendali yang diterima. Namun demikian dari penelitian di atas diketahui bahwa kebangsaan bukanlah parameter yang signifikan menyebabkan perbedaan dalam persepsi kenyamanan termal.

4.2. Penelitian-Penelitian Kenyamanan Termal Di Indonesia

1. Mom & Wiesebron

Berdasarkan Karyono, 1996 dapat dijelaskan penelitian Mom dan Wiesebron sebagai berikut. Judul penelitian Mom adalah *The Application of The Effective Temperature Scheme To The Thermal Comfort Zone In The Netherlands Indies*. Penelitian ini dilakukan tahun 1947 dengan lokasi di Bandung, Propinsi Jawa Barat Indonesia. Metoda penelitian ini adalah penelitian *Chamber* yang melibatkan 20 subyek responden orang eropa yang tinggal di Bandung, Cina yang tinggal di Bandung dan orang Indonesia sendiri.

Penelitian ini menghasilkan rentang nyaman termal untuk Indonesia adalah 20,5°C ET pada 23°C ta dan RH 80% sampai dengan 27,1°C ET pada 31 °C TA dan RH 60%.

2. Mas Santosa

Penelitian Mas Santosa dilakukan tahun 1986 dengan judul *Climatic Factors and Their Influence on the Design of Buildings in a Hot Humid Country, with Special Referente to Indonesia*. Penelitian dilakukan di Surabaya, Propinsi Jawa Timur Indonesia. Empat studi utama dari penelitian ini adalah tentang efek iklim pada bangunan, definisi kenyamanan termal untuk orang Indonesia, unjuk kerja bangunan dan sistem pendinginan pasiv dalam bangunan di daerah panas lembab.

Pada studi kenyamanan termal penelitian ini dilakukan dengan metoda penelitian lapangan. Melibatkan 1474 pria dan 740 wanita sebagai responden. Pakaian responden adalah pakaian pada umumnya di daerah tropis. Tipe bangunan yang diobservasi adalah rumah tinggal dengan penghawaan alamiah.

Hasil dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

- 1) Suhu udara adalah indeks termal yang dapat digunakan untuk mengukur kenyamanan di Indonesia.
- 2) Orang Indonesia mempunyai kecenderungan suhu nyaman pada $27,1^{\circ}\text{C} \pm 1,6\text{c}$.
- 3) Persyaratan kenyamanan orang Indonesia tidak berbeda secara signifikan dengan penduduk di daerah tropis hangat lembab pada umumnya.
- 4) Perbedaan *aklimatisasi* musim dan jenis kelamin tidak memberikan perbedaan yang signifikan pada respon terhadap termal.
- 5) Perubahan terhadap kecenderungan temperatur yang di sukai akan terjadi sejalan dengan perubahan kecepatan angin, pakaian dan aktivitas.
- 6) Temuan-temuan penelitian tidak mendukung pernyataan Fanger yang mengatakan bahwa hanya produksi panas internal dan insulasi pakaian saja yang menjadi pertimbangan pada respon manusia terhadap suhu lingkungan.

3. Tri Harso Karyono

Penelitian Tri Harso Karyono dilakukan tahun 1996 sebagai riset doktor dengan judul *Thermal Comfort and Energy Studies in Multy-Stories Office Buildings in Jakarta, Indonesia*. Penelitian dilakukan di Jakarta, Indonesia.

Penelitian ini adalah penelitian lapangan yang melibatkan 596 responden. Tipe bangunan adalah perkantoran. Jenis penghawaan ruang yang distudi adalah AC dan alamiah. Dari penelitian ini dihasilkan temuan antara lain sebagai berikut:

- 1) Jenis kelamin, kegemukan, etnik tidak signifikan menyebabkan perbedaan dalam kenyamanan termal.
- 2) Uji perbedaan antara bangunan dengan tipe penghawaan alamiah dengan campuran dan AC dengan campuran menunjukkan bahwa perbedaan tipe penghawaan tidak menimbulkan perbedaan yang signifikan.
- 3) Uji perbedaan tipe perkantoran antara kantor sewa dan privat tidak memberikan perbedaan yang signifikan.
- 4) Termal netral yang ditemukan berdasarkan data 596 responden pada bangunan perkantoran adalah $24,4^{\circ}\text{C}$ ta, $26,7^{\circ}\text{C}$ todan $25,3^{\circ}\text{C}$ teq.
- 5) Terjadi perbedaan yang semakin melebar antara kenyamanan termal berdasarkan pendapat responden dengan PMV pada ta dan to yang semakin tinggi.

4. Henry Feriadi

Penelitian Henry Feriadi adalah penelitian riset disertasi yang diselesaikan tahun 2003. Judul penelitiannya adalah *Thermal Comfort For Naturally Ventilated Residential Buildings In Tropical Climate*. Penelitian ini telah dipublikasi dalam dua artikel jurnal dengan judul *Thermal Comfort For Naturally Ventilated Houses In Indonesia* Dan *Fuzzy Logic Modelling For Thermal Comfort In Tropical Climate*.

Penelitian ini adalah penelitian lapangan dengan melibatkan 1063 responden dari Yogyakarta Indonesia dan Singapura. Bangunan yang dijadikan lingkup penelitian adalah hunian dengan penghawaan alamiah. Hasil dari penelitian ini di antaranya adalah sebagai berikut:

- 1) Perlunya dikembangkan standar kenyamanan termal yang lebih relevan untuk bangunan dengan penghawaan alamiah di daerah tropis yang mengakomodasi tingkat harapan dan kecenderungan yang berbeda.
- 2) Telah dikembangkannya *fuzzy logic*, sebuah model untuk memecahkan bias bahasa dalam memprediksi kenyamanan termal. Bias bahasa ini muncul karena persoalan pada ekspresi pemaknaan kata-kata yang digunakan responden dalam menunjukkan kenyamanan termal yang dirasakan.
- 3) Telah ditemukannya variasi adaptasi perilaku dalam memelihara kenyamanan termal di rumah tinggal pada orang-orang dengan latar belakang lokasi geografis dan budaya yang berbeda.

Penelitian ini merekomendasikan beberapa studi yang perlu dilakukan. Salah satunya adalah diusulkannya untuk melakukan studi tentang dampak multikorelasi di antara kualitas termal, kebisingan, cahaya dan kualitas udara.

5. Tri Harso Karyono & Suryamanto Wonohardjo

Berdasarkan pada seminar *Comfort And Energy Use In Buildings-Getting It Right, April 2006*, maka dapat diketahui bahwa penelitian yang berjudul *Report On Thermal Comfort Study In Bandung, Indonesia* Ini dilakukan di arsitektur itb, bandung di tahun 2005. Penelitian dilakukan di ruang yang dimodifikasi dan diperlakukan sebagai *chamber*. Dua puluh reponden (10 laki-laki dan 10 perempuan) pada usia mahasiswa terlibat sebagai sampel. Penelitian ini mendiskusikan dan membandingkan temuan-temuan penelitian ini dengan temuan penelitian Karyono sebelumnya.

6. Agus Dwi Hariyanto

Judul penelitian adalah *Thermal Comfort Study of an Air-Conditioned Design Tropical in Tropical Surabaya*. Berdasarkan Agus Dwi Hariyanto (2005) dijelaskan bahwa penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi tingkat kenyamanan termal di

ruang studio desain berdasarkan indeks lingkungan, indeks kenyamanan dan respon subyektif penghuni. Penelitian ini juga bertujuan untuk mencari termal netral penghuni di ruang studio. Riset dilakukan pada tahun 2005 dan dilakukan di ruang studio desain T. Arsitektur Petra dengan penghawaan AC. Parameter fisik di ukur di 16 titik amatan dalam ruang.

Penelitian ini menyimpulkan beberapa hal sebagai berikut:

- 1) Lebih dari 80% penghuni ruang menerima kondisi termal ruang walaupun berdasarkan indeks termal ada di luar standar termal ASHRAE 55 dan ISO 7730.
- 2) Penghuni yang merasa kondisi termal dalam keadaan netral, tidak selalu puas dengan lingkungannya. Mereka menginginkan ruangan diubah menjadi lebih dingin.
- 3) Termal operatif netral observasi adalah 28,5°C.
- 4) Model adaptif Auliciems lebih baik dalam memprediksi termal netral penghuni ($\Delta t = -2.2^\circ\text{C}$) dibanding model Humphreys ($\Delta t = -2.9^\circ\text{C}$).
- 5) Nilai PMV rata-rata pada ruang adalah 0,97 setara dengan PPD 24,9% dan setara dengan t_o 24,8 °C -27,1 °C)

Dari penelitian ini juga disimpulkan bahwa penghuni ruang di daerah tropis mempunyai toleransi yang lebih tinggi. Termal netral penghuni lebih tinggi dibanding dengan rentang nyaman berdasarkan model PMV. Dari kesimpulan tersebut dapat dilihat bahwa penghuni ruang AC ternyata mempunyai toleransi yang tinggi terhadap panas.

7. Sugini

Sugini mempresentasikan makalah dari hasil penelitian di SENVAR 5, Malaysia dengan judul *The Effectiveness Of The PMV Model In Predicting The Quality Of Thermal Comfort In Learning Environments In A Warm Humid Tropical Zone Case Study: Learning Environments At The Faculty Of Civil Engineering And Planning Islamic University Of Indonesia (FTSP UII)* Yogyakarta Indonesia. Penelitian ini bertujuan untuk melihat seberapa efektif model PMV dalam memprediksi kualitas termal pada ruang kelas dengan aktivitas pembelajaran di lingkungan zone tropis hangat lembab dengan studi kasus ruang kelas fakultas teknik sipil dan perencanaan UII, Yogyakarta, Indonesia. Data dikumpulkan dengan tiga cara. Data iklim ruang dikumpulkan melalui pengukuran dengan alat yang sesuai. Data aktivitas dikumpulkan dengan observasi sedangkan data pakaian dan penilaian kualitas termal dikumpulkan dengan alat kuisisioner. Berdasarkan data iklim, aktivitas dan pakaian responden, nilai PMV didapat. Nilai PMV tersebut dibandingkan dengan nilai hasil isian penilaian skala tujuh titik Fanger dari responden terhadap kualitas termal pada saat itu. Dari hasil penelitian ini diketahui

ternyata PMV tidak efektif dalam memprediksi kenyamanan termal di kasus penelitian.

Penelitian Disertasi Sugini, 2007 berjudul *Model Kenyamanan Termal Termo Adaptif Psikologis pada Ruang dalam Bangunan di Yogyakarta*. Tujuan penelitian ini adalah merumuskan model indeks kenyamanan termal termo adaptif psikologis PMVtap dan parameter-parameternya melalui pengembangan model indeks termal PMV pada ruang dalam bangunan di Yogyakarta.

Penelitian ini adalah penelitian lapangan, *ex post facto* dengan pendekatan rasionalistik. Penelitian ini dibatasi pada 7 bangunan di Yogyakarta. Kondisi iklim lokasi 7 bangunan tersebut termasuk daerah tropis hangat lembab. Sampel terdiri 1040 responden. Data obyektif iklim dan stimulus lain dikumpulkan dengan alat yang sesuai, data fisiologis dikumpulkan dengan kusioner dan amatan. Data subyektif dikumpulkan dengan kuisisioner. Data turunan diperoleh dengan proses perhitungan dari input data empiri indrawi atau amatan. Analisis dilakukan dengan statistik diskriptif, komparatif dan asosiasi regresi menggunakan SPSS. Proses analisis meliputi tiga tahap: analisis regresi, analisis uji reliabilitas dan uji kelayakan praktis. Hasil utama dari penelitian ini adalah:

a. Rumusan model PMVtap dan parameter-parameternya.

Satu model PMVtap untuk lingkup umum dan 17 model untuk lingkup ruang spesifik telah dirumuskan. Model PMVtap adalah model kenyamanan termal berdasarkan pendekatan termo adaptif psikologis yang dapat memodelkan kenyamanan termal sebagai produk dari proses adaptasi fisiologis dan psikologis. Secara prinsip rumusan model tersebut adalah $PMV_{tap} = PMV + \hat{y}_{vorPMV}$. Rumusan ini menunjukkan bahwa kenyamanan termal berdasarkan pada model PMVtap ditentukan oleh variabel-variabel fisik fisiologis penentu PMV dan oleh variabel-variabel penentu perbedaan psikologis \hat{y}_{vorPMV} . \hat{Y}_{vorPMV} ditentukan oleh parameter-parameter pengukur variabel-variabel perbedaan psikologis individu dalam mempersepsi termal yang terdiri dari kelompok variabel pengalaman termal masa lalu dan pengalaman termal sesaat. Penelitian ini telah dapat secara rinci mengidentifikasi parameter-parameter variabel-variabel pengalaman termal sesaat dan pengalaman termal masa lalu tersebut. Penelitian ini juga telah dapat mengidentifikasi secara terukur implikasi perubahan nilai atau atribut parameter-parameter tersebut terhadap termal netral. Pada akhirnya penelitian ini menyimpulkan ada 12 parameter potensial yang menentukan model PMVtap. Dua belas parameter tersebut terdiri dari 6 parameter pengukur variabel fisik fisiologis dan 6 parameter pengukur variabel perbedaan psikologis pengalaman termal masa lalu dan sesaat. Penelitian ini juga berhasil menemukan: (1) rentang nyaman termal dalam lingkup populasi dan implikasi pada pengembangan standar praktis serta dampaknya pada penghematan energi, (2) implikasinya pada teori-teori adaptif

dan eksistensi paradigma termo adaptif psikologis dalam studi kenyamanan termal dalam dunia arsitektur.

b) Standar nyaman termal (SNI 03-6572-2001 butir 5.2).

Peninjauan kembali dilakukan pada penetapan standar termal (netral) dan rentang batas bawah dan batas atas nyaman termal. Berdasarkan penelitian ini maka standar nyaman termal dan rentang nyaman termal dapat dinaikan. Bila mengacu pada hasil penelitian ini maka suhu efektif nyaman termal dapat dinaikan dari 25°C ET menjadi 26°C ET dan rentang nyaman dapat diperlebar dari ± 1 °C ET menjadi $\pm 1,5$ °C ET. Namun demikian seperti yang dikemukakan pada kesimpulan sebelumnya maka SNI perlu dilengkapi dengan standar nyaman termal untuk ruang spesifik. Berdasarkan penelitian ini paling tidak ada 17 spesifikasi yang bisa dikembangkan. Hal ini disebabkan pada ruang-ruang spesifik ternyata standar nyaman termal akan berbeda. Sebagai contoh pada ruang AC nyaman termalnya adalah 26,3 °C ET, lebih tinggi dari standar nyaman pada umumnya.

c) Prosedur dalam proses desain

Penerapan model PMVtap dalam dunia praktis dapat dilakukan pada proses desain. Dalam proses desain model PMVtap digunakan pada tahap perumusan arahan desain yang berkenaan dengan persyaratan ruang untuk pencapaian kenyamanan termal. Pada tahap pemrograman dan perencanaan dilakukan pengumpulan data-data yang berkenaan dengan parameter-parameter penghuni ruang dan standar kualitas termal lain sesuai parameter-parameter model PMVtapnya. Dari data-data ini dapat dihasilkan nilai \dot{y}_{vor} -PMV. Berdasarkan model ini dapat diperoleh nilai termal netral dan zone nyaman berdasarkan skala PMV. Nilai dalam bentuk skala PMV tersebut di transformasikan dengan software ASHRAE ke dalam variasi kombinasi suhu udara, suhu radiasi dan kelembaban serta kecepatan angin sebagai arahan desain.

Secara khusus penelitian ini merekomendasikan agar prosedur perencanaan teknis sistem pengkondisian udara dalam SNI 03-6572-2001 butir 6.1 dimodifikasi dengan memasukkan prosedur tersebut pada alenia di atas ke dalam tahapan ke dua prosedur perencanaan teknis sistem pengkondisian udara, yaitu pada tahapan penetapan kondisi udara dalam ruang.

Sugini, 2008 mempresentasikan artikel dengan judul *Range Nyaman Termal Termo Adaptif Psikologis Dan Kenyamanan Termal Pada Ruang Pabrik Garmen Di Yogyakarta Lingkup Amatan : Pabrik Garmen Mataram Tunggal Garmen*. Penelitian ditujukan untuk mencari rentang nyaman termal berdasarkan indek termal termo adaptif psikologis dengan mengkaji kenyamanan termal pada ruang produksi di pabrik garmen. Sampel untuk skope bangunan mataram tunggal garmen sebanyak 192 responden atau titik amatan. Data empiris obyektif dikumpulkan dengan pengukuran menggunakan alat yang sesuai, data turunan

dihasilkan dengan kalkulasi software ASHRAE dan data sikap serta variasi perbedaan psikologis individu dikumpulkan dengan observasi dan kuisioner. Analisis utama dilakukan dengan alat statistik asosiasi regresi. Kesimpulan dari penelitian ini ada tiga. Pertama, rentang nyaman termal termo adaptif psikologis lebih tinggi dibanding prediksi PMV. Dari temuan ini dapat dilihat bahwa penghuni ruang mempunyai toleransi terhadap kualitas termal hangat; kedua, penilaian penghuni ruang terhadap kualitas termal di ruang pabrik lebih tinggi dari prediksi PMV. Ketiga, dua kesimpulan tersebut sebelumnya diduga berkaitan dengan konsep stress lingkungan dan termal pembangkitan atau produktifitas termal. Keterkaitan gejala dengan konsep stres lingkungan menunjukkan konsistennya paradigma termal termo adaptif psikologis di *level empiris*. Penelitian ini juga merekomendasikan studi lebih lanjut tentang termal pembangkitan atau termal produktif yang nantinya bermanfaat pada desain ruang produktif.

Sugini, 2008, mempresentasikan artikel hasil kajian data penelitiannya dengan judul *Comfortable Thermal Quality for Women Worker in Tropical Warm Humid Climate Spesific Reference: Office and Garment Worker in Yogyakarta, Indonesia*.

Bahasan dalam laporan ini memfokuskan pada pekerja perempuan. Hal ini didasari pada alasan bahwa pekerja perempuan adalah kelompok yang sering termarginalkan dalam pemenuhan tuntutan kualitas ruang kerjanya termasuk satu kriteria penting dalam ruang kerja adalah kualitas termal ruang. Ada tiga tujuan dalam penelitian ini. Pertama, mengetahui apakah ada perbedaan antara persepsi pekerja perempuan terhadap kualitas termal ruang kerjanya dengan kualitas termal prediktif berdasarkan indeks termal PMV; ke dua, mengetahui apakah ada perbedaan antara persepsi kualitas termal pekerjaan perempuan pada kelompok yang berbeda; ke tiga, mengetahui berapakah rentang termal nyaman yang sesuai dengan persepsi kualitas termal pekerja perempuan.

Populasi adalah pekerja kantor dan pekerja buruh pabrik. Lingkup amatan adalah buruh perempuan pabrik garmen dan pekerja kantoran di fungsi bangunan kampus di Sleman Yogyakarta. Sampel terdiri dari 255 responden yang terbagi dalam dua kelompok yaitu pekerja kantoran sebanyak 71 responden dan pekerja pabrik garmen sebanyak 184 responden. Pendekatan penelitian ini adalah empiris. Empat data iklim ruang dan dua data fisiologis ditransformasikan ke dalam data turunan PMV. Data sikap responden terhadap kualitas termal ruang diukur dengan skala tujuh point ASHRAE. Data nilai PMV dan nilai sikap dianalisis asosiasi untuk mendapatkan pola hubungan. Berdasarkan asosiasi ini dapat dicari penggal rentang kualitas termal PMV yang dinilai responden sebagai kualitas termal nyaman.

Dari penelitian ini dapat disimpulkan empat hal. Pertama, ternyata ada perbedaan yang signifikan antara penilaian pekerja perempuan terhadap kualitas

termal ruang dibanding prediksi PMV. Ke dua, rentang termal nyaman pekerja perempuan dalam skala indeks PMV adalah -0,15 sd 0,18, ini berarti rentang nyaman termal pekerja perempuan lebih sempit dibanding rentang termal nyaman indeks PMV. Ke tiga, ternyata ada perbedaan rentang nyaman termal pekerja perempuan dengan status sosial dan jenis penghawaan ruang kerja yang berbeda, yang artinya dari simpulan ini berarti telah terjadi kesesuaian antara empiri dengan usulan kerangka hubungan variabel kenyamanan termal dengan pendekatan termo adaptif psikologis Sugini, 2007; ke empat, tidak ada perbedaan rentang nyaman termal pekerja perempuan dengan tempat tinggal terlama dan suku yang berbeda. Dari bahasan temuan penelitian ini mengajukan dugaan adanya proses penetralisir *aklimatisasi* dan keseragaman gaya hidup termal modern dalam rentang kenyamanan termal khususnya pada pekerja perempuan. Dugaan ini perlu ditindaklanjuti dengan penelitian yang lebih lanjut.

Sugini, 2010 mempublikasikan hasil penelitian termalnya dengan kajian pada prospek aplikasi model PMVtap pada pengembangan standar terhadap penghematan energi. Judul artikelnya adalah *Reinforcement Energy Sustainability Through Restatement Of Thermal Comfort Standard*. Dalam artikel tersebut disampaikan beberapa rekomendasi untuk merevisi kriteria penetapan standar nyaman termal dari pendekatan termo adaptif fisiologis ke dalam termo adaptif psikologis. Revisi tersebut dilakukan dengan melengkapi enam kriteria variabel fisik fisiologis kenyamanan termal yang telah ada sebelumnya (suhu udara, suhu radiasi, kelembaban, kecepatan angin, aktivitas dan pakaian) dengan kriteria variabel perbedaan psikologis. Bila mengacu pada parameter potensial kesimpulan sebelumnya, maka kriteria yang perlu ditambahkan adalah gambaran kenyamanan termal ruang yang akan direspon, jenis penghawaan ruang yang direspon, lama waktu tinggal di ruang AC dalam kesehariannya, tingkat pendapatan pribadi dan kualitas kesesakan barang dalam ruang.

Sugini, 2010 juga mempublikasikan kajian aspek termal pada bangunan rumah tinggal bagi korban gempa. Judul artikelnya adalah *Dome House For Earthquake Victims At Ngelepen Yogyakarta And Thermal Comfort In Warm Humid Tropical Climate An Evaluative Study*. Dari penelitian uji *logic* teroris ini dihasilkan kesimpulan adanya dugaan bahwa rumah Dome Ngelepen tidak dapat maksimal memenuhi kriteria-kriteria kualitas kenyamanan termal untuk daerah iklim tropis hangat lembab. Kesimpulan ini tentunya secara empiri harus diuji lagi kebenarannya. Secara detail beberapa hal yang diduga menyebabkan tidak maksimalnya rumah Dome Ngelepen dalam memenuhi kriteria kenyamanan termal untuk iklim tropis lembab adalah sebagai berikut:

1. Bentuk dome yang kompak akan berdampak pada tingginya nilai kapasitas termal bangunan dan rendahnya kemampuan pelepasan panas bangunan. Hal

ini diduga akan memberikan unjuk kerja termal yang tidak maksimal untuk iklim tropis hangat lembab.

2. Bentuk dome yang tidak mengenal orientasi menyebabkan berkurangnya kemampuan bentuk rumah ngelepen dalam meminimalkan radiasi matahari terutama di musim kemarau. Dengan demikian dapat diduga rumah dome ngelepen akan mempunyai unjuk kerja termal yang lebih rendah lagi di musim kemarau.
3. Dari aspek properti material, maka penggunaan material beton pada rumah Dome Ngelepen bukan merupakan masalah dalam pencapaian unjuk kerja termal. Namun demikian sistem monolit akan memberikan kesulitan untuk menciptakan banyak pelubangan. Banyaknya pelubangan pada rumah hunian tropis hangat lembab akan sangat menguntungkan untuk pendinginan ruang secara konveksi.
4. Pelubangan-pelubangan yang terbatas pada rumah dome Ngelepen menjadi lebih tidak menguntungkan lagi karena tidak dilengkapi dengan pembayang matahari. Radiasi matahari yang masuk dalam ruang akan menurunkan unjuk kerja termal ruang hunian terutama pada musim kemarau. Selain itu dengan tidak adanya teritis juga meemberikan peluang untuk terjadinya tampias pada waktu hujan datang.

Pertanyaan-pertanyaan untuk dijawab

Berikut adalah pertanyaan-pertanyaan yang perlu dijawab untuk lebih memperluas dan memperdalam pengetahuan tentang penelitian tentang kenyamanan termal ruang dan rekayasanya baik di Indonesia ataupun di luar negeri:

1. Jelaskan paling tidak lima penelitian di dalam negeri dalam buku ini dan petakan temuan-temuan dalam roadmap atau matrik pengembangan teori/konsep dan atau model.
2. Jelaskan paling tidak lima penelitian di luar negeri dalam buku ini dan petakan temuan-temuan dalam roadmap atau matrik pengembangan teori/konsep dan atau model.
3. Perbaharuilah *state of the art* riset tentang kenyamanan termal dengan melengkapi roadmap/matrik jawaban nomor satu dan dua dengan hasil pencarian di jurnal-jurnal terkini baik di dalam ataupun di luar negeri.

BAB V

RENTANG DAN STANDAR TERMAL NYAMAN

Pengantar

Bab ini akan menjelaskan tentang rentang nyaman termal dan standar termal nyaman. Rentang nyaman termal adalah rentang nyaman dalam skala kenyamanan termal. Standar termal nyaman adalah standar nilai dalam skala kenyamanan termal yang menjadi indikator nyaman. Setelah membaca bab ini diharapkan pembaca paham rentang termal yang disensasi nyaman oleh penghuni ruang serta standar termal nyamannya. Secara lebih detail pembaca diharapkan menjadi lebih paham rentang dan standar nyaman termal pada variasi konteks ruang dan penghuni yang berbeda serta faktor yang menentukan perubahan rentang nyaman termal. Secara lebih luas, dari bab ini pembaca dapat mengetahui lebih jauh perbandingan rentang nyaman termal dari hasil penelitian-penelitian baik di Indonesia atau di luar Indonesia. Pemahaman ini akan sangat berguna dalam penetapan arahan desain rekayasa ruang atau bangunan untuk termal.

5.1. Termal Netral dan Rentang Nyaman Termal

Dalam bab ini akan disajikan perbandingan rentang nyaman termal atau termal netral hasil penelitian-penelitian sebelumnya dengan rentang nyaman termal berdasarkan penerapan model-model hasil penelitian Sugini, 2007. Untuk dapat mengetahui implikasi penelitian Sugini, 2007 ini terhadap standar umum dan untuk kepentingan perbandingan dengan penelitian sebelumnya maka derajat nyaman termal disesuaikan dengan indeks termal standar secara umum dan indeks

kenyamanan termal penelitian-penelitian sebelumnya. Untuk itu rentang indeks termal yang telah ditemukan akan ditransformasikan dalam bentuk indeks termal suhu udara (t_a) dan ET^*

1. Lingkup umum

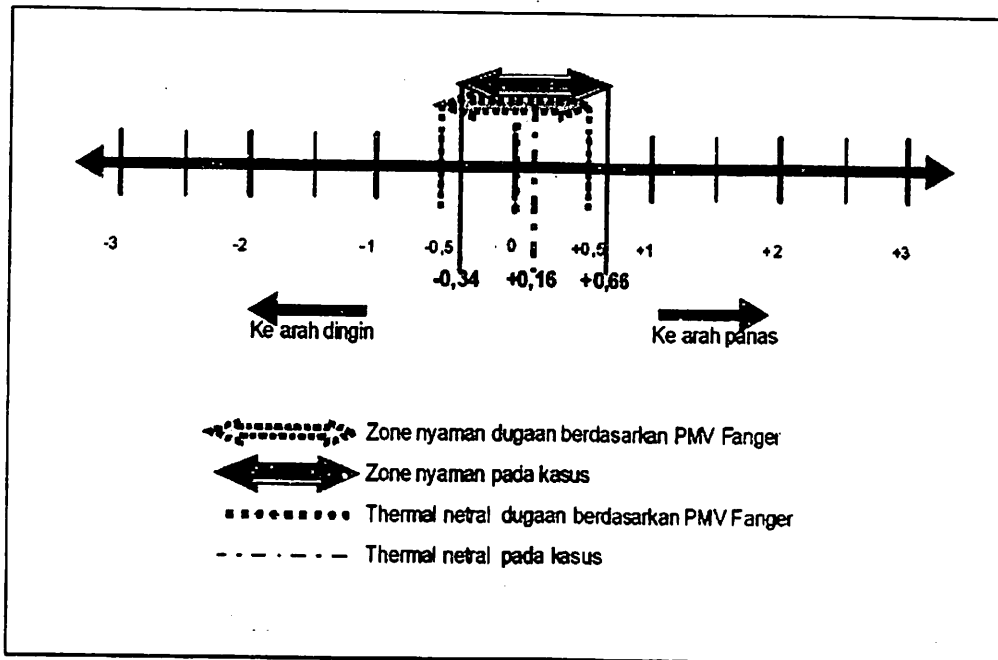
Dengan berdasarkan pada model terpilih untuk umum, dan mengaplikasikannya pada seluruh sampel dapat ditemukan rata-rata beda antara PMV_{tap} dengan PMV . Dari rata-rata tersebut disusun model sebagai berikut.

$$PMV_{tap} = PMV - 0,16 \dots\dots\dots(5.1)$$

Hasil tersebut di atas menunjukkan bahwa rata-rata penilaian kenyamanan termal oleh penghuni secara umum terhadap kondisi termal berdasarkan model indeks kenyamanan termal termo adaptif psikologis (PMV_{tap}) lebih rendah 0,16 derajat skala dibanding dugaan penilaian kenyamanan termal berdasarkan model indeks PMV . Bila konsep netralitas termal diterapkan pada PMV_{tap} , yang berarti termal netral akan terjadi pada PMV_{tap} sama nol, maka termal netral terjadi pada nilai PMV sama dengan +0,16. Hal ini berarti, dengan pendekatan model termo adaptif psikologis diketahui bahwa kondisi termal netral terjadi pada $PMV +0,16$, bukan pada PMV sama dengan nol.

Sebagaimana diketahui bahwa konsep zone nyaman ditetapkan berkisar antara $PMV = -0,5$ sampai dengan $+0,5$. Batas $-0,5$ menunjukkan batas kondisi di bawah netral nol atau derajat kesejukan yang bisa diterima. Batas $+0,5$ menunjukkan batas kondisi di atas netral nol atau derajat kehangatan yang masih bisa diterima. Bila rentang ini diterapkan maka kondisi nyaman untuk kasus adalah $-0,34 PMV$ sampai dengan $+0,66 PMV$.

Hasil tersebut di atas dapatlah dimaknai bahwa penghuni pada kasus penelitian Sugini, 2007 lebih toleran terhadap kualitas termal hangat dibandingkan dugaan berdasarkan PMV . Secara skematis dapat dilihat pada Gambar 37. Kondisi ini sesuai dengan hasil penelitian untuk daerah tropis hangat lembab oleh Abel Tablada dkk.,(2005). Dalam penelitiannya ternyata diketahui bahwa responden lebih toleran terhadap hangat dibanding yang diprediksi oleh model PMV .

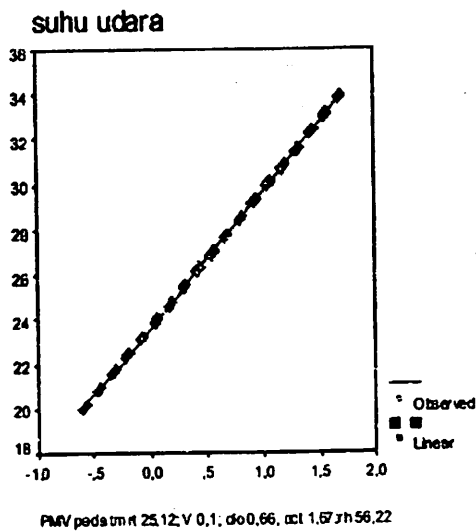


Gambar 37 *Zone nyaman termal menurut PMV Fanger dan zone nyaman pada lingkup umum berdasarkan PMVtap.*

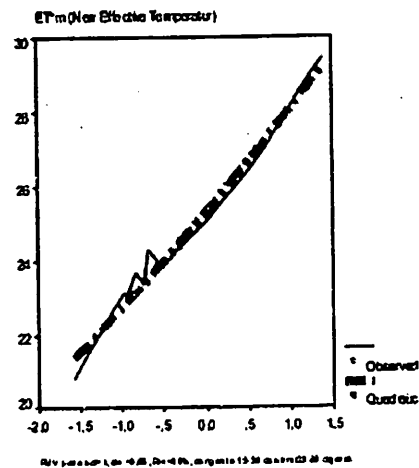
(Sumber: Sugini, 2007)

Temuan tersebut pada alenia di atas mengantar pada kesimpulan adanya potensi untuk menaikkan standar kenyamanan termal sebesar +0,16 derajat PMV. Bila kita turunkan derajat PMV ke dalam parameter-parameter iklim suhu udara (t_a) maka dapat ditemukan selisih derajat C yang mungkin dinaikan.

Sebagaimana telah dijelaskan didepan, nilai derajat kenyamanan termal PMV adalah akumulasi dari nilai suhu udara (t_a), suhu radiasi rata-rata (t_{mrt}), kecepatan angin (v), kelembaban relative (rh), pakaian (clo) dan aktivitas (met). Dengan menggunakan suhu radiasi rata-rata, kecepatan angin, pakaian, dan aktivitas rata-rata sesuai dengan karakteristik cakupan model pada simulasi software ASHRAE RP 884 maka dapat ditemukan kombinasi hubungan PMV dengan t_a dan ET^* . Dari kombinasi hubungan ini dapat disajikan regresinya dan estimasi kurve sebagai tergambar pada Gambar 38 dan Gambar 39.



Gambar 38 Kurve estimasi regresi suhu udara (*ta*) terhadap PMV. (Sumber: Sugini, 2007)



Gambar 39 Kurve estimasi regresi temperatur efektif *ET** terhadap PMV. (Sumber: Sugini, 2007)

Model regresi hubungan *ta* PMV adalah sebagai berikut:

$$.ta = 23,6173 + 6,0622 \text{ PMV} \dots\dots\dots (5.2)$$

Berdasarkan plotting nilai *ET** pada PMV dengan tmr 22°C sd 29°C, rh 60%, act 1 met dan pakaian 0,66 clo didapat persamaan hubungan *ET** terhadap PMV sebagai berikut:

$$ET^* = 25,28 + 2,68 \text{ PMV} + 0,11 \text{ PMV}^2 \dots\dots\dots (5.3)$$

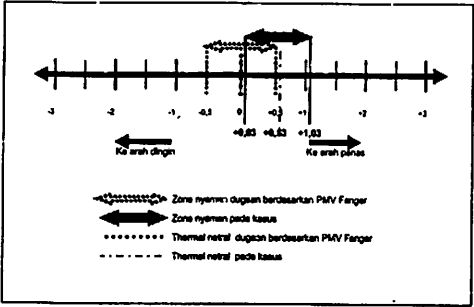
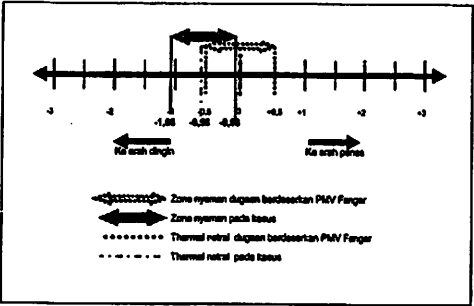
Rentang suhu udara nyaman termal tidak dapat ditentukan secara tetap dan seragam untuk semua orang. Rentang suhu udara termal akan bergerak tergantung dari fluktuasi variabel fisik iklim lain, variabel personal dan variabel perbedaan psikologis individu. Namun bila kita berasumsi fluktuasi kondisi sama dengan rata-rata karakteristik pada kasus penelitian Sugini, 2007 maka rentang nyaman termal terjadi pada rentang -0.34 PMV sampai dengan +0,66 PMV. Berdasarkan persamaan regresi 5.2 dapat ditemukan rentang suhu udara nyaman berkisar antara 21,56°C *ta* sd 27,62 °C *ta* dengan temperatur netral (*tn*) adalah 24,59°C *ta*. Berdasarkan persamaan regresi 5.3 dapat ditemukan pula rentang suhu udara nyaman dalam indeks *ET** sebesar 24,38°C *ET** sampai dengan 27,1°C *ET** dan *tn* = 25,7° *ET**. Namun penetapan rentang ini sebagai standar harus dilakukan dengan cara yang berhati-hati. Karena rentang ini menuntut persyaratan kesamaan karakteristik kondisi dengan kasus penelitian Sugini, 2007. Dari persamaan regresi 5.2 dapat diketahui setiap kenaikan 0.1 nilai PMV akan menyebabkan kenaikan 0.6°C. Dengan demikian berarti kenaikan 0.16 PMV akan menaikkan standar suhu udara nyaman termal sebesar 0,96 °C.

2. Lingkup khusus

Dampak praktis model dapat diketahui dengan mengaplikasikan model khusus pada individu spesifik pada ruang dengan kondisi iklim tertentu. Dengan melakukan cara pengoperasian model yang sama dengan cara pada lingkup umum dapatlah ditemukan rata-rata perbedaan antara PMV_{tap} khusus dengan PMV nya pada kondisi khusus tertentu. Dari perbedaan ini kita dapat mengetahui selisih perbedaan derajat kenyamanan termal berdasarkan dengan pendekatan termo adaptif psikologis dengan PMV pada kondisi khusus tertentu.

Hasil aplikasi tersebut alenia di atas dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 6 *Zone nyaman termal berdasarkan model khusus pada kelompok kasus yang spesifik*

No	Spesifikasi cakupan model pada kasus	Model pada lingkup spesifik	Perbandingan zone nyaman termal pada lingkup spesifik
1	Model AC	$PMV_{tap}=PMV-0,53$	
2	Model NV	$PMV_{tap}=PMV+0,58$	

Lanjutan Tabel 6

No	Spesifikasi cakupan model pada kasus	Model pada lingkup spesifik	Perbandingan zone nyaman termal pada lingkup spesifik
3	Model bebas	$PMV_{tap} = PMV + 0,007$	
4	Model tidak bebas	$PMV_{tap} = PMV - 0,37$	
5	Model nyaman	$PMV_{tap} = PMV - 0,32$	
6	Model AC nyaman	$PMV_{tap} = PMV - 0,76$	

Lanjutan Tabel 6

No	Spesifikasi cakupan model pada kasus	Model pada lingkup spesifik	Perbandingan zone nyaman termal pada lingkup spesifik
7	Model NV nyaman	$PMV_{tap} = PMV + 0,28$	
8	Model AC bebas	$PMV_{tap} = PMV - 0,37$	
9	Model NV bebas	$PMV_{tap} = PMV + 0,495$	
10	Model AC tidak bebas	$PMV_{tap} = PMV - 0,61$	

Lanjutan Tabel 6

No	Spesifikasi cakupan model pada kasus	Model pada lingkup spesifik	Perbandingan zone nyaman termal pada lingkup spesifik
11	Model NV tidak bebas	$PMV_{tap} = PMV + 0,67$	
12	Model bebas nyaman	$PMV_{tap} = PMV - 0,20$	
13	Model tidak bebas nyaman	$PMV_{tap} = PMV - 0,398$	
14	Model AC, bebas nyaman	$PMV_{tap} = PMV - 0,698$	

Lanjutan Tabel 6

No	Spesifikasi cakupan model pada kasus	Model pada lingkup spesifik	Perbandingan zone nyaman termal pada lingkup spesifik
15	Model NV bebas nyaman	$PMV_{tap}=PMV+0,68$	
16	Model AC tidak bebas nyaman	$PMV_{tap}=PMV-0,87$	
17	Modenv tidak bebas nyaman	$PMV_{tap}=PMV+0,08$	

(Sumber : Sugini, 2007)

Dari tabel tersebut di atas rentang nilai nyaman akan ditransformasikan ke bentuk indeks termal suhu t_a dan ET^* . Transformasi nilai dilakukan dengan cara sama pada transformasi rentang untuk lingkup umum. Caranya adalah dengan mensubstitusikan nilai PMV nyaman termal kasus pada regresi hubungan PMV dengan t_a dan ET^* . Regresi hubungan PMV dengan t_a dan ET^* dicari dengan melakukan simulasi plotting data t_a dan ET^* terhadap PMV pada suhu radiasi rata-rata, kecepatan angin, kelembaban, pakaian dan aktivitas yang sesuai dengan

karakteristik masing-masing kelompok khusus. Nilai karakteristik yang akan digunakan adalah nilai rata-ratanya. Hasil dari proses tersebut dapat dilihat dalam Tabel 7 berikut.

Tabel 7 Ploting, model regresi ta dan ET* terhadap PMV dan nilai batas nyaman termal ta dan ET* pada kelompok kasus spesifik

No	Model	Ploting model hubungan ta dan ET* terhadap PMV pada kondisi kasus yang bersesuaian	Model hubungan dan batas nyaman termal dalam indeks ta dan ET*																
1	AC		$Ta = 25,62 + 5,55PMV$ $ET^* = 24,76 + 2,67PMV + 0,28PMV^2$ Batas nyaman: <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>PMV</th> <th>ta (°C)**</th> <th>ET* (°C)**</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Batas bawah</td> <td>0,03</td> <td>25,7865</td> <td>24,840352</td> </tr> <tr> <td>Thermal neutral</td> <td>0,53</td> <td>28,5615</td> <td>26,253752</td> </tr> <tr> <td>Batas atas</td> <td>1,03</td> <td>31,3365</td> <td>27,807152</td> </tr> </tbody> </table> ** Pada t _{ru} 24,2; RH 55%; V _{0,1} m/dt; clo 0,69 act 1met		PMV	ta (°C)**	ET* (°C)**	Batas bawah	0,03	25,7865	24,840352	Thermal neutral	0,53	28,5615	26,253752	Batas atas	1,03	31,3365	27,807152
	PMV	ta (°C)**	ET* (°C)**																
Batas bawah	0,03	25,7865	24,840352																
Thermal neutral	0,53	28,5615	26,253752																
Batas atas	1,03	31,3365	27,807152																
2	NV		$Ta = 21,14 + 6,31 PMV$ $ET^* = 24,45 + 2,74PMV + 0,59PMV^2$ Batas nyaman: <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>PMV</th> <th>ta (°C)**</th> <th>ET* (°C)**</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Batas bawah</td> <td>-1,08</td> <td>14,3252</td> <td>22,178976</td> </tr> <tr> <td>Thermal neutral</td> <td>-0,58</td> <td>17,4802</td> <td>23,092276</td> </tr> <tr> <td>Batas atas</td> <td>-0,08</td> <td>20,6352</td> <td>24,234576</td> </tr> </tbody> </table> ** Pada t _{ru} 27,2; RH 67%; V _{0,1} m/dt; clo 0,69 act 1,2		PMV	ta (°C)**	ET* (°C)**	Batas bawah	-1,08	14,3252	22,178976	Thermal neutral	-0,58	17,4802	23,092276	Batas atas	-0,08	20,6352	24,234576
	PMV	ta (°C)**	ET* (°C)**																
Batas bawah	-1,08	14,3252	22,178976																
Thermal neutral	-0,58	17,4802	23,092276																
Batas atas	-0,08	20,6352	24,234576																
3	Bebas		$Ta = 22,18 + 6,63 PMV$ $ET^* = 23,35 + 3,45PMV + 0,39PMV^2$ Batas nyaman: <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>PMV</th> <th>ta (°C)**</th> <th>ET* (°C)**</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Batas bawah</td> <td>-0,507</td> <td>18,81859</td> <td>22,201099</td> </tr> <tr> <td>Thermal neutral</td> <td>-0,007</td> <td>22,13359</td> <td>23,825869</td> </tr> <tr> <td>Batas atas</td> <td>0,493</td> <td>25,44859</td> <td>25,645639</td> </tr> </tbody> </table> ** Pada t _{ru} 25,2 °C; V _{0,1} m/dt; RH 57%; Act 1,2; clo 0,66		PMV	ta (°C)**	ET* (°C)**	Batas bawah	-0,507	18,81859	22,201099	Thermal neutral	-0,007	22,13359	23,825869	Batas atas	0,493	25,44859	25,645639
	PMV	ta (°C)**	ET* (°C)**																
Batas bawah	-0,507	18,81859	22,201099																
Thermal neutral	-0,007	22,13359	23,825869																
Batas atas	0,493	25,44859	25,645639																
4	Tidak bebas		$Ta = 23,51 + 6,09PMV$ $ET^* = 24,43 + 2,83 PMV + 0,45PMV^2$ Batas nyaman: <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>PMV</th> <th>ta (°C)**</th> <th>ET* (°C)**</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Batas bawah</td> <td>-0,13</td> <td>22,7183</td> <td>24,069705</td> </tr> <tr> <td>Thermal neutral</td> <td>0,37</td> <td>25,7633</td> <td>25,538705</td> </tr> <tr> <td>Batas atas</td> <td>0,87</td> <td>28,8083</td> <td>27,232705</td> </tr> </tbody> </table> ** Pada t _{ru} 25,1 °C; V _{0,1} m/dt; RH 56% act 1,1 met; clo 0,7		PMV	ta (°C)**	ET* (°C)**	Batas bawah	-0,13	22,7183	24,069705	Thermal neutral	0,37	25,7633	25,538705	Batas atas	0,87	28,8083	27,232705
	PMV	ta (°C)**	ET* (°C)**																
Batas bawah	-0,13	22,7183	24,069705																
Thermal neutral	0,37	25,7633	25,538705																
Batas atas	0,87	28,8083	27,232705																

Lanjutan Tabel 7

No	Model	Ploting model hubungan ta dan ET* terhadap PMV pada kondisi kasus yang bersesuaian	Model hubungan dan batas nyaman termal dalam indeks ta dan ET*																
5	nyaman		$Ta=25,93+5,62PMV$ $ET^*=24,49+2,61PMV+0,29PMV^2$ Batas nyaman: <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>PMV</th> <th>ta (°C)**</th> <th>ET* (°C)**</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Batas bawah</td> <td>-0,18</td> <td>24,91804</td> <td>24,029596</td> </tr> <tr> <td>Thermal netral</td> <td>0,32</td> <td>27,72904</td> <td>25,354896</td> </tr> <tr> <td>Batas atas</td> <td>0,82</td> <td>30,54004</td> <td>26,825196</td> </tr> </tbody> </table> **Pada tmt 23,4; V 0,1; RH54%; Act 1 met; clo 0,71		PMV	ta (°C)**	ET* (°C)**	Batas bawah	-0,18	24,91804	24,029596	Thermal netral	0,32	27,72904	25,354896	Batas atas	0,82	30,54004	26,825196
	PMV	ta (°C)**	ET* (°C)**																
Batas bawah	-0,18	24,91804	24,029596																
Thermal netral	0,32	27,72904	25,354896																
Batas atas	0,82	30,54004	26,825196																
6	AC nyaman		$Ta=25,2+5,43PMV$ $ET^*=24,94+2,6PMV+0,37PMV^2$ Batas nyaman: <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>PMV</th> <th>ta (°C)**</th> <th>ET* (°C)**</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Batas bawah</td> <td>0,26</td> <td>26,617</td> <td>25,641012</td> </tr> <tr> <td>Thermal netral</td> <td>0,76</td> <td>29,342</td> <td>27,129712</td> </tr> <tr> <td>Batas atas</td> <td>1,26</td> <td>32,067</td> <td>28,803412</td> </tr> </tbody> </table> **Pada tmt 24,6; V 0,1; RH58%; Act 1 met; clo 0,67		PMV	ta (°C)**	ET* (°C)**	Batas bawah	0,26	26,617	25,641012	Thermal netral	0,76	29,342	27,129712	Batas atas	1,26	32,067	28,803412
	PMV	ta (°C)**	ET* (°C)**																
Batas bawah	0,26	26,617	25,641012																
Thermal netral	0,76	29,342	27,129712																
Batas atas	1,26	32,067	28,803412																
7	NV nyaman		$Ta=22,81+5,73PMV$ $ET^*=24,93+2,6PMV+0,51PMV^2$ Batas nyaman: <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>PMV</th> <th>ta (°C)**</th> <th>ET* (°C)**</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Batas bawah</td> <td>-0,78</td> <td>18,3406</td> <td>23,212284</td> </tr> <tr> <td>Thermal netral</td> <td>-0,28</td> <td>21,2056</td> <td>24,241984</td> </tr> <tr> <td>Batas atas</td> <td>0,22</td> <td>24,0706</td> <td>25,526684</td> </tr> </tbody> </table> **Pada tmt 26,5; V 0,1; RH62%; Act 1,1 met; clo 0,61		PMV	ta (°C)**	ET* (°C)**	Batas bawah	-0,78	18,3406	23,212284	Thermal netral	-0,28	21,2056	24,241984	Batas atas	0,22	24,0706	25,526684
	PMV	ta (°C)**	ET* (°C)**																
Batas bawah	-0,78	18,3406	23,212284																
Thermal netral	-0,28	21,2056	24,241984																
Batas atas	0,22	24,0706	25,526684																
8	AC bebas		$Ta=23,11+6,84PMV$ $ET^*=23,49+3,4PMV+0,48PMV^2$ Batas nyaman: <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>PMV</th> <th>ta (°C)**</th> <th>ET* (°C)**</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Batas bawah</td> <td>-0,13</td> <td>22,2208</td> <td>23,056112</td> </tr> <tr> <td>Thermal netral</td> <td>0,37</td> <td>25,6408</td> <td>24,813712</td> </tr> <tr> <td>Batas atas</td> <td>0,87</td> <td>29,0608</td> <td>26,811312</td> </tr> </tbody> </table> **Pada tmt 23,8; V 0,1; RH54%; Act 1,2 met; clo 0,69		PMV	ta (°C)**	ET* (°C)**	Batas bawah	-0,13	22,2208	23,056112	Thermal netral	0,37	25,6408	24,813712	Batas atas	0,87	29,0608	26,811312
	PMV	ta (°C)**	ET* (°C)**																
Batas bawah	-0,13	22,2208	23,056112																
Thermal netral	0,37	25,6408	24,813712																
Batas atas	0,87	29,0608	26,811312																
9	NV bebas		$Ta=21,06+6,38PMV$ $ET^*=24,3+2,84PMV+0,56PMV^2$ Batas nyaman: <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>PMV</th> <th>ta (°C)**</th> <th>ET* (°C)**</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Batas bawah</td> <td>-0,995</td> <td>14,7119</td> <td>22,028614</td> </tr> <tr> <td>Thermal netral</td> <td>-0,495</td> <td>17,9019</td> <td>23,031414</td> </tr> <tr> <td>Batas atas</td> <td>-0,005</td> <td>21,0281</td> <td>24,285814</td> </tr> </tbody> </table> **Pada tmt 27,1; V 0,1; RH60%; Act 1,2 met; clo 0,62		PMV	ta (°C)**	ET* (°C)**	Batas bawah	-0,995	14,7119	22,028614	Thermal netral	-0,495	17,9019	23,031414	Batas atas	-0,005	21,0281	24,285814
	PMV	ta (°C)**	ET* (°C)**																
Batas bawah	-0,995	14,7119	22,028614																
Thermal netral	-0,495	17,9019	23,031414																
Batas atas	-0,005	21,0281	24,285814																

Lanjutan Tabel 7

No	Model	Plotting model hubungan t_a dan ET^* terhadap PMV pada kondisi kasus yang bersesuaian	Model hubungan dan batas nyaman termal dalam indeks t_a dan ET^*																
10	AC tidak bebas		$T_a = 25,45 + 5,55PMV$ $ET^* = 24,78 + 2,61PMV + 0,32PMV^2$ Batas nyaman: <table border="1" data-bbox="878 504 1230 616"> <thead> <tr> <th></th> <th>PMV</th> <th>t_a (°C)**</th> <th>ET^* (°C)**</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Batas bawah</td> <td>0,11</td> <td>26,0605</td> <td>25,070972</td> </tr> <tr> <td>Thermal neutral</td> <td>0,61</td> <td>28,8355</td> <td>26,491172</td> </tr> <tr> <td>Batas atas</td> <td>1,11</td> <td>31,6105</td> <td>28,071372</td> </tr> </tbody> </table> ** Pada t_{mrt} 24,2 °C; V 0,1; RH 55%; Act 1 met; clo 0,69		PMV	t_a (°C)**	ET^* (°C)**	Batas bawah	0,11	26,0605	25,070972	Thermal neutral	0,61	28,8355	26,491172	Batas atas	1,11	31,6105	28,071372
	PMV	t_a (°C)**	ET^* (°C)**																
Batas bawah	0,11	26,0605	25,070972																
Thermal neutral	0,61	28,8355	26,491172																
Batas atas	1,11	31,6105	28,071372																
11	NV tidak bebas		$T_a = 21,18 + 6,29PMV$ $ET^* = 24,53 + 2,74PMV + 0,52PMV^2$ Batas nyaman: <table border="1" data-bbox="878 817 1230 929"> <thead> <tr> <th></th> <th>PMV</th> <th>t_a (°C)**</th> <th>ET^* (°C)**</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Batas bawah</td> <td>-1,17</td> <td>13,8207</td> <td>22,036028</td> </tr> <tr> <td>Thermal neutral</td> <td>-0,67</td> <td>16,9657</td> <td>22,927628</td> </tr> <tr> <td>Batas atas</td> <td>-0,17</td> <td>20,1107</td> <td>24,079228</td> </tr> </tbody> </table> ** Pada t_{mrt} 27,4 °C; V 0,1; RH 58%; Act 1,2 met; clo 0,59		PMV	t_a (°C)**	ET^* (°C)**	Batas bawah	-1,17	13,8207	22,036028	Thermal neutral	-0,67	16,9657	22,927628	Batas atas	-0,17	20,1107	24,079228
	PMV	t_a (°C)**	ET^* (°C)**																
Batas bawah	-1,17	13,8207	22,036028																
Thermal neutral	-0,67	16,9657	22,927628																
Batas atas	-0,17	20,1107	24,079228																
12	Bebas nyaman		$T_a = 25,13 + 5,47PMV$ $ET^* = 24,88 + 2,6PMV + 0,36PMV^2$ Batas nyaman: <table border="1" data-bbox="878 1131 1230 1243"> <thead> <tr> <th></th> <th>PMV</th> <th>t_a (°C)**</th> <th>ET^* (°C)**</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Batas bawah</td> <td>-0,3</td> <td>23,489</td> <td>24,1324</td> </tr> <tr> <td>Thermal neutral</td> <td>0,2</td> <td>26,224</td> <td>25,4144</td> </tr> <tr> <td>Batas atas</td> <td>0,7</td> <td>28,959</td> <td>26,8764</td> </tr> </tbody> </table> ** Pada t_{mrt} 24,6 °C; V 0,1; RH 57%; Act 1 met; clo 0,68		PMV	t_a (°C)**	ET^* (°C)**	Batas bawah	-0,3	23,489	24,1324	Thermal neutral	0,2	26,224	25,4144	Batas atas	0,7	28,959	26,8764
	PMV	t_a (°C)**	ET^* (°C)**																
Batas bawah	-0,3	23,489	24,1324																
Thermal neutral	0,2	26,224	25,4144																
Batas atas	0,7	28,959	26,8764																
13	Tidak bebas nyaman		$T_a = 25,23 + 5,37PMV$ $ET^* = 25,05 + 2,58PMV + 0,36PMV^2$ Batas nyaman: <table border="1" data-bbox="878 1444 1230 1556"> <thead> <tr> <th></th> <th>PMV</th> <th>t_a (°C)**</th> <th>ET^* (°C)**</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Batas bawah</td> <td>-0,102</td> <td>24,68226</td> <td>24,790585</td> </tr> <tr> <td>Thermal neutral</td> <td>0,398</td> <td>27,36726</td> <td>26,133865</td> </tr> <tr> <td>Batas atas</td> <td>0,898</td> <td>30,05226</td> <td>27,657145</td> </tr> </tbody> </table> ** Pada t_{mrt} 24,8 °C; V 0,1; RH 58%; Act 1 met; clo 0,65		PMV	t_a (°C)**	ET^* (°C)**	Batas bawah	-0,102	24,68226	24,790585	Thermal neutral	0,398	27,36726	26,133865	Batas atas	0,898	30,05226	27,657145
	PMV	t_a (°C)**	ET^* (°C)**																
Batas bawah	-0,102	24,68226	24,790585																
Thermal neutral	0,398	27,36726	26,133865																
Batas atas	0,898	30,05226	27,657145																
14	AC bebas, nyaman		$T_a = 26,2 + 5,62PMV$ $ET^* = 24,56 + 2,67PMV + 0,28PMV^2$ Batas nyaman: <table border="1" data-bbox="878 1758 1230 1870"> <thead> <tr> <th></th> <th>PMV</th> <th>t_a (°C)**</th> <th>ET^* (°C)**</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Batas bawah</td> <td>0,196</td> <td>27,30152</td> <td>25,094076</td> </tr> <tr> <td>Thermal neutral</td> <td>0,696</td> <td>30,11152</td> <td>26,553956</td> </tr> <tr> <td>Batas atas</td> <td>1,196</td> <td>32,92152</td> <td>28,153836</td> </tr> </tbody> </table> ** Pada t_{mrt} 23,3 °C; V 0,1; RH 53%; Act 1 met; clo 0,7		PMV	t_a (°C)**	ET^* (°C)**	Batas bawah	0,196	27,30152	25,094076	Thermal neutral	0,696	30,11152	26,553956	Batas atas	1,196	32,92152	28,153836
	PMV	t_a (°C)**	ET^* (°C)**																
Batas bawah	0,196	27,30152	25,094076																
Thermal neutral	0,696	30,11152	26,553956																
Batas atas	1,196	32,92152	28,153836																

Lanjutan Tabel 7

No	Model	Ploting model hubungan ta dan ET* terhadap PMV pada kondisi kasus yang bersesuaian	Model hubungan dan batas nyaman termal dalam indeks ta dan ET*																
15	NV bebas nyaman		$Ta=22,55+5,86PMV$ $ET^*=24,65+2,49PMV+0,69PMV^2$ Batas nyaman: <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>PMV</th> <th>ta (°C)**</th> <th>ET* (°C)**</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Batas bawah</td> <td>-1,18</td> <td>15,6352</td> <td>22,672556</td> </tr> <tr> <td>Thermal neutral</td> <td>-0,68</td> <td>18,5652</td> <td>23,275856</td> </tr> <tr> <td>Batas atas</td> <td>-0,18</td> <td>21,4952</td> <td>24,224156</td> </tr> </tbody> </table> **Pada tmt 25,2°C; V 0,1; RH63%; Act 1,1 met; clo 0,65		PMV	ta (°C)**	ET* (°C)**	Batas bawah	-1,18	15,6352	22,672556	Thermal neutral	-0,68	18,5652	23,275856	Batas atas	-0,18	21,4952	24,224156
	PMV	ta (°C)**	ET* (°C)**																
Batas bawah	-1,18	15,6352	22,672556																
Thermal neutral	-0,68	18,5652	23,275856																
Batas atas	-0,18	21,4952	24,224156																
16	AC tidak bebas nyaman		$Ta=25,75+5,64PMV$ $ET^*=24,47+2,73PMV+0,35PMV^2$ Batas nyaman: <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>PMV</th> <th>ta (°C)**</th> <th>ET* (°C)**</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Batas bawah</td> <td>0,37</td> <td>27,8368</td> <td>25,528015</td> </tr> <tr> <td>Thermal neutral</td> <td>0,87</td> <td>30,6568</td> <td>27,110015</td> </tr> <tr> <td>Batas atas</td> <td>1,37</td> <td>33,4768</td> <td>28,867015</td> </tr> </tbody> </table> **Pada tmt 23,4°C; V 0,1; RH56%; Act 1 met; clo 0,72		PMV	ta (°C)**	ET* (°C)**	Batas bawah	0,37	27,8368	25,528015	Thermal neutral	0,87	30,6568	27,110015	Batas atas	1,37	33,4768	28,867015
	PMV	ta (°C)**	ET* (°C)**																
Batas bawah	0,37	27,8368	25,528015																
Thermal neutral	0,87	30,6568	27,110015																
Batas atas	1,37	33,4768	28,867015																
17	NV tidak bebas nyaman		$Ta=23,12+5,55PMV$ $ET^*=25,25+2,55PMV+0,49PMV^2$ Batas nyaman: <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>PMV</th> <th>ta (°C)**</th> <th>ET* (°C)**</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Batas bawah</td> <td>-0,584</td> <td>19,8788</td> <td>23,927917</td> </tr> <tr> <td>Thermal neutral</td> <td>-0,084</td> <td>22,6538</td> <td>25,039257</td> </tr> <tr> <td>Batas atas</td> <td>0,416</td> <td>25,4288</td> <td>26,395597</td> </tr> </tbody> </table> **Pada tmt 26,8°C; V 0,1; RH62%; Act 1,1 met; clo 0,56		PMV	ta (°C)**	ET* (°C)**	Batas bawah	-0,584	19,8788	23,927917	Thermal neutral	-0,084	22,6538	25,039257	Batas atas	0,416	25,4288	26,395597
	PMV	ta (°C)**	ET* (°C)**																
Batas bawah	-0,584	19,8788	23,927917																
Thermal neutral	-0,084	22,6538	25,039257																
Batas atas	0,416	25,4288	26,395597																

(Sumber: Sugini, 2007)

5.2. Parameter Kenyamanan Termal PMVtap dan Termal Netral

Berdasarkan penelitian Sugini (2007) dapat dijelaskan parameter kenyamanan termal PMVtap dan termal netral sebagai berikut. Untuk melihat implikasi fluktuasi parameter model PMVtap pada standar dapatlah dijelaskan dengan melihat implikasi fluktuasi nilai parameter terhadap perubahan termal netral. Urutan paparan akan disusun berdasarkan kelompok variabel penentu kenyamanan termal PMVtap. Kelompok pertama adalah kelompok parameter yang menjadi ukuran variabel-variabel kelompok pengalaman termal sesaat. Pengalaman termal sesaat meliputi variabel jenis penghawaan ruang, akses kendali penghawaan ruang dan kualitas ruang dilihat berdasarkan penilaian penghuni terhadap stimulus kesesakan orang, barang dan kebisingan. Kelompok ke dua adalah parameter-parameter yang menjadi ukuran variabel-variabel yang termasuk kelompok variabel pengalaman termal masa lalu. Variabel yang termasuk dalam kelompok pengalaman termal

masa lalu adalah gambaran bayangan kenyamanan termal penghuni terhadap ruang yang direspon, pengalaman ketidaknyamanan termal, situasi kontekstual termal masa lalu dan status sosial. Secara detail akan dipaparkan sebagai berikut.

1. Pengalaman termal sesaat

a) Ruang AC dan ruang dengan penghawaan alamiah (NV)

Tabel 6 baris no.1 menunjukkan bahwa termal netral pada ruang berAC akan terjadi pada $PMV = +0,53$. Hal ini menunjukkan bahwa kelompok penghuni ruang ber AC lebih toleran terhadap derajat kenyamanan termal hangat. Dengan demikian pada ruang berAC ada peluang untuk menaikkan derajat kenyamanan termal sebesar 0,53 derajat PMV. Berdasarkan persamaan regresi hubungan PMV dengan t_a dan ET^* untuk lingkup kasus pada kelompok ruang AC dapat diketahui bahwa setiap kenaikan 0,1 derajat PMV akan memberikan dampak kenaikan suhu sebesar $0,56^\circ\text{C}$. Dengan demikian, standar kenyamanan termal pada ruang berac dapat dinaikan sebesar $2,968^\circ\text{C}$. Bila hal ini dipraktikan dalam dunia praktis, terutama pada bangunan ber AC, akan terjadi dampak yang cukup bermakna. Berdasarkan Oseland (1994) setiap penurunan satu derajat pada penggunaan AC akan menurunkan paling tidak 10% konsumsi energi operasional penghawaan bangunan, penghematan 5% konsumsi energi rumah tangga dan 3% penghematan untuk biaya operasional kantor. Dengan demikian kenaikan suhu udara sebesar $2,968^\circ\text{C}$ akan berarti menghemat 29,68% konsumsi energi operasional penghawaan bangunan atau 14,84% konsumsi energi rumah tangga dan 8,904% biaya operasional kantor. Hal ini menunjukkan bahwa penerapan hasil penelitian Sugini, 2007 pada dunia praktis akan menyumbang pada penghematan energi untuk yang cukup signifikan.

Berdasarkan Tabel 6 baris no.2 dapat disimpulkan bahwa derajat termal netral pada ruang NV terjadi pada nilai $PMV=-0,58$. Dari tabel yang sama juga dapat dilihat bahwa termal netral untuk ruang NV adalah $17,48^\circ\text{C}$. Sedangkan termal netral berdasarkan dugaan indeks termal $PMV=0$ adalah $21,14^\circ\text{C}$. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa termal netral pada ruang NV lebih rendah $3,66^\circ\text{C}$ dari termal netral berdasarkan indeks termal PMV.

Berdasarkan gambar dalam Tabel 6 baris no 1 dan 2 dapat dilihat bahwa termal netral (tn) PMV_{tap} pada ruang AC lebih tinggi dibanding termal netral (tn) berdasarkan indeks thermal $PMV=0$. Atau dapat dikatakan pada ruang AC ternyata PMV memprediksi tn lebih rendah dibanding PMV_{tap} . Sebaliknya pada ruang NV termal netral PMV_{tap} lebih rendah dibanding termal netral berdasarkan indeks thermal $PMV=0$. Atau dapat dikatakan pada ruang NV ternyata PMV memprediksi tn lebih tinggi dibanding PMV_{tap} . Hal ini sesuai dengan hasil riset De Dear (1991) dalam Charles, k.e, (2003). Dari hasil riset tersebut diketahui bahwa termal netral berdasarkan prediksi PMV pada ruang AC lebih rendah dibanding termal netral

observasi. Hal yang berkebalikan terjadi pada ruang NV. Pada ruang NV, prediksi termal netral PMV lebih tinggi dibanding termal netral observasi.

Adanya perbedaan nilai PMV_{tap} di ruang AC dan NV tersebut di atas juga diperkuat dengan hasil perbandingan antara ruang berAC dan NV pada kelompok yang lebih spesifik. Demikian juga kalau melihat hasil analisis perbedaan nilai PMV_{tap} berdasarkan perbedaan atribut penghuni dilihat dari parameter jenis penghawaan ruang yang direspon. Dari analisis diketahui bahwa ruang AC mempunyai termal netral lebih tinggi dengan ruang bukan AC. Nilai perbedaan tersebut adalah rata-rata 0.76 PMV, 4,52°C ta atau 2,4 °C ET*.

Gejala ini juga sesuai dengan hasil uji coba perbedaan rata-rata beda vor-PMV antara ruang AC dengan NV. Berdasarkan hasil uji coba perbedaan rata-rata beda vor-PMV antara ruang AC dan NV inenunjukkan tingkat perbedaan yang signifikan. Hasil semua tersebut di atas ternyata sesuai dengan hasil riset dari De Dear & Auliciems (1992) di Australia, Busch (1992) di Bangkok, Oseland (1996) (Charles, k.e, 2003).

b) Ruang dengan kendali penghawaan tidak bebas

Perbandingan antara ruang yang memberikan kebebasan dengan yang tidak memberikan kebebasan dalam mengendalikan ruang akan dilakukan dengan cara mencermati lebih spesifik pada ruang NV. Caranya adalah dengan membandingkan termal netral pada kelompok ruang NV bebas dengan ruang NV tidak bebas. Pada kelompok NV bebas ditemukan bahwa termal netral terjadi pada -0,495 PMV. Sedangkan pada ruang NV tidak bebas ditemukan termal netral yang lebih rendah lagi yaitu -0,67 PMV. Dari hal ini dapat dilihat bahwa ruang NV bebas mempunyai termal netral yang lebih tinggi dibanding ruang NV tidak bebas. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa dengan memberikan kondisi ruang yang memungkinkan penghuni untuk bebas mengendalikan kualitas termal ruang maka ada peluang untuk menaikkan derajat kenyamanan termal ruang.

Kesimpulan tersebut di atas konsisten dengan hasil penelitian Baker, Standeven (1996) dan penelitian Brager, Paliagan, Dear (2004). Dari penelitian Brager, Paliagan, Dear (2004) disimpulkan bahwa penghuni ruang dengan akses kendali terhadap penghawaan ruang berbeda akan mempunyai kenyamanan termal berbeda.

c) Ruang dengan kualitas kesesakan orang atau barang serta kualitas kebisingan nyaman dan tidak nyaman

Untuk mengetahui perbandingan antara ruang dengan kualitas stimulus lain nyaman dengan yang tidak nyaman dapat dilakukan dengan membandingkan gejala pada ruang NV nyaman dengan ruang NV pada umumnya. Dapat dilihat bahwa ternyata ruang NV nyaman mempunyai termal netral -0,279 PMV. Lebih tinggi 0,301

dibandingkan ruang NV pada umumnya. Hal ini menunjukkan bahwa penciptaan kualitas ruang dengan stimulus kesesakan, kuat penerangan, keterbukaan visual dan kebisingan nyaman akan memberikan peluang untuk menaikkan termal netral pada ruang NV. Lebih khusus dapat diketahui bahwa kualitas kesesakan orang, kesesakan barang dan kebisingan yang nyaman akan memberikan penilaian derajat kenyamanan termal yang lebih dingin dibandingkan ruang yang tidak nyaman. Dengan kata lain pada ruang dengan kualitas stimulus lain nyaman akan memberikan kemungkinan untuk menaikkan termal netral penghuni.

Berdasarkan Tabel 7 dapat disimpulkan bahwa ruang dengan kualitas kesesakan orang nyaman mempunyai termal netral lebih tinggi dibanding ruang dengan kualitas kesesakan orang tidak nyaman. Perbedaan itu sebesar 0,62PMV atau setara dengan 4,1°C ta, 3,64c ET* untuk ruang bebas, 0,85PMV atau setara dengan 5,4c ta, 2,8c ET* untuk ruang NV bebas atau rata-rata 0,735PMV atau setara dengan 4,75c °C ta, 3,22°C ET*. Demikian juga pada ruang dengan kualitas kesesakan barang nyaman mempunyai termal netral lebih tinggi dibanding ruang dengan kualitas kesesakan barang tidak nyaman. Perbedaan tersebut sebesar 0,23PMV atau setara dengan 1,39°C ta, 0,62°C ET* untuk ruang umum dan 0,38PMV atau setara dengan 2,6°C ta, 1,4°C ET* untuk ruang AC bebas atau rata-rata 0,23PMV atau setara dengan 1,995°C ta, 1,01°C ET*. Kecenderungan yang sama juga terjadi pada ruang dengan kualitas kebisingan nyaman dan tidak nyaman. Pada ruang dengan kualitas kebisingan nyaman ternyata mempunyai termal netral lebih tinggi dibanding dengan kualitas ruang dengan kebisingan tidak nyaman. Nilai perbedaan tersebut adalah 0,5PMV atau setara dengan 3,15°C ta, 1,5°C ET*. Hal ini berarti penghuni pada ruang dengan kualitas kesesakan orang, barang dan kebisingan nyaman akan lebih toleran terhadap kondisi termal yang lebih hangat atau panas. Temuan ini konsisten dengan teori Croome tentang pencapaian kenyamanan termal (Croome, 1997) dan skema Elzeyadi (2002) dalam Vorafat Inkarojit (2005). Bahwa persepsi kenyamanan ruang adalah akumulasi dari persepsi terhadap termal, spasial, visual dan akustikal. Sensasi kenyamanan termal sebagai bagian dalam sensasi kualitas kenyamanan ruang secara keseluruhan akan berkaitan dengan aspek kualitas ruang lain. Kualitas ruang lain tersebut antara lain adalah kenyamanan visual, akustik dan spasial.

2. Pengalaman termal masa lalu

a) Gambaran bayangan kenyamanan termal penghuni terhadap ruang

Gambaran bayangan kenyamanan termal responden terhadap ruang yang akan direspon diukur dengan dua parameter. Parameter pertama adalah gambaran bayangan kenyamanan termal responden terhadap ruang nyaman atau bukan nyaman. Ke dua adalah gambaran bayangan kenyamanan termal ruang agak hangat/hangat/panas atau bukan. Berdasarkan Tabel 7 dapat disimpulkan bahwa penghuni

ruang dengan gambaran bayangan kenyamanan termal nyaman akan mempunyai termal netral lebih rendah dibanding penghuni ruang dengan gambaran bayangan kenyamanan termal bukan nyaman. Nilai perbedaan tersebut adalah $-0,71$ PMV atau setara dengan $-4,3^{\circ}\text{C}$ ta, $-1,9^{\circ}\text{C}$ ET* untuk model ruang umum atau rata-rata untuk 13 model sebesar $-0,98$ PMV. Nilai rata-rata $-0,98$ PMV setara dengan $-5,78^{\circ}\text{C}$ ta, $-2,02^{\circ}\text{C}$ ET*.

Berdasarkan Tabel 7 juga dapat disimpulkan bahwa penghuni dengan gambaran bayangan kenyamanan termal ruang agak hangat/hangat/panas akan mempunyai termal netral lebih rendah dibanding yang bukan. Nilai perbedaan tersebut adalah $-0,94$ PMV atau setara dengan $-3,42^{\circ}\text{C}$ ta, $-1,93^{\circ}\text{C}$ ET*.

b) Pengalaman ketidaknyamanan termal

Variabel pengalaman ketidaknyamanan termal diukur dengan parameter pengalaman ketidaknyamanan termal sering tidak nyaman atau bukan (sering nyaman). Dari Tabel 7 dapat disimpulkan bahwa penghuni ruang yang sering mengalami ketidaknyamanan termal ternyata mempunyai termal netral lebih rendah dibanding penghuni yang sering mengalami nyaman termal. Nilai perbedaan tersebut adalah $-0,35$ PMV atau setara dengan $-2,208^{\circ}\text{C}$ ta, $-1,031^{\circ}\text{C}$ ET* untuk ruang NV dan $1,51$ PMV atau setara dengan $-9,5^{\circ}\text{C}$ ta, $-5,33^{\circ}\text{C}$ ET* untuk ruang NV tidak bebas. Nilai rata-rata perbedaan untuk ruang-ruang tersebut adalah $-0,93$ PMV atau setara dengan $-5,85^{\circ}\text{C}$ ta, $-3,18^{\circ}\text{C}$ ET*.

c) Situasi kontekstual termal masa lalu

Gaya hidup termal

Ada 3 variabel gaya hidup termal. Pertama, jenis penghawaan dominan di rumah. Diukur dengan parameter jenis penghawaan dominan di rumah NV atau bukan. Kedua, jenis penghawaan dominan di tempat kerja/kuliah. Diukur dengan parameter jenis penghawaan dominan di tempat kerja/kuliah NV atau bukan. Ketiga, lama waktu tinggal di ruang AC dalam kesehariannya rata-rata. Dari tiga parameter tersebut, dilihat dari jumlah model yang memuat parameter yang bersangkutan maka parameter jenis penghawaan dominan di tempat kerja/kuliah adalah variabel yang dominan.

Berdasarkan Tabel 7 dapat disimpulkan sebagai berikut. Pertama, bahwa penghuni ruang dengan gaya hidup termal jenis penghawaan dominan di tempat kerja/kuliah NV akan mempunyai termal netral lebih tinggi dibanding penghuni ruang dengan gaya hidup termal jenis penghawaan dominan di tempat kerja/kuliah AC. Nilai perbedaan tersebut adalah $0,35$ PMV atau setara dengan $1,94^{\circ}\text{C}$ ta, $0,98^{\circ}\text{C}$ ET* untuk ruang AC, $0,56$ PMV atau setara dengan $3,052^{\circ}\text{C}$ ta, $1,572^{\circ}\text{C}$ ET* untuk ruang AC nyaman, $0,43$ PMV atau setara dengan $2,94^{\circ}\text{C}$ ta, $1,55^{\circ}\text{C}$ ET*

untuk ruang AC bebas, 1,11PMV atau setara dengan 6,07°C ta, 3,33°C ET* untuk ruang bebas nyaman, 2,05PMV atau setara dengan 11,38°C ta, 7,29°C ET* untuk ruang NV tidak bebas nyaman. Nilai rata-rata perbedaan ruang tersebut adalah 0,9PMV atau setara dengan 5,076°C ta, 2,94°C ET*.

Kedua, penghuni ruang dengan gaya hidup termal jenis penghawaan dominan di rumah NV akan mempunyai termal netral lebih tinggi dibanding penghuni ruang dengan gaya hidup termal jenis penghawaan dominan di rumah AC. Nilai perbedaan tersebut adalah 0,56PMV atau setara dengan 3,108°C ta, 1,583°C ET* untuk ruang AC, 0,76PMV atau setara dengan 1,142°C ta, 2,189°C ET* untuk ruang AC nyaman, 2,21PMV atau setara dengan 13,9°C ta, 8,595c ET* untuk ruang NV tidak bebas, 2,46PMV atau setara dengan 13,31°C ta, 8,695°C ET* untuk ruang bebas nyaman. Nilai rata-rata perbedaan tersebut adalah 0,9PMV atau setara dengan 8,615°C ta, 5,266°C ET*.

Ketiga, penghuni dengan lama waktu rata-rata tinggal di ruang AC dalam kesehariannya lebih tinggi satu tingkat akan mempunyai termal netral lebih rendah dibanding penghuni dengan lama waktu rata-rata tinggal di ruang AC satu tingkat di bawahnya. Kenaikan setiap satu tingkat lama waktu tinggal di ruang AC dalam kesehariannya akan menurunkan termal netral penghuni. Nilai penurunan setiap satu tingkat tersebut sebesar -0,04PMV atau setara dengan -0,24°C ta, -0,107°C ET* untuk ruang model umum, -0,07PMV atau setara dengan -0,39°C ta, -0,18°C ET* untuk ruang AC tidak bebas. Nilai rata-rata perbedaan tersebut adalah -0,075PMV atau setara dengan -0,315°C ta, -0,144°C ET* . Gejala berkebalikan terjadi pada ruang bebas nyaman dan tidak bebas nyaman. Berdasarkan pada dua model ruang ini maka setiap kenaikan satu tingkat lama waktu tinggal di ruang AC akan menaikkan termal netral penghuni. Nilai kenaikan tersebut adalah 0,13PMV atau setara dengan 0,798°C ta, 0,51°C ET* untuk ruang bebas nyaman, 0,09PMV atau setara dengan 0,4833°C ta, 0,24°C ET* untuk ruang tidak bebas nyaman. Nilai rata-rata perbedaan tersebut adalah sebesar 0,11 PMV atau setara dengan 0,64°C ta, 0,38°C ET*.

Kebebasan mengendalikan penghawaan ruang dalam kesehariannya

Kebebasan mengendalikan penghawaan ruang dalam kesehariannya diukur dengan parameter apakah penghuni ruang menilai dirinya dalam kesehariannya bebas mengendalikan penghawaan ruangnya atau tidak. Berdasarkan penelitian Sugini, 2007 ini diketahui bahwa penghuni yang dalam kesehariannya menilai dirinya bebas mengendalikan penghawaan ruang mempunyai termal netral yang lebih tinggi 0,946 PMV di banding yang tidak bebas. Nilai 0,946 PMV tersebut setara dengan 5,3°C ta atau 2,91°C ET*.

Tempat tinggal terlama

Tempat tinggal terlama diukur dengan parameter tempat tinggal terlama DIY atau bukan. Dari Tabel 7 dapat disimpulkan bahwa penghuni ruang dengan tempat tinggal terlama DIY ternyata mempunyai termal netral yang lebih tinggi dibanding penghuni dengan tempat tinggal terlama bukan DIY. Nilai perbedaan tersebut adalah 0,33 PMV_{tap} atau setara dengan 2,18 °C_{ta}, 1,0806°C ET*.

d) status sosial

Variabel yang termasuk dalam status sosial adalah variabel jenis pekerjaan, pendidikan, tingkat pendapatan, tipe keluarga. Jenis pekerjaan diukur dengan parameter-parameter jenis pekerjaan mahasiswa atau bukan, jenis pekerjaan kantoran atau bukan, jenis pekerjaan pabrik atau bukan. Variabel pendidikan diukur dengan parameter jenjang pendidikan \leq sma atau bukan ($>$ sma). Variabel pendapatan diukur dengan tingkat pendapatan pribadi dan tingkat pendapatan bersama. Secara detail tingkatan pendapatan telah dijelaskan sebelumnya. Parameter tipe keluarga yang signifikan menjadi ukuran ada 3 parameter. Parameter pertama adalah tipe keluarga dengan kepala keluarga tunggal atau bukan. Ke dua adalah tipe keluarga dengan orang lengkap atau bukan, ke tiga adalah besar keluarga yang ditunjukkan dengan jumlah orang dalam keluarga.

Jenis pekerjaan

Berdasarkan pada Tabel 7 dapat disimpulkan sebagai berikut. Pertama, penghuni dengan jenis pekerjaan mahasiswa pada ruang AC, ruang nyaman, ruang AC tidak bebas dan ruang NV bebas nyaman mempunyai termal netral lebih tinggi dibanding penghuni bukan mahasiswa. Nilai perbedaan tersebut rata-rata adalah 1,06 PMV atau setara dengan 6,072°C_{ta}, 3,73°C ET*. Pada ruang bebas nyaman dan ruang AC bebas nyaman terjadi hal yang berkebalikan. Namun demikian pada rerata t_a dan ET* akhirnya tetap menunjukkan bahwa mahasiswa mempunyai termal netral yang lebih tinggi dari penghuni bukan mahasiswa.

Kedua, penghuni dengan jenis pekerjaan kantoran mempunyai termal netral lebih rendah dibanding penghuni bukan kantoran. Nilai perbedaan tersebut rata-rata adalah -1,32 PMV atau setara dengan -7,34°C_{ta}, -1,56°C ET*.

Ketiga penghuni dengan jenis pekerjaan pabrik pada ruang AC tidak bebas mempunyai termal netral lebih tinggi dibanding penghuni bukan pekerja pabrik. Hal yang berkebalikan terjadi pada ruang bebas nyaman. Penghuni dengan pekerjaan pabrik mempunyai termal netral lebih rendah dibanding penghuni bukan pekerja pabrik. Namun bila dilihat rata-rata secara keseluruhan, berdasarkan indeks termal PMV dan t_a dapat disimpulkan pekerja pabrik mempunyai termal

netral lebih rendah dibanding penghuni bukan pekerja pabrik. Nilai perbedaan tersebut adalah $-1,15$ PMV atau setara dengan $-5,96^{\circ}\text{C}$ ta.

Jenjang pendidikan

Penghuni dengan pendidikan \leq sma ternyata mempunyai termal netral lebih tinggi dibanding penghuni dengan pendidikan $>$ sma. Perbedaan tersebut sebesar $1,64$ PMV atau setara dengan $9,15^{\circ}\text{C}$ ta, $5,46^{\circ}\text{C}$ ET*.

Tingkat pendapatan

Penghuni dengan tingkat pendapatan pribadi lebih tinggi satu tingkat akan mempunyai termal netral lebih rendah dibanding dengan penghuni dengan tingkat pendapatan pribadi lebih rendah satu tingkat di bawahnya. Nilai perbedaan tersebut rata-rata adalah $-0,21$ PMV atau setara dengan $-1,23^{\circ}\text{C}$ ta, $-0,56^{\circ}\text{C}$ ET*. Penghuni dengan tingkat pendapatan bersama keluarga lebih tinggi juga akan mempunyai termal netral lebih rendah dibanding penghuni dengan tingkat pendapatan pribadi satu tingkat lebih rendah di bawahnya. Nilai perbedaan tersebut rata-rata adalah $-0,1$ PMV atau setara dengan $-0,645^{\circ}\text{C}$ ta, $-0,22^{\circ}\text{C}$ ET*.

Tipe keluarga dan besar keluarga

Penghuni dengan latar belakang tipe keluarga dengan kepala keluarga tunggal ternyata akan mempunyai termal netral lebih rendah dibanding penghuni dengan tipe keluarga dengan kepala keluarga bukan tunggal. Nilai perbedaan tersebut rata-rata adalah $-0,73$ PMV atau setara dengan $-4,45^{\circ}\text{C}$ ta, $-1,65^{\circ}\text{C}$ ET*. Penghuni dengan tipe keluarga dengan keluarga lengkap mempunyai termal netral lebih tinggi dibanding keluarga dengan tipe bukan keluarga lengkap. Nilai perbedaan tersebut adalah $0,26$ PMV atau setara dengan $1,64^{\circ}\text{C}$ ta, $0,7^{\circ}\text{C}$ ET*.

Bila dilihat latar belakang besar keluarga dapat diketahui bahwa kenaikan satu tingkat besar keluarga ternyata akan menaikkan termal netral penghuni ruang. Nilai kenaikan tersebut adalah $0,4$ PMV atau setara dengan $2,23^{\circ}\text{C}$ ta, $1,15^{\circ}\text{C}$ ET*.

Perbandingan Rentang Nyaman Termal

Berikut akan dijelaskan perbandingan rentang nyaman termal dari beberapa penelitian di Indonesia dan model termal adaptif Nico & Humphreys, De Dear & Brager serta teori termo regulator perilaku Auliciems

Tabel 8 berikut adalah tabulasi hasil penelitian baik di luar Indonesia atau di dalam Indonesia. Dalam tabel ini juga dapat dilihat perbandingan hasil penelitian sebelum dengan penelitian Sugini, 2007.

Berdasarkan Tabel 8 pada penelitian-penelitian di Indonesia dapat dilihat perbandingan hasil penelitian Sugini, 2007 dengan penelitian-penelitian sebelumnya. Bila dibandingkan dengan penelitian Mom & Wiesebron (1947) di

Bandung dapat dilihat bahwa termal netral hasil penelitian Sugini, 2007 6,53 °C di atas hasil penelitian Mom & Wiesebron. Hal ini bisa disebabkan karena beberapa kemungkinan. Pertama, disebabkan oleh perbedaan metode penelitian. Penelitian Mom dilakukan dengan ruang tertutup yang terkendali, sedangkan penelitian Sugini, 2007 dilakukan dengan penelitian lapangan. Hasil dari penelitian ruang tertutup dan terkendali telah diketahui menghasilkan data yang berbeda dengan penelitian lapangan (Nicol dkk,1995.; Jami 1995; Williamson dkk,1995; Karyono,1995). Kemungkinan ke dua adalah perbedaan konteks iklim lingkungan. De Dear & Brager dan Nicol & humprey menjelaskan adanya hubungan termal netral dengan suhu udara luar (Nicol dkk, 2002 dan De Dear dkk, 2002). Suhu udara luar di Bandung pada tahun 1937 dipastikan lebih rendah dengan suhu udara Bandung pada saat penelitian dilakukan. Hal ini berarti dapatlah dipastikan bahwa suhu udara luar pada penelitian Mom lebih rendah dibanding suhu udara luar di area penelitian Sugini, 2007 (BMG,2005). Dengan demikian adalah wajar bila termal netral hasil penelitian Mom lebih rendah dari penelitian Sugini, 2007.

Tabel 8 Perbandingan hasil penelitian Sugini, 2007 dengan penelitian-penelitian lain sebelumnya

No	Tahun	Peneliti	Lokasi	Kondisi		Kondisi nyaman termal/
				Metode & lokasi	Sampel & kasus	Termal netral
Di luar Indonesia						
1	1952	Ellis	Perjalanan singapura – Hongkong	-	5211 voting	30 °C ta 26,1 °C ET*
2	1953	Ellis	Singapura	Eurasia China India Melayu Ceylonese	118	24,5 °C -27,8 °C ta 22 °C -25,5 °C ET*
3	1959	Webb	Singapura	Field Melayu Eropa Cina	20	28,9 °C ta (v=2m/dt; Rh= 70%)
Di luar Indonesia						
4	1967	Ballantyne	Port morcby	Field Kaukasian	34	25,6 °C ta
5	1979	Ballantyne	Port morcby	Chamber Melanisia Kaukasian	64 28	26,7 °Cta 25 °C ta
6	1986	Sharma	India	NV	-	28 °C tsi

Lanjutan Tabel 8

No	Tahun	Peneliti	Lokasi	Kondisi		Kondisi nyaman termal/
				Metode & lokasi	Sampel & kasus	Termal netral
7	1988	Busch	Singapura	Field Bangkok Thailand	1100	28,5 ET*(NV) 24,5 ET*(AC) 25,4 ET*(semua)
8	1990	Dedear	Singapura	Chamber Orang singapura	32	25,4 ta
9	1990	Dedear	Singapura	Chamber Orang singapura	98	Batas atas 27,6ta (rh 70%) 27,9ta (rh 35%)
10	1998	AllISON kwok	Hawaii	NV	Ruang kelas	26,8 ET*
11	1999	Khedari	Thailand	NV	Ruang kelas	28 ta (v=0,2 m/dt)
12	2002	Wongdkk	Singapura	NV	Ruang kelas	28,8 to
13	2007	Anupama sharma and richa tiwari	India	India	Penghuni ruang	Sedikit penghuni tidak puas pada rentang temperatur 20°C - 30°C
14	2008	Cina	Yang wei and zhang guoqiang	Ventilasi alamiah AC	Penghuni ruang Penghuni ruang	25,0 to 31,6 ° c dengan rata rata 28,3 °C 25,1 to 30.3 ° c dengan rata-rata 27,7°C
15	2009		Ruey-lung hwang, tzu- ping ling, chen-peng chen, nai- jung kuo	Analisis model probit	Penghuni ruang	Batas temperatur yang dapat diterima: 20,1 to 28,4 ° c and 17,6 ° c to 30°C
Di Indonesia						
16	1937	Mom	Bandung	Chamber Indonesia Eropa China	20 responden	20°C ta
17	1986	Mas Santosa	Surabaya	Field Indonesia	2214 orang Rumah tinggal	27,1 °C ta +/- 1,6 °C ta

Lanjutan Tabel 8

No	Tahun	Peneliti	Lokasi	Kondisi		Kondisi nyaman termal/
				Metode & lokasi	Sampel & kasus	Termal netral
18	1993	Karyono	Jakarta	Field (AC & NV hybrid) Indonesia	596 orang Perkantoran	26,4 °C ta 26,7 °C to
19	2003	Feriadi	Singapura dan Yogyakarta Indonesia	Field NV Indonesia	1063 orang Rumah tinggal Singapura Indonesia (Yogyakarta)	28,6 to/29,8 ET* 29,2 to/30,2 ET*
20	2005	Agus dwi hariyanto	Surabaya	Field AC	R. Studio arsitektur	28,5 °C to
21	2006	Sugini	Yogyakarta	Field (AC & NV) Indonesia	1040 orang Ruang kerja: kelas, kantor, produksi pabrik pakaian (garment)	Rentang nyaman**: PMV -0,34 sd 0,66 21,6°Cta sd 27,6°Cta 24,4°Cet*sd 27,1°Cet* Termal netral**: 24,6° c ta 25,7° ET* Penelitian ini telah dapat juga menemukan rentang nyaman dan termal netral untuk 17 variasi rentang PMV, ta dan ET* yang spesifik untuk 17 kondisi khusus ** untuk lingkup umum (seluruh populasi) pada tmrt 22°C sd 29° c, rh 60%, act 1 met dan pakaian 0,66 clo

(dimodifikasi dan dikembangkan dari Karyono, 1995 dan Feriadi 2005 serta Sugini, 2007, Sugini, 2012)

Gejala tersebut di atas selain konsisten dengan konsep hubungan termal netral dengan udara luar dari Humphrey, juga makin memperkuat teori termoregulator perilaku Auliciems (Auliciems, 1987). Dalam hal mana manusia mempunyai mekanisme adaptasi melalui termoregulator perilaku. Adaptasi perilaku tersebut memuat perilaku tertutup berupa proses penyesuaian dan penyiapan mental yang terwujud dalam bentuk tingkat kepuasan, tingkat harapan. Proses penyesuaian dan penyiapan mental tersebut adalah produk dari proses *coping* terhadap kondisi klimatis lingkungan.

Kesimpulan alenia di atas makin diperkuat dengan hasil perbandingan penelitian Sugini, 2007 dengan penelitian Mas Santosa (Surabaya) dan penelitian Karyono (Jakarta). Hasil penelitian Mas Santosa pada Tabel 8 menunjukkan bahwa termal netral di Surabaya adalah $27,1^{\circ}\text{C}$. Kurang lebih $2,5^{\circ}\text{C}$ di atas termal netral hasil penelitian Sugini, 2007. Demikian juga gejala yang hampir sama terjadi pada hasil penelitian Karyono di Jakarta. Termal netral pada ruang kerja perkantoran pada penelitian Karyono adalah $26,4^{\circ}\text{C}$ ta. Ini berarti $1,8^{\circ}\text{C}$ di atas hasil penelitian Sugini, 2007. Dengan melihat kondisi klimatis ruang luar secara umum Surabaya dan Jakarta yang tentunya lebih tinggi dari Yogyakarta maka adalah wajar selisih itu terjadi.

Proses adaptasi berupa penyesuaian dan penyiapan mental sebagai produk dari proses *coping* terhadap kondisi klimatis lingkungan ini akan terlihat dengan jelas bila mencermati temuan analisis tentang akibat fluktuasi nilai atau atribut parameter-parameter variabel gambaran kenyamanan termal dan variabel situasi kontekstual termal masa lalu pada penelitian Sugini, 2007.

Hal yang menarik terjadi bila penelitian Sugini, 2007 dibandingkan dengan penelitian Feriadi. Dengan melihat kesimpulan pada alenia sebelumnya tentulah hasil penelitian Sugini, 2007 semestinya mendekati hasil penelitian Feriadi. Namun ternyata termal netral hasil penelitian Feriadi adalah $30,2^{\circ}\text{ET}^{**}$, kurang lebih $4,5^{\circ}\text{C}$ lebih tinggi dibanding dengan hasil penelitian ini.

Hal yang dapat menjelaskan ketidaklaziman tersebut alenia di atas adalah sebagai berikut. Ada perbedaan di antara penelitian ini dengan Feriadi dilihat dari obyek dan subyek yang diteliti. Feriadi memfokuskan pada penelitian hunian rumah tinggal. Sedangkan penelitian Sugini, 2007 adalah penelitian dengan kasus ruang kerja (kuliah, kantor dan produksi pabrik). Pada ruang kerja penghuni lebih diorientasikan pada target "produksi" (apapun bentuknya). Tekanan psikologis penghuni di ruang kerja akan lebih tinggi dibanding dengan tekanan psikologis penghuni di rumah tinggal mereka. Tekanan psikologis yang lebih tinggi tersebut yang mungkin menyebabkan penghuni pada ruang kerja rentan terhadap derajat termal yang tinggi. Mereka lebih menyukai derajat termal yang lebih rendah dibandingkan pada rumah tinggal, sehingga adalah wajar bila termal netral

penelitian dengan kasus pada ruang kerja ini lebih rendah dari dua penelitian rumah tinggal Feriadi. Gejala ini makin membuktikan adanya proses psikologis di dalam proses merespon kualitas termal ruang.

Sebagai kesimpulan akhir adalah bahwa eksistensi paradigma kenyamanan termal termo adaptif psikologis dalam ranah pembicaraan tentang kenyamanan termal adalah signifikan.

Pertanyaan-pertanyaan untuk dijawab

Berikut adalah pertanyaan-pertanyaan yang perlu dikembangkan jawabannya untuk menguji seberapa paham kita akan rentang nyaman termal dan keterkaitannya dengan standar untuk arahan desain:

1. Jelaskan apa yang dimaksud rentang nyaman termal dan standar termal nyaman serta termal netral.
2. Sebutkan rentang dan standar nyaman termal pada variasi konteks ruang dan penghuni yang berbeda.
3. Jelaskan faktor yang menentukan perbedaan rentang nyaman termal pada konteks ruang yang berbeda.
4. Pilihlah salah satu rentang nyaman termal, kemudian prediksilah variasi komposisi standar suhu, kelembaban dan angin yang dapat digunakan menjadi standar rekayasa ruang.
5. Berikan perbandingan rentang nyaman termal dari hasil penelitian-penelitian baik di Indonesia atau di luar Indonesia.

oooOooo

BAB VI

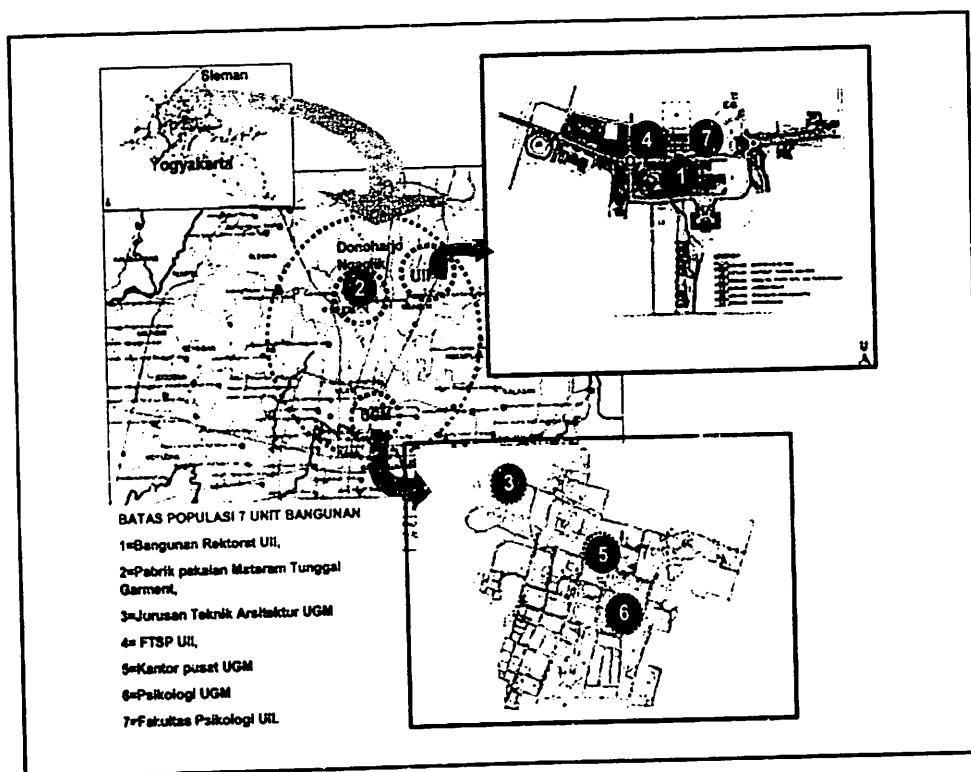
GAMBARAN KUALITAS TERMAL RUANG DI BEBERAPA KASUS BANGUNAN DI YOGYAKARTA

Pengantar

Pada bab ini akan disajikan gambaran kualitas termal ruang di beberapa kasus bangunan di Yogyakarta. Untuk dapat menggambarkan kualitas termal ruang bangunan tersebut disajikan unjuk kerja termal ruang dari hasil penelitian yang dilakukan penulis (Sugini,2007). Ilustrasi gambar dan tabel yang disajikan dalam bagian ini diambil dari penelitian penulis (Sugini, 2007). Setelah menyelesaikan membaca bab ini para pembaca diharapkan dapat mengetahui gambaran kualitas termal ruang bangunan serta mengetahui bagaimana mengukur kualitas termal ruang. Pengetahuan ini menjadi penting dalam menumbuhkan empati konteks termal yang berdampak pada sikap yang tepat dalam melihat dan merekayasa ruang untuk termal.

6.1. Sebaran Lokasi Kasus Bangunan dan Sampel

Populasi penelitian Sugini, 2007 ini dibatasi pada lingkup tujuh unit bangunan. Unit tersebut meliputi bangunan rektorat UII, bangunan pabrik pakaian Mataram Tunggal Garment, bangunan jurusan teknik arsitektur UGM, bangunan FTSP UII, bangunan kantor pusat UGM, bangunan fakultas Psikologi UGM dan bangunan fakultas Psikologi UII. Sebaran ketujuh unit bangunan tersebut dapat dilihat pada ilustrasi gambar berikut:



Gambar 40 Sebaran lokasi tujuh unit bangunan

(Sumber: Sugini, 2007)

Dilihat dari aspek kondisi geographis, berdasarkan data-data badan pusat statistik, 2001 dapat dirangkum dan disimpulkan gambaran Daerah Istimewa Yogyakarta (DIY) sebagai berikut:

Dari aspek fisiografis, DIY mempunyai beragam kondisi yang spesifik. Terdiri dari: (1) pegunungan selatan dengan ketinggian 150-700m. (2) gunung berapi merapi dengan ketinggian 80-2.911 m. (3) dataran rendah antara pegunungan selatan dengan pegunungan Kulonprogo dengan ketinggian 0-80m dan (4) pegunungan Kulonprogo dan dataran rendah selatan dengan ketinggian 0-572m.

Luas daerah propinsi di Yogyakarta adalah 3.185,80 km² atau 0,17 % dari luas Indonesia. Wilayah DIY terdiri dari lima kabupaten kota madya. Lima kabupaten dan kota madya tersebut adalah kabupaten Kulonprogo (18,40% dari wilayah DIY), kabupaten Bantul (15,91 % dari wilayah DIY), kabupaten Gunungkidul (46,63% dari wilayah DIY), kabupaten Sleman (18,04% dari wilayah DIY) dan kota Yogyakarta (1,02% dari wilayah DIY).

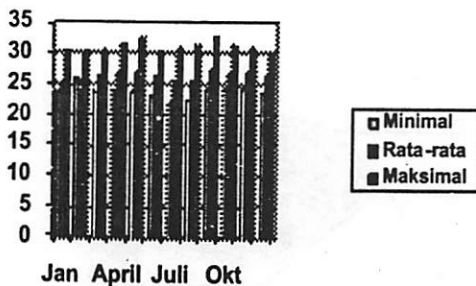
Kondisi iklim di daerah DIY dapat dirinci sebagai berikut:

- a. Suhu udara minimum rata-rata bulanan terendah adalah 22,5 °C pada bulan Agustus dan maksimum adalah 32,7°C pada bulan Agustus. Bulan dengan

rata-rata suhu terendah adalah bulan Febuari yaitu $23,4^{\circ}\text{C}$. Bulan dengan rentang perbedaan suhu minimum dan maksimum tertinggi adalah bulan Agustus yaitu $8,9^{\circ}\text{C}$ dan rentang perbedaan suhu minimum dan maksimum terendah adalah $4,03^{\circ}\text{C}$.

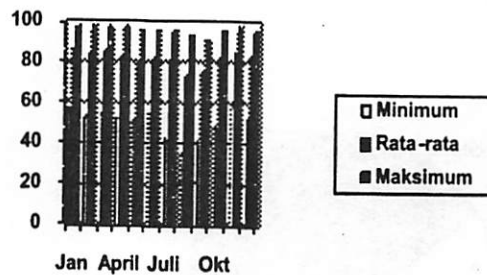
- b. Kelembaban udara minimum rata-rata bulanan terendah adalah 35% yaitu pada bulan Agustus. Sedangkan kelembaban udara maksimum rata-rata bulanan tertinggi adalah 97% yaitu pada bulan Januari, Februari, Maret, April dan November. Rata-rata kelembaban bulanan terendah adalah 74% yaitu pada bulan Agustus dan rata-rata kelembaban bulanan tertinggi adalah 86% yaitu pada bulan Januari dan Maret.
- c. Arah angin terbanyak adalah pada: (1) arah 180 pada bulan Mei, Juni, Juli dan Agustus. (2) arah 200 pada bulan Agustus. (3) arah 240 pada bulan Januari, Oktober, November, Desember. (4) arah 270 pada bulan Febuari, Maret dan April. Kecepatan angin perbulan minimum terendah adalah 01 knot dan maksimum tertinggi adalah 06 knot.
- d. Jumlah hujan per bulan tertinggi adalah 492,7mm pada bulan Januari. Sedangkan jumlah hari hujan perbulan tertinggi adalah 27 kali yaitu pada bulan Januari. Khusus untuk kabupaten Sleman curah hujan perbulan tertinggi adalah 443mm yaitu pada bulan November.

Secara komparatif perbulan iklim di Yogyakarta dan Sleman pada khususnya dapat disajikan dalam gambar – gambar berikut.



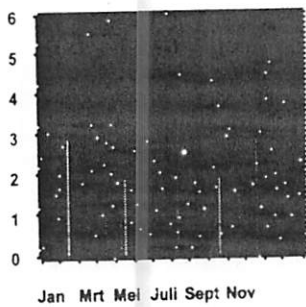
Gambar 41 Suhu udara di DIY

(Sumber : BPS DIY, 2001)

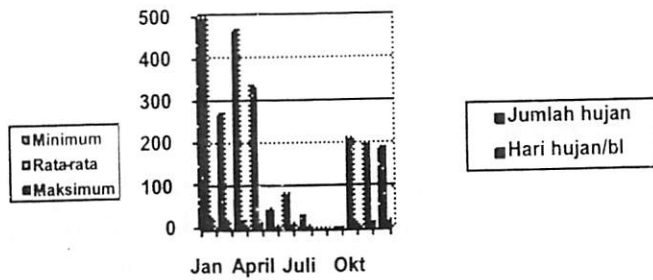


Gambar 42 Kelembaban udara DIY

(Sumber : BPS DIY, 2001)



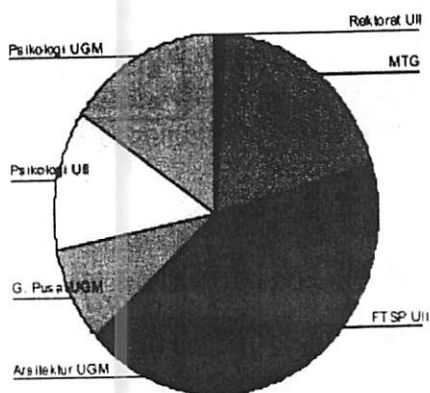
Gambar 43 Angin di DIY
(Sumber : BPS DIY, 2001)



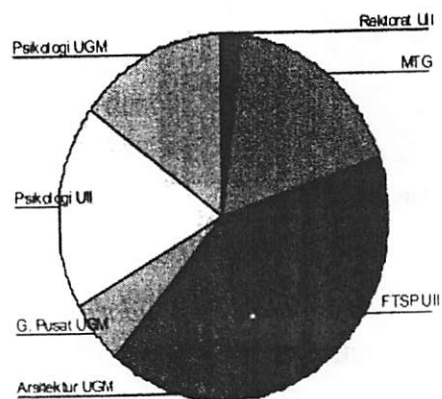
Gambar 44 Curah hujan dan hari hujan DIY
(Sumber : BPS DIY, 2001)

6.2. Teknik Penentuan Jumlah Sampel

Jumlah sampel penelitian lapangan Sugini, 2007 ditentukan berdasarkan Tabel Kercjie dengan tingkat kepercayaan 95%. Hal ini didasarkan pertimbangan bahwa pada tahap terakhir pengambilan unit sampel dari subkluster, jumlah subpopulasi diperkirakan lebih kecil dari 100.000 orang. Jumlah populasi untuk seluruh unit dalam bangunan kurang lebih adalah 9000-9354 penghuni. Berdasarkan Tabel Kercji, populasi sebesar 9000 orang membutuhkan 368 sampel. Namun demikian, karena dalam penelitian *eks post facto* pengendalian dilakukan pada saat analisis, maka jumlah sampel ditetapkan sebanyak 1040 orang. Sebaran sampel perunitnya mendekati proporsional. Gambaran sebaran sampel perunit dan populasi perunit dapat dilihat pada ilustrasi yang diambil dari penelitian Sugini, 2007 sebagai berikut.



Gambar 45 Sebaran populasi pada unit bangunan



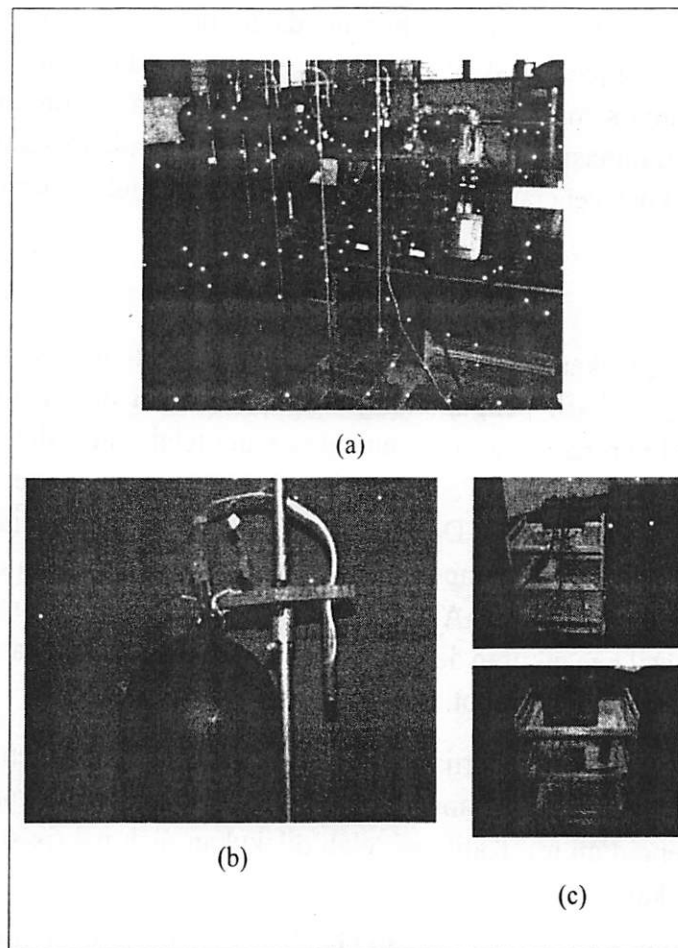
Gambar 46 Sebaran sampel pada unit bangunan

6.3. Metoda Pengukuran

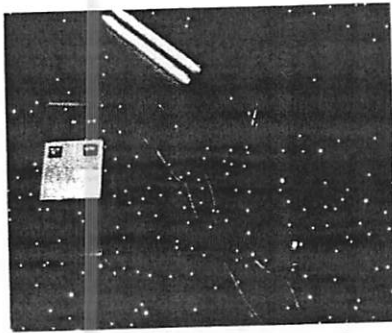
Proses pengambilan data

Pengambilan data obyektif suhu udara, suhu radiasi, kelembaban dan kecepatan angin serta kuat penerangan serta tekanan suara dilakukan bersamaan dengan penyebaran kuisioner. Data diambil beberapa saat setelah paling tidak kurang lebih 30 menit responden berada dalam ruang yang akan diamati. Hal ini dilakukan untuk menghindari bias karena *aklimatisasi*. Alat-alat yang dipakai terlihat pada gambar-gambar Gambar 47 dan Gambar 48 dan 49.

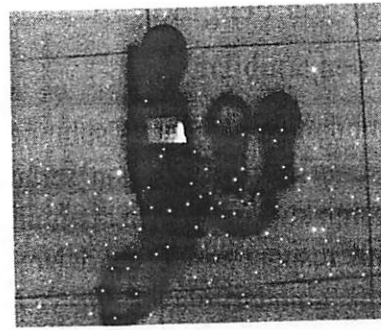
Pengukur suhu baik DBT, BGT dilakukan dengan termometer sensor termocouple yang dihubungkan dengan pembaca termal digital. Setiap pembaca termal digital dapat mencatat 10 sensor. Dalam waktu yang sama dapat terekam sepuluh titik amatan.



Gambar 47 Alat untuk mengukur suhu udara dan suhu radiasi (a), termometer bola kering, bola basah dan bola hitam yang dirakit dengan sensor termocouple (b) serta pembaca data digital yang dapat melayani 10 sensor secara bersamaan (c)



Gambar 48 Alat pengukur kecepatan angin, anemometer



Gambar 49 Pengukur kelembaban, hygrometer yang menyatu dengan pengukur tekanan suara dan kuat penerangan

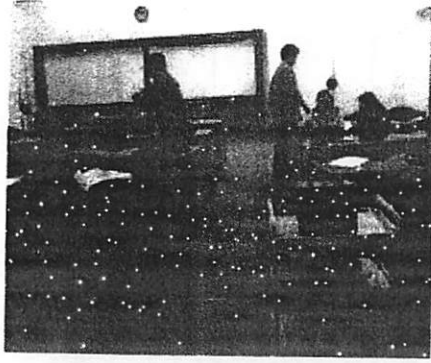
Pengukur angin digunakan anemometer yang mempunyai spesifikasi sesuai dengan rentang kecepatan angin ruang dalam dan ruang luar. Kelembaban menggunakan hygrometer. Dalam penelitian ini digunakan multi environment yang secara bersama-sama dapat mengukur stimulus yang lain. Stimulus yang lain tersebut adalah iluminasi dan tekanan suara. Dengan demikian semua stimulus baik termal dan kuat penerangan dan kebisingan dapat diukur bersamaan pada satu titiknya.

Kalibrasi alat

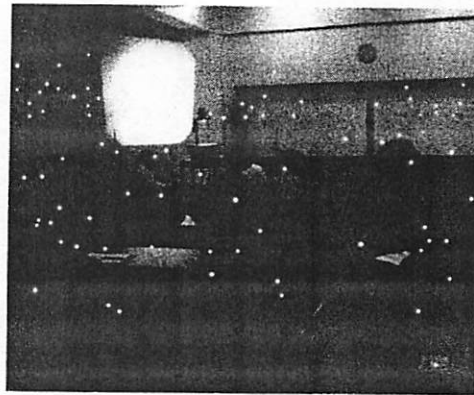
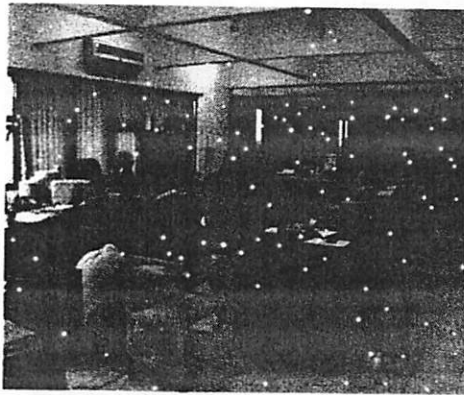
Alat-alat yang digunakan telah dikalibrasi. Kalibrasi pengukur suhu dilakukan dengan uji *compare* hasil pengukuran yang dipakai dengan alat ukur kontrol. Alat ukur kontrol berupa termometer air raksa yang telah ditest dengan air yang dipanaskan hingga mendidih. Pada saat air mendidih termometer kontrol air raksa menunjukkan suhu 100°C. Dari uji *compare* tersebut dapat ditemukan alat pembaca digital yang tidak memberikan perbedaan yang signifikan dengan hasil pengukuran termometer kontrol. Alat pembaca tersebut selanjutnya menjadi dasar penera. Semua hasil pengukuran dengan alat pembaca lain disetarakan dengan alat pembaca yang telah diuji tersebut.

Alat-alat yang lain seperti anemometer dan pengukur kelembaban, kuat penerangan serta kebisingan yang digunakan adalah alat baru yang diadakan khusus untuk penelitian ini. Kalibrasi telah dilakukan oleh pabrik sesuai standar yang dipersyaratkan.

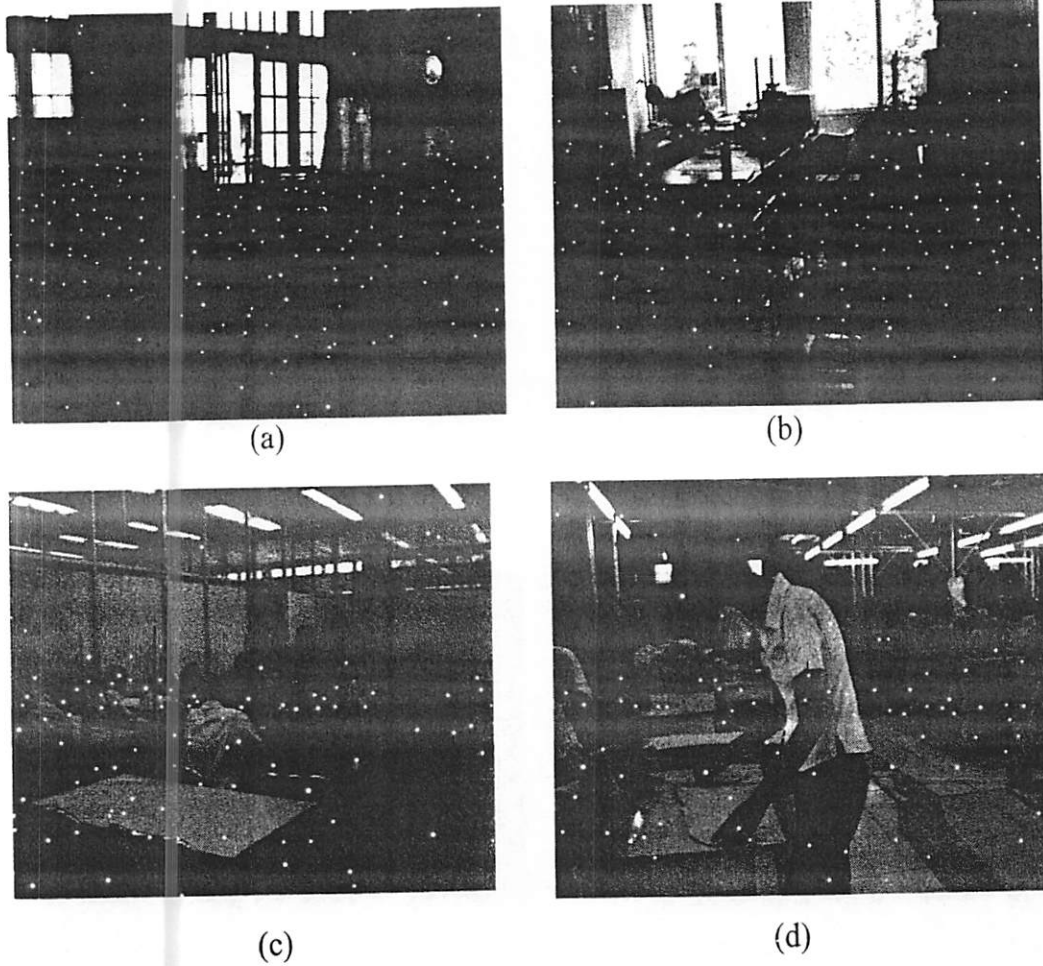
Pada Gambar 50 sampai dengan Gambar 52 berikut dapat dilihat suasana persiapan instalasi alat sebelum ruang digunakan. Persiapan khusus terutama dilakukan untuk alat pengukur suhu. Dengan banyaknya mata sensor terpasang pada titik-titik dalam ruang diharapkan mendapatkan suhu yang benar-benar menggambarkan kualitas termal obyektif yang spesifik untuk setiap responden. Dengan demikian di setiap titik responden didapat dua data obyektif dan subyektif yang bersesuaian.



Gambar 50 *Ilustrasi persiapan pengambilan data: seting alat*



Gambar 51 *Ilustrasi persiapan pengambilan data: cek pengkabelan*



Gambar 52 Pengambilan data pada ruang kantor bersama (a), ruang kantor pribadi (b), ruang kelas (c) dan ruang workshop /produksi pabrik mtg (d)

6.4. Kualitas Termal Ruang Bangunan Kasus

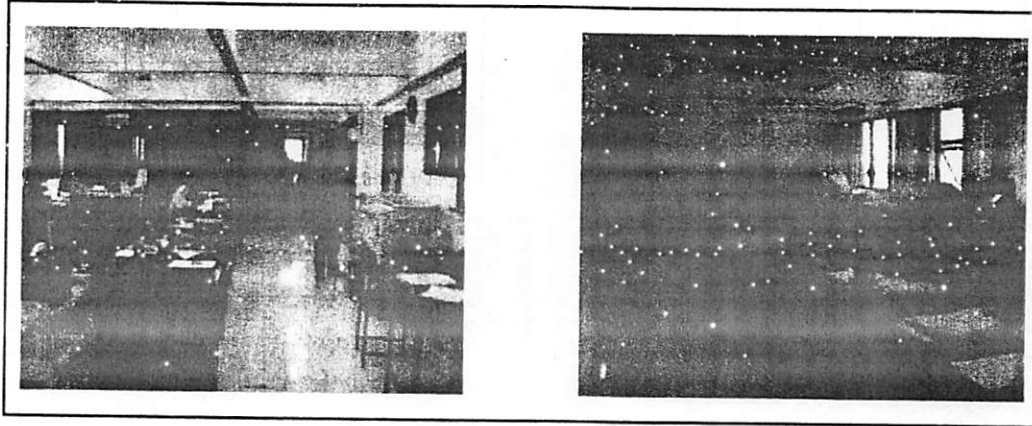
Gambaran fisik unit-unit ketujuh bangunan tersebut akan diperinci sebagai berikut:

1. Unit bangunan rektorat UII.



Gambar 53 Ilustrasi bentuk bangunan rektorat UII

Bangunan rektorat UII berfungsi sebagai wadah untuk aktivitas perkantoran. Hampir 100% ruangnya menggunakan penghawaan buatan. Kondisi ruang dalam, aktivitas dan pakaian serta ujud aktivitas penghuni ruang dapat dilihat pada gambar berikut:



Gambar 54 Ruang dalam, aktivitas dan pakaian dalam pekerjaan kantoran di unit rektorat UII

Kualitas kenyamanan termal obyektif dapat dilihat pada tabel berikut.

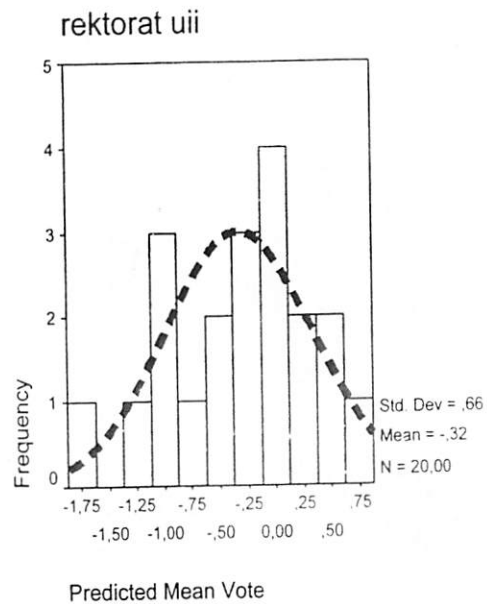
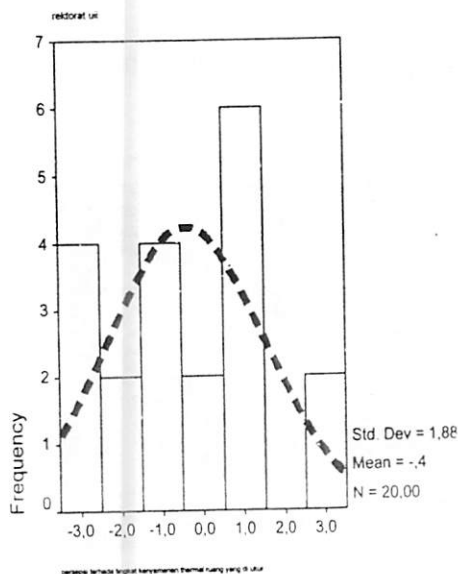
Tabel 9 Kualitas termal ruang obyektif bangunan rektorat UII

		Rektorat UII				
		suhu udara derajad C	kecepatan angin m/dt	Kelembaban relatif udara %	suhu radiasi derajad C	Predicted Mean Vote
N	Valid	20	20	20	20	20
	Missing	0	0	0	0	0
Mean		23,3066	,0500	57,6172	23,3122	-,3250
Mode		23,11 ^a	,00	46,07 ^a	22,76 ^a	-1,87 ^a
Std. Deviation		,97362	,12773	10,11868	,88458	,66285
Variance		,94794	,01632	102,38769	,78248	,43937
Minimum		21,47	,00	43,08	21,84	-1,87
Maximum		24,64	,50	73,80	24,50	,81

a. Multiple modes exist. The smallest value is shown

Dari tabel tersebut di atas dapat dilihat bahwa berdasarkan prediksi indeks termal PMV_{tap} maka ruang tersebut mempunyai tingkat kenyamanan termal rata-rata -0,325. Artinya ruang diduga lebih sejuk dari termal netral PMV=0. Sedangkan menurut penilaian responden adalah -0,395. Ini menunjukkan kualitas ruang secara subyektif lebih rendah dibanding prediksi berdasarkan indeks PMV.

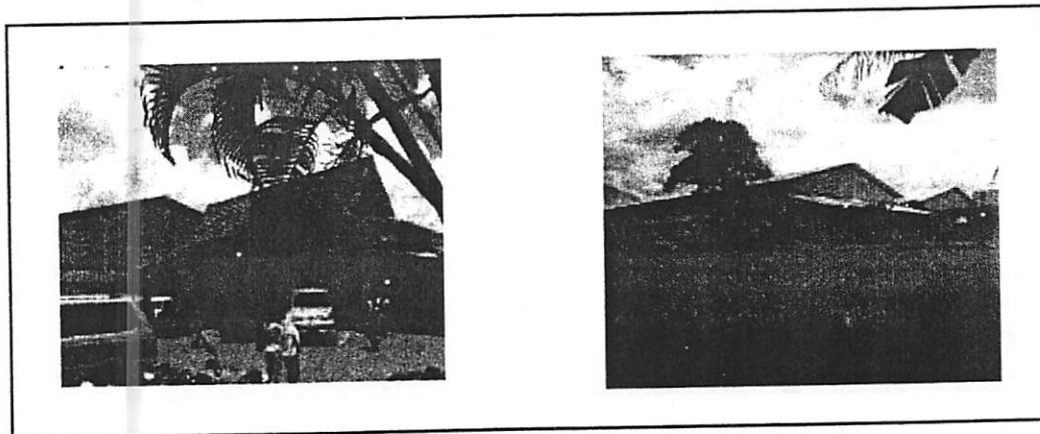
Sebagai perbandingan antara kualitas termal obyektif dan subyektif dapat dilihat dari perbandingan gambar sebagai berikut.



Gambar 55 Kualitas termal ruang subyektif di rektorat UII

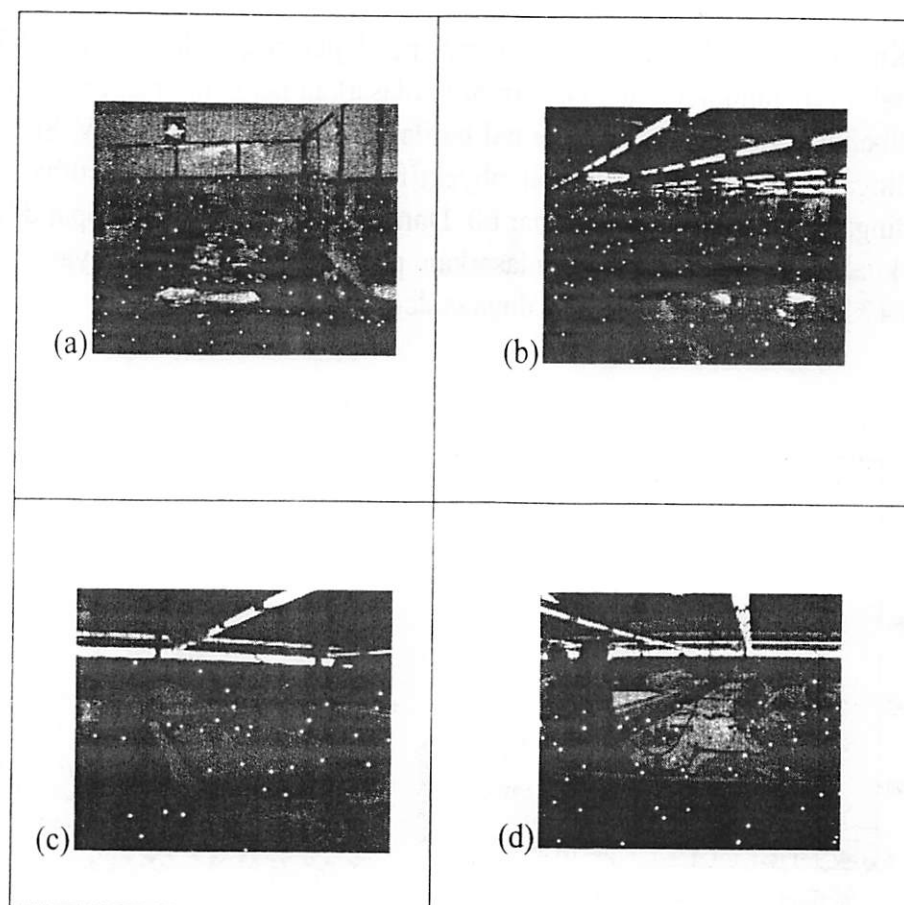
Gambar 56 Kualitas termal ruang obyektif di rektorat UII

2. Unit bangunan Mataram Tunggal Garment



Gambar 57 Ilustrasi bentuk bangunan Mataram Tunggal Garment

Bangunan Mataram Tunggal Garment berfungsi sebagai wadah untuk aktivitas perkantoran dan workshop produksi pakaian. Ruangnya menggunakan penghawaan buatan dan alamiah yang dikombinasi dengan fan. Kondisi bangunan, ruang dalam dan pakaian serta bentuk aktivitas penghuni ruang dapat dilihat dalam gambar berikut.



Gambar 58 Ilustrasi ruang dalam, aktivitas, pakaian di perkantoran (a), aktivitas ruang produksi pabrik sewing (b), cutting (c dan d) di MTG

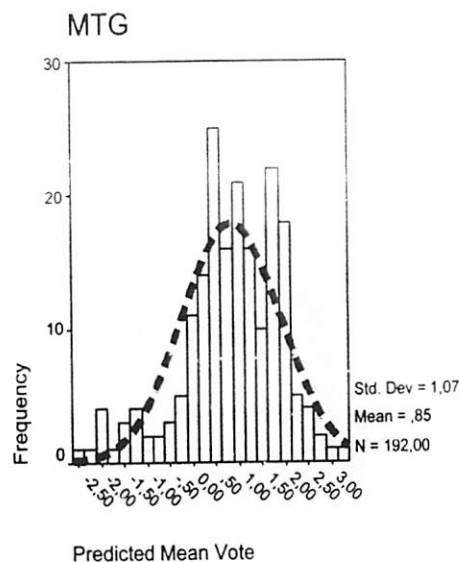
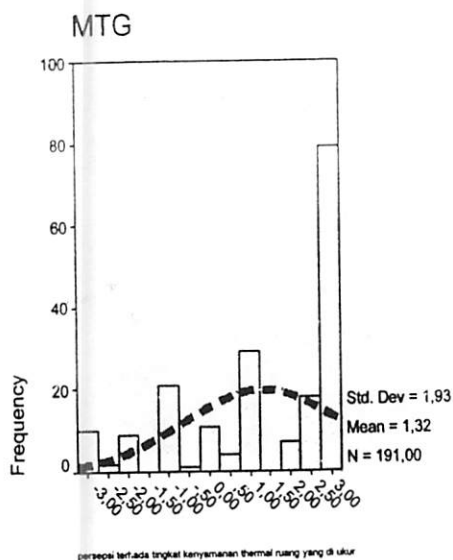
Kualitas kenyamanan termal obyektif dapat dilihat pada Tabel 10. Dari tabel tersebut dapat dilihat bahwa secara obyektif berdasarkan prediksi indeks PMV kenyamanan termal ruang adalah 0,847 skala PMV. Hal ini berarti menurut indeks PMV ruang – ruang di MTG rata-rata lebih panas 0,847 dari skala termal netral PMV=0.

Tabel 10 Kualitas termal ruang obyektif bangunan MTG

MTG						
		suhu udara derajat C	kecepatan angin m/dt	Kelembaban relatif udara %	suhu radiasi derajat C	Predicted Mean Vote
N	Valid	192	192	192	192	192
	Missing	0	0	0	0	0
Mean		27,1914	,0439	50,5459	27,4888	,8479
Mode		20,96 ^a	,00	44,00	21,46 ^a	,46 ^a
Std. Deviation		3,00141	,11552	7,54812	3,01843	1,06943
Range		13,60	,70	38,90	13,66	5,66
Minimum		20,60	,00	34,40	20,94	-2,40
Maximum		34,20	,70	73,30	34,60	3,26

a. Multiple modes exist. The smallest value is shown

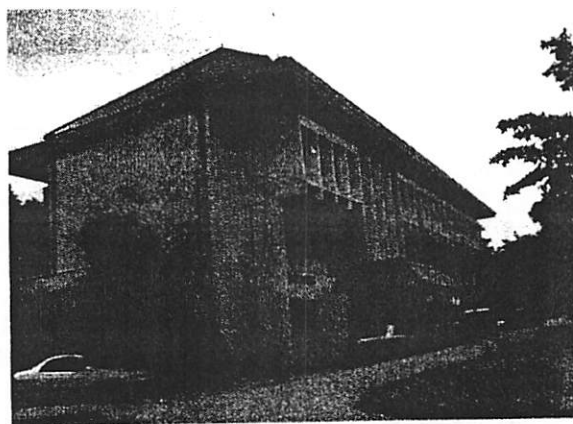
Kualitas termal subyektif menurut pendapat responden adalah 1,321 PMV. Hal ini menunjukkan kualitas termal berdasarkan penilaian responden lebih tinggi dibanding dengan kualitas termal berdasarkan perhitungan PMV. Sebagai perbandingan antara kualitas termal obyektif dan subyektif dapat dilihat dari perbandingan Gambar 59 dan Gambar 60. Dari dua gambar tersebut dapat dilihat bahwa kualitas ruang rata-rata berdasarkan penilaian penghuni ternyata lebih panas 0,47 PMV dibanding kualitas dugaan dari indeks PMV.



Gambar 59 Kualitas termal ruang subyektif di MTG

Gambar 60 Kualitas termal ruang obyektif di MTG

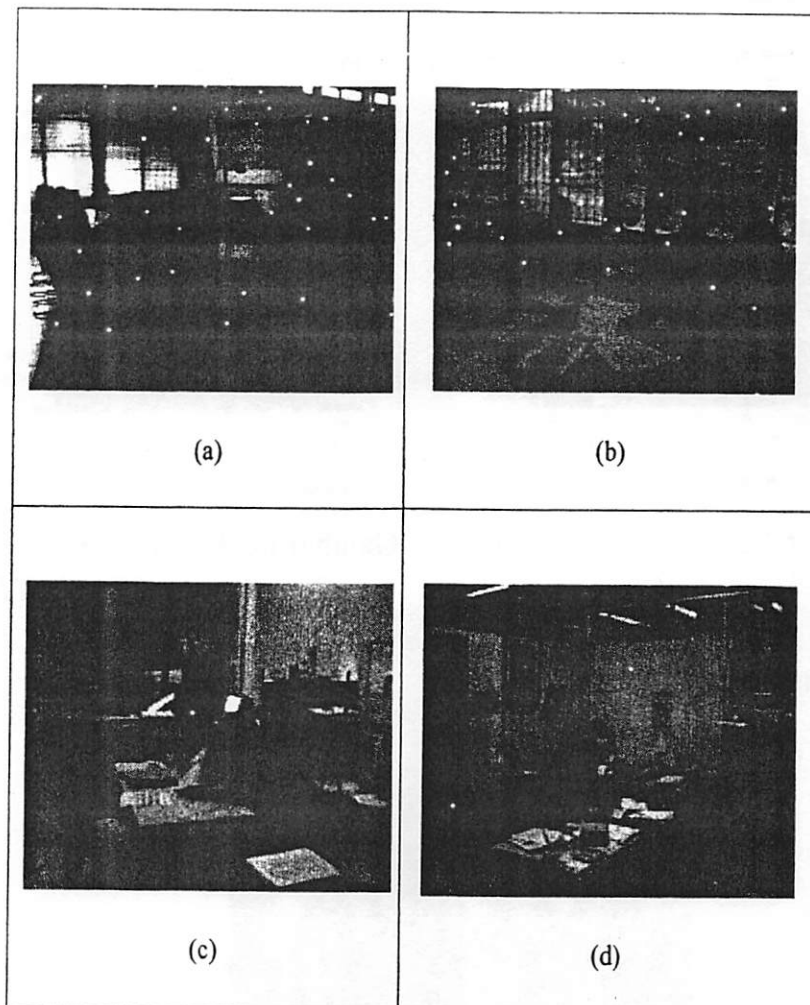
3. Unit bangunan jurusan teknik arsitektur FT UGM



Gambar 61 Ilustrasi bentuk bangunan jurusan Teknik Arsitektur FT UGM

Bangunan jurusan T. Arsitektur FT UGM berfungsi sebagai wadah **untuk** aktivitas perkantoran dan perkuliahan. Sebagian besar ruangnya menggunakan penghawaan buatan. Kondisi bangunan, ruang dalam, pakaian dan aktivitas penghuni ruang dapat dilihat pada Gambar 62.

Kualitas kenyamanan termal obyektif dapat dilihat pada Tabel 11 **berikut**. Dari tabel tersebut dapat dilihat bahwa secara obyektif berdasarkan indeks **termal** PMV ruang-ruang di jurusan T. Arsitektur UGM rata-rata adalah $-0,044$ **skala** PMV. Dapat diartikan bahwa secara obyektif ruang-ruang di bangunan ini **lebih** sejuk $-0,044$ di bawah termal netral dugaan. Sedangkan kualitas termal **subyektif** menurut pendapat responden adalah $-0,77$. Artinya, kualitas termal ruang-ruang di bangunan ini rata-rata menurut penilaian responden lebih sejuk $0,77$ di **bawah** termal netralnya. Dari perbandingan antara kualitas obyektif berdasarkan **nilai** dugaan PMV dan penilaian responden dapat dilihat ternyata secara subyektif ruang di arsitektur UGM lebih rendah atau lebih sejuk dibanding nilai dugaan PMV.

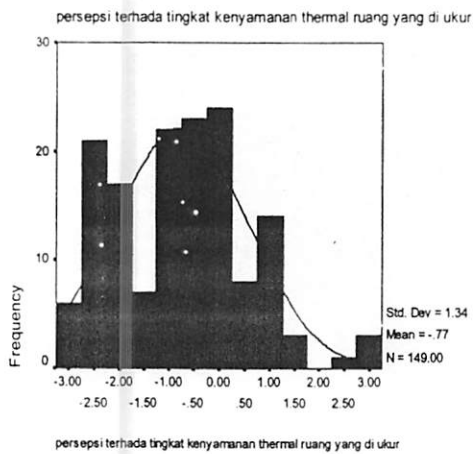
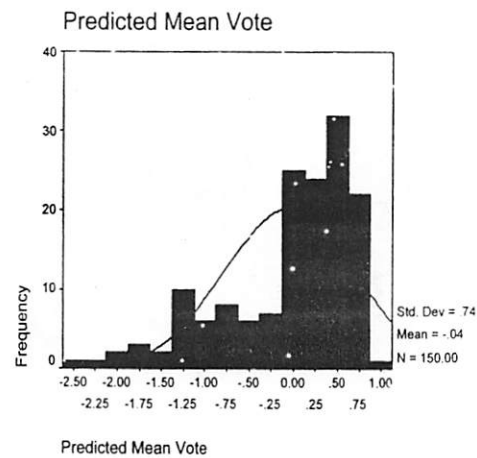


Gambar 62 Ruang dalam, aktivitas dan pakaian responden di arsitektur UGM pada ruang kelas klasikal (a), studio (b) dan kantor administrasi akademik serta kantor dosen (c dan d)

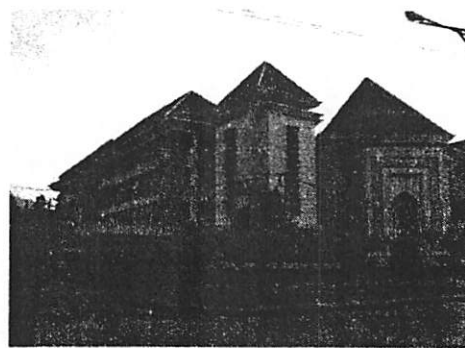
Tabel 11 Kualitas termal ruang obyektif bangunan arsitektur FT UGM

		suhu udara derajat C	kecepatan angin m/dt	Kelembaban relatif udara %	suhu radiasi derajat C	Predicted Mean Vote
N	Valid	150	150	150	150	150
	Missing	0	0	0	0	0
Mean		24.6348	.0053	51.0651	24.9428	-.0439
Mode		26.20	.00	48.90	26.20	.21(a)
Std. Deviation		1.86149	.02535	7.05230	1.86527	.73820
Range		8.53	.20	41.34	6.36	3.50
Minimum		20.30	.00	35.16	20.57	-2.46
Maximum		28.83	.20	76.50	26.93	1.04

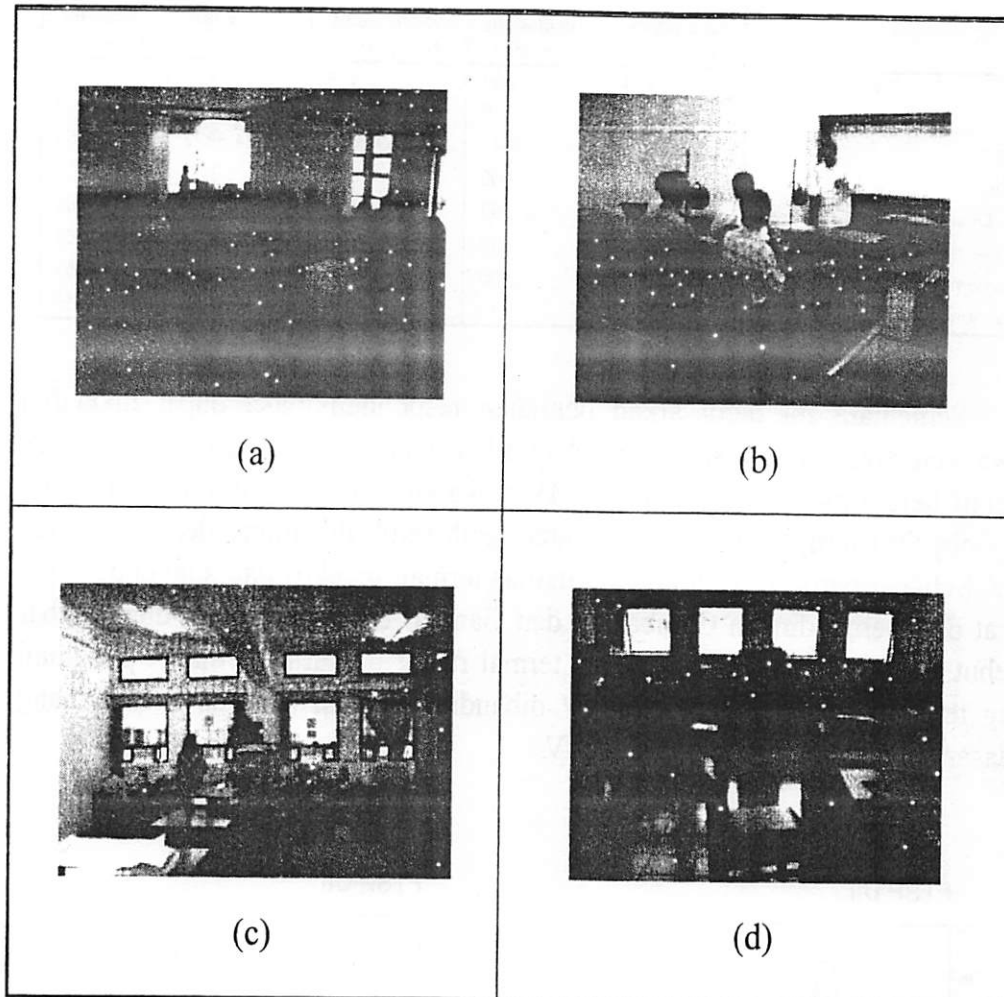
Sebagai perbandingan antara kualitas termal obyektif dan subyektif dapat dilihat dari perbandingan gambar sebagai berikut.

**Gambar 63** Kualitas termal ruang subyektif di arsitektur UGM**Gambar 64** Kualitas termal ruang obyektif di arsitektur UGM

4. Unit bangunan FTSP UII

**Gambar 65** Ilustrasi bentuk bangunan FTSP UII

Bangunan FTSP UII berfungsi sebagai wadah untuk aktivitas perkantoran dan perkuliahan. Sebagian besar ruangnya menggunakan penghawaan alamiah. Kondisi bangunan, ruang dalam, pakaian dan aktivitas penghuni ruang dapat dilihat pada gambar berikut.



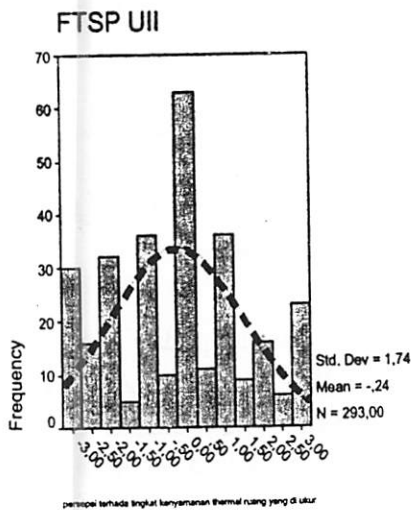
Gambar 66 Ruang dalam, aktivitas dan pakaian responden di FTSP UII pada ruang kuliah (a), (b) dan ruang kantor (c), (d)

Kualitas kenyamanan termal obyektif dapat dilihat pada Tabel 12 Berdasarkan Tabel 12 dapat dilihat bahwa secara obyektif ruang-ruang di FTSP UII berdasarkan indeks termal PMV ternyata $-0,0363$ skala PMV. Hal ini berarti ruang-ruang di sini secara obyektif menurut indeks termal PMV lebih sejuk $0,0363$ dari standar termal netral $PMV=0$.

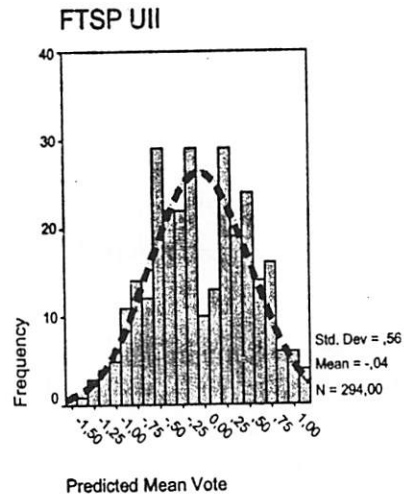
Tabel 12 Kualitas termal ruang obyektif bangunan FTSP UII

		FTSP UII				
		suhu udara derajad C	kecepatan angin m/dt	Kelembaban relatif udara %	suhu radiasi derajad C	Predicted Mean Vote
N	Valid	294	294	294	294	294
	Missing	0	0	0	0	0
Mean		24,8573	,0041	59,2001	24,8822	-,0363
Mode		22,85	,00	51,40	23,84	-,16
Std. Deviation		1,58606	,01982	7,75139	1,46440	,55785
Range		5,98	,10	28,70	5,77	2,66
Minimum		21,77	,00	46,40	21,70	-1,51
Maximum		27,75	,10	75,10	27,47	1,15

Sementara itu berdasarkan penilaian responden maka dapat diketahui bahwa kenyamanan termal ruang subyektif adalah -0,243. Dibanding kualitas obyektif berdasarkan indeks termal PMV maka kualitas ruangan rata-rata secara nyata obyektif ternyata lebih rendah atau lebih sejuk dibanding dengan dugaan PMV. Sebagai perbandingan antara kualitas termal obyektif dan subyektif dapat dilihat dari perbandingan Gambar 67 dan Gambar 68 berikut. Dari dua gambar tersebut dapat dilihat bahwa kualitas termal ruang menurut penilaian penghuni ruang ternyata lebih sejuk -0,2 PMV dibanding dengan kualitas termal ruang berdasarkan dugaan indeks termal PMV.

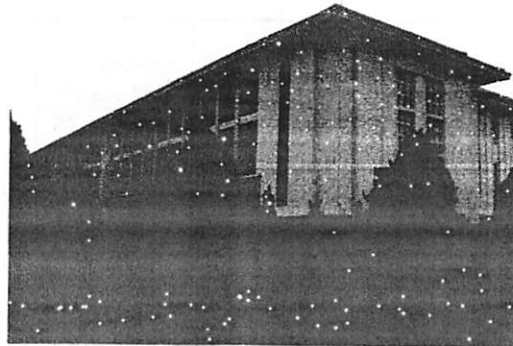


Gambar 67 Kualitas termal ruang subyektif di FTSP UII



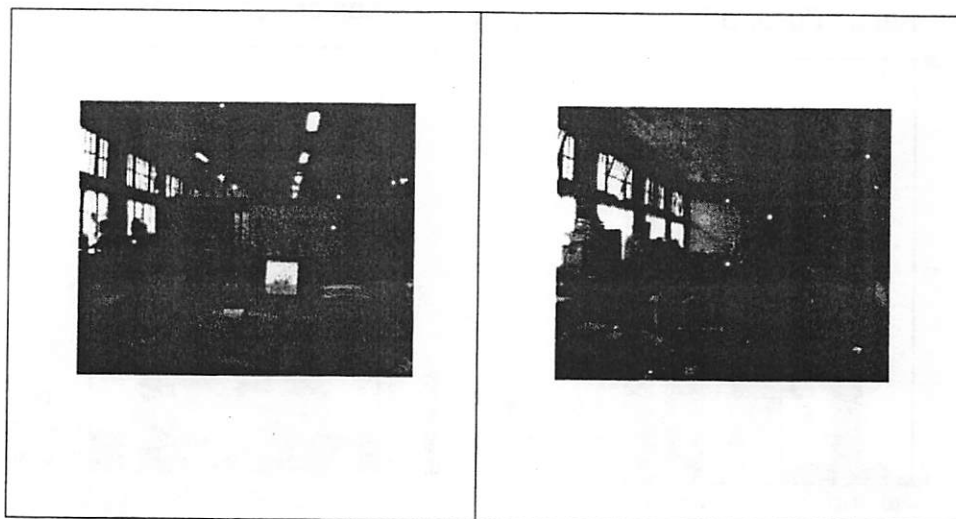
Gambar 68 Kualitas termal ruang obyektif di FTSPUII

5. Unit bangunan kantor pusat UGM



Gambar 69 Ilustrasi bentuk bangunan kantor pusat UGM

Bangunan kantor pusat UGM berfungsi sebagai wadah untuk aktivitas perkantoran. Ruang-ruang yang ada dalam bangunan secara keseluruhan menggunakan penghawaan alamiah dan alamiah plus fan atau AC. Namun ruang ruang yang dijadikan sampel adalah ruang dengan penghawaan alamiah atau alamiah+fan. Kondisi ruang dalam, pakaian dan aktivitas penghuni ruang dapat dilihat pada gambar berikut:



Gambar 70 Ilustrasi ruang dalam, aktivitas dan pakaian responden di kantor pusat UGM

Kualitas kenyamanan termal obyektif dapat dilihat pada Tabel 13. Dari tabel tersebut dapat dilihat bahwa secara obyektif berdasarkan indeks termal PMV maka ruang-ruang di gedung ini mempunyai kualitas termal 0,7393 skala PMV. Ini berarti secara obyektif ruang-ruang di kantor pusat UGM lebih panas 0,7393 PMV di atas termal netral $PMV=0$.

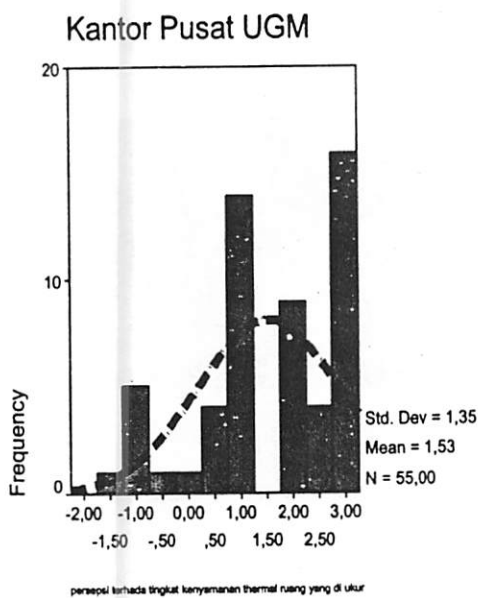
Tabel 13 Kualitas termal ruang obyektif bangunan kantor pusat UGM

Kantor Pusat UGM

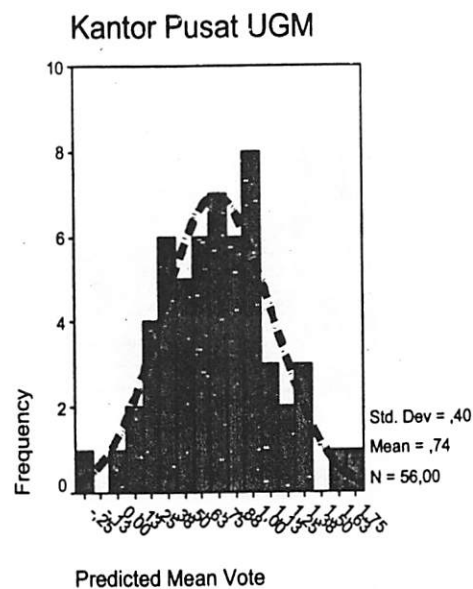
		suhu udara derajat C	kecepatan angin m/dt	Kelembaban relatif udara %	suhu radiasi derajat C	Predicted Mean Vote
N	Valid	56	56	56	56	56
	Missing	0	0	0	0	0
Mean		26,8973	,0804	64,8262	26,8863	,7393
Mode		26,07 ^a	,00	62,66 ^a	27,50 ^a	,32 ^a
Std. Deviation		,77275	,18530	2,28823	,78102	,40130
Range		2,97	,90	9,30	3,00	1,90
Minimum		25,10	,00	60,00	25,20	-,19
Maximum		28,07	,90	69,30	28,20	1,71

a. Multiple modes exist. The smallest value is shown

Kualitas termal subyektif menurut pendapat responden adalah 1,533. Ini menunjukkan bahwa berdasarkan penilaian responden kenyamanan termal ruang ternyata kualitas termal ruang jauh lebih panas dibandingkan kualitas termal berdasarkan skala PMV 0,739. Sebagai perbandingan antara kualitas termal obyektif dan subyektif dapat dilihat dari perbandingan gambar sebagai berikut.



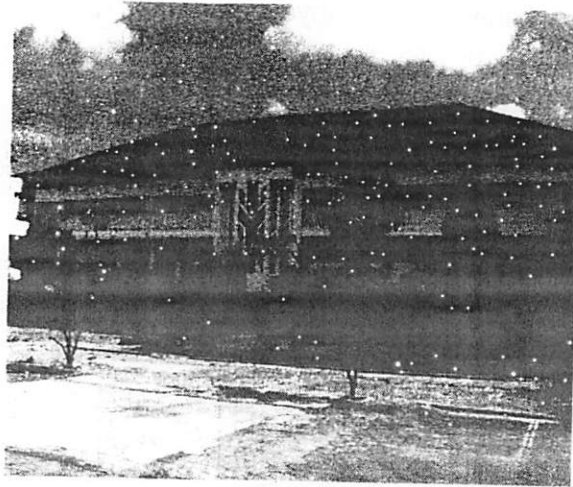
Gambar 71 Kualitas termal ruang subyektif di kantor pusat UGM



Gambar 72 Kualitas termal ruang obyektif di kantor pusat UGM

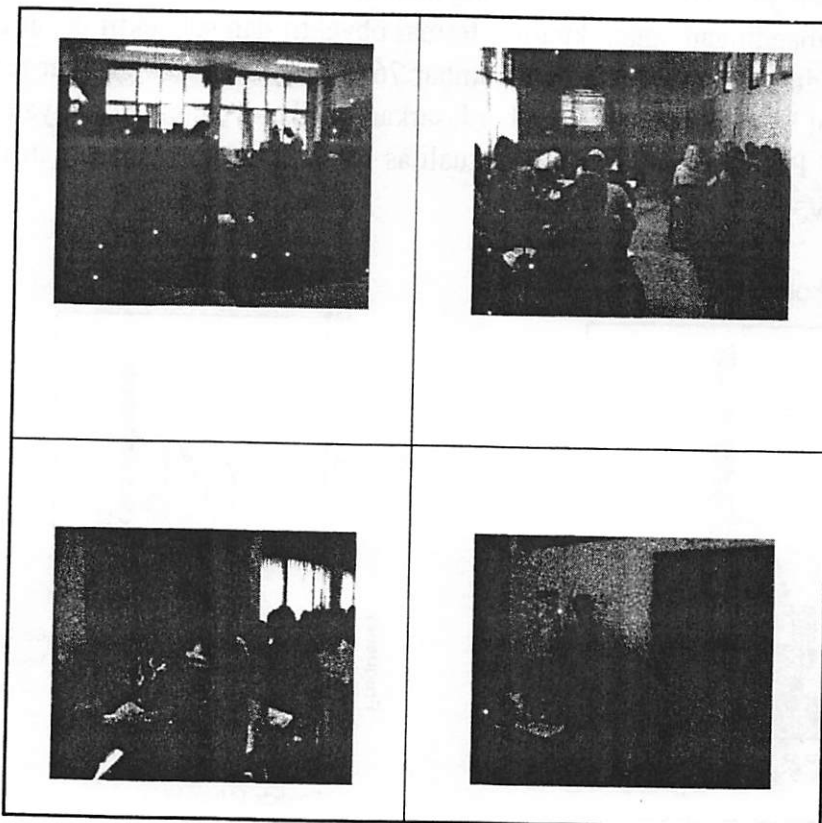
Dari dua gambar tersebut di atas dapat dilihat bahwa kualitas termal ruang-ruang yang diamati berdasarkan penilaian penghuni ternyata lebih panas 0,79 dibanding dengan kualitas termal dugaan berdasarkan indeks termal PMV.

6. Unit bangunan fakultas Psikologi UGM



Gambar 73 Ilustrasi gedung Psikologi UGM

Bangunan Psikologi UGM berfungsi sebagai wadah untuk aktivitas perkantoran dan perkuliahan. Ruangannya menggunakan penghawaan buatan dan alamiah. Kondisi ruang dalam, pakaian dan aktivitas penghuni ruang dapat dilihat pada gambar berikut:



Gambar 74 Ilustrasi ruang dalam, aktivitas dan pakaian responden di Psikologi UGM

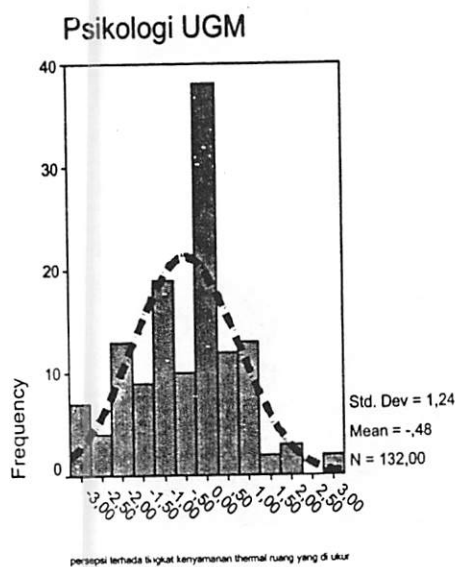
Kualitas kenyamanan termal obyektif dapat dilihat pada Tabel 14. Dari tabel ini dapat dilihat bahwa secara obyektif berdasarkan indeks termal PMV ruang-ruang di sini adalah -0,2068. Ini berarti ruang-ruang di bangunan Psikologi UGM lebih sejuk 0,2068 dari termal netral PMV=0.

Tabel 14 Kualitas termal ruang obyektif bangunan Psikologi UGM

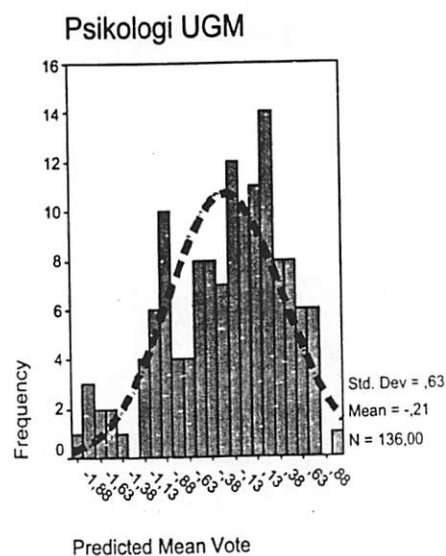
		Psikologi UGM				
		suhu udara derajat C	kecepatan angin m/dt	Kelembaban relatif udara %	suhu radiasi derajat C	Predicted Mean Vote
N	Valid	136	136	136	136	136
	Missing	0	0	0	0	0
Mean		24,2091	,0044	56,1728	24,5140	-,2068
Mode		20,80 ^a	,00	49,40 ^a	22,21	-,98 ^a
Std. Deviation		1,71346	,02061	7,15866	1,53212	,63287
Range		6,70	,10	19,69	5,98	2,80
Minimum		20,33	,00	44,87	21,19	-1,83
Maximum		27,03	,10	64,56	27,17	,97

a. Multiple modes exist. The smallest value is shown

Kualitas termal subyektif menurut pendapat responden adalah -0,476. Hal ini menunjukkan bahwa kenyamanan termal ruang nyata berdasarkan penilaian responden ternyata lebih sejuk dibanding kualitas ruang berdasarkan dugaan PMV. Sebagai perbandingan antara kualitas termal obyektif dan subyektif dapat dilihat dari perbandingan Gambar 75 dan Gambar 76 berikut. Dari dua gambar tersebut dapat dilihat bahwa kualitas ruang berdasarkan penilaian penghuni ternyata lebih sejuk -0,27 PMV dibanding dengan kualitas termal dugaan berdasarkan indeks termal PMV.

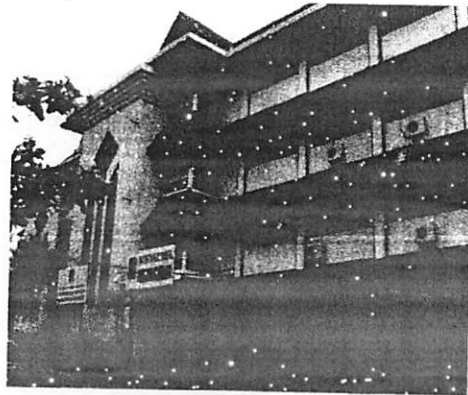


Gambar 75 Kualitas termal ruang subyektif di Psikologi UGM



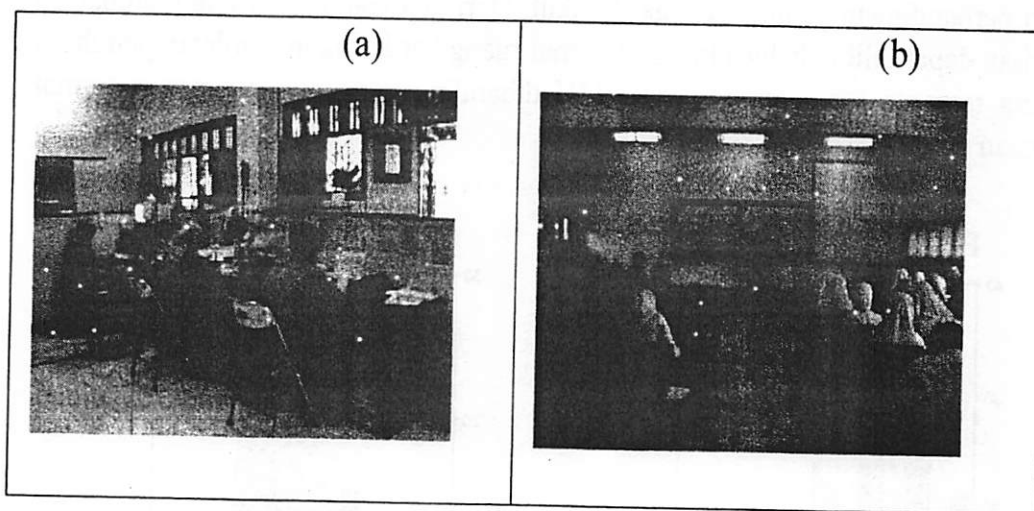
Gambar 76 Kualitas termal ruang obyektif di Psikologi UGM

7. Unit bangunan fakultas Psikologi UII



Gambar 77 Ilustrasi gedung Psikologi UII

Bangunan Psikologi UGM berfungsi sebagai wadah untuk aktivitas perkantoran dan perkuliahan. Ruangnya menggunakan penghawaan buatan dan alamiah. Ilustrasi bangunan, ruang dalam, pakaian dan aktivitas penghuni ruang dapat dilihat pada Gambar 77 sampai dengan Gambar 78.



Gambar 78 Ilustrasi ruang dalam, aktivitas dan pakaian responden di Psikologi UII

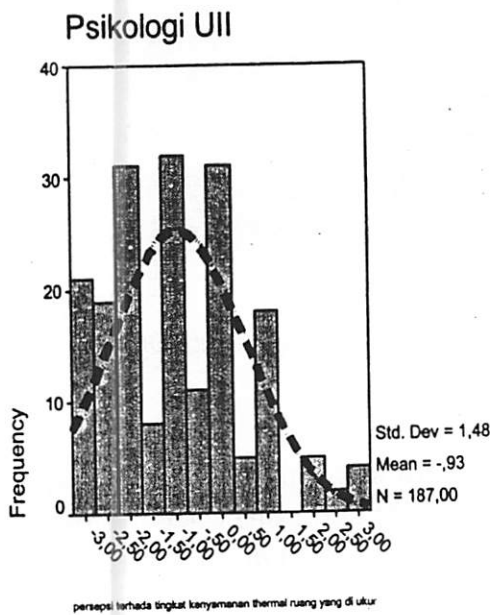
Kualitas kenyamanan termal obyektif dapat dilihat pada Tabel 15 berikut. Dari tabel tersebut dapat dilihat bahwa secara obyektif kenyamanan termal ruang-ruang di sini ada -0,533 skala PMV. Ini berarti ruang-ruang di gedung Psikologi UII secara obyektif lebih dingin 0,533 dari termal netral $PMV=0$.

Tabel 15 Kualitas termal ruang obyektif bangunan Psikologi UII

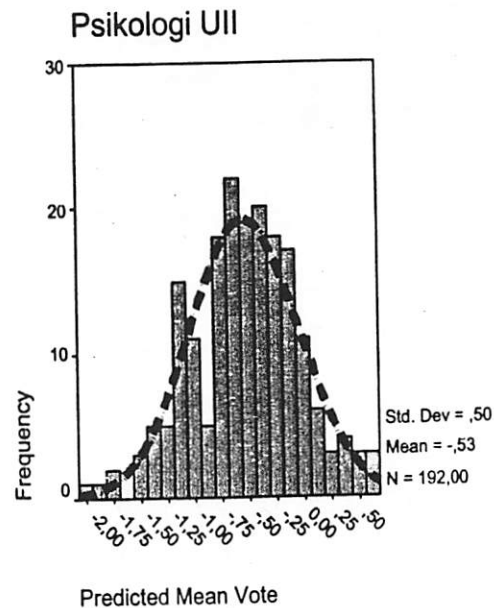
		Psikologi UII				
		suhu udara derajat C	kecepatan angin m/dt	Kelembaban relatif udara %	suhu radiasi derajat C	Predicted Mean Vote
N	Valid	192	192	192	192	192
	Missing	0	0	0	0	0
Mean		23,2318	,0286	58,7414	23,3602	-,5331
Mode		22,33	,00	60,47	22,00 ^a	-,64 ^a
Std. Deviation		1,10924	,05078	9,16050	,91792	,49891
Range		4,87	,20	27,37	4,40	2,59
Minimum		20,90	,00	45,33	20,87	-1,98
Maximum		25,77	,20	72,70	25,27	,61

a. Multiple modes exist. The smallest value is shown

Kualitas termal subyektif menurut pendapat responden adalah -0,929. Hal ini berarti secara subyektif berdasarkan penilaian responden ruang-ruang di sini rata masih lebih dingin lagi dibanding kualitas termal dugaan berdasarkan skala PMV. Sebagai perbandingan antara kualitas termal obyektif dan subyektif dapat dilihat dari perbandingan gambar sebagai berikut. Dari dua Gambar 79 dan Gambar 80 berikut dapat dilihat bahwa kualitas termal ruang berdasarkan penilaian penghuni ruang ternyata lebih rendah -0,4 PMV dibanding dengan kenyamanan termal dugaan berdasarkan indeks termal PMV.



Gambar 79 Kualitas termal ruang subyektif di Psikologi UII



Gambar 80 Kualitas termal ruang obyektif di Psikologi UII

6.5. Kualitas Termal Ruang Seluruh Kasus Bangunan

Unjuk kerja termal ruang akan dilihat dari dua sifat, obyektif dan subyektif. Kualitas obyektif adalah kualitas yang didasarkan pada parameter-parameter obyektif atau matematis yang ditransformasikan dari pengukuran dengan alat langsung. Parameter-parameter kualitas termal obyektif tersebut adalah indeks termal suhu udara, suhu radiasi, kelembaban, kecepatan angin, serta PMV. Kualitas subyektif adalah kualitas yang didasarkan dari penilaian subyektif dari penghuni ruang. Penghuni diminta mengekspresikan penilaian dengan mengisi pilihan pada skala tujuh titik derajat termal yang berasosiasi dengan skala PMV.

Deskripsi unjuk kerja termal ruang dapat dilihat sebagaimana terinci dalam tabel berikut.

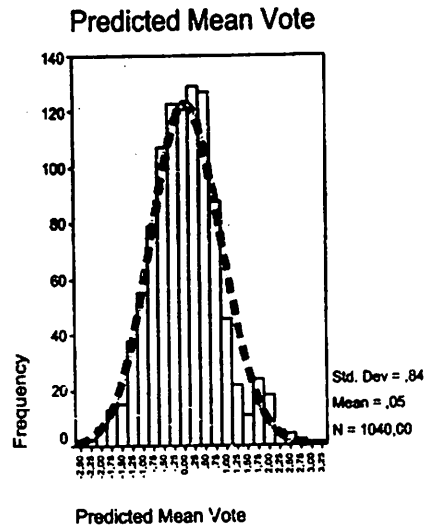
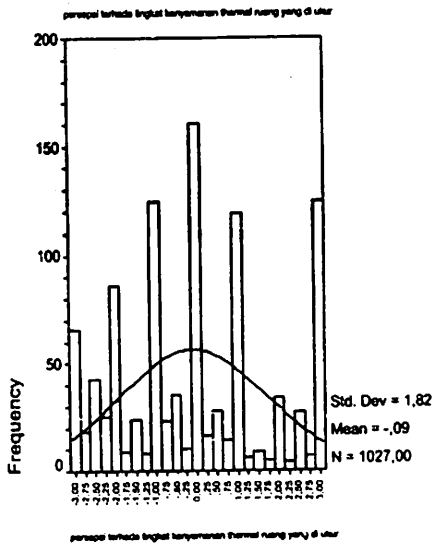
Tabel 16 Unjuk kerja termal ruang dalam bangunan lingkup populasi

Unjuk kerja ruang-ruang dalam pada kasus

		suhu udara derajat C	kecepatan angin m/dt	Kelembaban relatif udara %	suhu radiasi derajat C	Predicted Mean Vote
N	Valid	1040	1040	1040	1040	1040
	Missing	0	0	0	0	0
Mean		24,9513	,0212	56,2210	25,1207	,0480
Std. Deviation		2,31037	,07594	8,73427	2,27902	,84338
Range		13,90	,90	42,10	14,03	5,72
Minimum		20,30	,00	34,40	20,57	-2,46
Maximum		34,20	,90	76,50	34,60	3,26

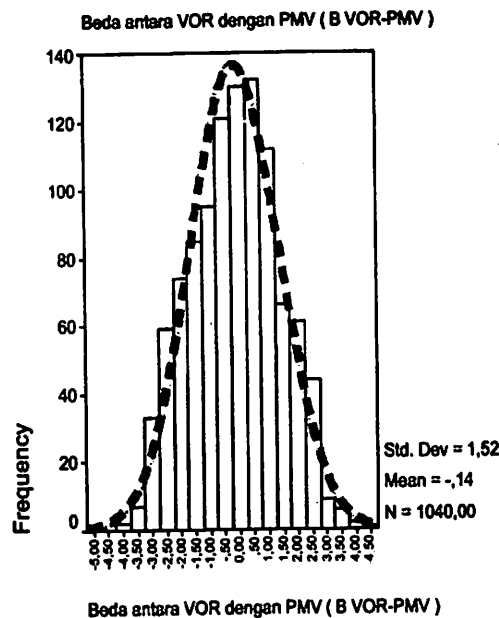
Berdasarkan indeks termal PMV kualitas termal ruang rata-rata seluruh kasus adalah 0,048. Berarti kualitas termal ruang masuk dalam zone nyaman menuju ke zone hangat. Namun bila kualitas termal dilihat dari berdasarkan pendapat responden (vor) maka rata-rata penilaian kenyamanan termal ruang adalah -0,09. Tanda minus di sini berarti lebih dingin dari termal netral yang diharapkan penghuni.

Dari ilustrasi Gambar 81 dan Gambar 83 berikut dapat dilihat rata-rata selisih kualitas termal menurut vor dengan PMV sebesar -0,14. Hal ini menunjukkan kualitas termal ruang rata-rata di lingkup populasi berdasarkan dugaan indeks termal PMV rata-rata lebih hangat dari vor, atau dapat dikatakan bahwa kualitas termal ruang rata-rata berdasarkan penilaian responden ternyata lebih sejuk dari yang diduga oleh indeks PMV.



Gambar 81 Kualitas termal ruang subyektif berdasar voting responden

Gambar 82 Kualitas termal ruang obyektif berdasarkan indeks PMV



Gambar 83 Perbedaan kualitas termal berdasar voting responden dengan PMV

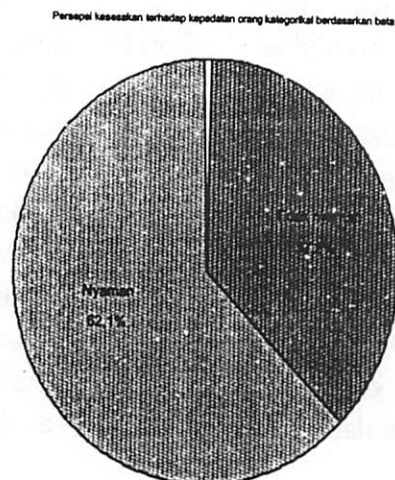
6.6. Kualitas Ruang Berdasarkan Stimulus Kepadatan, Kuat Penerangan, Keterbukaan Visual Ruang dan Kebisingan

Seperti halnya pada kualitas termal ruang, kualitas ruang berdasarkan stimulus kesesakan, kuat penerangan, keterbukaan visual dan kebisingan akan dilihat dari dua sifat, obyektif dan subyektif. Kualitas obyektif kesesakan didasarkan pada

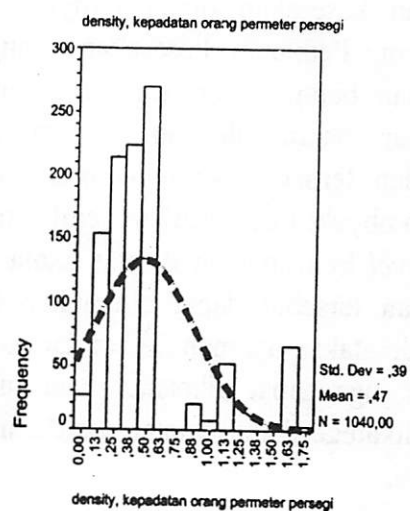
ukuran-ukuran kepadatan orang/m² dan prosentasi perbandingan luasan lantai yang tertutup barang/furniture terhadap luas lantai pada zone yang diamati. Sementara kualitas subyektif kesesakan didasarkan dari penilaian kesesakan oleh responden terhadap kepadatan orang atau barang. Kualitas obyektif kuat penerangan didasarkan pada ukuran kuat penerangan iluminasi lux. Sementara kualitas subyektif didasarkan pada penilaian penghuni terhadap gelap terangnya ruang. Kualitas obyektif keterbukaan ruang diukur dengan prosentasi luasan bukaan visual terhadap luasan bidang dinding pada zone yang diamati. Sementara kualitas keterbukaan subyektif ruang didasarkan tentang penilaian keterbukaan ruang untuk melihat ke luar. Kualitas obyektif kebisingan ruang diukur berdasarkan tekanan suara dB sementara kualitas subyektif diukur berdasarkan penilaian penghuni terhadap kebisingan ruang.

1. Kualitas kesesakan ruang

Berdasarkan data seperti yang tersaji pada Gambar 84 dan Gambar 85 dapat diperoleh gambaran bahwa rata-rata kepadatan orang adalah 0,47 orang/m², sementara berdasarkan penilaian penghuni dapat dilihat bahwa 62,1% penghuni menilai ruangnya nyaman dilihat dari kesesakan orangnya.

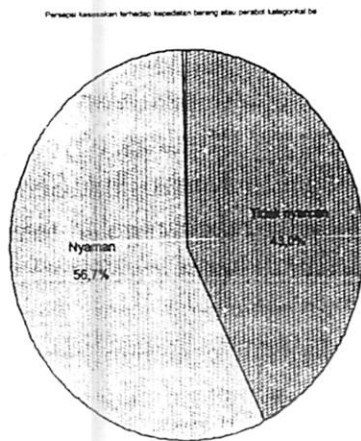


Gambar 84 Kualitas kesesakan ruang berdasarkan persepsi penghuni terhadap stimulus kepadatan orang

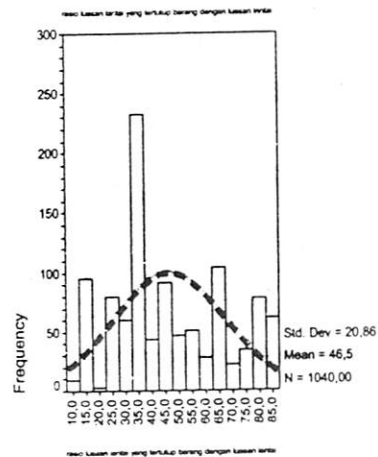


Gambar 85 Kualitas kepadatan orang dalam ruang

Berdasarkan kepadatan barang/perabot dapat dilihat bahwa rata-rata prosentasi luasan lantai yang tertutup barang/perabot terhadap luasan lantainya adalah 46%. Sementara secara subyektif 56,7% menilai nyaman dilihat dari kesesakan barang/perabot (Gambar 86 dan Gambar 87).



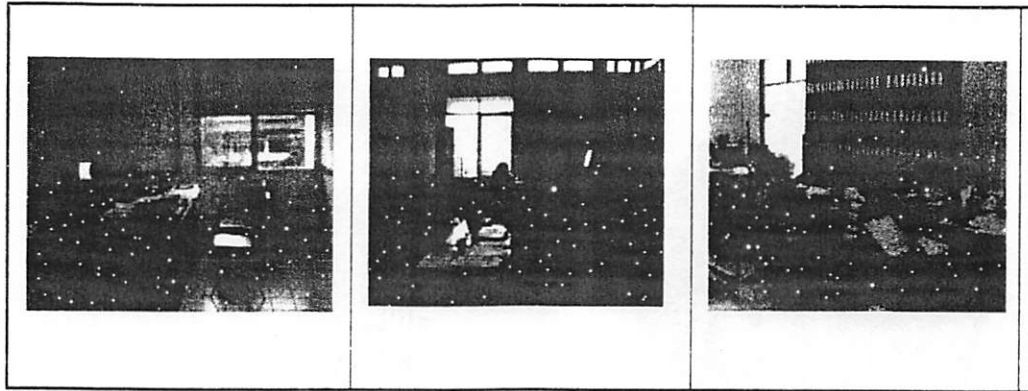
Gambar 86 Kualitas kesesakan ruang berdasarkan persepsi penghuni terhadap stimulus kepadatan barang perabot



Gambar 87 Kualitas kepadatan barang/perabot dalam ruang

Dari hasil analisis korelasi antara data obyektif kepadatan orang dengan penilaian kesesakan orang ternyata tidak didapat hubungan korelasi yang signifikan. Penilaian kesesakan orang justru signifikan berkorelasi dengan kepadatan barang. Dari regresi inverse yang menghubungkan data obyektif kepadatan barang dengan data subyektif kesesakan berdasarkan penilaian responden terhadap stimulus orang dan barang dapat diperoleh nilai batas nyaman obyektif berdasarkan penilaian subyektif. Batas *level* nyaman ditetapkan pada *level* kenyamanan di atas skala sikap 2,5 (dalam rentang skala 4). Dari ketetapan tersebut dapat ditemukan batas maksimal kepadatan barang yang masih dikatakan nyaman dilihat dari kesesakan orang adalah 41.35 %. Dari hasil analisis juga dapat diketahui batas maksimal kepadatan barang atau perabot yang dikategorikan nyaman berdasarkan penilaian kesesakan barang adalah 38.88 %.

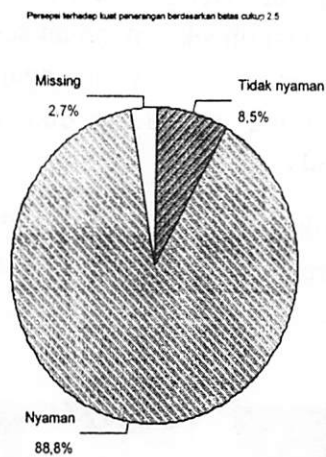
Gambar berikut dapat memberikan ilustrasi ruang-ruang dengan variasi kesesakan mulai dari tidak sesak sampai sesak.



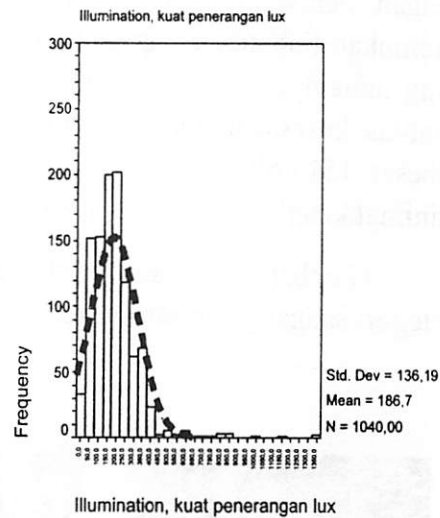
Gambar 88 *Ilustrasi variasi kepadatan ruang dengan kualitas kesesakan yang berbeda*

2. Kualitas penerangan dan keterbukaan visual ke luar

Kualitas penerangan ruang dapat dijelaskan sebagai berikut. Berdasarkan pengukuran (Gambar 89 dan Gambar 90), dapat dilihat secara obyektif kuat penerangan ruang rata-rata adalah 186,7 lux. Berdasarkan penilaian penghuni dapat dilihat 88,8% penghuni menilai ruang-ruang pada kasus mempunyai kualitas gelap terang yang nyaman.

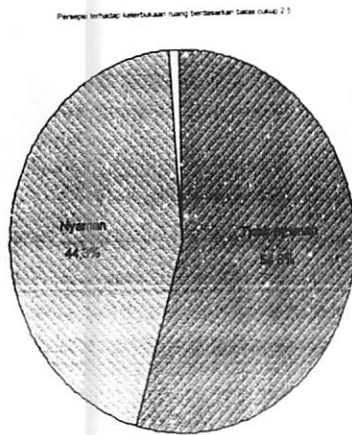


Gambar 89 *Kualitas penerangan gelap terang ruang berdasarkan persepsi penghuni terhadap stimulus kuat penerangan gelap terang*

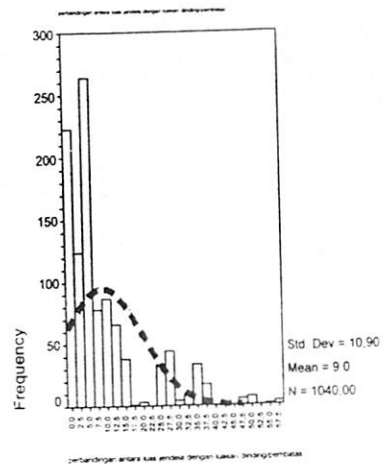


Gambar 90 *Kualitas kuat penerangan ruang*

Kualitas keterbukaan visual ruang berdasarkan luasan bukaan visual terhadap dinding adalah 9%. Berdasarkan penilaian penghuni ruang dapat dilihat 54,8 % penghuni mengatakan tidak nyaman (Gambar 91 dan Gambar 92).



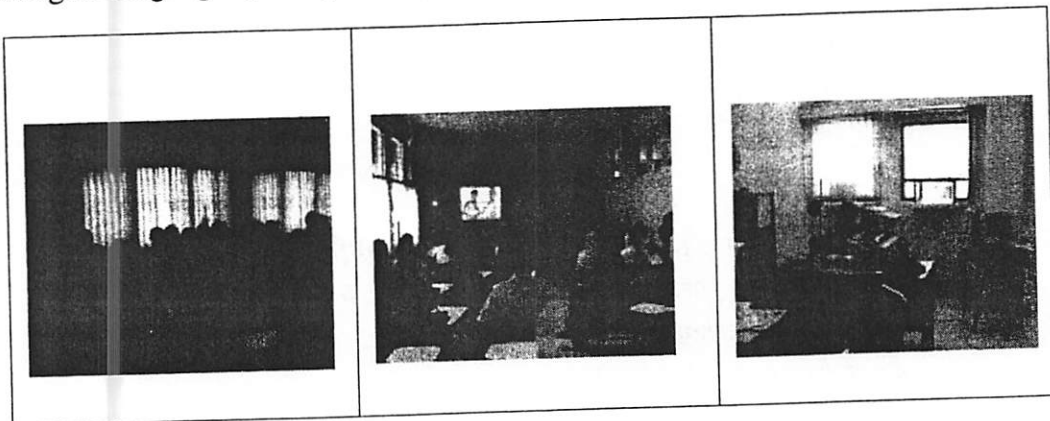
Gambar 91 Kualitas keterbukaan visual ruang berdasarkan persepsi penghuni terhadap keterbukaan visual keluar.



Gambar 92 Kualitas keterbukaan visual ruang berdasarkan perbandingan luas bukaan visual terhadap luasan bidang pelingkup

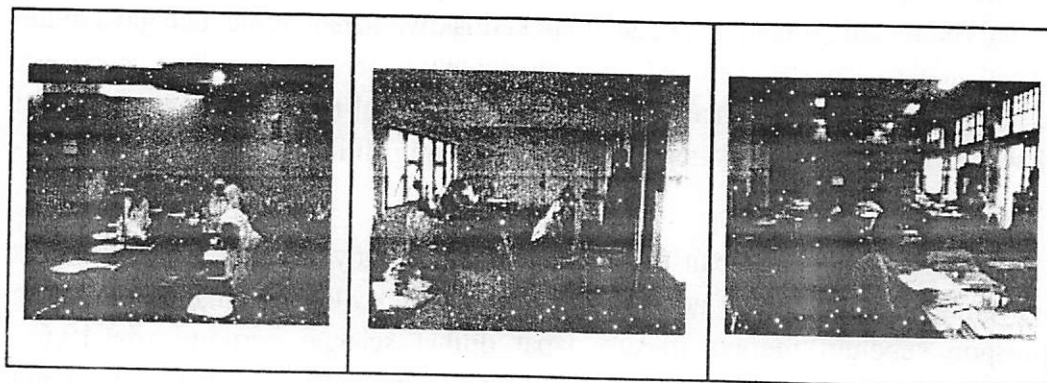
Berdasarkan analisis regresi hubungan variabel nilai kuat penerangan dengan penilaian gelap terang penghuni terhadap penerangan ruang dapat ditemukan hubungan regresi linier yang signifikan. Dengan cara dan ketetapan yang sama dengan analisis pencarian batas kondisi obyektif nyaman seperti pada kualitas kesesakan dapat ditemukan batas minimal kuat penerangan nyaman sebesar 151.66lux. Dari hasil analisis yang sama juga dapat diketahui batas minimal keterbukaan ruang nyaman adalah 9.54%.

Gambar 93 berikut dapat mengilustrasikan kualitas ruang yang termasuk kategori sangat gelap sampai dengan kualitas ruang yang termasuk terang.



Gambar 93 Ilustrasi variasi kualitas gelap terang ruang yang berbeda

Gambaran variasi kualitas ruang dilihat dari keterbukaan ruang dapat dilihat pada gambar berikut.

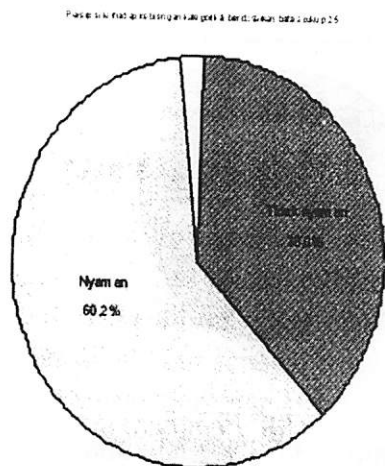


Gambar 94 *Ilustrasi variasi kualitas keterbukaan visual ruang ke luar*

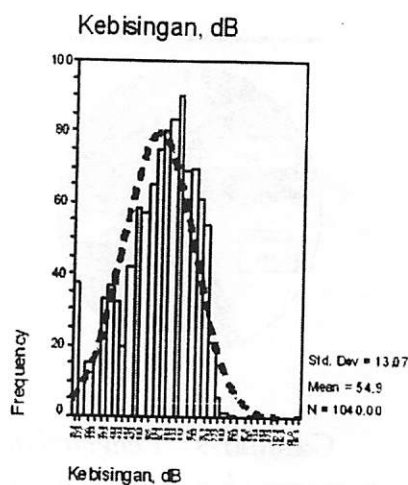
3. Kualitas kebisingan

Kualitas ruang dilihat dari kebisingan dapat dijelaskan sebagai berikut. Berdasarkan pengukuran tekanan suara dapat diperoleh data bahwa rata-rata tekanan suara pada ruang-ruang dalam kasus adalah 54,9 dB. Berdasarkan penilaian penghuni dapat dilihat 60,2% penghuni menilai ruangnya adalah nyaman.

Dengan cara yang sama dengan analisis pencarian batas nyaman pada butir kualitas kesesakan ruang dapat ditemukan batas nyaman bising maksimal adalah 48.86dB.



Gambar 95 *Kualitas kebisingan ruang berdasarkan penilaian penghuni terhadap stimulus kebisingan*



Gambar 96 *Kualitas kebisingan ruang*

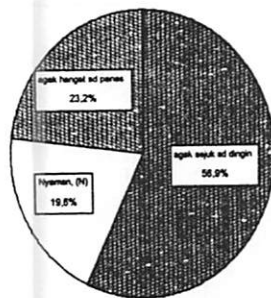
6.7. Gambaran, Pengalaman dan Gaya Hidup Termal Penghuni

Berdasarkan kerangka teori penelitian Sugini, 2007 maka gambaran bayangan termal ruang yang direpson, pengalaman ketidaknyamanan termal dan gaya hidup termal adalah variabel-variabel yang menentukan persepsi penilaian penghuni terhadap kualitas termal ruang. Berkenaan dengan hal tersebut dalam bagian ini akan dideskripsikan karakteristik penghuni ruang dilihat dari variasi variabel-variabel tersebut.

Berdasarkan jawaban penghuni tentang pertanyaan gambaran bayangan kenyamanan termal yang ada dalam pikiran mereka tentang ruang yang akan direpson sebelum mereka masuk dapat dilihat sebagai berikut. Ada 19,6% penghuni membayangkan bahwa ruang yang direpson adalah nyaman. Sementara 56,9% penghuni membayangkan ruang yang akan dimasukinya antara sejuk sampai dengan dingin. Berdasarkan analisis data dapat diketahui bahwa 23,3% reponden membayangkan bahwa ruangan yang akan direpson mempunyai tingkat kenyamanan termal antara hangat sampai dengan panas (Gambar 97). Gambaran bayangan kualitas termal ruang yang akan direpson yang ada dalam pikiran penghuni dapat menggambarkan tingkat pengharapan penghuni terhadap kualitas termal ruang yang direpson.

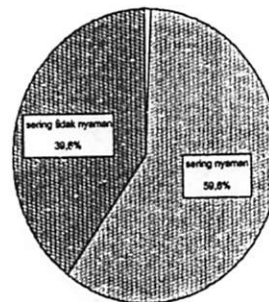
Pengalaman ketidaknyamanan termal penghuni dapat dilihat pada Gambar 98. Dari seluruh responden didapat data bahwa 39,6% penghuni sering mengalami kualitas termal yang tidak nyaman. Sedangkan 59,6%nya sering mengalami kualitas termal nyaman.

Gambaran bayangan kenyamanan termal ruang yang direpson



Gambar 97 Penghuni dan gambaran bayangan kenyamanan termalnya terhadap ruang yang akan direpson

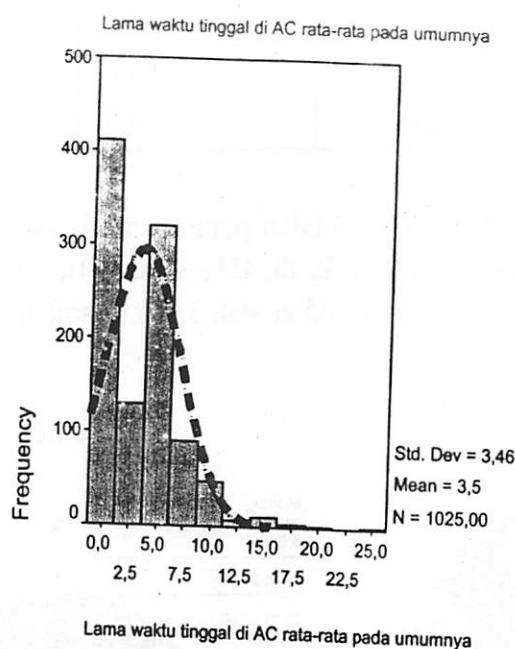
Pengalaman ketidaknyamanan termal



Gambar 98 Penghuni dan pengalaman ketidaknyamanan termal

Gaya hidup termal penghuni dapat dilihat dari tiga variabel. Pertama adalah jumlah waktu dalam keseharian penghuni tinggal di ruang berac, jenis penghawaan ruang dominan di rumah dan jenis penghawaan dominan di tempat kerja (kuliah, kantor, pabrik).

Berdasarkan sebaran data dapat disimpulkan bahwa 31,2% penghuni dalam kesehariannya tidak pernah atau di bawah satu jam tinggal di ruang berac. 67,4% lainnya dalam kesehariannya paling tidak 1 jam tinggal di ruang berac. Di antara variasi durasi tinggal di ruang AC tersebut, lama waktu yang paling dominan di antara mereka (13%) adalah 6 jam. Bila dilihat rata-ratanya maka lama waktu tinggal di ruang AC dalam kesehariannya adalah 3,5jam (Gambar 99).



Gambar 99 Penghuni dan lama waktu tinggal di ruang ber AC dalam kesehariannya rata-rata.

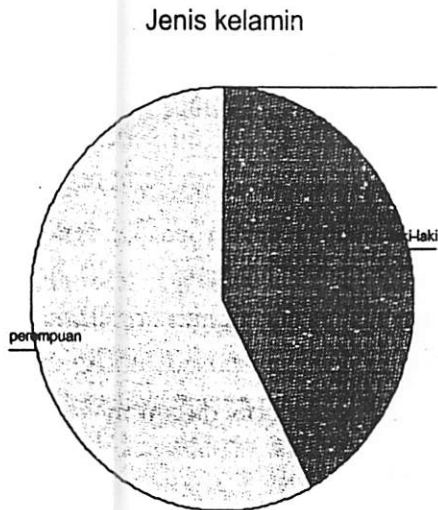
Bila dilihat jenis penghawaan dominan di rumah dan di tempat kerja, dapat dijelaskan sebagai berikut. Ada 95,5% responden tinggal di rumah dengan penghawaan dominan alamiah. Sementara hanya 4,3% penghuni tinggal di rumah dengan penghawaan dominan AC (Gambar 100). Dilihat dari jenis penghawaan dominan di tempat kerja, dapat dilihat ada 53,7% penghuni dalam keseharian beraktivitas di tempat kerja dengan penghawaan dominan alamiah. Sementara 45,4% lainnya beraktivitas di tempat kerja dengan penghawaan dominan AC (Gambar 101).

Tabel 17 *Adubois, level metabolisme aktivitas dan pakaian*

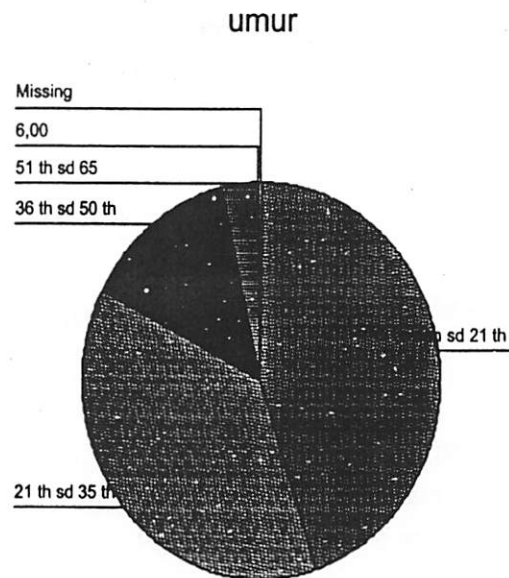
Case Summaries

	ADUBOIS	level of metabolisme of activity	level of clothing
N	997	1040	1040
Mean	1,5591	1,0647	,6593
Sum	1554,45	1107,30	685,72
Minimum	,61	1,00	,30
Maximum	2,48	2,90	1,39
Range	1,87	1,90	1,09
Std. Deviation	,16512	,16391	,18122

Responden terdiri dari 57,7% adalah perempuan dan 42,2% adalah laki-laki. Dari seluruh responden, di bawah 21 th, 45% antara 21th-35 th, 37,5% antara 35 th sampai dengan 50 th, 13,8, 51 th-65 adalah 3,5% (Gambar 104 dan Gambar 105)



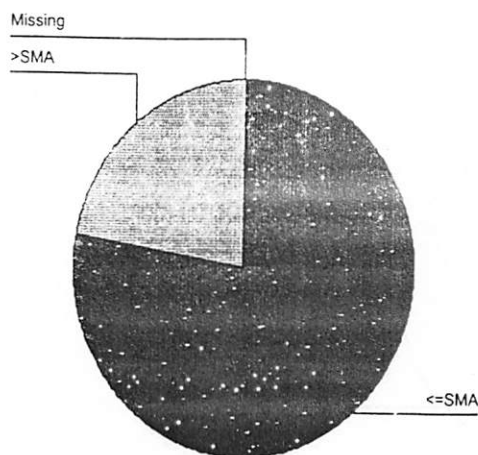
Gambar 104 *Sebaran responden berdasarkan karakteristik jenis kelamin*



Gambar 105 *Sebaran responden berdasarkan karakteristik usia*

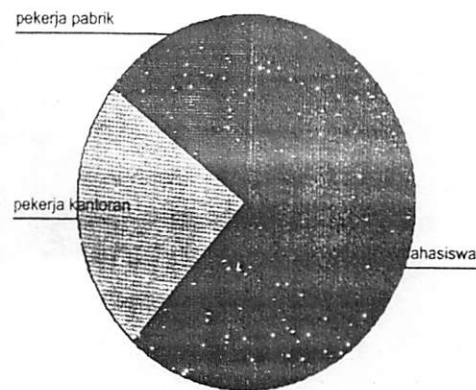
Situasi sosial dari responden dilihat dari status sosialnya dapat dirinci sebagai berikut. Tingkat pendidikan responden 77,8% di bawah sampai dengan sma atau yang sederajat. 22,1% adalah di atas sma. Jenis pekerjaan responden adalah mahasiswa 61,3%, pegawai kantor 23,8% dan pekerja pabrik dalam ruang produksi adalah 14,8% (Gambar 106 dan Gambar 107).

tingkat pendidikan formal



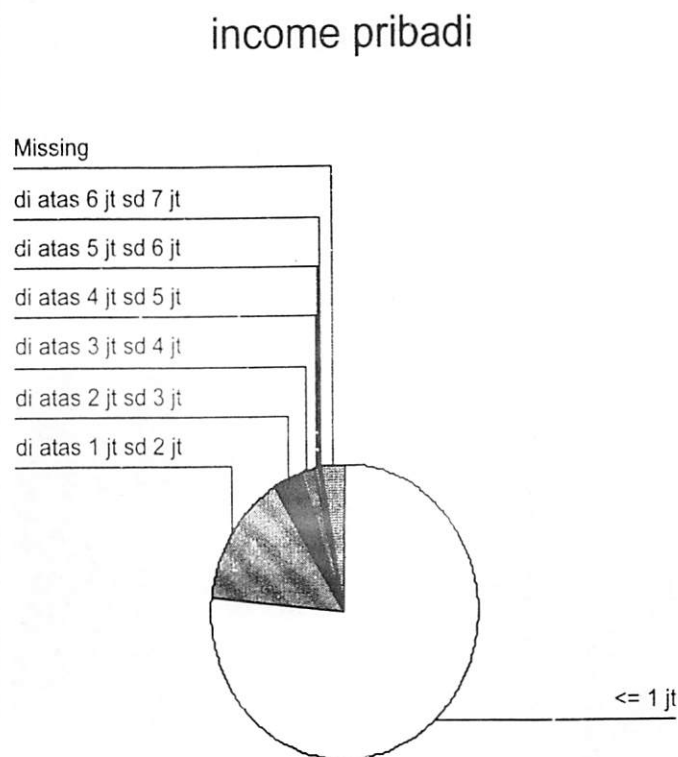
Gambar 106 Sebaran responden berdasarkan karakteristik tingkat pendidikan

jenis pekerjaan



Gambar 107 Sebaran responden berdasarkan karakteristik jenis pekerjaan

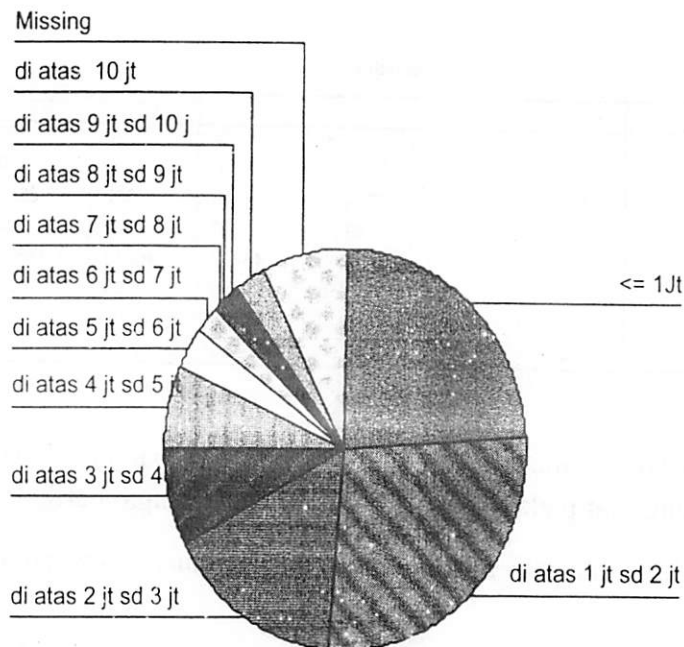
Berdasarkan karakteristik pendapatan pribadi, 66,8% responden termasuk kelompok dengan pendapatan pribadi di bawah sampai dengan satu juta rupiah, 11,2% responden dengan pendapatan pribadi di atas satu juta sampai dengan dua juta rupiah; 1,6% responden dengan pendapatan pribadi di atas dua juta sampai dengan tiga juta rupiah; 1% responden dengan pendapatan pribadi di atas tiga juta sampai dengan empat juta rupiah; 0,5% responden dengan pendapatan pribadi di atas empat juta sampai dengan lima juta rupiah; 0,5% responden dengan pendapatan pribadi di atas lima juta sampai dengan enam juta rupiah. *Missing system* 18,4% (Gambar 108).



Gambar 108 Sebaran responden berdasarkan pendapatan pribadi

Berdasarkan karakteristik pendapatan bersama keluarga maka responden terdiri dari 29,4% responden termasuk kelompok dengan pendapatan pribadi di bawah sampai dengan satu juta rupiah, 21% responden dengan pendapatan pribadi di atas satu juta sampai dengan dua juta rupiah; 12,3% responden dengan pendapatan pribadi di atas dua juta sampai dengan tiga juta rupiah; 4,3% responden dengan pendapatan pribadi di atas tiga juta sampai dengan empat juta rupiah; 3,3% responden dengan pendapatan pribadi di atas empat juta sampai dengan lima juta rupiah; 2,6% responden dengan pendapatan pribadi di atas lima juta sampai dengan enam juta rupiah; 1,3% responden dengan pendapatan pribadi di atas enam juta sampai dengan tujuh juta rupiah; 0,2% responden dengan pendapatan pribadi di atas tujuh juta sampai dengan delapan juta rupiah; 0,3% responden dengan pendapatan pribadi di atas delapan juta sampai dengan sembilan juta rupiah; 0,5% responden dengan pendapatan pribadi di atas sembilan juta sampai dengan sepuluh juta rupiah; dan 2,1% responden dengan pendapatan pribadi di atas sepuluh juta rupiah (Gambar 109).

income bersama dengan keluarga



Gambar 109 Sebaran responden berdasarkan pendapatan bersama keluarga

6.10. Kondisi Termal Lingkungan Luar

Kondisi iklim Yogyakarta secara umum telah dijelaskan sebelumnya. Berdasarkan data dari disbangopsau bagian meteorologi Lanud Adisucipto bulan Januari hingga mei 2005 secara garis besar kondisi lingkungan termal di Yogyakarta adalah sebagai berikut: (1) suhu minimal terendah adalah 23,6°C dan suhu maksimal tertinggi adalah 33,3°C; (2) kelembaban nisbinya adalah antara 77% sampai dengan 89%; (3) kecepatan angin rata-rata perbulan antara 03-04 knot sedangkan kecepatan angin terbesar perbulan antara 09-12 knot.

Berdasarkan pengukuran langsung dalam site tujuh bangunan penelitian Sugini, 2007 dapat di dideskripsikan kualitas suhu udara, kelembaban dan kecepatan angin di luar bangunan pada masa pengukuran dan pengambilan data di dalam ruang dilakukan. Pengukuran dilakukan di empat penjuru mata angin di site bangunan dengan menggunakan payung sebagai peneduh. Hal ini dimaksudkan untuk menghilangkan efek panas karena radiasi matahari pada hasil pengukuran suhu udara. Ketinggian pengukuran adalah 70-80 cm dari tanah. Gambaran hasil tersebut terinci pada Tabel 18 berikut.

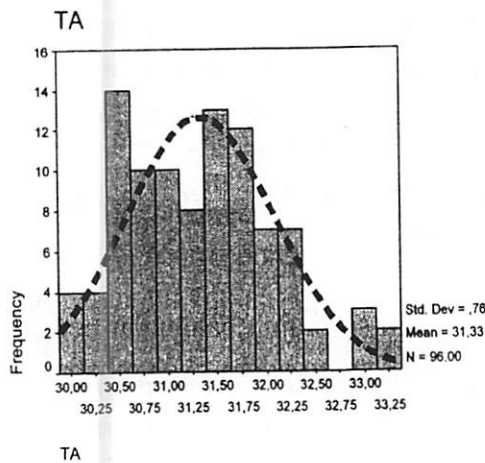
Tabel 18 Suhu udara luar °C (ta), kelembaban udara relatife luar %(rh), dan Kecepatan angin luar m/dt arah utara (vu)/timur (vt)/selatan(vs)/barat (vb)

		Statistics						
		titik ukur	TA	RH	VU	VT	VS	VB
N	Valid	96	96	96	96	96	96	96
	Missing	0	0	0	0	0	0	0
Mean		2,5000	31,3333	57,4740	,2615	,2802	,2615	,2563
Mode		1,00 ^a	31,50	59,50	,00	,00	,00	,00
Std. Deviation		1,12390	,75807	4,17308	,46212	,46240	,49850	,39545
Range		3,00	3,20	17,50	2,60	2,50	3,50	2,00
Minimum		1,00	30,00	48,10	,00	,00	,00	,00
Maximum		4,00	33,20	65,60	2,60	2,50	3,50	2,00

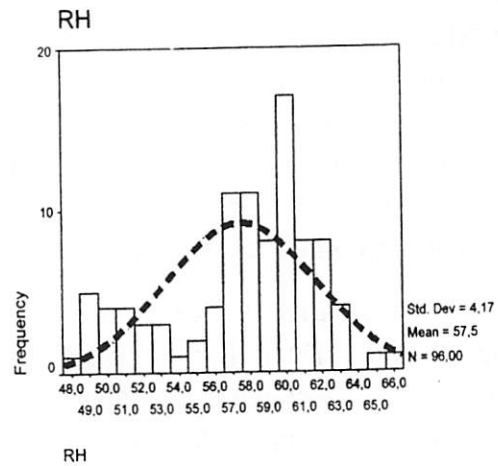
^a. Multiple modes exist. The smallest value is shown

Dari Tabel 18 dan ilustrasi Gambar 110 dan Gambar 111 dapat diketahui kondisi termal ruang luar pada tujuh bangunan adalah sebagai berikut:

- 1) Suhu udara luar rata-rata adalah 31,33 °C dengan rentang antara 30 °C - 33,2 °C.
- 2) Kelembaban udara luar rata-rata 57,5% dengan rentang 48,1%-65,6%.
- 3) Kecepatan angin vu rata-rata 0,26 m/dt dengan rentang antara 0 mt-2,6 m/dt; vt rata-rata 0,28 m/dt dengan rentang antara 0 mt-2,5 m/dt; vs rata-rata 0,26 m/dt dengan rentang antara 0 mt-3,5 m/dt dan vb rata-rata 0,26 m/dt dengan rentang antara 0 mt-2,00 m/dt,

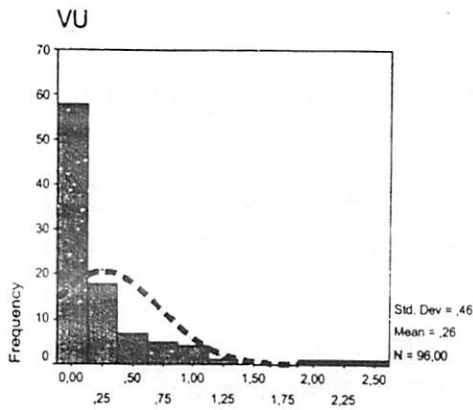


Gambar 110 Karakteristik suhu udara luar



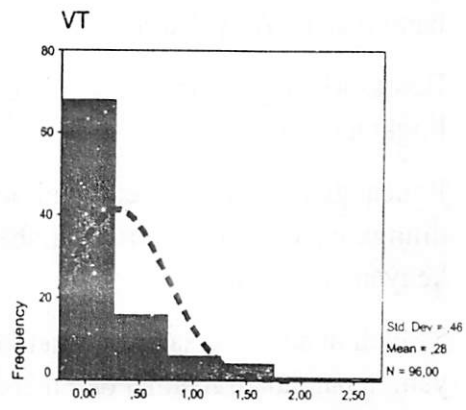
Gambar 111 Karakteristik kelembaban relatif udara luar

Perbedaan kecepatan angin dan kelembaban di site bangunan dengan data dari Lanud Adisucipto adalah hal yang wajar karena skala ruang dan ketinggian pengukuran berbeda. Perbedaan kecepatan angin terjadi karena angin dalam site telah tereduksi oleh halangan-halangan kondisi permukaan tanah dan lingkungan bangunan.



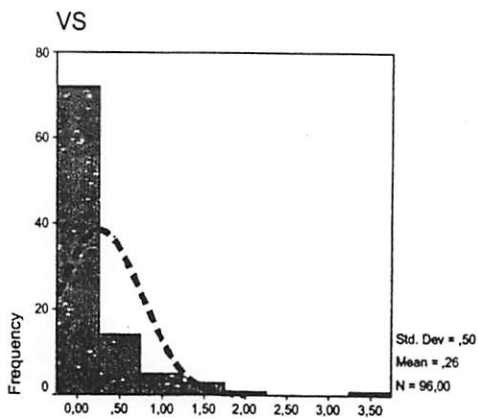
VU

Gambar 112 Kecepatan angin luar arah Utara



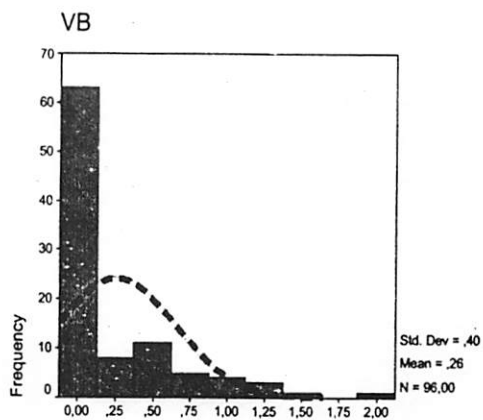
VT

Gambar 113 Kecepatan angin luar arah Timur



VS

Gambar 114 Kecepatan angin luar arah Selatan



VB

Gambar 115 Kecepatan angin luar arah Barat

Pertanyaan-Pertanyaan untuk Dijawab

Berikut adalah pertanyaan-pertanyaan yang perlu dijawab untuk melihat pemahaman yang telah diserap setelah membaca bab ini:

1. Berikanlah gambaran tentang kualitas termal ruang di beberapa kasus bangunan di Yogyakarta.
2. Berdasarkan gambaran tersebut, dapatkan anda menduga kualitas termal di lingkungan anda?
3. Rancanglah sebuah riset kecil untuk mengetahui kualitas termal ruang di lingkungan anda beserta variabel-variabel spasial lain yang menentukan kenyamanan termal.
4. Setelah anda melaksanakan riset kecil tersebut di atas, bagaimanakah sikap yang tepat dalam melihat dan merekayasa ruang untuk termal di lingkungan anda?

oooOooo

BAB VII

ARAHAN DESAIN UNTUK KENYAMANAN TERMAL RUANG DAN PENERAPAN MODEL INDEKS PMVTAP

Pengantar

Pada bab ini akan diuraikan dua sub topik besar yaitu: (1) prinsip dasar pendekatan untuk merekayasa bangunan untuk kenyamanan termal; (2) metoda-metoda atau teknik analisis yang diperlukan untuk mendapatkan arahan desain bangunan. (3) penerapan model indeks termal PMVtap dalam proses desain. Baik dalam proses desain pada umumnya dan pada SNI 03-6572-2001. Dari penjelasan ini dapat ditunjukkan peran temuan model indeks kenyamanan termal ruang PMVtap dalam dunia desain pada umumnya dan dalam lingkup desain arsitektur pada khususnya.

Setelah menyelesaikan bab ini pembaca diharapkan: (1) dapat menjelaskan pendekatan dalam rekayasa bangunan untuk nyaman termal dan strategi pengendalian kualitas termal, (2) dapat mencari arahan desain dengan diagram SET, Discomfort dan w, Tabel Mahoney, Tabel Givoni atau Tabel Olgay, (3) dapat menetapkan standar nyaman termal dengan menerapkan indeks kenyamanan termal termo-adaptif-psikologis PMVtap.

7.1. Strategi Pengendalian Iklim Ruang

Arahan umum rekayasa bangunan meliputi dua hal. Pertama adalah pendekatan perancangan dan ke dua adalah strategi pengendalian iklim ruang . Pada bahasan selanjutnya akan dijelaskan tentang pendekatan rekayasa bangunan dan strategi pengendalian iklim ruang.

Strategi pengendalian iklim ruang meliputi empat strategi. Pertama adalah peningkatan perolehan termal dengan peningkatan perolehan panas, ke dua mencegah kehilangan panas, ke tiga mencegah perolehan panas dan ke empat, peningkatan kehilangan panas. Strategi satu dan dua diperuntukan untuk menjaga agar kualitas termal ruang tetap hangat dalam kondisi iklim lingkungan yang dingin dibawah kualitas nyaman termal yang diinginkan penghuni ruang. Sedangkan strategi ke tiga dan empat ditujukan untuk mendapatkan ruang yang lebih dingin dari kondisi iklim lingkungan panas.

Strategi peningkatan perolehan panas dilakukan dengan memanfaatkan proses perpindahan panas radiasi dengan peningkatan perolehan radiasi matahari. Strategi ke dua yaitu pencegahan kehilangan panas dilakukan dengan cara konduktif dengan meminimalkan aliran konduksi panas dan konveksi dengan meminimalkan aliran udara eksternal dan meminimalkan infiltrasi. Strategi pencegahan panas dilakukan melalui proses konduktif dengan meminimalkan aliran panas, melalui konveksi dengan meminimalkan infiltrasi dan melalui radiasi dengan meminimalkan perolehan panas. Strategi ke empat, peningkatan kehilangan panas melalui proses konduksi dengan meningkatkan pendinginan konduktif ke bumi (pendinginan bumi atau *earth cooling*), melalui konveksi dengan peningkatan ventilasi, melalui radiasi dengan meningkatkan pendinginan radiatif dan melalui evaporasi dengan meningkatkan pendinginan evaporatif. Strategi-strategi yang didasari pada prinsip perpindahan panas konduktif akan mengandalkan bumi. Strategi dengan perpindahan panas konveksi akan mengandalkan atmosfer. Strategi dengan perpindahan panas radiasi akan mengandalkan matahari dan langit sedangkan strategi perpindahan panas evaporasi akan mengandalkan atmosfer. Lebih jelas dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 19 Strategi pengendalian iklim ruang

Strategi kendali iklim ruang						
Tipe perpindahan panas	Kondisi dingin		Kondisi panas		Sumber panas	Penyerap panas
	Meningkatkan perolehan panas	Mencegah kehilangan panas	Mencegah perolehan panas	Meningkatkan kehilangan panas		
Konduksi		Meminimalkan aliran panas konduktif	Meminimalkan aliran panas konduktif	Meningkatkan pendinginan konduktif ke bumi (pendinginan bumi)		Bumi

Lanjutan Tabel 19

Strategi kendali iklim ruang						
Tipe perpindahan panas	Kondisi dingin		Kondisi panas		Sumber panas	Penyerap panas
Konveksi		Meminimalkan aliran udara eksternal Meminimalkan infiltrasi	Meminimalkan infiltrasi	Meningkatkan ventilasi	Atmosfir	Atmosfir
Radiasi	Meningkatkan perolehan panas		Meminimalkan perolehan panas	Meningkatkan pendinginan radiatif	Matahari	Langit
Evaporasi				Meningkatkan pendinginan evaporatif		Atmosfir

(Sumber: dimodifikasi dari Etik, 2008)

7.2. Pendekatan Rekayasa Bangunan untuk Kenyamanan Termal

Ada tiga pendekatan dalam rekayasa bangunan untuk kenyamanan termal. Tiga pendekatan tersebut meliputi tingkat dasar, yaitu rancangan bangunan dasar, tingkat dua, yaitu sistem pasif dan tingkat tiga, yaitu sistem mekanik.

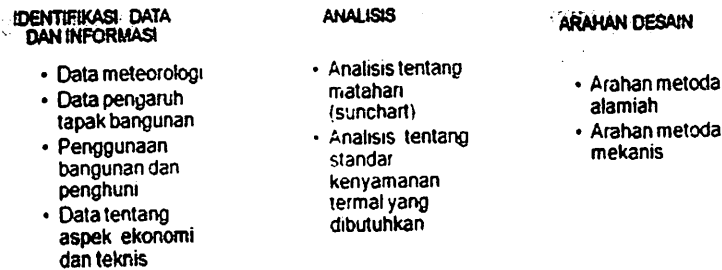
Tingkat dasar merupakan pendekatan rekayasa bangunan untuk termal dengan mendasarkan pada prinsip-prinsip perancangan dasar dengan melakukan olahan pada rekayasa komponen dasar bangunan. Komponen tersebut meliputi rekayasa dasar pada bukaan, bentuk masa, kulit bangunan termasuk material dan tekstur dan pembayangan serta rekayasa site.

Pengolahan komponen dasar bangunan tersebut ditujukan untuk mencapai arahan pengendalian iklim ruang yang ditetapkan. Sebagai contoh, pada komponen bukaan, arahan desain bukaan ditetapkan berdasarkan tingkat isolasi dan tingkat infiltrasi yang ditetapkan.

Metoda penetapan arahan desain telah dikembangkan seperti yang telah dilakukan oleh Lippsmiere, Morris dan Markus, Mahoney dan Givoni serta Olgay.

7.2.1. Metoda untuk menetapkan arahan desain bangunan untuk kenyamanan termal berdasarkan kerangka langkah penetapan desain bangunan Lippsmiere

Lippsmiere, 1990 membagi dalam tiga tahap. Tahap-tahap tersebut meliputi tahap pengumpulan data dan penetapan fungsi, analisis, penetapan keputusan. Secara skematis Lippsmiere menggambarkan tahapan tersebut pada gambar berikut.



Gambar 116 Kerangka langkah penetapan arahan desain menurut Lippsmiere

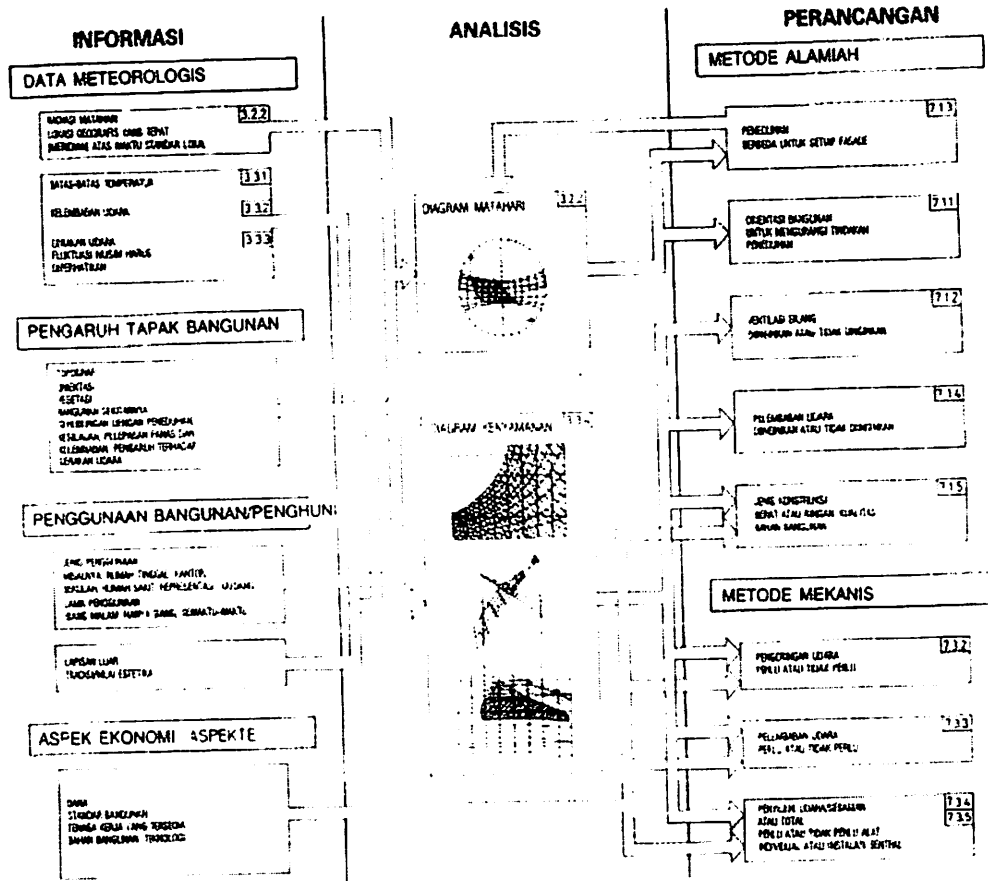
Data meteorologi yang harus diidentifikasi adalah data tentang radiasi matahari, data tentang posisi geografis lokasi site serta meredian waktu amatan. Dalam data meteorologi juga diidentifikasi batas-batas temperatur, kelembaban, pergerakan udara dan fluktuasi musim. Data pengaruh tapak terhadap bangunan meliputi topografi, orientasi, vegetasi, peneduhan, pelepasan panas, bangunan sekitar, kelembaban dan angin. Data tentang penggunaan bangunan dan penghuni meliputi fungsi bangunan dan lama penggunaan, bentuk aktivitas dan pakaian. Selain hal tersebut juga perlu diidentifikasi tuntutan citra bangunan baik berdasarkan pada tipologi fungsi bangunan atau nilai estetika. Data tentang aspek ekonomi dan teknis meliputi jumlah dana yang disediakan baik investasi awal, operasional maupun pemeliharaan, standar bangunan, ketersediaan sumber daya manusia yang mengerjakan bangunan dan material serta teknologi.

Analisis yang dikerjakan meliputi analisis diagram matahari dan analisis kenyamanan termal. Analisis diagram matahari ditujukan untuk menentukan posisi matahari dan sudut jatuh matahari serta orientasi radiasi matahari. Analisis kenyamanan termal ditujukan untuk mendapatkan rentang nyaman termal.

Analisis ini dapat menggunakan diagram Morris & Markus, Tabel Mahoney, diagram Givoni atau diagram Olgyay.

Berdasarkan hasil analisis kemudian ditetapkan rekomendasi arahan desain yang meliputi :

1. Arahan desain alamiah
 - a) Orientasi bangunan
 - b) Peneduhan
 - c) Ventilasi
 - d) Pelembaban atau pengeringan udara
 - e) Jenis konstruksi
 - f) Kualitas material berkaitan dengan sifat termalnya
2. Arahan desain mekanis
 - a) Pengeringan
 - b) Pelembaban
 - c) Penyejukan
 - d) Penetapan sistem mekanis, tersentral atau individual dsb.



Gambar 117 Skema tahapan penetapan arahan desain untuk kenyamanan termal menurut Lippsmiere

(Sumber: Lippsmiere, 1990)

7.2.2. Diagram Kenyamanan termal SET, Discomfort dan w dalam Morris & Markus

Diagram kenyamanan termal SET, discomfort dan w dalam Morris & Markus adalah diagram yang dapat digunakan untuk menentukan standar rentang nyaman termal berdasarkan indeks termal SET, discomfort dan w. Selain untuk menentukan standar nyaman termal diagram-diagram Morris & Markus juga dapat digunakan untuk mengevaluasi kualitas kenyamanan termal ruang yang dirasakan oleh seseorang dengan aktivitas tertentu, pakaian dengan tingkat insulasi tertentu dalam iklim ruangnya.

Diagram-diagram Morris & Markus terdiri dari dua jenis. Pertama adalah diagram to, dan yang ke dua adalah diagram SET, disc dan w. Diagram to adalah diagram yang digunakan untuk mencari *temperature operatif* (to) dari kondisi dua kombinasi suhu udara (ta) dan suhu radiasi rata-rata (tmrt). To akan sama dengan ta atau tmrt bila ta sama dengan tmrt. Diagram to dapat dilihat dalam pendalaman pembaca pada buku Morris & Markus.

Diagram SET, discomfort dan w digunakan untuk mendapatkan tingkat kenyamanan termal berdasarkan pada indeks termal standar efektif temperatur (SET), discomfort dan w . Contoh diagram SET, discomfort dan w dapat dilihat pada Morris & Markus.

Langkah mencari tingkat kenyamanan termal dengan diagram tersebut adalah sebagai berikut:

Menggunakan diagram SET, discomfort dan w untuk mengevaluasi ruang

Cara menggunakan diagram SET, discomfort dan w dalam Morris & Markus sebagai berikut:

1. Kumpulkan data dari variabel kenyamanan termal SET. Variabel tersebut meliputi dua variabel fisiologis dan empat variabel fisik klimatis ruang. Dua variabel fisiologis meliputi tingkat metabolisme yang dilihat dari aktivitas penghuni ruang dan variabel tingkat insulasi yang dilihat dari pakaian penghuni ruang. Empat variabel fisik klimatis ruang meliputi suhu udara (t_a), suhu radiasi rata-rata (t_{mrt}), kelembaban relatif (rh) dan kecepatan angin (v).
2. Gunakan diagram t_o untuk mencari temperatur operatif (t_o) bila suhu udara tidak sama dengan suhu radiasi rata-rata. Cara menggunakan diagram adalah sebagai berikut:
 - a. Pilih diagram t_o yang tepat sesuai dengan kecepatan angin (v) ruang dalam m/detik dan tingkat metabolisme dilihat dari penghuni ruang dalam satuan tingkat metabolisme (*level of metabolism*). Tingkat metabolisme diukur dari perbandingan jumlah energi yang dihasilkan akibat proses metabolisme aktivitas tertentu persatu satuan luas permukaan badan dengan jumlah energi yang dihasilkan akibat proses metabolisme aktivitas duduk persatusatuan luas permukaan badan. Jumlah energi yang dihasilkan akibat metabolisme duduk adalah sebesar 58 wat/m^2 . Sebagai contoh, tingkat metabolisme orang duduk adalah satu. Karena orang duduk menghasilkan energi dengan 58 watt/m^2 dibagi 58 wat/m^2 sama dengan 1. Tabel dalam Morris dan Markus dapat memberikan gambaran tentang tingkat metabolisme aktivitas penghuni ruang yang akan diukur.
 - b. Cari t_o dengan mempertemukan dua sumbu t_a dan t_{mrt} . Lakukan interpolasi sehingga t_o ditemukan.
3. Gunakan diagram SET, discomfort dan w dengan langkah sebagai berikut:
 - a. Pilih diagram SET, discomfort dan w yang sesuai dengan data kecepatan angin, tingkat metabolisme dan tingkat insulasi pakaian. Tingkat insulasi pakaian dapat dilihat dari cara berpakaian penghuni ruang. Tabel dalam

Morris&Markus dapat memberikan gambaran tingkat insulasi pakaian dari beberapa cara berpakaian tertentu.

Namun demikian perlu disadari bahwa tabel tersebut didapat dari data pakaian dengan kualitas dan sifat bahan yang berbeda. Berdasarkan penelitian Sugini, 2007 yang mendasarkan daftar tingkat insulasi pakaian ASHRAE dan data pakaian yang dikenakan 1040 penghuni ruang di Yogyakarta didapat bahwa rata-rata tingkat insulasi pakaian penghuni ruang amatan sebesar kurang lebih 0,6 met. Data ini tentunya perlu diuji lagi dengan penelitian yang melibatkan penghuni dengan variasi pakaian yang lebih luas.

- b. Mencari indeks kenyamanan termal SET dengan cara menemukan titik SET pada diagram yang bersesuaian. Titik SET ditemukan dengan cara mempertemukan garis t_o atau t_a (bila $t_a = t_{mrt}$) dengan garis kelembaban. Bila titik SET tidak tepat pada garis SET yang ada, maka dilakukan interpolasi berdasarkan dua nilai SET yang mengapit terdekat dengan titik yang ditemukan sehingga ditemukan nilai SET yang dicari.
- c. Mencari indeks termal discomfort dengan cara menemukan titik discomfort hasil pertemuan garis t_o atau t_a (bila $t_a = t_{mrt}$) dengan garis kelembaban yang sesuai dengan kondisi ruang. Bila titik discomfort tidak tepat pada garis garis discomfort yang ada dilakukan interpolasi berdasar pada dua garis discomfort terdekat. Bila nilai yang ditemukan terletak antara nilai indeks discomfort -0,5 sampai dengan +0,5 berarti secara teoritis ruang tersebut nyaman dan disenangi oleh 80% penghuni ruang. Atau dapat dikatakan dilihat dari indeks termal discomfort maka ruang yang dievaluasi berhasil dengan tingkat keberhasilan 80%. Bila ditemukan nilai indeks discomfort antara -1 sampai dengan -0,5 atau +0,5 sampai dengan +1 maka ruang secara teoritis dapat dikatakan masih nyaman dan disenangi oleh 70% penghuni ruang. Dengan kata lain, berhasil dengan tingkat keberhasilan 70%. Bila ruang mempunyai nilai indeks termal discomfort di bawah -1 atau di atas +1 maka ruang tidak nyaman dan gagal.
- d. Hal yang sama dilakukan untuk mencari indeks termal w . Dari nilai w atau w_{et} kita dapat memperkirakan rata-rata persentase luasan permukaan badan penghuni ruang yang berkeringat.

Penggunaan diagram SET, discomfort dan w untuk kepentingan penetapan standar kenyamanan termal untuk arahan desain ruang

Langkah yang dilakukan untuk menggunakan diagram SET, discomfort dan w untuk kepentingan penetapan standar kenyamanan termal untuk arahan desain adalah sebagai berikut:

1. Identifikasi tingkat metabolisme penghuni ruang berdasarkan jenis aktivitas penghuni ruang yang akan didesain. Identifikasi dapat menggunakan tabel tingkat metabolisme aktivitas dalam Morris & Markus.
2. Identifikasi tingkat insulasi pakaian penghuni ruang berdasarkan cara berpakaian. Identifikasi menggunakan tabel tingkat insulasi berpakaian dalam Morris & Markus.
3. Tetapkan rentang nyaman termal dengan menetapkan indeks ketidaknyamanan termal discomfort yang diperkirakan menjadi harapan penghuni ruang. Berdasarkan penelitian Sugini, 2007 dapat disimpulkan bahwa harapan penghuni ruang terhadap rentang nyaman termal ditentukan oleh gaya hidup termal kesehariannya dan kondisi iklim ruang luar yang dihadapi. Orang yang tinggal di iklim ruang luar hangat atau panas mengharapkan ruang dalamnya sejuk. Demikian sebaliknya orang yang tinggal di iklim ruang luar sejuk atau dingin mengharapkan ruang dalamnya lebih hangat. Bila harapan tersebut ditransformasikan kepada indeks ketidaknyamanan termal discomfort maka harapan ruang sejuk dapat disetarakan pada rentang discomfort antara 0 sampai dengan -0,5. Demikian sebaliknya harapan termal ruang hangat dapat disetarakan dengan indeks ketidaknyamanan termal discomfort antara 0 sampai dengan +0,5.
4. Setelah rentang indeks discomfort ditentukan, tentukan rentang SET yang masuk dalam rentang indeks discomfort nyaman tersebut, kemudian berdasarkan nilai SET yang didapat simulasikan beberapa alternatif kombinasi empat variabel iklim ruang dalam suhu udara (t_a), suhu radiasi rata-rata (t_{mrt}), kelembaban relatif (rh) dan kecepatan angin dengan menggunakan diagram SET, discomfort dan w . Alternatif kombinasi empat variabel iklim ruang tersebut harus masuk pada nilai indeks discomfort yang ditetapkan. Simulasi ini akan menghasilkan kombinasi rentang empat variabel iklim t_a , t_{mrt} , rh dan v yang saling terkait satu dengan lainnya. Rentang ini nantinya akan menjadi standar iklim ruang dalam yang akan didesain.

7.2.3. Tabel Mahoney

Tabel Mahoney dapat digunakan untuk merumuskan arahan desain dasar bangunan dengan analisis input data tentang lokasi, suhu udara, kelembaban dan curah hujan serta angin. Arahan rancangan dasar bangunan akan meliputi arahan tentang layout, *spacing*, pergerakan udara, bukaan, dinding, atap, *outdoor sleeping* dan pertahanan terhadap hujan.

Data tentang lokasi meliputi data garis lintang atau *latitude*, garis bujur atau longitude dan altitude atau tinggi matahari.

Data tentang suhu udara meliputi suhu maksimum rata-rata bulanan, suhu minimum rata-rata bulanan dan rentang perbedaan antar nilai suhu maksimum rata-rata bulanan dengan nilai suhu minimum rata-rata bulanan. Nilai suhu tersebut di atas dalam satuan derajat Celcius. data tentang kelembaban relatif meliputi data kelembaban relatif maksimum rata-rata bulanan, data kelembaban relatif minimum rata-rata bulanan, kelembaban rata-rata. Data tentang kelembaban relatif maksimum rata-rata bulanan didapat dengan mengukur kelembaban pada jam paling lembab dalam satu harinya. Adapun data tentang kelembaban relatif minimum rata-rata bulanan di dapat dengan mengukur kelembaban relatif pada jam paling kering dalam satu harinya. Data tentang angin meliputi data kecepatan dan arah. Secara detail dapat dilihat pada contoh print out hasil identifikasi dengan software sebagai berikut.

Tabel 20 Contoh hasil identifikasi data untuk analisis dengan tabel Mahoney

Prof. Dr. Grimme, ITT, SS00

Use of Mahoney Tabel for Architectural Decision

From Weather Analyse towards Architectural Recommendations

Input

0. Data

Location
Longitude
Latitude
Altitude

Yogyakarta, Indonesia
7°47' S
110°28' O
107



1. Air temperature °C
Monthly mean max.
Monthly mean min.
Monthly mean range

Jan	Feb	March	Apr	May	Jun	July	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
31.6	31.2	32.2	32.0	32.5	32.6	32.0	32.2	33.1	34.0	33.0	31.9
23.0	22.8	23.2	23.4	22.7	22.2	20.6	20.6	21.8	22.7	23.8	23.4
8.5	8.4	9.0	8.2	9.8	10.4	11.4	11.6	11.2	11.2	10.1	8.5

2. Relative Humidity %

Monthly mean max. a. m.
Monthly mean min. p. m.
Average
Humidity group

Jan	Feb	March	Apr	May	Jun	July	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
95	96	86	85	84	84	83	83	82	81	84	84
65	67	62	61	59	56	52	51	50	52	63	65
80	82	70	78	77	75	73	72	71	72	74	80
4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4

Group 1 < 30 % Group 3 50 < 70 %
Group 2 30 < 50 % Group 4 > 70 %

Rainfall, mm

421.8	329.3	283.0	183.3	44.8	49.5	5.3	4.1	0.6	48.0	230.8	323
Total rainfall in a year											
1926.1 mm											

Wind, prevailing
Wind, secondary

SW	SW	SW	SW	E	SE	S	S	S	SW	SW	SW
W	W	S&W	E	SE&S	E&S	SE&SW	SE&SW	SE&SW	S&W	S&W	S&W

(Sumber: Etik, 2008 berdasarkan modifikasi dari Grimme)

Data tersebut di atas dianalisis sehingga menghasilkan diagnosis mengenai tekanan termal, pemaknaan dengan indikator Tekanan termal siang dan malam.

Tekanan termal siang dan malam (*day thermal stress, night thermal stress*). Mempunyai tiga kategori kualitas tekanan termal yaitu nyaman (*comfortable, c*), panas (*hot, h*), dingin (*cold, c*). Sebagai contoh dapat dilihat hasil analisis data hasil masukan tabel sebelumnya dapat dilihat sebagai terinci dalam tabel berikut.

Tabel 21 Contoh hasil analisis dengan Tabel Mahoney

4. Comfort limits

according to annual mean temperature 27.3 °C

	Jan	Feb	March	Apr	May	June	July	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
Monthly mean max.	31.6	31.2	32.2	32.6	32.5	32.5	32.9	32.2	33.1	34.0	33.9	31.9
Humidity group	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
Day comfort : upper	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27
Day comfort : lower	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22
Monthly mean min.	23.9	22.8	23.2	23.4	22.7	22.2	20.6	20.6	21.8	22.7	23.8	23.4
Night comfort : upper	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21
Night comfort : lower	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17
Thermal Stress : day	Hot	Hot	Hot	Hot	Hot	Hot	Hot	Hot	Hot	Hot	Hot	Hot
Thermal Stress : night	Hot	Hot	Hot	Hot	Hot	Hot	Neutral	Neutral	Hot	Hot	Hot	Hot

	Annual mean temperature			Annual mean temperature			
	>20	>15<20	<15	>20	>15<20	<15	
Upper comfort limits, day							
Humidity group	1	34	32	30	25	23	21
	2	31	30	27	24	22	20
	3	29	28	26	23	21	19
	4	27	25	24	21	20	18
Lower comfort limits, day							
Humidity group	1	26	23	21	17	14	12
	2	25	22	20	17	14	12
	3	23	21	19	17	14	12
	4	22	20	18	17	14	12
Upper comfort limits, night							
Humidity group	1	25	23	21	17	14	12
	2	24	22	20	17	14	12
	3	23	21	19	17	14	12
	4	21	20	18	17	14	12
Lower comfort limits, night							
Humidity group	1	17	14	12	17	14	12
	2	17	14	12	17	14	12
	3	17	14	12	17	14	12
	4	17	14	12	17	14	12

5. Indicators

	Jan	Feb	March	Apr	May	June	July	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Totals
Humid : H1													0
H2													0
H3	+	+	+								+	+	5
Arid : A1													0
A2													0
A3													0

(Sumber: Etik,2008 berdasarkan modifikasi dari Grimme)

Pemaknaan kategori yang didapat berdasarkan kebutuhan akan pergerakan udara, kebutuhan pertahanan terhadap hujan, kebutuhan tentang termal kapasitas dan *outdoor sleeping* serta kebutuhan akan pertahanan terhadap dingin.

Nilai dari masing-masing indikator pada setiap bulan tersebut kemudian akan digunakan sebagai dasar untuk menentukan hasil arahan desain. Seperti yang telah dijelaskan di depan hasil arahan desain tersebut akan meliputi layout, *spacing*, pergerakan udara, bukaan, dinding, atap dan *outdoor sleeping* serta kelengkapan eksternal bangunan lain. Tabel berikut adalah contoh hasil rekomendasi.

Tabel 22 Contoh hasil rekomendasi berdasarkan analisis dengan Tabel Mahoney

Air movement	H1	3-12			Rooms single banked, permanent provision for air movement	+
	H2	1-2	A1	0-5	Rooms single banked, permanent provision for air movement	
	H2	1-2	A1	6-12	Double banked rooms, temporary provision for air movement	
	H3	0	H2	2-12	Double banked rooms, temporary provision for air movement	
	H3	0	H2	0-1	No air movement requirement	
Openings	A1	0-1	A3	0	Large openings, 60 - 80 %	+
	A1	0-1	A3	11-12	Very small openings, 10 - 20 %	
	A1	2-5			Medium opening, 25 - 40 %	
	A1	6-10			Small openings, 15 - 25 %	
	A1	11-12	A3	0-3	Very small openings, 10 - 20 %	
	A1	11-12	A3	4-12	Medium openings, 25 - 40 %	
	H1	3-12			N/S Windows at body height in windward side	+
	H1	1-2	A1	0-5	N/S Windows at body height in windward side	
	H1	1-2	A1	6-12	As above, openings also in internal walls	
	H1	0	H2	2-12	As above, openings also in internal walls	
	A3	0-2			Exclude direct sunlight	+
	H3	2-12			Windows : provide protectin from rain	+

Indicators for general applications	Thermal Stress		Rain-fall	Humidity group	Monthly mean range	Recommendation :
	Day	Night				
Humid	H1a	Hot		4		Air movement essential
	H1b	Hot		2, 3	<10°C	Air movement essential
	H2	Neutr.		4		Air movement essential
	H3			> 200 mm		Rain protection necessary
Arid	A1			1, 2, 3	>10°C	Thermal capacity necessary
	A2a		Hot	1, 2		Out door sleeping desirable
	A2b	Hot	Neutr.	1, 2	>10°C	Out door sleeping desirable
	A3	Cold				Protection from cold

Recommended specifications according to indicators summe

Layout	A1	0-10			Orientation N and S (long axis E-W)	+
	A1	11, 12	A3	3-12	Orientation N and S (long axis E-W)	
	A1	11, 12	A3	0-4	Compact courtyard planning	
Spacing	H1	11, 12			Open spacing for breeze penetration	+
	H2	2-10			Open spacing for breeze penetration, but protection from hot and cold wind	
	H3	0-1			Compact lay-out of estates	

Lanjutan Tabel 22

Walls	A1	0-2		Light walls, low thermal capacity	+
	A1	3-12		Heavy walls, over 8 h time-lag	
Roofs	A1	0-5		Light, insulated roofs	+
	A1	6-12		Heavy roofs, over 8 h time-lag	
Out-door sleeping	A2	2-12		Space for out-door sleeping required	
Rainfall protection	F3	3-12		Protection from heavy rain necessary	+

according to Mahoney, here according to Koenigsberger/Ingersoll et al

Adapted and translated in English from the Work of Prof. Dr. F. Grimme, Institute for Technologie in the Tropics, University of Applied Science, Cologne

(Sumber: Etik, 2008 berdasarkan modifikasi dari Grimme)

Berikut contoh lain penggunaan Tabel Mahoney untuk kabupaten Bantul. Data yang dimasukkan adalah data sekunder.

Tabel 23 Input data kabupaten Bantul dan hasil print outnya

Longitude	110°											
Latitude	8°											
Altitude	45 m											

Air temperature °C	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	High AMT	
Monthly mean max.	25	32	34	27	29	30	32	32	31	31	27	24	34	27,5
Monthly mean min.	21	28	31	25	27	26	29	30	28	29	26	22	21	13
Monthly mean range	4	4	3	2	2	4	3	2	3	2	1	2		Low AMR

Relative humidity %	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
Monthly mean max am	79	84	82	81	91	94	79	84	89	90	92	94
Monthly mean min pm	71	69	67	74	73	70	68	71	76	77	78	72
Average	75	76,5	74,5	77,5	82	82	73,5	77,5	82,5	83,5	85	83
Humidity group	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4

Rain and wind	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Total
Rainfall mm	306	338	297	167	75	43	16	14	14	82	178	269	1799
Wind, prevailing	2,6	3,5	7,6	3,9	9,2	12,8	13,8	5,6	7,2	4	5,8	10,8	
Wind, secondary	10,7	5,8	9,3	8,6	14,8	17,7	20,6	10,8	13,4	7,2	10,2	18,7	

(Sumber: tugas kelas, 2010)

Selanjutnya dari data tersebut dapat dilihat print out diagnosis, pemaknaan dan nilai indikator hasil sebagai berikut.

Tabel 24 Contoh hasil print out analisis berdasarkan Tabel Mahoney dengan data sekunder kabupaten Bantul

Diagnosis °C	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	AMT
Monthly mean max	25	32	34	27	29	30	32	32	31	31	27	24	27,5
Day comfort, upper	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	
Day comfort, lower	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	
Thermal stress, day	O	H	H	O	H	H	H	H	H	H	O	O	
Monthly mean min	21	28	31	25	27	26	29	30	28	29	26	22	
Night comfort, upper	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	
Night comfort, lower	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	
Thermal stress, night	O	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	

H=Hot
O=Comfort
C=Cool

Comfort limits Humidity group	AMT > 20°C		AMT 15-20°C		AMT < 15°C		For AMT = 27,5					
	Day		Night		Day		Night		Day		Night	
	Lower	Upper	Lower	Upper	Lower	Upper	Lower	Upper	L	U	L	U
1	26	34	17	25	23	32	14	23	21	30	12	21
2	25	31	17	24	22	30	14	22	20	27	12	20
3	23	29	17	23	21	28	14	21	19	26	12	19
4	22	27	17	21	20	25	14	20	18	24	12	18

Meaning	Indicator	Thermal stress		Rainfall	Humidity group	Monthly mean range
		Day	Night			
Air movement essential	H1	H			4	
		H			2-3	<10°C
Air movement desirable	H2	O			4	
Rain protection necessary	H3			>200mm		
Thermal capacity necessary	A1				1-3	>10°C
Outdoor sleeping desirable	A2		H		1-2	
		H	O		1-2	>10°C
Protection from cold	A3	C				

Indicators	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Total
H1		1	1		1	1	1	1	1	1			8
H2	1			1							1	1	4
H3	1	1	1									1	4
A1													0
A2													0
A3													0

(Sumber: tugas kelas, 2010)

Dari hasil analisis didapat rekomendasi arahan desain seperti tabel berikut.

Tabel 25 Rekomendasi hasil analisis dengan Tabel Mahoney untuk data sekunder kabupaten Bantul

Indicator totals from data sheet						kabupaten bantul
H1	H2	H3	A1	A2	A3	
8	4	4	0	0	0	
Layout						
			0-10			X
			11-12		5-12	Orientation north and south (long axis east-west)
					0-4	Compact courtyard planning
Spacing						
11-12						Open spacing for breeze penetration
2-10						X As above, but protection from hot and cold wind
0-1						Compact layout of estates
Air movement						
3-12						X Rooms single banked, permanent provision for air movement
1-2			0-5			Rooms double banked, temporary provision for air movement
			6-12			Rooms double banked, temporary provision for air movement
0	2-12					No air movement requirement
	0-1					No air movement requirement
Openings						
			0-1		0	X Large openings, 40-80%
			11-12		0-1	Very small openings, 10-20%
Any other conditions						Medium openings, 20-40%
Walls						
			0-2			X Light walls, short time-lag
			3-12			Heavy external and internal walls
Roofs						
			0-5			X Light, insulated roofs
			6-12			Heavy roofs, over 8h time-lag
Outdoor sleeping						
				2-12		Space for outdoor sleeping required
Rain protection						
		3-12				X Protection from heavy rain necessary
Size of opening						
			0-1		0	X Large openings, 40-80%
					1-12	Medium openings, 25-40%
			2-5			Medium openings, 25-40%
			6-10			Small openings, 15-25%
					0-3	Very small openings, 10-20%
			11-12		4-12	Medium openings, 25-40%
Position of openings						
3-12						X in north and south walls at body height on windward side
1-2			0-5			As above, openings also in internal walls
			6-12			As above, openings also in internal walls
0	2-12					As above, openings also in internal walls
Protection of openings						
					0-2	X Exclude direct sunlight
		2-12				X Provide protection from rain
Walls and floors						
			0-2			X Light, low thermal capacity
			3-12			Heavy, over 8h time-lag
Roofs						
10-12			0-2			Light, reflective surface, cavity
			3-12			Light, well insulated
0-9			0-5			X Light, well insulated
			6-12			Heavy, over 8h time-lag
External features						
				1-12		Space for outdoor sleeping
		1-12				X Adequate rainwater drainage

(Sumber: tugas kelas, 2010)

7.2.4. Diagram Olgay

Seperti halnya Tabel Mahoney, penggunaan Tabel Olgay juga meliputi tiga tahap. Tahap tersebut meliputi input data, analisis dan hasil rekomendasi. Data yang diinput dalam diagram Olgay lebih sederhana. Data tersebut meliputi:

1. Suhu udara maksimum rata-rata dan kelembaban minimum rata-rata.
2. Suhu udara minimum rata-rata dan kelembaban maksimum rata-rata.

Masing-masing data tersebut dimasukkan untuk setiap bulannya sepanjang tahun amatan.

Data tersebut kemudian digunakan sebagai input analisis. Arahannya untuk daerah tertentu akhirnya dihasilkan dengan melihat hasil dalam diagramnya. Sebagai contoh dapat dilihat hasil simulasi berikut.

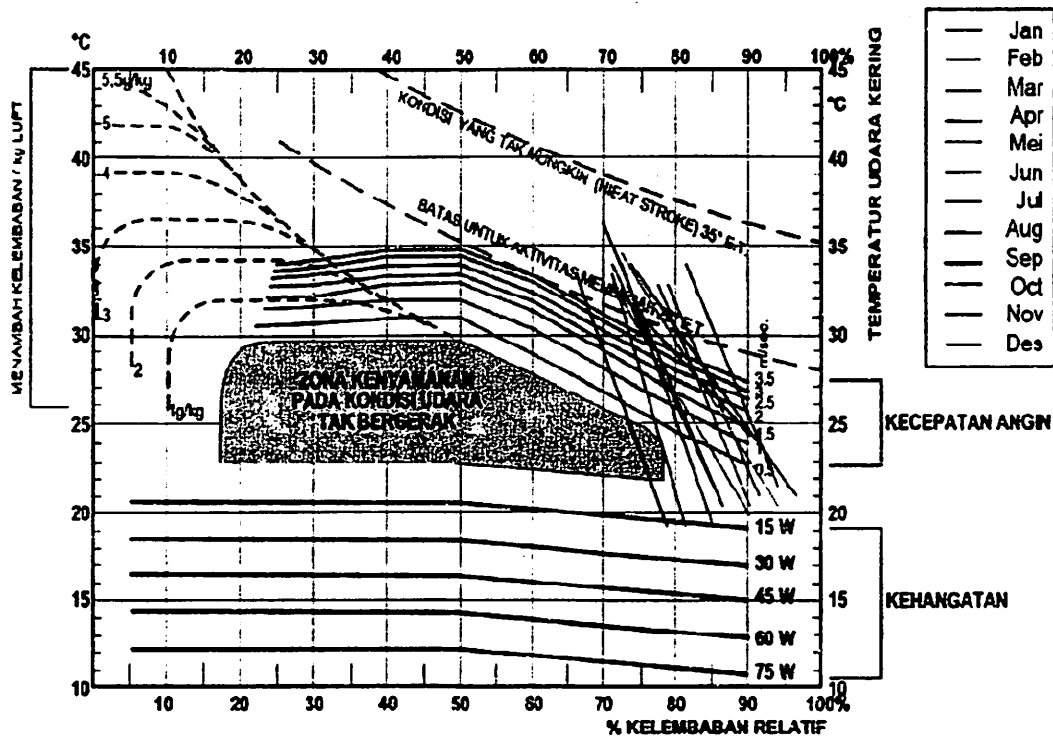
Tabel 26 *Input data bioklimatik kabupaten Sleman*

DATA BIOKLIMATIK SLEMAN

	Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
T Max Rata-rata (°C)	32,6	34,4	32,4	33,0	34,0	33,0	34,0	33,4	34,0	36,2	34,0	34,0
RH Min Rata-rata (%)	73	73	77	78	71	72	73	71	67	70	74	86
T Min Rata-rata (°C)	24,4	20,8	20,2	21,0	20,8	20,0	19,4	19,4	19,0	20,4	21,0	21,6
RH Max Rata-rata (%)	91	94	90	91	87	90	85	81	79	86	96	94

(Sumber: simulasi tugas di kelas, 2010)

Dari input data tersebut di atas analisis dengan diagram Olgay dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 118 Diagram Olgay untuk input data kabupaten Sleman berdasarkan data sekunder

(Sumber: simulasi tugas di kelas, 2010)

Dari hasil analisis tersebut di atas dapat dirumuskan arahan desain sebagai berikut:

1. Kecepatan angin di kabupaten Sleman berdasarkan data yang dimasukkan berada di bawah rata-rata zone nyaman. Kondisi ini mengantar pada kesimpulan pentingnya usaha peningkatan kecepatan angin.
2. Ventilasi dan bukaan lainnya perlu diperbanyak.
3. Material dipilih berdasarkan sifat kapasitas panas yang menyebabkan tidak terjadinya penyimpanan panas.
4. Jarak antar bangunan perlu diperbesar sehingga sirkulasi udara menjadi baik.

7.2.5. Diagram Givoni

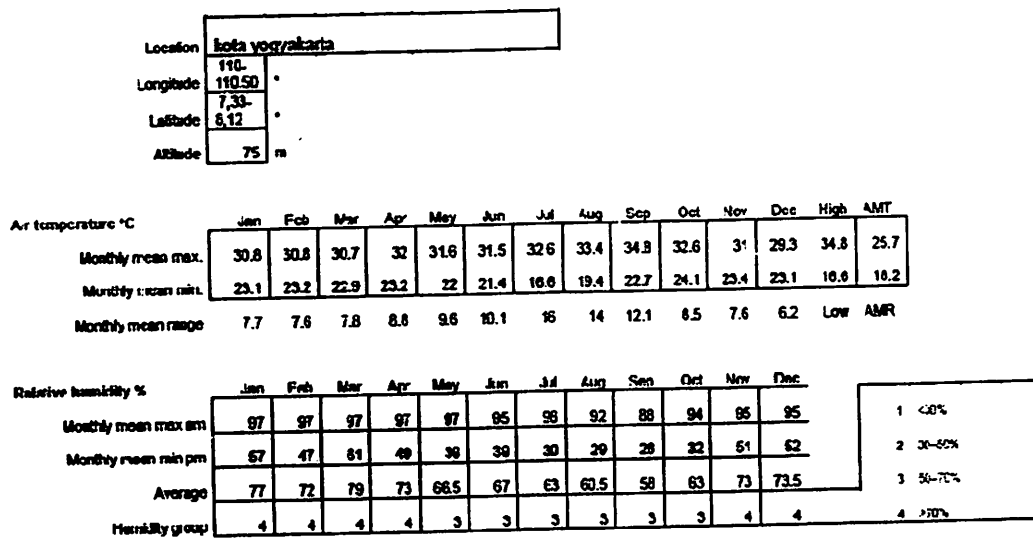
Diagram Givoni lebih ditujukan untuk arahan desain dengan pendekatan *level* dua atau sistem pasif dan pendekatan desain *level* tiga atau mekanikal. Seperti halnya metoda yang lain maka penggunaan Tabel Givoni juga memerlukan data input. Data input tersebut meliputi:

1. Suhu udara maksimum rata-rata bulanan dan kelembaban relatif minimum rata-rata bulanan.
2. Suhu udara minimum rata-rata bulanan dan kelembaban relatif maksimum rata-rata bulanan.

Dari dua pasang data tersebut di atas maka akan dihasilkan rekomendasi tentang sistem pasif dan sistem mekanikal yang disarankan. Sistem pasif akan meliputi antara sistem pendinginan dengan ventilasi, evaporasi, radiasi dan efek massa. Sedangkan sistem mekanikal antara lain sistem pengendalian kelembaban, sistem pengendalian udara dan sistem pemanasan. Contoh hasil analisis dapat dilihat pada gambar hasil simulasi tugas mahasiswa di kelas Sugini, 2008 berikut:

Tabel 27 Input data pada simulasi Tabel Givoni untuk kota Yogyakarta

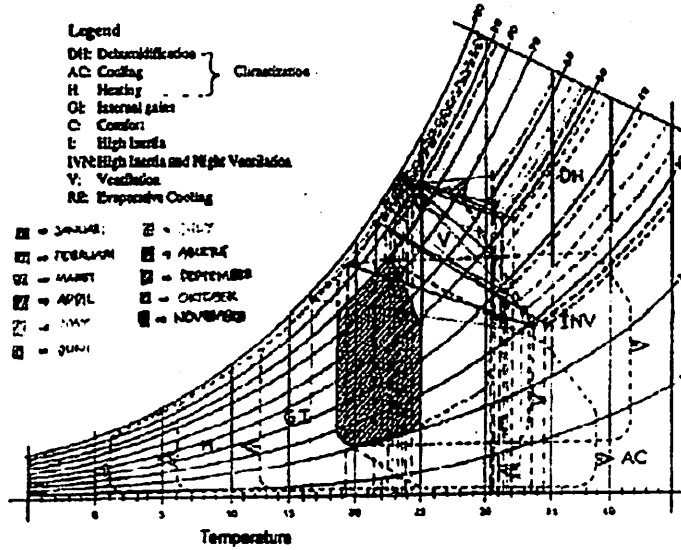
Diagram Givoni Kota Yogyakarta, 2008



(Sumber: simulasi tugas di kelas, 2008)

Berdasarkan input data tersebut di atas, didapat hasil diagram Givoni yang menggambarkan hasil analisis input data diagram Givoni untuk satu tahun.

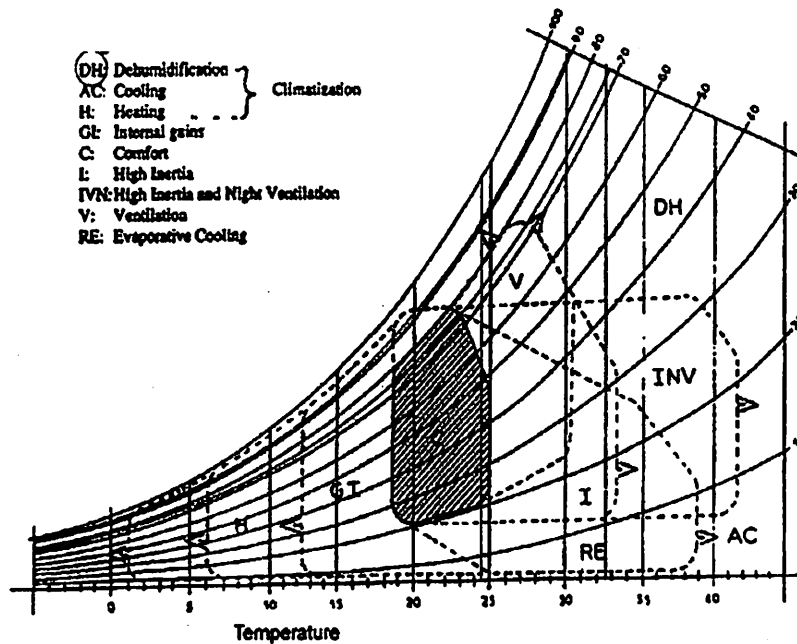
Diagram Givoni Kota Yogyakarta. 2008



Gambar 119 Contoh hasil analisis dengan diagram Givoni di daerah Yogyakarta selama satu tahun

(Sumber: simulasi tugas di kelas, 2011)

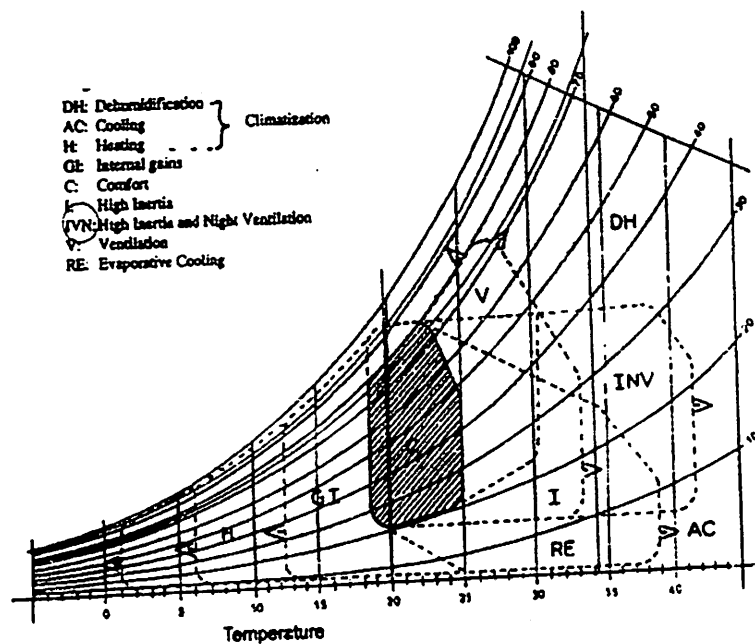
januari



Gambar 120 Contoh hasil analisis dengan diagram Givoni di daerah Yogyakarta pada bulan Januari

(Sumber: simulasi tugas di kelas, 2011)

februari



Gambar 121 Contoh hasil analisis dengan diagram Givoni di daerah Yogyakarta pada bulan Febuari

(Sumber: simulasi tugas di kelas, 2011)

7.3. Penerapan Model dalam Proses Desain pada Umumnya

Dalam praktek berarsitektur, proses desain secara keseluruhan dapat dibagi dalam tiga fase yaitu *programming - planning - design* atau *pemrograman-perencanaan-desain* (Wade, dalam Snyder dan Catenes, 1991). Banyak penjelasan tentang apa dan bagaimana yang seharusnya terjadi dalam proses pemrograman dan dan perencanaan. Namun pada intinya produk dari tahap tersebut adalah arahan desain. Arahan desain mulai yang bersifat abstrak berupa rumusan resep verbal sampai dengan resep terukur hingga rancangan skematis. Di dalam arahan desain tersebut akan termuat persyaratan-persyaratan ruang yang harus terpenuhi. Termasuk di dalamnya adalah persyaratan ruang yang berkenaan dengan pencapaian kenyamanan termal ruang.

Dalam penetapan persyaratan termal ruang, penggunaan model temuan penelitian Sugini, 2007 ini dapat diterapkan sebagai berikut. Pertama harus didapatkan data-data yang berkenaan dengan penghuni ruang tentang:

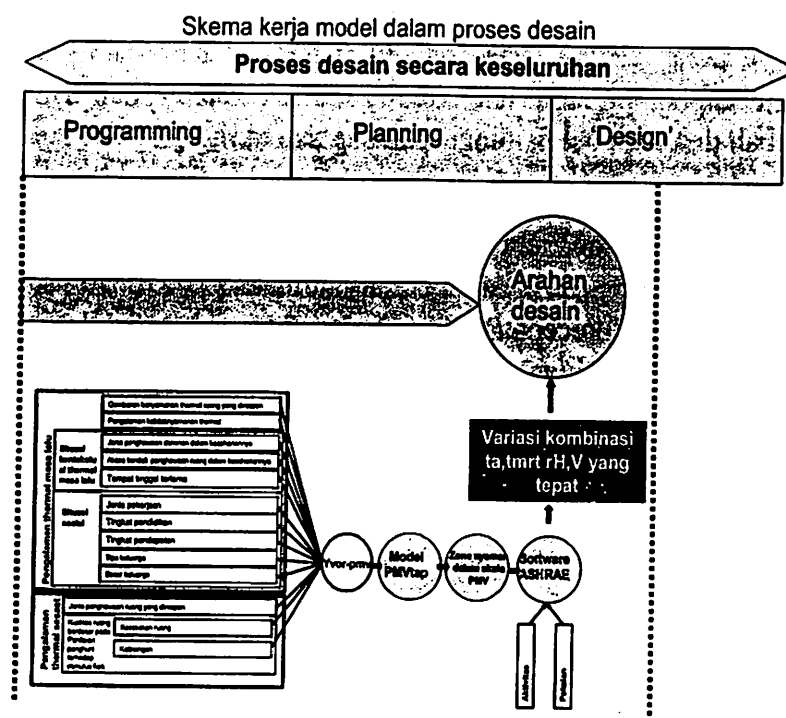
- 1) Bayangan gambaran kenyamanan termal calon penghuni tentang ruang yang akan didesain.
- 2) Pengalaman ketidaknyamanan termal calon penghuni ruang

- 3) Situasi kontekstual termal masa lalu dengan parameter-parameter sesuai model yang telah dijelaskan sebelumnya.
- 4) Status sosial calon penghuni ruang dengan parameter-parameter sesuai model yang telah dijelaskan di atas.
- 5) Jenis penghawaan ruang yang didesain
- 6) Kualitas ruang persepsual yang berkaitan dengan kualitas:
 - a) Kepadatan orang dan atau barang.
 - b) Kebisingan

Dari data-data ini dapat dihasilkan nilai $\hat{y}_{vor-PMV}$ (lihat model PMV_{tap} hasil penelitian Sugini, 2007 di bab sebelumnya). Dengan demikian kita dapat memperoleh model kenyamanan termal yang tepat untuk ruang yang akan di desain yaitu model $PMV_{tap} = PMV + \hat{y}_{vor-PMV}$ (lihat model-model indeks termal PMV_{tap} Sugini, 2007 di bab sebelumnya). Berdasarkan model tersebut, dengan menetapkan termal netral $PMV_{tap} = 0$ kita dapat memperoleh nilai termal netral dan zone nyaman berdasarkan skala PMV.

Tahap selanjutnya adalah mendapatkan data jenis aktivitas dan cara berpakaian calon penghuni. Berdasarkan dua data personal tersebut, dengan software ASHRAE dapat ditemukan variasi kombinasi suhu udara, suhu radiasi dan kelembaban serta kecepatan angin sebagai arahan desain.

Secara skematis diabstraksikan dalam skema berikut:



Gambar 122 Aplikasi model temuan dalam proses desain

(Sumber: Sugini, 2007)

7.4. Model PMVtap dan SNI 03-6572-2001

PERMEN PU, NO. 29/PRT/M/2006 menetapkan bahwa penetapan sistem ventilasi bangunan didasarkan pada SNI 03-6572-2001. Standar tersebut memuat standar yang berkaitan dengan kriteria-kriteria penetapan rentang nyaman termal (SNI 03-6572-2001 butir 5.1), rentang nyaman termal untuk Indonesia (SNI 03-6572-2001 butir 5.2), dan prosedur perencanaan teknis sistem pengkondisian udara (SNI 03-6572-2001 butir 6.1).

Dalam SNI 03-6572-2001 indeks termal yang digunakan adalah temperatur efektif (ET). ET adalah indeks termal akumulatif dari 3 parameter suhu udara (t_a), kelembaban udara (rh) dan kecepatan angin (v). Bila berpijak pada penelitian Sugini, 2007 maka nilai PMV ditransformasikan ke indeks termal *newET* (ET^*). Dalam ET^* nilai temperatur efektif ditentukan tidak hanya oleh 3 parameter t_a , rh , dan v tetapi juga oleh suhu radiasi rata-rata (t_{mr}). Dengan berasumsi bahwa karakteristik rata-rata t_{mrt} populasi penelitian Sugini, 2007 tidak berbeda secara signifikan dengan t_{mrt} rata-rata pada umumnya di Indonesia maka kemungkinan-kemungkinan aplikasi model PMVtap pada SNI 03-6572-2001 dapat dijelaskan sebagai berikut (Sugini, 2007).

Kriteria-kriteria kenyamanan termal model PMVtap dan SNI 03-6572-2001

Dokumen standar SNI 03-6572-2001 menunjukkan bahwa kriteria-kriteria penentu kenyamanan termal dalam standar tersebut ternyata berdasarkan pada variabel-variabel kenyamanan termal termo adaptif fisiologis. Kriteria tersebut berupa 4 variabel klimatis ruang suhu udara, suhu radiasi, kelembaban dan kecepatan angin, ditambah dua variabel fisiologis pakaian dan aktivitas.

Mengacu pada penelitian Sugini, 2007 dengan pendekatan termo adaptif psikologis Sugini, 2007 maka rentang nyaman termal seharusnya ditentukan tidak hanya berdasarkan pada 4 variabel fisik klimatis (suhu udara, suhu radiasi, kelembaban relatif dan kecepatan angin) dan 2 variabel fisiologis (aktivitas dan pakaian) saja tetapi juga ditentukan oleh variabel perbedaan psikologis (selanjutnya disebut variabel psikologis). Variabel psikologis meliputi kelompok variabel pengalaman termal masa lalu dan pengalaman termal sesaat.

Secara rinci dan lengkap dalam penelitian Sugini, 2007 telah diidentifikasi 21 parameter pengukur 15 variabel psikologis. Namun bila mengacu pada parameter-parameter yang berperan signifikan pada model PMVtap umum maka ada 6 parameter sebagai pengukur 5 variabel potensial yang harus dimasukkan dalam kriteria penetapan rentang nyaman termal. Parameter penentu perbedaan psikologis tersebut adalah (1) gambaran kenyamanan termal ruang yang direspon nyaman atau bukan, (2) gambaran kenyamanan termal ruang yang direspon agak hangat/hangat/panas atau bukan, (3) jenis penghawaan ruang yang direspon AC

atau bukan, (4) lama waktu tinggal di ruang AC rata-rata dalam kesehariannya, (5) tingkat pendapatan pribadi dan (6) kesesakan barang dalam ruang dilihat dari penilaian penghuni terhadap kepadatan barang dalam ruang nyaman atau bukan.

Berdasarkan model temuan Sugini, 2007 dapat diketahui bahwa kriteria-kriteria penentu rentang nyaman termal variabel psikologis untuk kondisi-kondisi spesifik akan berbeda-beda. Dengan demikian, bila standar SNI akan memuat aturan-aturan kondisi yang spesifik maka perlu disusun rincian kriteria penentuan rentang nyaman termal yang berbeda-beda untuk lingkup tertentu sesuai spesifikasi peruntukan aturan.

Variabel-variabel dan parameter-parameter yang diusulkan untuk diterapkan dalam SNI tersebut di atas tentunya perlu diuji terlebih dahulu pada populasi-populasi lain di Indonesia.

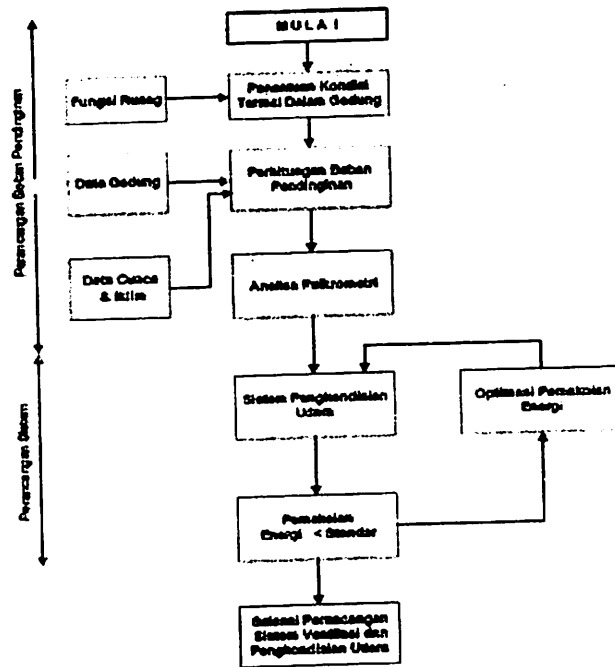
Rentang nyaman termal model PMVtap dan SNI 03-6572-2001

Berdasarkan dokumen SNI 03-6572-2001 ditetapkan bahwa rentang nyaman termal untuk Indonesia adalah temperatur efektif $25^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ dan kelembaban relatif $55\% \pm 10\%$. Termal netral efektif (ET) lingkup umum hasil penelitian Sugini, 2007 adalah 26°C ET (pembulatan dari nilai $25,7^{\circ}\text{C}$ ET). Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa termal netral standar SNI lebih rendah $\pm 1^{\circ}\text{C}$ ET dibanding termal netral pada lingkup populasi. Dari penelitian Sugini, 2007 juga dapat dilihat bahwa rentang nyaman termal dapat diperlebar dari $\pm 1^{\circ}\text{C}$ ET (lebar rentang nyaman termal 2°C ET) menjadi $\pm 1,5^{\circ}\text{C}$ ET (lebar rentang nyaman termal 3°C ET). Bila revisi standar ini dilakukan maka dapat diperkirakan dampak penghematan energinya akan cukup berarti.

Perhitungan yang dilakukan dengan menggunakan model PMVtap Sugini 2007 pada untuk kondisi spesifik ternyata mengantar pada kesimpulan bahwa rentang nyaman termal pada ruang-ruang spesifik bervariasi dan berbeda bila dibandingkan dengan rentang nyaman SNI 03-6572-2001. Terlebih pada ruang berAC. Pada ruang berAC diketahui bahwa batas tengah atau termal netral ternyata adalah $28,56^{\circ}\text{C}$ dan $26,25^{\circ}\text{C}$ ET. Lebih tinggi dari standar SNI 03-6572-2001. Perbedaan-perbedaan ini menunjukkan pentingnya pengembangan standar nyaman termal SNI melalui pencermatan terhadap perbedaan-perbedaan sesuai kondisi spesifik. Dengan demikian standar rentang nyaman SNI 03-6572-2001 perlu dirinci menjadi lebih lengkap dan detail untuk ruang spesifik.

Prosedur perencanaan teknis sistem pengkondisian udara dalam ruang

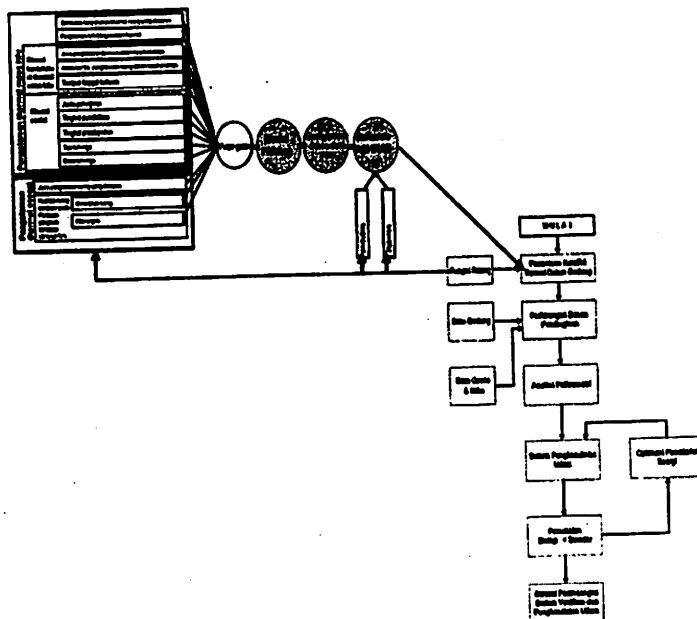
Gambar 123 berikut dapat disajikan prosedur teknis sistem pengkondisian udara dalam ruang berdasarkan SNI 03-6572-2001.



Gambar 123 Perencanaan teknis sistem pengkondisian udara

(Sumber: dokumen SNI 03-6572-2001)

Dengan menggabungkan skema penerapan model dalam proses desain pada umumnya maka penerapan model PMVtap pada perencanaan teknis sistem pengkondisian udara dapat digambarkan sebagai berikut.



Gambar 124 Usulan alternatif penerapan model PMVtap pada prosedur perencanaan teknis sistem pengkondisian udara untuk pengembangan SNI 03-6572-2001 (Sugini, 2007)

Pertanyaan-Pertanyaan untuk Dijawab

Berikut adalah pertanyaan dan latihan yang perlu dilakukan untuk memperdalam pemahaman topik bab ini:

1. Jelaskanlah prinsip dasar pendekatan untuk merekayasa bangunan untuk kenyamanan termal.
2. Jelaskanlah metoda-metoda atau teknik analisis yang diperlukan untuk mendapatkan arahan desain bangunan.
3. Jelaskanlah bagaimana penerapan model indeks termal PMV_{tap} dalam proses desain secara umum dan pada SNI 03-6572-2001.
4. Jelaskanlah peran temuan model indeks kenyamanan termal ruang PMV_{tap} dalam dunia desain pada umumnya dan dalam lingkup desain arsitektur pada khususnya.
5. Evaluasilah sebuah kasus ruang tertentu berdasarkan indeks termal SET, discomfort dan w. Nilailah apakah ruang tersebut berhasil atau gagal. Kemudian berikanlah rekomendasi perbaikannya.
6. Tetapkanlah arahan desain untuk kasus lingkungan tempat anda berada dengan menggunakan Tabel Mahoney, Tabel Givoni atau Tabel Olgyay.

oooOooo

BAB VIII

REKAYASA DESAIN DAN MODEL PENYELESAIAN PERSOALAN KENYAMANAN TERMAL

Pengantar

Pada bab ini akan diuraikan dua sub bab. Pertama tentang bagaimana rekayasa alamiah bangunan untuk kenyamanan termal. Dalam bagian ini akan diuraikan langkah-langkah praktis rekayasa dasar secara alamiah untuk mencapai kenyamanan termal. Langkah-langkah tersebut meliputi rekayasa:

1. Kulit bangunan
2. Bentuk massa
3. Bukaan ventilasi peneduhan
4. Orientasi
5. Tata ruang luar
6. Pelembaban atau pengeringan udara

Ke dua, contoh-contoh penyelesaian persoalan kenyamanan termal dalam desain bangunan. desain yang akan didiskusikan antara lain adalah hasil proyek tugas akhir yang dibimbing oleh penulis dan proyek profesional.

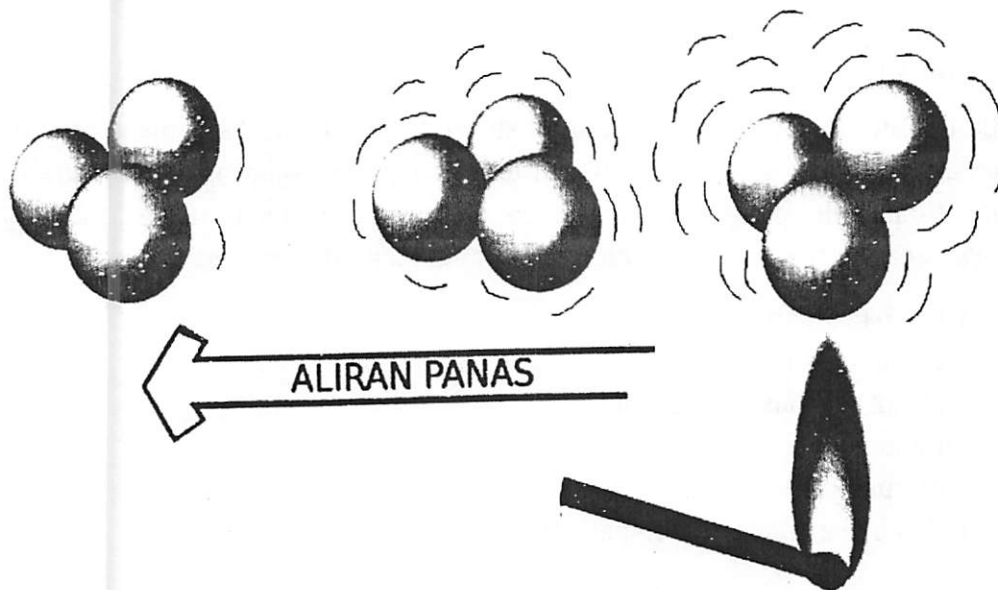
Setelah menyelesaikan bab ini diharapkan pembaca dapat mengaplikasi rekayasa alamiah termal bangunan untuk termal di kasus yang dihadapi dengan penerapan prinsip-prinsip rekayasa bangunan untuk kenyamanan termal dalam desain.

8.1. Kulit Bangunan, Lantai Dinding dan Atap

Kulit bangunan adalah komponen bangunan penting dalam memanipulasi potensi dan kendala iklim luar untuk mencapai kenyamanan termal ruang dalam sesuai tuntutan penghuni. Kulit bangunan terdiri dari lantai, dinding dan atap. Untuk dapat merekayasa kulit bangunan dengan tepat harus dikenali beberapa sifat termal material dan konstruksi sebagai dasar kriteria penetapan pemilihan material dan atau konstruksi kulit bangunan yang menguntungkan dalam mencapai kenyamanan termal.

8.1.1. Sifat termal material

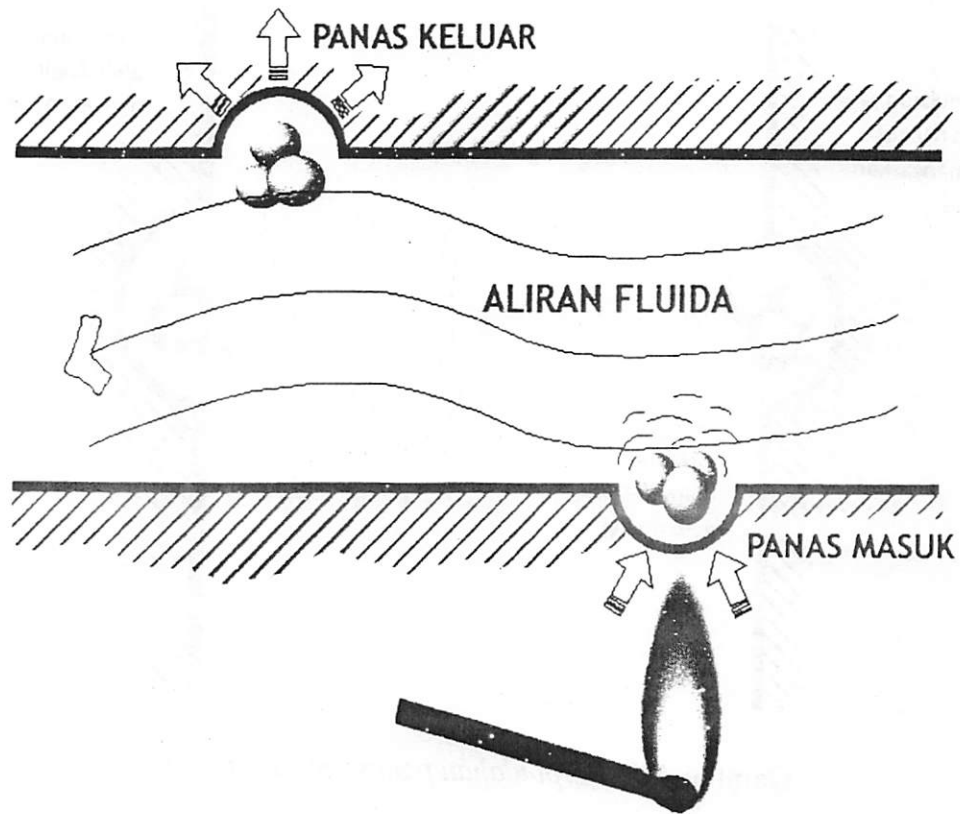
Sebelum masuk pada pembicaraan tentang sifat termal material perlu dipahami tiga cara perpindahan panas. Perpindahan panas terjadi melalui tiga cara yaitu konduksi, konveksi dan radiasi. Konduksi adalah perpindahan panas melalui persentuhan molekul yang bersentuhan. Perpindahan panas konduksi ini menuntut adanya persentuhan molekul, sehingga perpindahan panas ini terjadi pada benda-benda padat. Secara prinsip dijelaskan pada gambar berikut.



Gambar 125 *Perpindahan panas secara konduksi*

(Sumber: modifikasi Moore, Fuller, 1993)

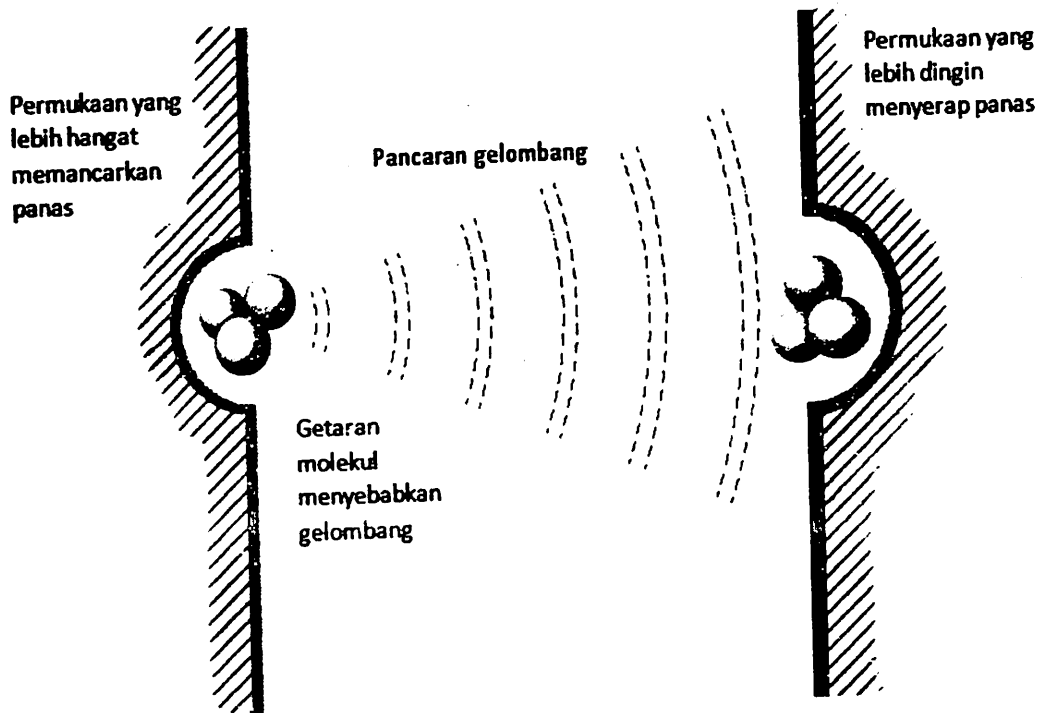
Perpindahan panas konveksi adalah perpindahan panas yang menggunakan media fluida. Media fluida dapat berupa cairan dan udara. Dalam konteks rekayasa termal ruang maka media yang terlibat adalah media udara. Besarnya perpindahan panas yang terjadi tergantung dari kecepatan aliran fluida, dalam hal ini adalah kecepatan angin. Secara ilustratif dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 126 *Perpindahan panas secara konveksi*

(Sumber: modifikasi Moore, Fuller, 1993)

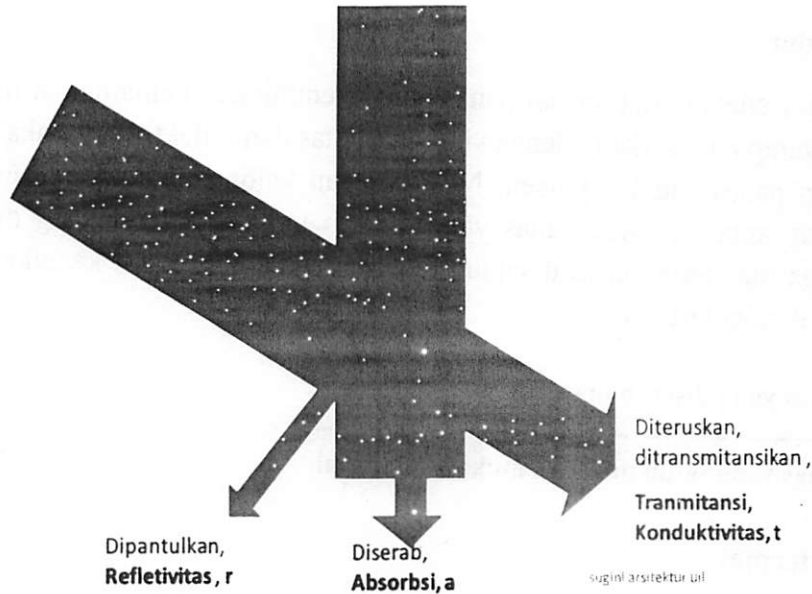
Perpindahan panas radiasi terjadi karena getaran molekul benda lebih panas akan terpancarkan berupa gelombang dan akan menggetarkan molekul benda lain yang lebih dingin. Perpindahan secara radiasi akan ditentukan oleh perbedaan panas permukaan. Semakin besar perbedaan dua permukaan semakin cepat dan besar proses perpindahan panas terjadi. Lebih jelas dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 127 *Perpindahan panas secara radiasi*

(Sumber: modifikasi Moore, Fuller, 1993)

Sifat termal material didasari pada kemampuan material dalam memindahkan panas dalam tiga cara tersebut ditambah kemampuan material dalam menyimpan panas. Sifat termal material tersebut meliputi *conductivity* (untuk selanjutnya disebut konduktivitas), *reflectivity* (untuk selanjutnya disebut reflektivitas), *absortivity* (untuk selanjutnya disebut serapan kalor) dan *thermal capacity* (untuk selanjutnya disebut kapasitas termal). Gambar berikut menjelaskan sifat termal material dan proses reradiasi material ke eksterior dan interior.



Gambar 128 Tiga sifat termal material

Konduktivitas

Konduktivitas menunjukkan kemampuan material dalam meneruskan panas yang diterimanya. Ukuran konduktivitas dihitung melalui persentasi perbandingan antara jumlah panas yang diteruskan dibanding dengan jumlah panas yang diterima pada satu satuan luas dan satu satuan ketebalan tertentu material bila terjadi kenaikan satu satuan perbedaan temperatur.

$$\frac{\text{Jumlah panas yang diteruskan kepermukaan lain dari material}}{\text{Jumlah panas yang jatuh pada permukaan material}} \% \dots\dots\dots (8.1)$$

Reflektivitas

Reflektivitas menunjukkan kemampuan material dalam memantulkan panas yang jatuh pada material tertentu. Satuan reflektivitas berupa persentasi. Nilai reflektivitas menunjukkan persentasi perbandingan antara panas yang dipantulkan dibanding panas yang diterima pada material persatu satuan luas dan satu satu tebal bila terjadi kenaikan suhu satu satuan derajat panas.

$$\frac{\text{Jumlah panas yang dipantulkan}}{\text{Jumlah panas yang jatuh pada permukaan bidang}} \% \dots\dots\dots (8.2)$$

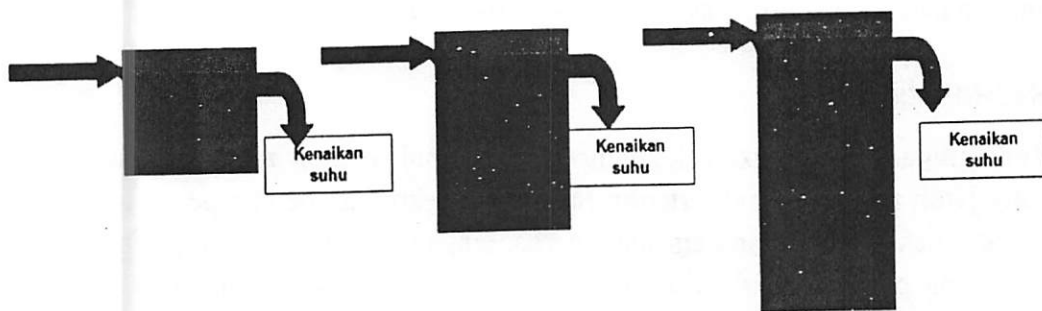
Serapan kalor

Serapan kalor adalah sifat termal panas yang menunjukkan kemampuan material dalam menyerap panas. Sama dengan konduktivitas dan reflektivitas maka satuan dari serapan panas adalah persen. Nilai serapan kalor menunjukkan persentasi perbandingan antara jumlah panas yang diserap terhadap panas yang diterima persatu satuan luas tertentu, satu satuan tebal tertentu bila terjadi kenaikan suhu satu satuan derajat tertentu.

$$\frac{\text{Jumlah panas yang diserap material}}{\text{Jumlah panas yang jatuh pada permukaan material}} \% \dots\dots\dots (8.3)$$

Kapasitas termal

Kapasitas panas adalah kemampuan yang menunjukkan material menyimpan panas. Kapasitas termal massa adalah ukuran yang menunjukkan besarnya panas yang dibutuhkan untuk menaikkan suhu satu derajat panas per satu satuan volume massa. Besarnya kapasitas termal dapat dilihat seberapa cepat atau seberapa mudah suhu material menjadi panas bila dikenai panas. Semakin besar kapasitas termal maka material tersebut semakin lambat mengalami kenaikan panas, demikian juga sebaliknya semakin kecil kapasitas termal semakin cepat material tersebut menjadi panas. Secara ilustratif dapat dijelaskan pada Gambar 129. Pada Gambar 129 diilustrasikan tiga gambar mewakili tiga material dengan sifat kapasitas termal berbeda. Material dengan ilustrasi paling kiri menunjukkan material dengan kapasitas termal rendah. Karena kantong termalnya kecil maka dengan sedikit panas maka panas sudah tumpah dalam bentuk kenaikan suhu. Demikian, makin ke kanan makin besar.



Gambar 129 Ilustrasi termal kapasitas, a) paling kiri rendah, b) tengah sedang, c) paling kanan tinggi

Empat sifat termal material tersebut di atas hendaknya menjadi kriteria bagi para desainer dalam menetapkan jenis material kulit ruang. Ada tiga yang menentukan nilai dari empat sifat termal tersebut. Tiga hal tersebut adalah :

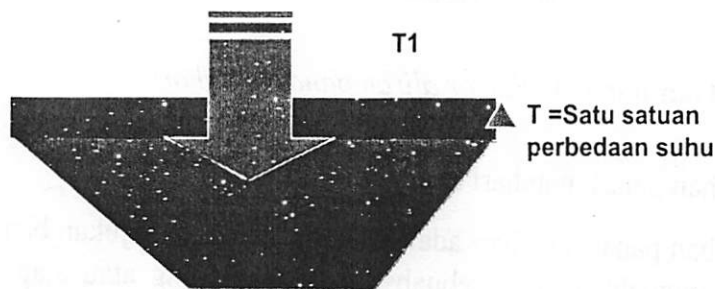
1. Jenis bahan
2. Finishing
3. Campuran bahan

8.1.2. Sifat termal atap dan dinding

Sifat termal atap dan dinding bangunan adalah sifat elemen kulit bangunan hasil pencampuran dan konstruksi beberapa material dasar atap atau dinding. Berdasarkan Ogoli, 2003 mengatakan bahwa sifat termal kulit bangunan dan iklim merupakan faktor dominan yang menentukan hubungan kondisi termal ruang dalam dan ruang luar. Dengan demikian pengetahuan sifat termal kulit bangunan akan menjadi sangat penting dalam merekayasa termal untuk mencapai kenyamanan termal. Berdasarkan Evans, 1980 sifat-sifat yang harus diketahui sebagai dasar arahan desain adalah nilai u , faktor aliran panas matahari, solar heat gain, waktu selang, *admittance*.

1. Nilai U

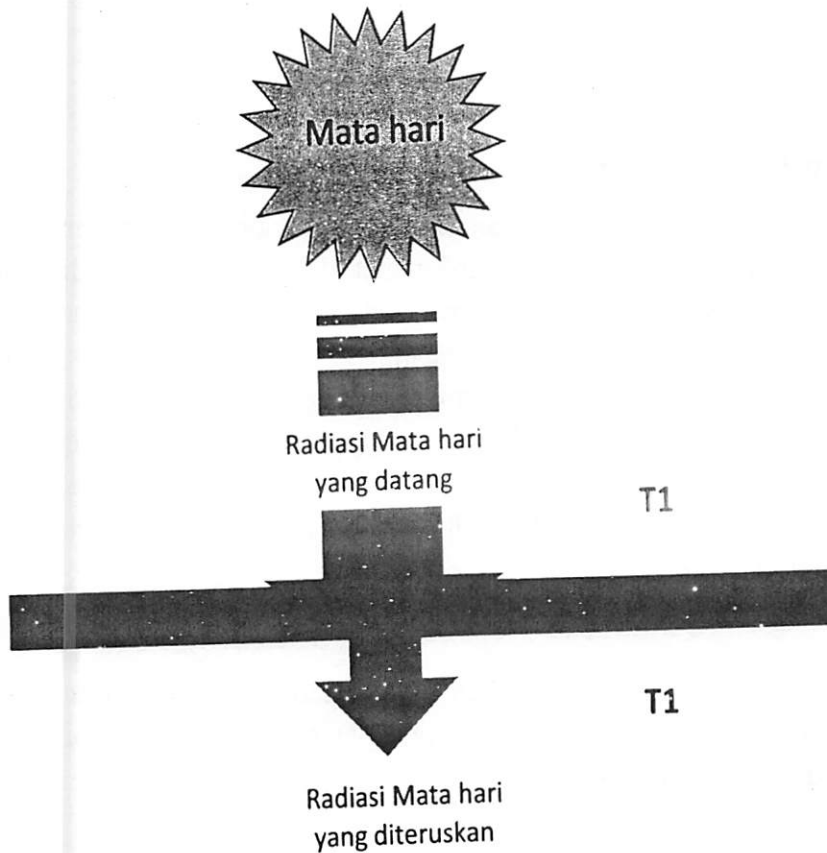
Nilai U adalah nilai yang menunjukkan jumlah panas yang diteruskan dari udara di satu sisi ke sisi material yang lain per satu satuan luas, bila ada perbedaan satu satuan derajat panas.



Gambar 130 Nilai U

2. Faktor aliran panas matahari (*solar heat flow factor*)

Faktor yang menunjukkan perbandingan antara radiasi yang diteruskan melewati sebuah dinding atau atap ketika temperatur udara di kedua sisi sama.



Gambar 131 Faktor aliran panas matahari

3. Faktor perolehan panas matahari (*solar heat gain*)

Faktor perolehan panas matahari adalah faktor yang menunjukkan banyaknya panas yang dipindahkan oleh sebuah konstruksi dinding atau atap. Faktor tersebut dihitung dengan membandingkan jumlah panas yang dipindahkan ($Q, w/m^2$) dengan jumlah panas radiasi matahari yang datang ($I, w/m^2$).

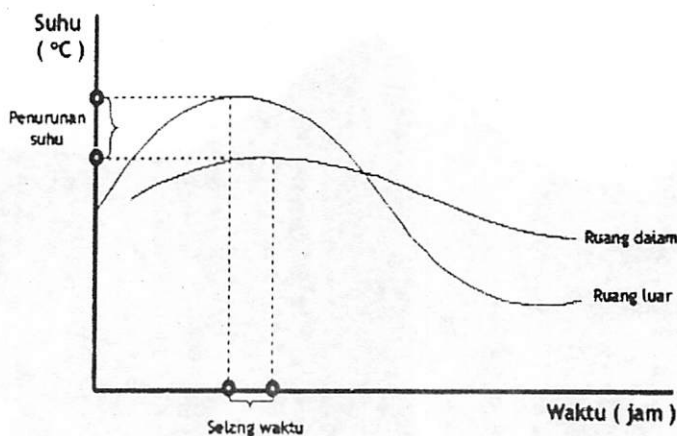
Jumlah panas yang dipindahkan ($Q, W/M^2$)

Jumlah panas radiasi matahari yang datang ($I, W/M^2$)

$$\boxed{\text{Solar heat gain} = Q/I \%} \dots\dots\dots (8.4)$$

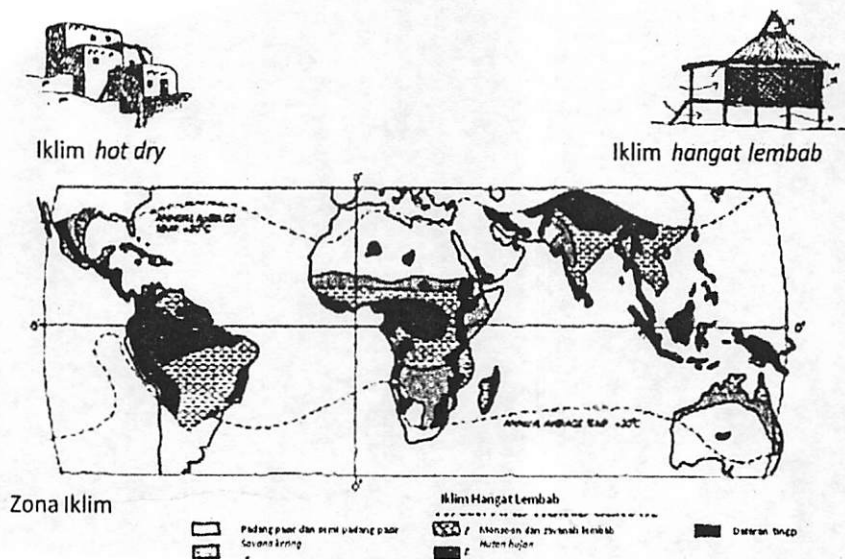
4. Waktu selang (*time lag*)

Waktu selang adalah jeda waktu yang dibutuhkan oleh material untuk menyebabkan suhu di ruang dalam naik atau turun bila terjadi kenaikan atau penurunan suhu udara di sisi luar. Satuan waktu selang adalah jam.



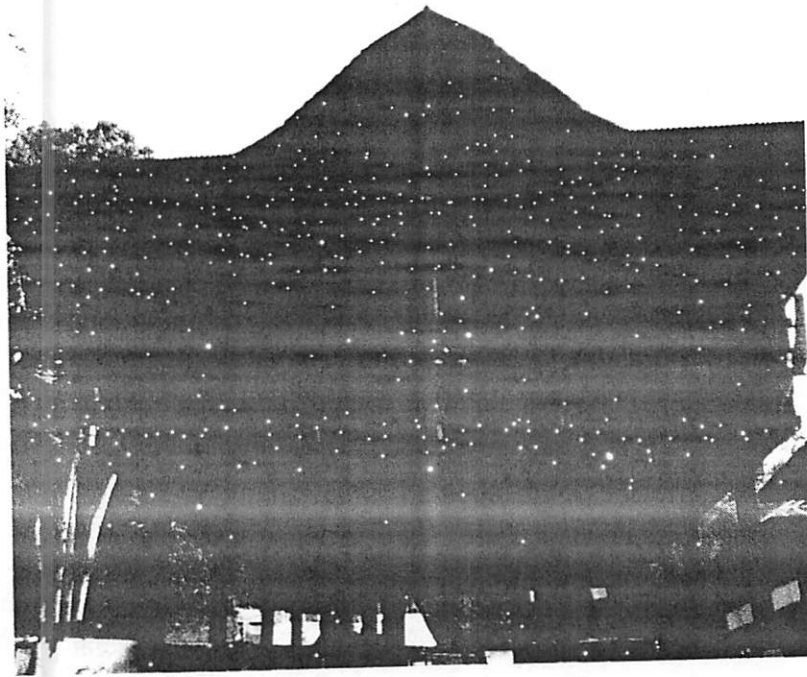
Gambar 132 Waktu selang

Daerah pada iklim dengan perbedaan suhu yang tinggi antara siang dan malam lebih tepat menggunakan material dinding dan atap dengan sifat termal waktu selang yang tinggi. Sebagai contoh adalah penggunaan material tanah di daerah afrika. Tahan liat mempunyai waktu selang delapan jam. Sehingga suhu yang tinggi di siang hari jam 12.00 akan menyebabkan kenaikan suhu di ruang dalam delapan jam kemudian yaitu jam 20.00 pada saat udara di luar sangat dingin. Dengan demikian pada saat ruang luar panas, maka ruang dalam tetap sejuk. Demikian sebaliknya pada saat ruang luar dingin menggigil maka ruang dalam tetap hangat. Berikut adalah perbandingan karakter rumah yang berbeda pada materialnya karena tipe iklim yang berbeda.

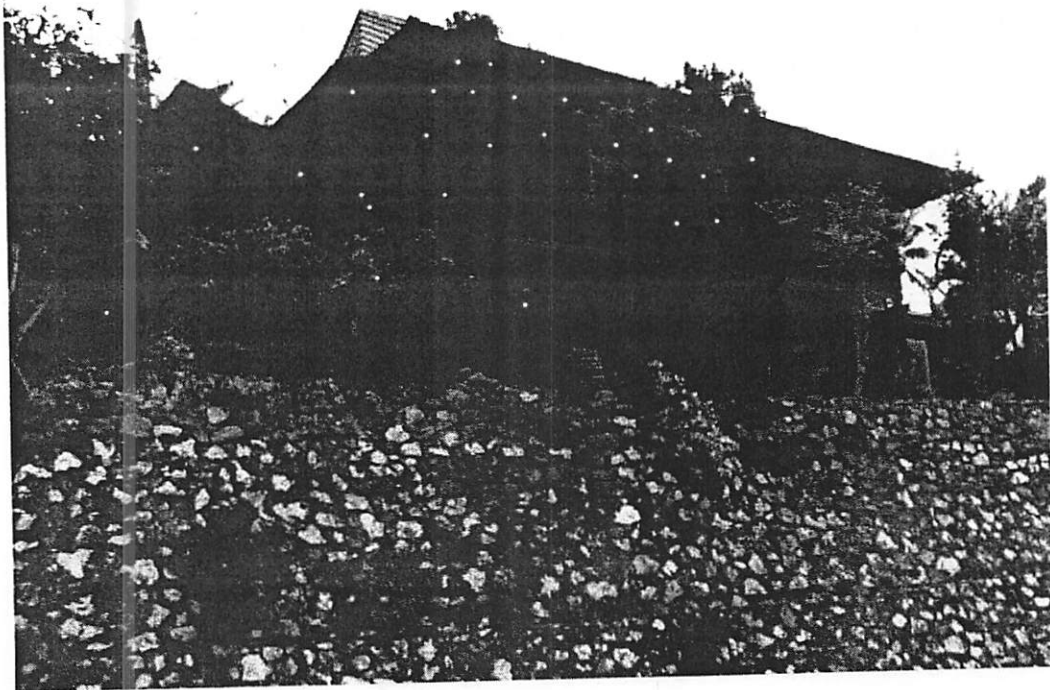


Gambar 133 Tipe arsitektur rumah dengan material berbeda pada iklim yang berbeda

(Sumber: Lippsmeier,1990)



Gambar 134 *Material Kayu pada bangunan Tradisional*
(Sumber: Foto Pribadi Dadang Aruman, 2010)



Gambar 135 *Sebuah Rumah Vernakular dari kayu di Sulawesi Selatan, Indonesia*

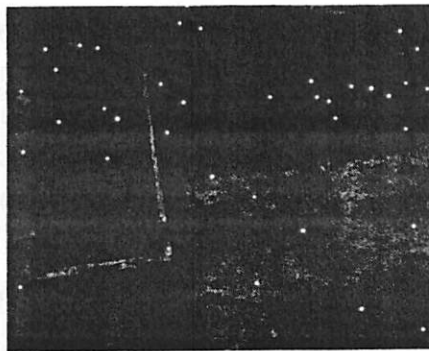
(Sumber: dokumen pribadi Dadang Aruman, 2010)

Rumah tradisional (Gambar 134) dan vernakular (Gambar 135) di Indonesia dominan memakai material kayu. Karena waktu selang material kayu hanya dua jam. Cukup untuk daerah tropis di Indonesia yang terletak pada zona isotherm 2°C .

5. Admitansi (*admittance*)

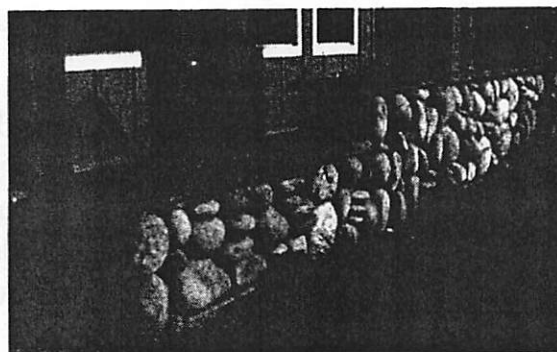
Admitansi adalah besaran yang menunjukkan kemampuan material untuk menjaga stabilitas ruang. Admitansi menunjukkan kemampuan material dalam menyerap panas bila suhu di ruang tiba-tiba naik dan sebaliknya, admitansi juga menunjukkan kemampuan material menyebarkan panas bila dengan tiba-tiba suhu ruang turun.

Nilai admitansi akan berbeda untuk material, kombinasi material dan penyelesaian yang berbeda. Batu bata akan berbeda dengan kayu. Batu bata dengan ketebalan setengah batu akan berbeda dengan batu bata dengan ketebalan satu atau dua batu. Gambar berikut adalah ilustrasi aplikasi penggunaan material dan penyelesaian yang beragam untuk mendapatkan nilai admitansi yang berbeda sesuai kebutuhan dari ruang.



Gambar 136 Dinding batu kali 2,5 bata dengan penyelesaian plester

(Sumber: Foto pribadi 2012)



Gambar 137 Dinding batu kali ekspos

(Sumber: Imrie, 2006)

8.2. Bentuk Massa

Seperti telah dijelaskan dalam Tabel 19 maka rekayasa massa bangunan harus diarahkan pada pencapaian kenyamanan termal sesuai kondisi iklim yang dihadapi. Untuk iklim tropis hangat lembab seperti di Indonesia maka rekayasa harus diarahkan pada usaha meminimalkan aliran panas konduktif dan meminimalkan perolehan panas karena di satu sisi dan meningkatkan kehilangan panas.

Ada dua parameter penting yang harus dikenali bila membicarakan rekayasa massa dengan termal. Dua parameter tersebut adalah *thermal capacity* dan *heat loss*. Adapun kemampuan massa untuk melepas panas dapat dilihat dari parameter *heat loss* yang untuk selanjutnya disebut kehilangan panas. Parameter kehilangan panas dapat digunakan untuk menunjukkan seberapa cepat massa mampu melepas panas yang dimilikinya. Semakin tinggi faktor kehilangan panasnya semakin cepat massa tersebut melepas panas. Kapasitas panas berbanding terbalik dengan faktor kehilangan panas. Bila massa mempunyai kapasitas termal rendah maka massa tersebut akan mempunyai faktor kehilangan panas yang tinggi, demikian sebaliknya.

Massa dengan kapasitas termal tinggi maka akan menyimpan beban termalnya pada ruang. Di samping itu ruang ini juga berarti mempunyai faktor kehilangan panas yang rendah. Akibatnya massa akan lebih lambat membuang panas. Efeknya adalah ruang-ruang dalam massa akan lebih panas dan mengalami panas yang lebih lama pula. Massa-massa tipe ini akan lebih cocok dengan lingkungan yang dingin.

Indonesia adalah negara dengan lingkungan hangat. Dengan demikian pengendalian termal selalu diarahkan pada usaha mendapatkan ruang yang sejuk atau dingin. Dalam kondisi demikian maka massa haruslah diarahkan agar mempunyai nilai kapasitas termal yang rendah dan faktor kehilangan panas yang tinggi. Tujuan desain yang mengarah pada ruang dingin atau sejuk akan diarahkan pada desain massa dengan kapasitas termal yang rendah dan faktor kehilangan panas yang tinggi.

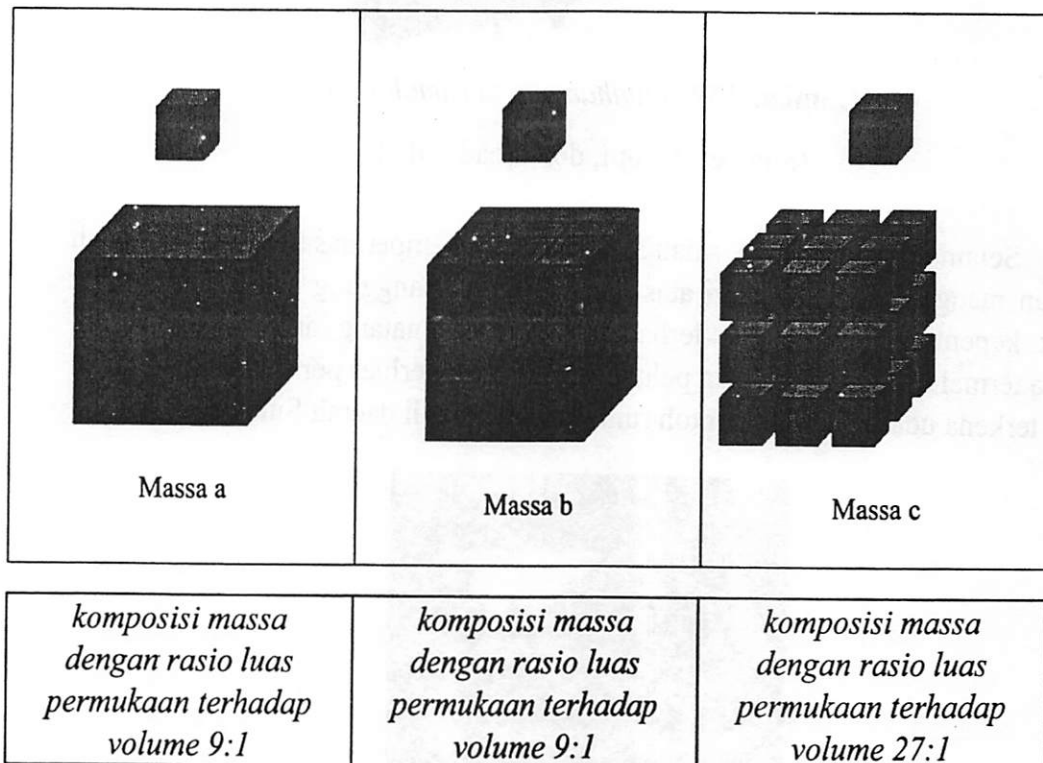
Rekayasa massa bangunan dilakukan dengan mengolah proporsi kedalaman bangunan, ruang di antara dua massa dan ketinggian langit-langit serta orientasi massa bangunan. Orientasi massa telah dibicarakan sebelumnya. Untuk selanjutnya maka rekayasa massa bangunan yang dibicarakan pada sub bab ini adalah rekayasa proporsi kedalaman bangunan, ruang di antara dua massa dan ketinggian langit-langit.

1. Proporsi kedalaman massa bangunan

Rekayasa proposi kedalaman massa bangunan meliputi perbandingan luas permukaan massa terhadap volume massa dan anatomi potongan massa.

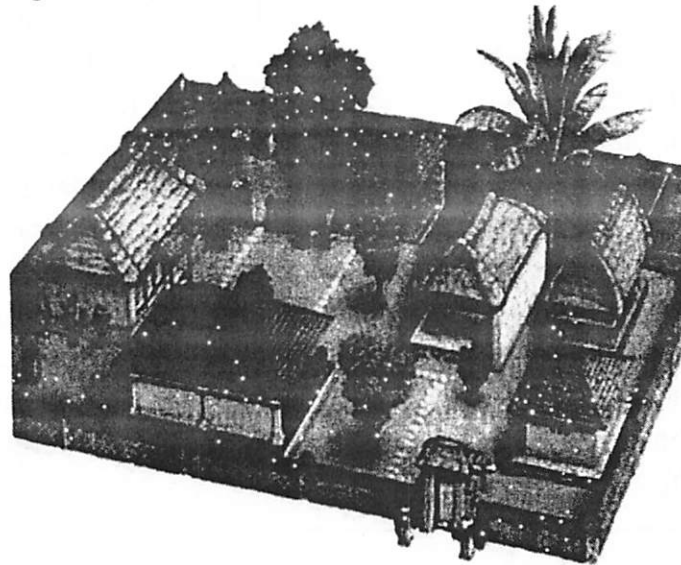
Perbandingan luas permukaan massa terhadap volume massa akan mempengaruhi kemampuan massa menyimpan dan melepaskan panas. Hal ini berarti bila ada dua massa dengan volume yang sama tetapi mempunyai luas permukaan yang berbeda mempunyai sifat kemampuan menyimpan panas dan melepaskan panas yang berbeda.

Ilustrasi Gambar 138 massa a, b dan c adalah massa dengan volume yang sama namun mempunyai perbedaan perbandingan luas permukaan dan volume yang berbeda. Massa a adalah massa tunggal yang utuh sedangkan massa b adalah massa tunggal yang disekat atau beberapa massa yang disatukan menjadi satu adapun massa c adalah massa majemuk dengan yang ditata terpisah. Massa a mempunyai perbandingan luas permukaan dengan volume 9:1. Massa b walaupun disekat atau terdiri dari banyak massa tetapi karena komposisi terlekat tetap mempunyai perbandingan luas permukaan yang sama dengan massa a yaitu 9:1. Gubahan massa c yang terdiri dari 27 massa kecil, terpisah satu sama lain, mempunyai perbandingan luas permukaan dan volume 27:1. Perbedaan rasio luas permukaan ini ternyata berdampak pada perbedaan sifat termal massanya. Massa a dan massa b mempunyai nilai kapasitas termal yang tinggi dan faktor kehilangan panas yang rendah. Sementara massa c mempunyai nilai kapasitas termal yang rendah dan faktor kehilangan panas yang tinggi.



Gambar 138 Rasio luas permukaan dan volume dan kapasitas termal (*thermal capacity*) serta faktor kehilangan panas (*heat loss*)

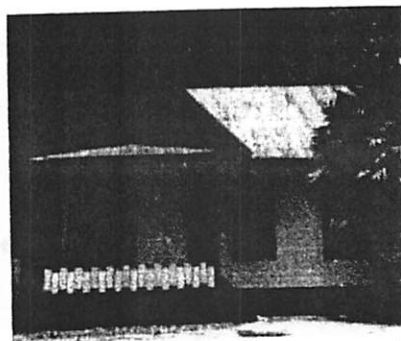
Sifat termal massa c dengan nilai kapasitas termal yang rendah dan faktor kehilangan panas yang tinggi memberikan dampak pada rendahnya tekanan termal ruang. Akibatnya ruang menjadi mudah sejuk atau dingin dibanding dengan massa a dan b. Untuk itu rekayasa massa untuk mencapai kenyamanan termal sejuk dan dingin di Indonesia mestinya memilih komposisi c. Komposisi ini bisa dicapai dengan desain gubahan massa dibanding massa tunggal. Bangunan tradisional rumah bali dengan massa majemuk adalah salah satu contohnya.



Gambar 139 *Gubahan massa rumah Bali*

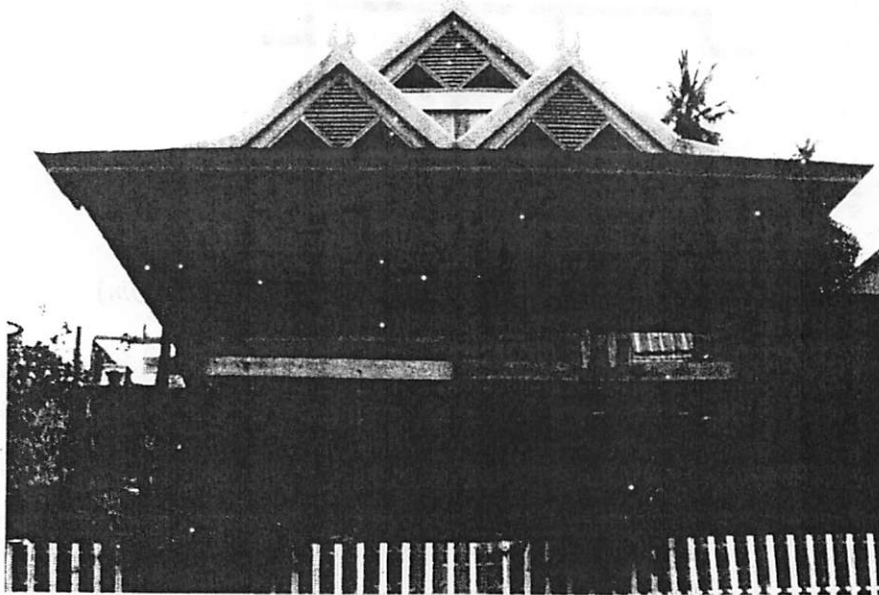
(Sumber: Knopf, download 2012)

Selain gubahan massa, salah satu cara lain memperluas permukaan adalah dengan mengangkat lantai dari atas tanah. Rumah panggung selain bermanfaat untuk kepentingan keamanan terhadap serangan binatang dan bahaya banjir, secara termal dapat memberikan peluang untuk memperluas permukaan bangunan yang terkena udara. Berikut contoh rumah panggung di daerah Sulawesi.



Gambar 140 *Rumah panggung di Sulawesi*

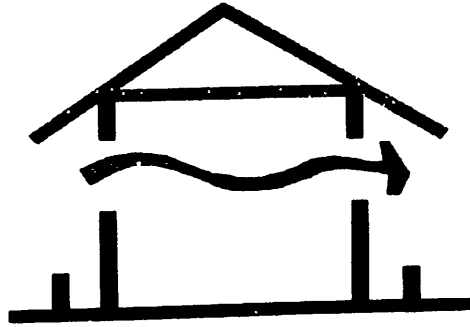
(Sumber: dokumen pribadi penulis, 2010)



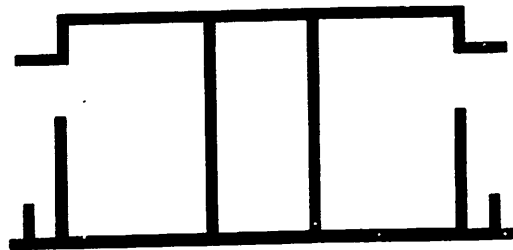
Gambar 141 *Rumah panggung di Sulawesi Selatan*
(Sumber: dokumen pribadi Dadang Aruman, 2010)

2. Kedalaman bangunan

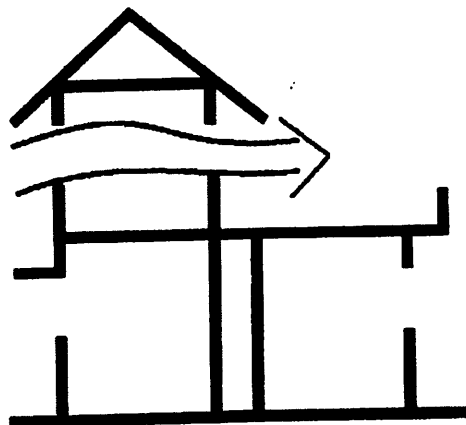
Rekasaya kedalaman bangunan adalah cara yang ke dua berkaitan dengan olahan massa. Dilihat dari kedalaman bangunan maka massa dapat dibedakan menjadi tiga. Jenis pertama adalah massa *single bank room* yang untuk selanjutnya disebut massa rongga tunggal. Ke dua adalah massa *double bank room* yang selanjutnya disebut massa rongga ganda dan yang ke tiga adalah kombinasinya. Secara jelas jenis massa tersebut dapat dilihat pada gambar berikut.



a: Anatomi massa dengan anatomi rongga tunggal (*single bank room*)



b: Massa dengan anatomi rongga ganda (*double bank room*)

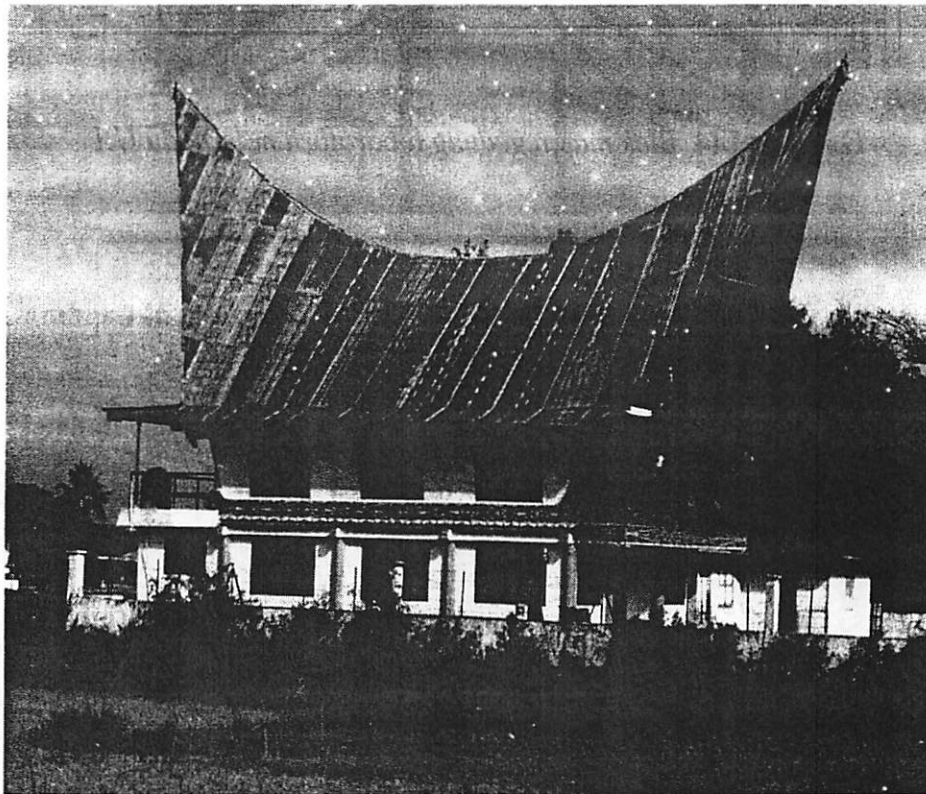


c: Massa dengan anatomi kombinasi

Gambar 142 Anatomi massa berdasarkan jumlah rongga ruangnya

Massa rongga tunggal mempunyai sifat kapasitas termal yang rendah serta ventilasi silang yang sempurna. Sedangkan massa rongga ganda mempunyai sifat kapasitas termal yang tinggi dan tidak mempunyai peluang ventilasi silang. Massa rongga tunggal karena sifat termalnya dan peluang konveksi yang tinggi maka massa ini mempunyai karakter mudah mencapai kualitas termal sejuk atau dingin. Oleh karena itu massa rongga tunggal cocok untuk bangunan yang ditujukan untuk mendapatkan kualitas termal sejuk atau dingin. Massa ini sangat tepat untuk rancang bangun di daerah iklim hangat atau panas. Sebaliknya massa rongga ganda karena sifatnya dan peluang yang kecil untuk pendinginan ruang konveksi menyebabkan lebih mudah mencapai kualitas termal hangat atau panas. Dengan demikian massa rongga ganda sangat tepat untuk bangunan yang ditujukan menjaga kehangatan ruang. Massa ini sangat sesuai untuk lokasi berhawa dingin.

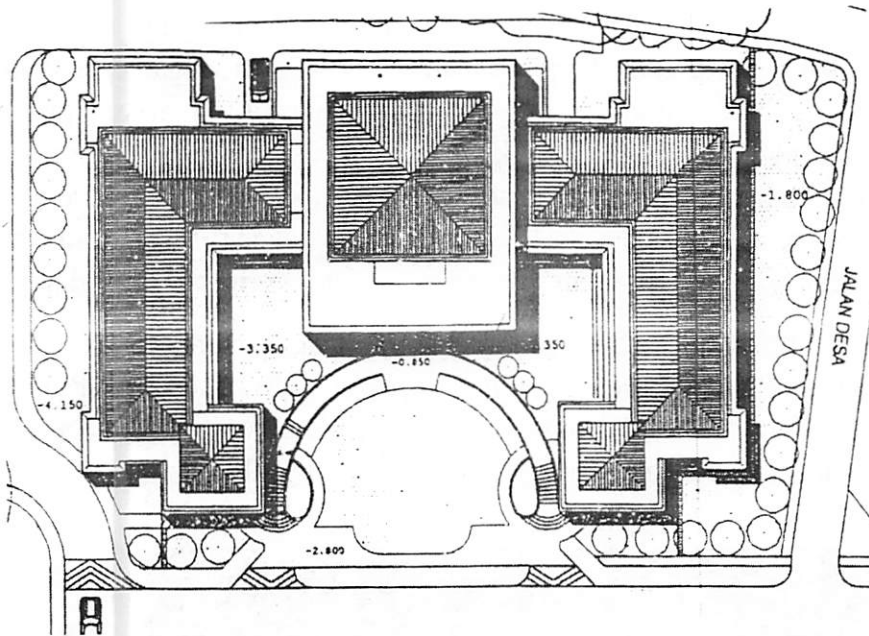
Bangunan rongga tunggal akan berakibat pada proporsi massa yang memanjang. Sebagai contoh adalah beberapa bangunan tradisional seperti Rumah Panjang, Rumah Batak. Namun demikian walaupun tidak memanjang, beberapa bangunan tradisional berdasarkan pada prinsip rongga tunggal.



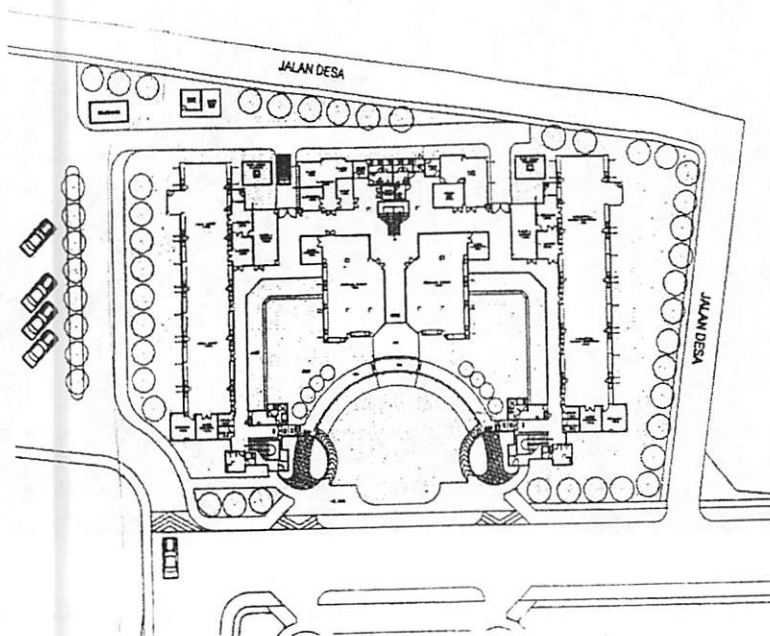
Gambar 143 *Modifikasi rumah tradisional di Pulau Samosir Indonesia dengan proporsi yang pipih memanjang*

(Sumber: foto pribadi Dadang Aruman, 2010)

Beberapa contoh rekayasa massa dengan rongga tunggal juga diterapkan pada desain saat sekarang. Bentuk site yang tidak memungkinkan dapat diatasi dengan membentuk gubahan massa berbentuk o atau u. berikut adalah contoh desain dengan massa rongga tunggal dengan keterbatasan site.

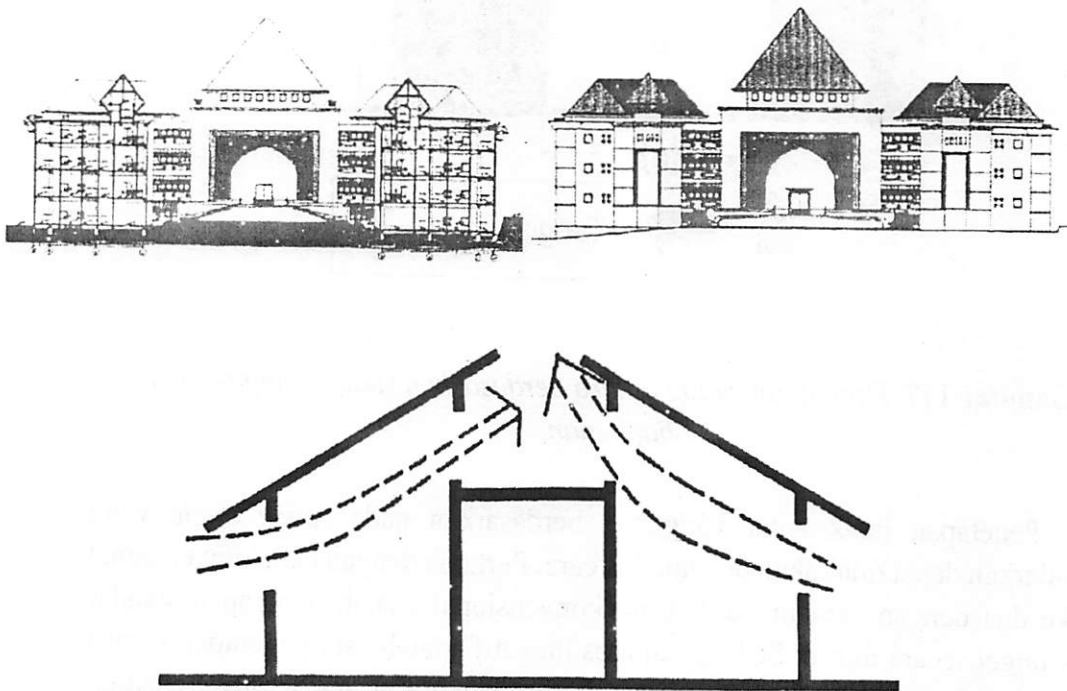


Gambar 144 Blok massa gedung laboratorium terpadu UII



Gambar 145 Denah, tampak dan potongan gedung laboratorium terpadu UII

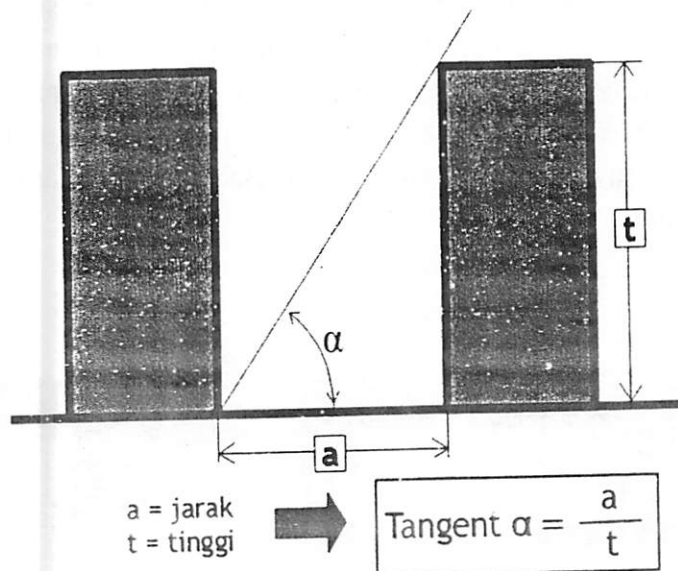
Pemilihan massa rongga tunggal seperti Gambar 146 dalam kondisi tertentu tidak menguntungkan dari segi ekonomi. Untuk daerah dengan nilai tanah yang tinggi maka ruang ganda dengan satu selasar di tengah akan lebih menguntungkan. Untuk itu rekayasa yang memungkinkan massa dengan rongga tunggal namun tetap memungkinkan dua sayap perlu dikembangkan. Beberapa alternatif dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 146 Massa rongga tunggal dengan tata ruang selasar dua sayap

3. Jarak di antara dua massa bangunan

Jarak di antara dua massa bangunan adalah satu dari empat rekayasa massa dalam pencapaian kenyamanan termal ruang. Ukuran jarak dua massa bangunan ditentukan oleh antara lain *space angle* (untuk selanjutnya akan disebut sudut ruang antara). Sudut ruang antara dipengaruhi oleh beberapa hal antara lain oleh posisi garis lintang site. Berdasarkan pada sudut ruang antara proporsi jarak antar bangunan dan ketinggian massa bangunan ditentukan. Cara menghitung dapat menggunakan prinsip tangen di mana α sama dengan sudut ruang antara bangunan.

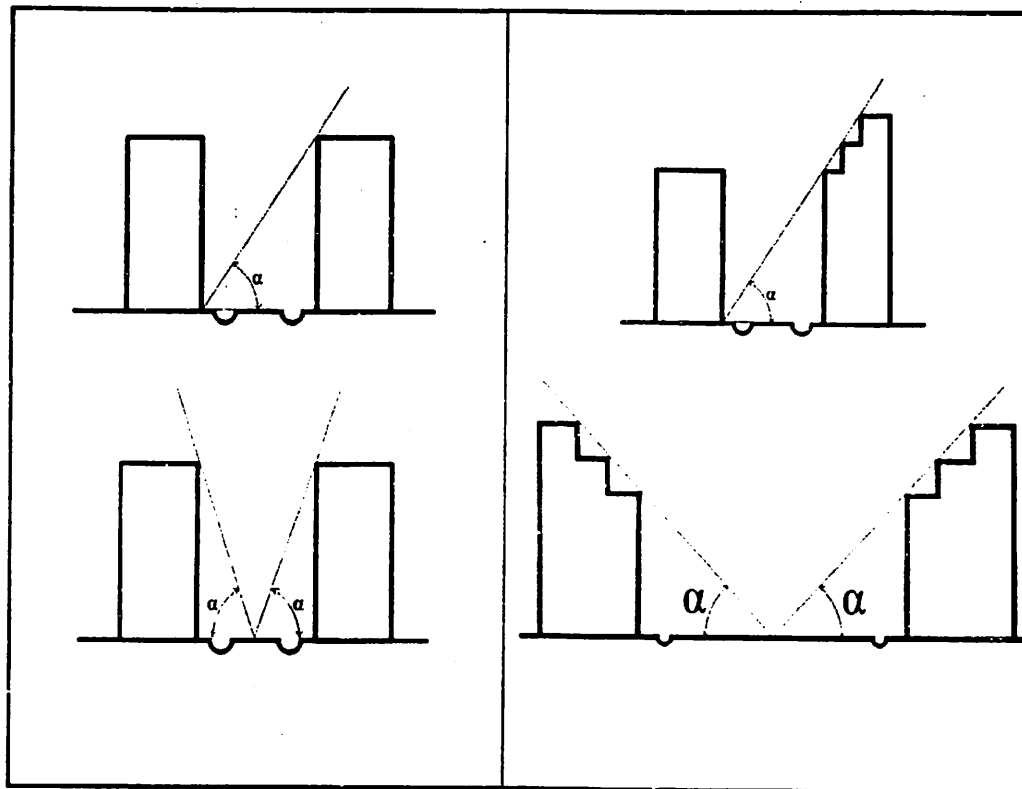


Gambar 147 Penentuan ruang antara berdasarkan sudut ruang antara bangunan

Penetapan jarak antar bangunan berdasarkan pada *space angle* yang distandarkan dapat dilakukan dengan dua cara. Pertama dengan cara konvensional dan ke dua dengan cara inovatif. Cara konvensional adalah penerapan standar *space angle* secara murni. Sedangkan cara inovatif adalah cara penerapan kreatif yang secara substansial berdasarkan pada prinsip murni *space angle*, namun dimodifikasi sehingga sesuai dengan problem desain yang dihadapi. Sebagai contoh adalah penerapan *Set back* atau penerapan berselang. Secara lebih jelas dapat dilihat dalam ilustrasi berikut.

Ralat:

Hal	Bagian	Tertulis	Seharusnya
206	Keterangan Gambar 147	Tangent $\alpha = \frac{a}{t}$	Tangen $\alpha = \frac{t}{a}$



a. Penerapan *space angle* secara konvensional

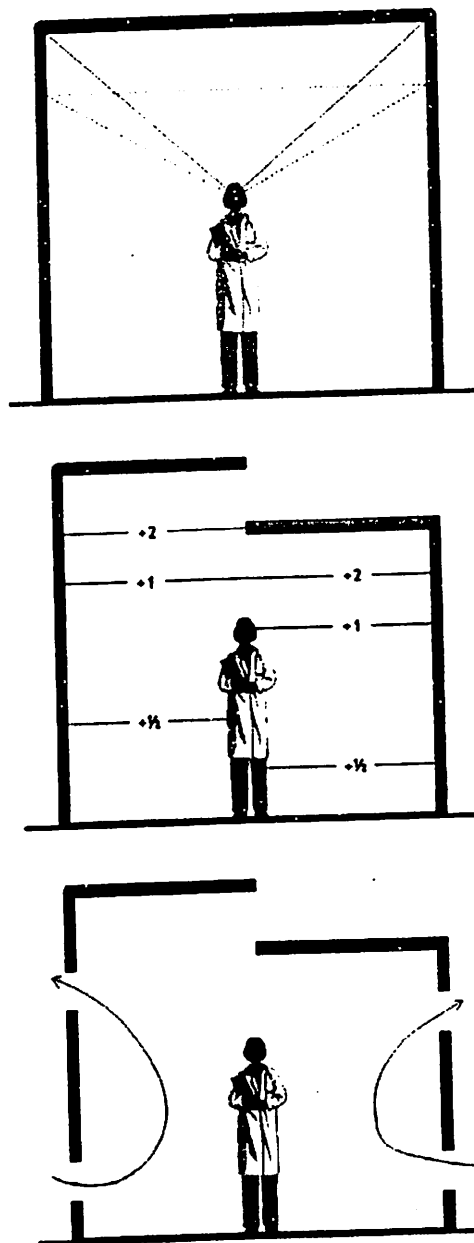
b. Penerapan *space angle* dengan *Set back*

Gambar 148 Penerapan *space angle* pada desain

Penerapan dengan cara inovatif sangat diperlukan untuk kepentingan persoalan-persoalan kontekstual. Misalnya karena persoalan mahalnya lahan. Lahan yang mahal akan menyebabkan nilai investasi yang tinggi. Nilai investasi yang tinggi terutama di lahan dengan guna komersial akan berdampak pada tuntutan luas lantai bangunan yang tinggi sehingga investasi dapat segera kembali. Tingginya luas lahan tentunya berdampak pada jumlah lantai dan ketinggian bangunan. Penerapan *Set back* akan menjawab tuntutan ini. Secara substansial tuntutan *space angle* terpenuhi, di sisi lain tuntutan jumlah lantai dan luas lantai terpenuhi.

2. Ketinggian langit-langit

Ketinggian langit-langit berkaitan dengan kemampuan ruang mencapai kenyamanan termal yang ditargetkan. Berdasarkan Evan th 1980 diketahui bahwa langit-langit yang lebih rendah akan meningkatkan radiasi dan meningkatkan ketidaknyamanan thermal dalam ruang. Namun demikian pengaruh ketinggian tidak akan terasa bila ruang dilengkapi dengan bukaan yang memungkinkan ventilasi silang tidak hanya horisontal ataupun menyilang vertikal.



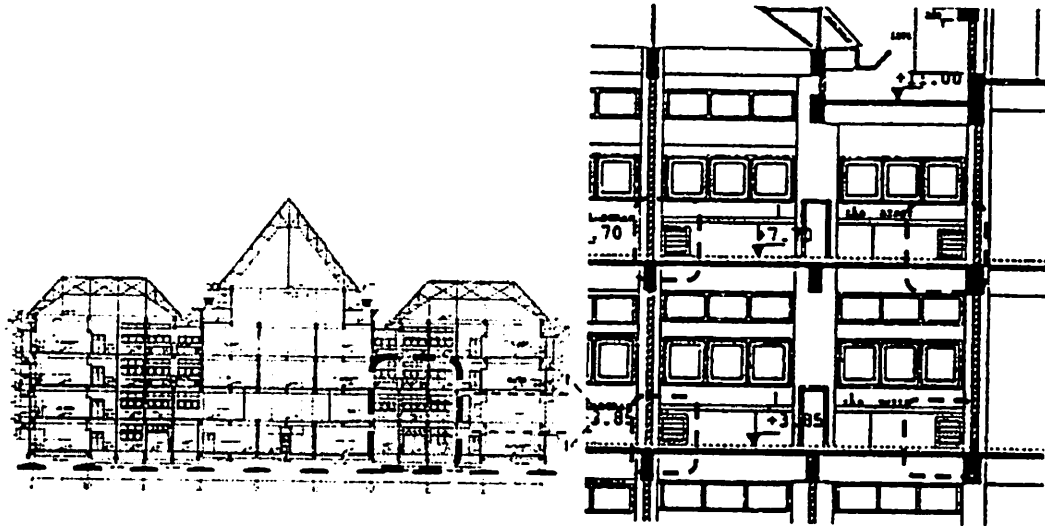
Gambar 149 Pengaruh ketinggian langit langit dengan kenyamanan termal

(Sumber: dimodifikasi dari Evans, 1980)

Evans, 1980 menjelaskan bahwa dua ruang dengan tinggi langit-langit berbeda mempunyai sebaran kenyamanan termal yang berbeda. Pada ruang yang tinggi kualitas termal ruang +1 atau batas maksimal panas berada jauh di atas ketinggian kepala penghuni ruang. Sedangkan pada ketinggian badan ruang mempunyai kualitas termal +0,5. Nilai kenyamanan termal +0,5 adalah nilai yang menunjukkan bahwa pada titik tersebut diprediksikan 80% penghuni merasa nyaman. Sedangkan pada ruang rendah nilai kenyamanan termal +1 ada pada

ketinggian kepala penghuni. Namun demikian hal ini menjadi tidak berlaku bila ruang tersebut diberi bukaan untuk ventilasi silang horisontal maupun vertikal.

Berdasarkan pada penjelasan alenia sebelumnya maka rekayasa langit-langit untuk ruang yang membutuhkan kualitas termal sejuk atau dingin dilakukan dengan menaikan langit-langit. Apabila hal itu tidak mungkin maka dilakukan dengan memberikan kompensasi bukaan ventilasi silang baik horisontal maupun vertikal. Contoh penerapan prinsip tersebut dapat dilihat di gambar berikut.



Gambar 150 Bukaan ventilasi bawah pada gedung laboratorium terpadu UII

8.3. Rekayasa Orientasi Bangunan untuk Termal

Pada Tabel 19 tentang strategi pengendalian iklim ruang dijelaskan bahwa cara pengendalian panas melalui radiasi adalah dengan mengendalikan perolehan panas matahari dari langit. Untuk daerah iklim yang sebagian besar waktunya berkondisi panas diusahakan dengan meminimalkan perolehan panas. Demikian sebaliknya bila iklim memberikan kondisi sebagian besar dingin maka diusahakan dengan meminimalkan perolehan panas. Dengan demikian rekayasa orientasi ruang, massa atau gubahan massa ditetapkan sedemikian rupa sehingga sesuai dengan kendala iklimnya. Untuk daerah Indonesia dengan iklim tropis hangat lembab maka orientasi ruang massa dan gubahannya lebih banyak menghindari arah radiasi matahari panas infra merah.

Pada tabel yang sama juga dijelaskan bahwa cara pengendalian panas melalui konveksi dilakukan dengan mengendalikan aliran udara eksternal dan infiltrasi serta ventilasi sesuai kebutuhan iklim. Untuk daerah yang panas atau hangat seperti Indonesia maka orientasi bangunan justru diusahakan untuk

menangkap sebanyak mungkin angin sehingga proses pendinginan bangunan dan ruang melalui konveksi dapat berjalan dengan efektif.

Uraian dua paragraf tersebut di atas mengantar pada pentingnya aspek arah matahari dan arah angin dalam rekayasa orientasi ruang, massa dan gubahan massa. Dengan demikian maka dalam penetapan orientasi ruang, massa dan gubahannya maka seorang arsitek harus mengetahui dahulu arah matahari dan arah angin yang tepat.

8.3.1. Orientasi dan matahari

Azimuth, altitude dan diagram matahari

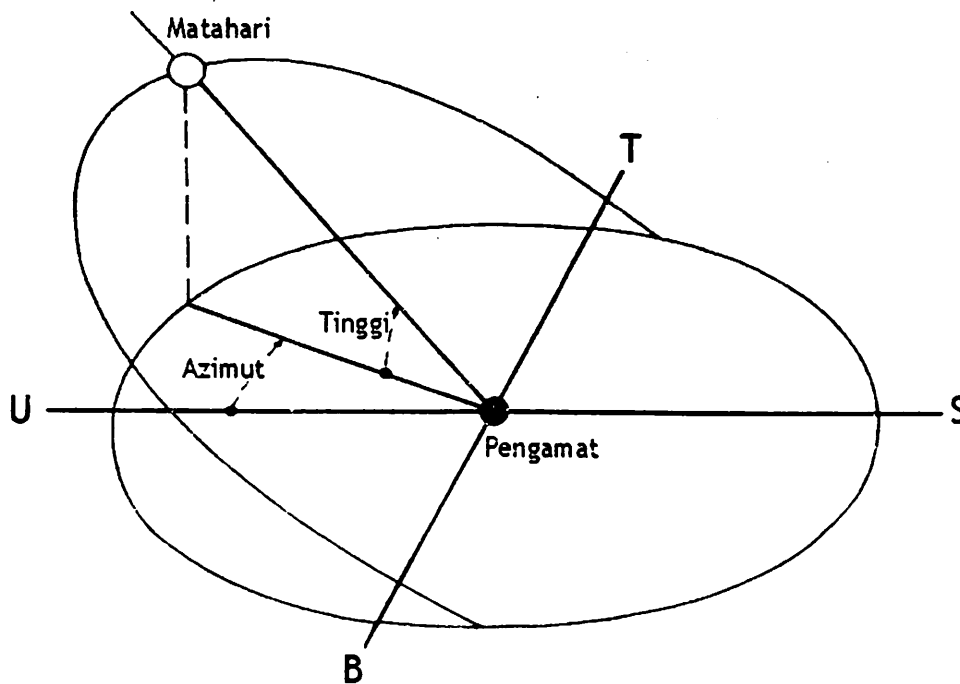
Untuk mengetahui arah matahari yang tepat harus dilakukan simulasi posisi matahari yang tepat. Parameter untuk menunjukkan sudut jatuh matahari adalah dengan azimuth dan altitude. Azimuth adalah deklinasi matahari didasarkan pada arah utara. Azimuth adalah sudut yang terbentuk antara arah utara dengan titik proyeksi matahari ke horizon. Penetapan sudut dimulai dengan dari arah utara searah jarum jam ke timur, selatan, barat dan kembali utara. Azimuth mulai dari nol sd 380 derajat. Altitude adalah sudut yang terbentuk antara garis imajiner pengamat dan titik proyeksi horizontal matahari dengan titik posisi matahari vertical. Altitude sering juga disebut tinggi matahari.

Ada berbagai cara untuk mendapatkan posisi matahari tersebut. Pertama dengan cara matematis, ke dua dengan cara navigatif dan ke tiga dengan cara grafis. Dalam buku ini akan diurai pencarian azimuth dan altitude dengan cara grafis berdasarkan Lippsmiere

Cara mencari sudut jatuh matahari secara grafik dengan diagram matahari

Walaupun secara mudah kita dapat mencari dengan alat bantu software computer, penguasaan pencarian secara grafis manual akan memperdalam kita untuk memahami konsep dasarnya.

Seperti yang telah disampaikan paragraf sebelumnya ada tiga metoda dalam mendapatkan azimuth dan altitude suatu tempat. Pertama adalah metoda navigator, ke dua metoda matematis dan yang ke tiga metoda grafis. Dalam buku ini akan disampaikan cara pencarian dengan metoda grafis. Metoda grafis adalah metoda pencarian altitude dan azimuth dengan bantuan diagram matahari.



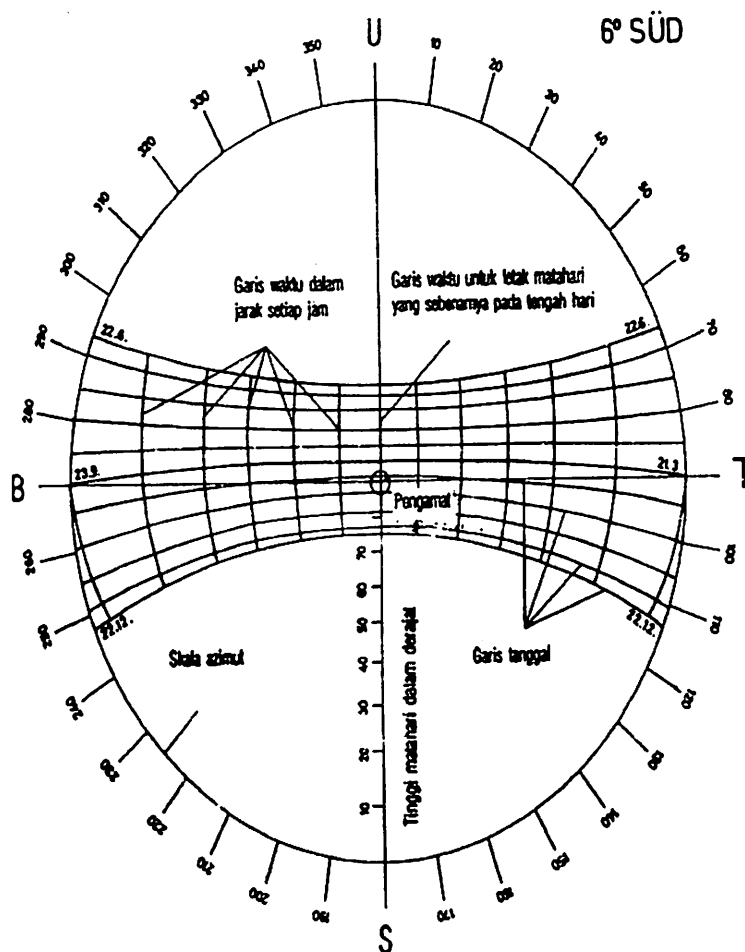
Gambar 151 Azimuth dan altitude (Sumber: Lippsmiere, 1990)

Bagian dari diagram matahari:

1. Skala azimuth pada lingkaran luar diagram (0-360).
2. Skala altitude pada garis yang berimpit dengan garis sumbu Utara - Selatan diagram (0-90).
3. Garis tanggal yang merupakan proyeksi pergeseran posisi matahari terhadap bumi pada setiap kurang lebih 20 hari dari arah utara ke selatan dan sebaliknya.
4. Garis jam yang merupakan proyeksi pergeseran posisi matahari terhadap bumi karena perputaran bumi pada porosnya untuk setiap 1 jam dari arah timur ke barat.

Langkah-langkah mencari altitude dan azimuth dengan diagram matahari

1. Memilih diagram matahari yang sesuai dengan posisi titik yang akan dicari. Posisi titik yang akan dicari ditentukan dengan garis lintang atau latitude dan garis bujur atau meridian. Garis lintang atau latitude adalah garis yang membagi bumi menjadi dua belahan, yaitu belahan Utara dan Selatan. Garis lintang yang istimewa adalah garis katulistiwa karena membagi bumi menjadi belahan utara dan selatan sama besar. Garis ini disebut garis lintang 0 derajat. Garis bujur adalah garis yang membagi bumi dalam dua belahan Barat dan Timur.



Gambar 152 Diagram matahari

(Sumber: Lippsmiere, 1990)

2. Menentukan waktu tengah hari sesungguhnya.

Setiap empat menit matahari bergeser 1 derajat dengan demikian setiap 1 jam (60 menit) matahari bergeser 15 derajat. Waktu yang diberlakukan di daerah tertentu akan berpedoman pada meridian waktu yang digunakan sebagai standar/ pedoman. Padahal pada kenyataannya titik yang kita cari tidak tepat pada meridian pedoman waktunya. Sehingga ada kemungkinan waktu daerah tersebut bukan waktu sebenarnya. Untuk mencari waktu yang sebenarnya adalah dengan cara sebagai berikut (Lippsmiere, 1990):

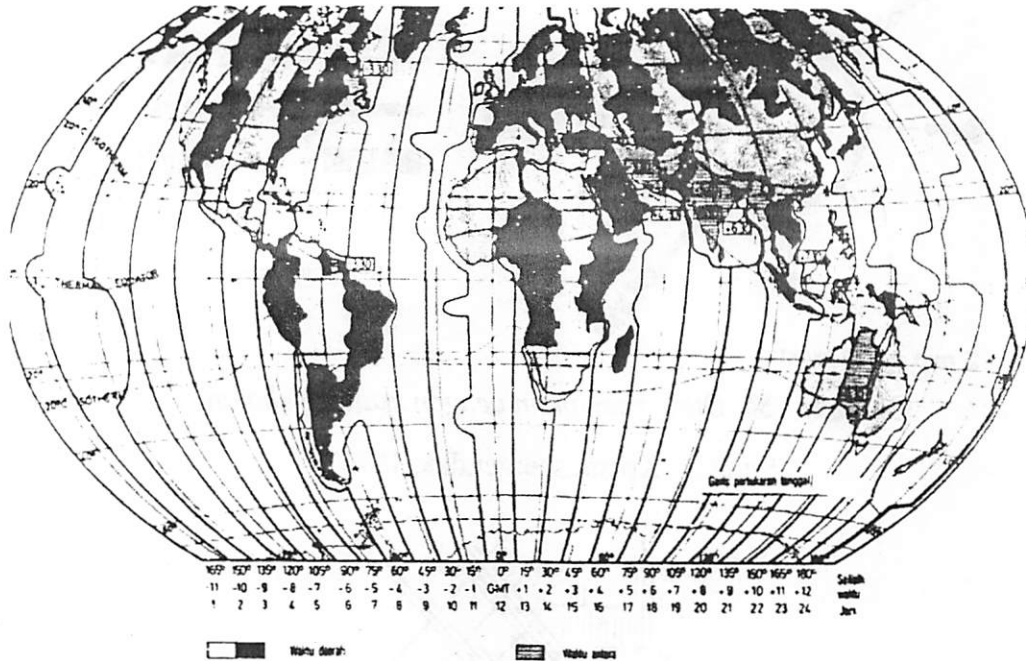
- Bila titik lebih timur dari meridian pedoman waktu, maka waktu siang hari sesungguhnya adalah:

$$12.00 - (\text{selisih derajat bujur} \times 4 \text{ menit})$$

- b) Bila titik lebih barat dari meridian pedoman waktu, maka waktu siang hari sesungguhnya adalah:

$$12.00 + (\text{selisih derajat bujur} \times 4 \text{ menit})$$

Garis bujur atau meridian pedoman waktu dapat dilihat berdasarkan pedoman meridian waktu dunia.



Gambar 153 Peta pedoman waktu

(Sumber: Lippsmiere, 1990)

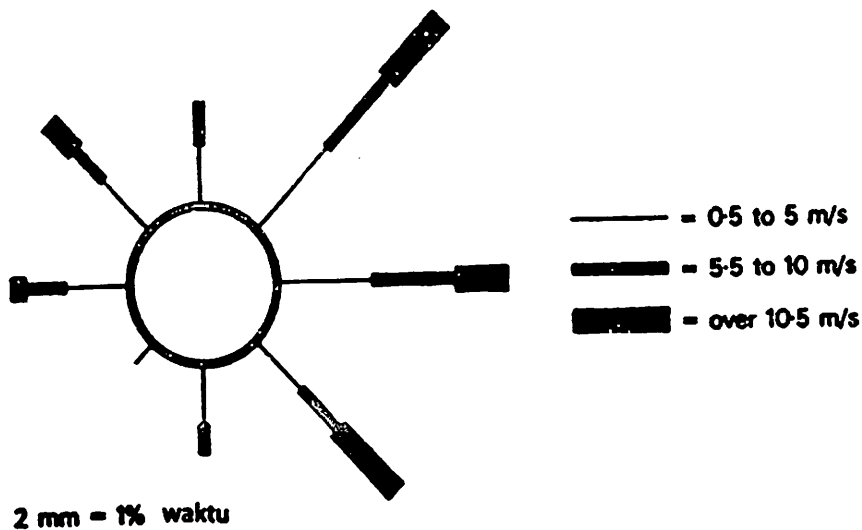
8.3.2 Orientasi dan angin

Indonesia sebagai daerah beriklim tropis hangat lembab tentunya sangat membutuhkan proses pendinginan. Sebagaimana yang telah disampaikan sebelumnya bahwa salah satu cara untuk mencapai pendinginan ruang adalah dengan konveksi. Dengan demikian bangunan-bangunan di Indonesia haruslah pandai mencari orientasi yang dapat sebanyak mungkin menangkap angin. Untuk itu, salah satu data terpenting yang harus dimiliki ketika seorang desainer menentukan orientasi ruang dan massa adalah mengetahui data arah angin.

Diagram angin, wind rose

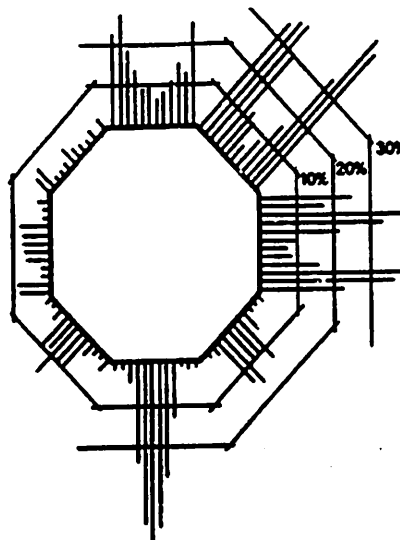
Diagram *wind rose* adalah atau dalam bahasa Indonesia dapat disebut sebagai diagram angin adalah diagram yang menjelaskan arah angin dan kecepatan serta

frekuensi pada satu titik amatan tertentu. Berbagai variasi bentuk dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 154 Diagram angin dengan skala ketebalan

(Sumber: Koenigsberger, dkk, 1975)



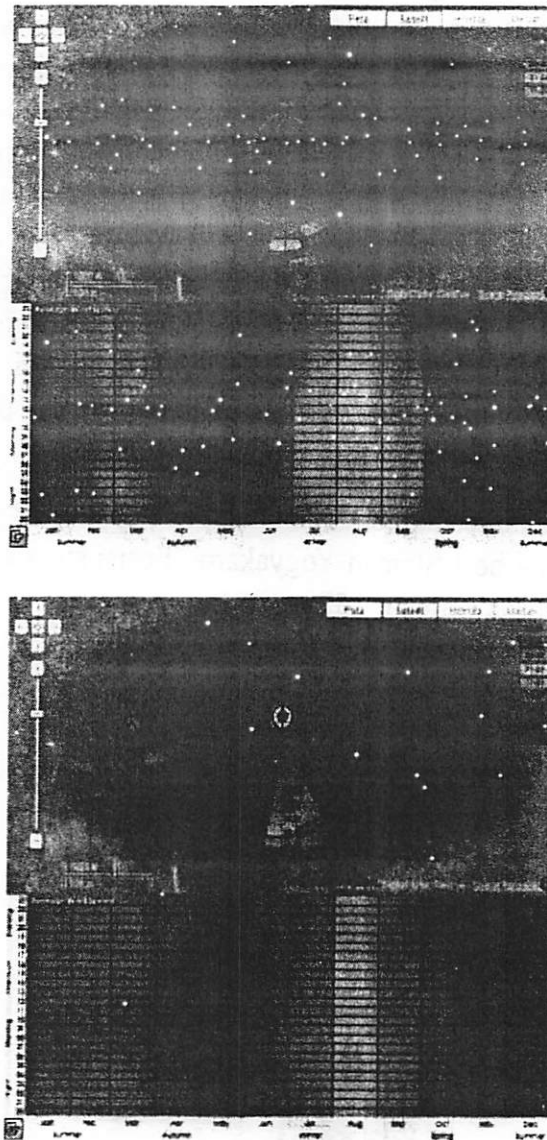
Gambar 155 Diagram angin dengan skala jumlah garis

(Sumber: Koenigsberger, dkk, 1975)

Data yang yang diploting dalam diagram angin dikumpulkan melalui pengukuran dan analisis dengan durasi waktu yang cukup. Data haruslah meliputi paling tidak delapan mata angin yaitu Timur, Tenggara, Selatan, Barat Daya, Barat, Barat Laut dan Utara serta Timur Laut. Pada setiap arah haruslah disajikan informasi tentang kecepatan angin pada arah tersebut beserta frekuensinya. Sebagai contoh pada Gambar 159 dapat dilihat ploting informasi kecepatan angin untuk delapan mata angin baik berupa kecepatan yang diwakili dengan tebal,

tipisnya garis dan frekuensi yang ditunjukkan dengan panjang garis. Setiap milli mewakili sekian persen.

Penggambaran peta angin, selain dilakukan secara manual dapat dilakukan dengan memanfaatkan software. Telah banyak software yang membantu untuk menggambarkan pola angin. Berikut contoh peta angin yang dihasilkan dari software.



Gambar 156 Contoh visualisasi peta angin hasil software

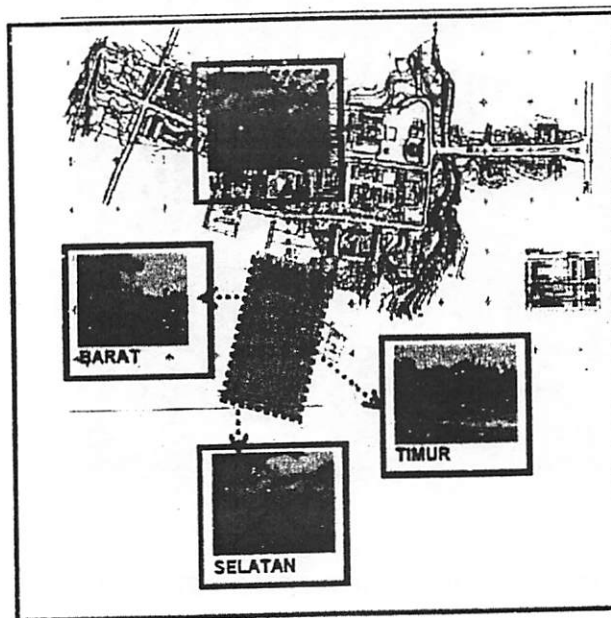
(Sumber: ecotec, 2011 dalam Admal Yasar,2012)

Berdasarkan diagram angin tersebut selanjutnya kita dapatkan maka kita dapat menetapkan orientasi yang tepat bagi ruang dan bangunan kita.

Model penyelesaian persoalan kenyamanan termal dengan pengendalian orientasi gubahan massa dan pembayang bukaan: kasus taman kanak-kanak Islam terpadu di Universitas Islam Indonesia proyek tugas akhir Meira Davina 2005

Model penyelesaian persoalan kenyamanan termal pada bangunan taman kanak-kanak yang akan dibahas dalam bab ini adalah model penyelesaian kenyamanan termal pada kasus desain proyek tugas akhir Meira Davina 2005. Proyek ini sebenarnya tidak hanya dimaksudkan untuk menjawab isu kenyamanan termal semata melainkan diusulkan sebagai jawaban atas empat isu. Pertama isu dibutuhkannya bangunan taman kanak-kanak di lingkungan kampus terpadu. Ke dua dan ke tiga adalah isu pentingnya penyelesaian pencapaian kenyamanan termal dan pencahayaan secara alamiah sebagai cara untuk mencapai performa ruang dasar dalam bingkai keberlanjutan. Ke empat adalah usaha pemanfaatan energi alamiah matahari sebagai sumber energi bangunan sebagai usaha konservasi energi untuk keberlanjutan. Berkenaan dengan lingkup diskusi buku ini maka dalam bab ini kajian kasus meira davina akan lebih difokuskan pada bagaimana persoalan tuntutan kenyamanan termal diselesaikan.

Proyek ini diusulkan berada di dalam kampus terpadu UII yang terletak di jalan Kaliurang km 14, 4 besi Sleman Yogyakarta. Posisi site dalam masterplan kampus UII dijelaskan pada Gambar 157 berikut.



Gambar 157 Lokasi kasus model 1

(Sumber: Meira Davina, 2005)

Kondisi iklim lingkungan seperti halnya kondisi Yogyakarta adalah sebagai terinci dalam Tabel 29, Tabel 30 dan Tabel 31. Dari tabel tersebut dapat diketahui

bahwa rata-rata temperatur tertinggi berdasarkan pada data tahun 2005 adalah 32,2°C sedangkan rata-rata temperatur terendahnya adalah 24,1°C.

Tabel 28 Suhu lingkungan

Bulan	jan	feb	mar	april	mei	juni	juli	agust	sept	okt	nov	des	Tinggi	TRT
Maksimum rata-rata bulanan	30.9	30.7	32.0	32.1	32.3	31.4	31.7	33.0	31.6	36.6	32.1	32.1	36.6	32.2
Minimum rata-rata bulanan	24.0	23.5	24.2	24.0	23.7	22.5	22.0	29.0	22.4	23.9	25.0	25.0	25.0	24.1
Rentang rata-rata bulanan	6.9	7.2	7.8	8.4	8.6	8.9	9.7	4.0	9.2	12.7	7.1	7.1	Rendah	RRT

Keterangan: trt=temperatur rata-rata tahunan, rrt=rentang rata-rata tahunan

(Sumber: Departemen Perhubungan Dinas Postel dan Udara, 2005 dalam Meira Davina, 2005)

Tabel 30 menggambarkan fluktuasi kelembaban maksimum antara 68% pada bulan oktober sampai dengan 97% pada bulan Januari Febuari. Sedangkan fluktuasi kelembaban minimum berkisar antara 37% bulan juni sampai dengan 81% bulan Oktober Desember.

Tabel 29 Kelembaban sekitar lokasi

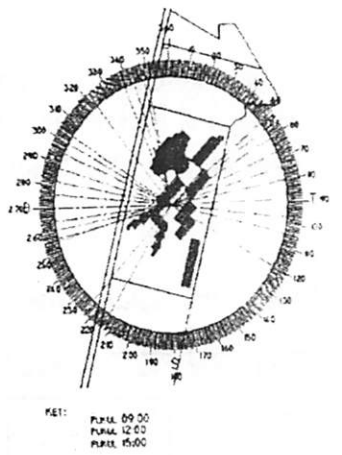
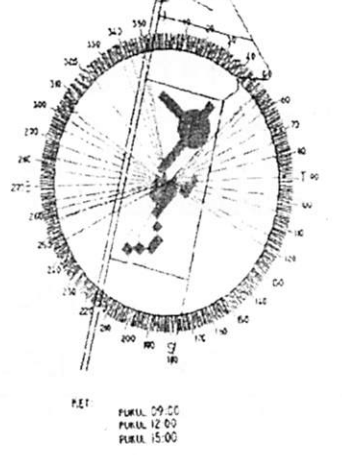
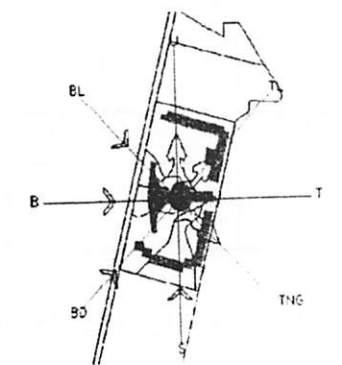
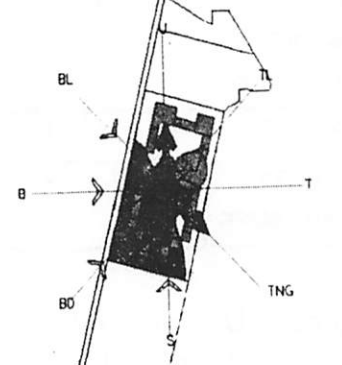
Bulan	jan	feb	maret	april	mei	juni	juli	agusts	sept	okt	nov	des
Maksimum rata-rata bulanan a.m.	97	97	87	91	93	95	81	77	76	68	91	68
Minimum rata-rata bulanan p.m.	58	58	79	76	46	37	72	68	70	81	55	81
Rata-rata	77.5	77.5	83	83.5	69.5	66	76.5	72.5	73	74.5	73	74.5
Kelompok Kelembababn	4	4	4	4	3	3	4	4	4	4	4	4

(Sumber: Departemen Perhubungan Dinas Postel dan Udara, 2005 dalam Meira Davina, 2005)

Dari data tersebut di atas, Meira Davina, 2005 merumuskan arahan desain dengan menggunakan Tabel Mahoni. Dari pendekatan Tabel mahoni diperoleh arahan desain orientasi massa baik kepentingan matahari dan angin, tata ruang, bukaan dan material pelingkup bangunan.

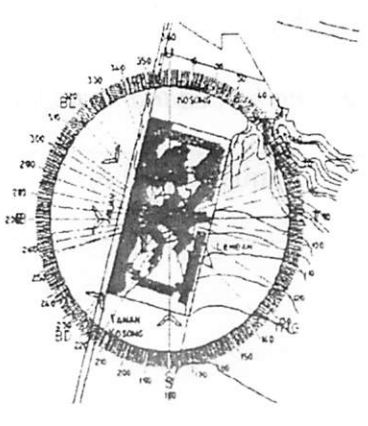
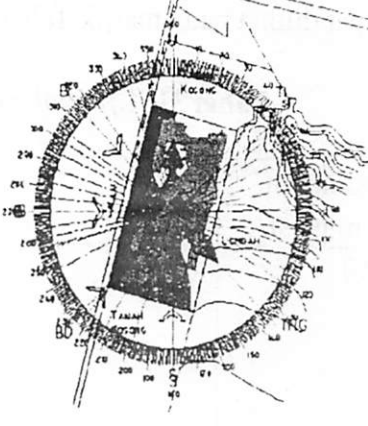
Berdasarkan analisis Tabel Mahoney maka orientasi bangunan untuk kepentingan matahari berorientasi ke arah Utara Selatan, namun secara bersamaan juga harus diusahakan menangkap angin sebanyak mungkin. Untuk itu dalam kasus ini dilakukan pencarian orientasi bangunan dengan memadukan azimuth hasil analisis diagram matahari dan data arah angin potensial di site. Untuk itu Meira Davina melakukan simulasi pemecahan masalah dengan mengembangkan berbagai alternatif sebagai tergambar dalam matrikulasi pemecahan persoalan orientasi gubahan massa untuk nyaman termal Tabel 30 berikut:

Tabel 30 Pemecahan persoalan orientasi massa dan gubahan massa untuk kenyamanan termal model kasus

Pertimbangan	Alternatif 1	Alternatif 2
Orientasi terhadap kepentingan radiasi matahari rendah	 <p>Diagram sun path for Alternative 1. The building footprint is shown in the center of a circular sun diagram. The sun path is plotted for three times of day: Pukul 09:00, Pukul 12:00, and Pukul 15:00. The diagram shows the sun's position and the resulting shadows cast by the building.</p>	 <p>Diagram sun path for Alternative 2. The building footprint is shown in the center of a circular sun diagram. The sun path is plotted for three times of day: Pukul 09:00, Pukul 12:00, and Pukul 15:00. The diagram shows the sun's position and the resulting shadows cast by the building.</p>
Orientasi terhadap arah angin yang tinggi	 <p>Diagram showing wind direction for Alternative 1. The building footprint is shown in the center of a wind diagram. Wind directions are indicated by arrows labeled B, T, and TNG. The diagram shows the building's orientation relative to these wind directions.</p>	 <p>Diagram showing wind direction for Alternative 2. The building footprint is shown in the center of a wind diagram. Wind directions are indicated by arrows labeled B, T, and TNG. The diagram shows the building's orientation relative to these wind directions.</p>

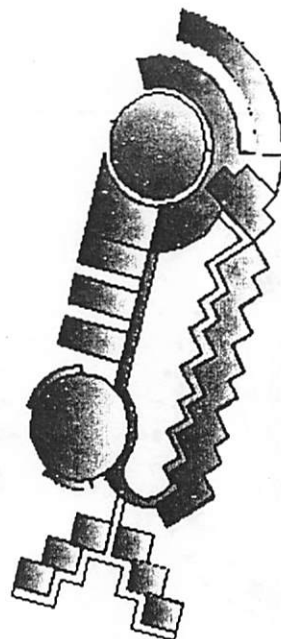
(Sumber: dimodifikasi dan diolah kembali dari Meira Davina, 2005)

Lanjutan Tabel 30

Pertimbangan	Alternatif 1	Alternatif 2
Pemecahan persoalan termal		

(Sumber: dimodifikasi dan diolah kembali dari Meira Davina, 2005)

Dari alternatif pemecahan persoalan desain dihasilkan site plan seperti tergambar pada Gambar 158.

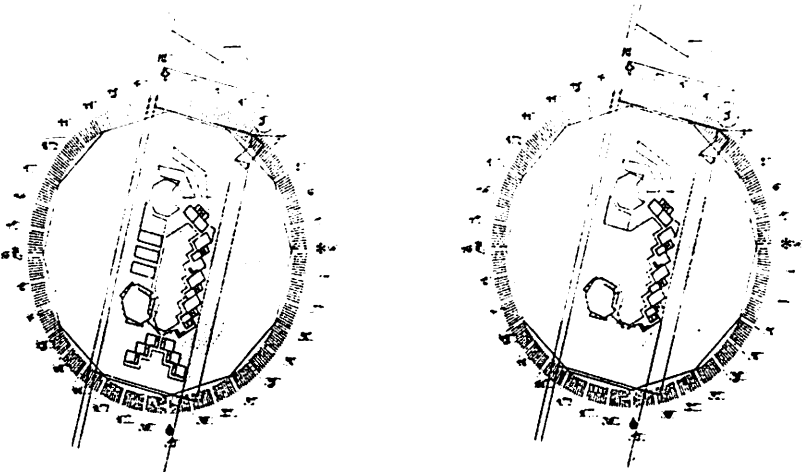
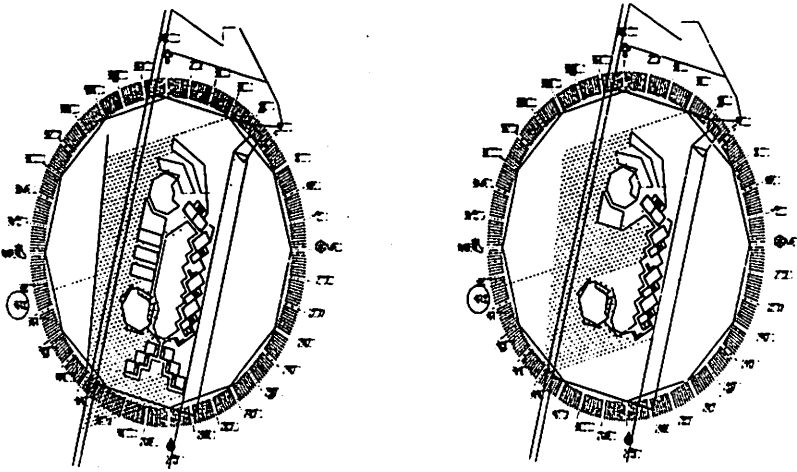


Gambar 158 *Gubahan massa dengan orientasi berdasarkan pertimbangan mendapatkan angin yang besar dan menghindari arah matahari negatif sehingga kenyamanan termal tercapai*

(Sumber: Meira Davina, 2005)

Usaha mengendalikan radiasi matahari ditingkatkan dengan cara memberikan pembayang pada bukaan. Penetapan desain pembayang bukaan dilakukan oleh Meira Davina dengan uji coba simulasi azimuth. Uji coba tersebut dapat dilihat pada matrik Tabel 31 berikut.

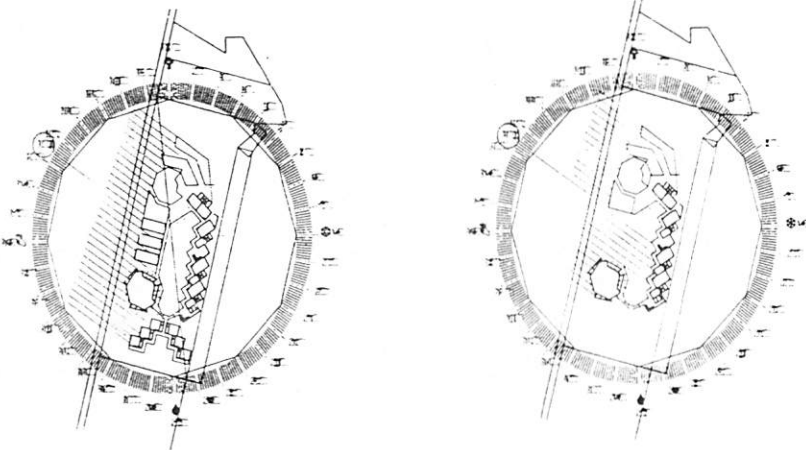
Tabel 31 Uji letak pembayang berdasarkan simulasi azimuth

Azimuth simulasi	simulasi dan hasil
40	
56	

Lanjutan Tabel 31 : Uji letak pembayang berdasarkan simulasi azimuth

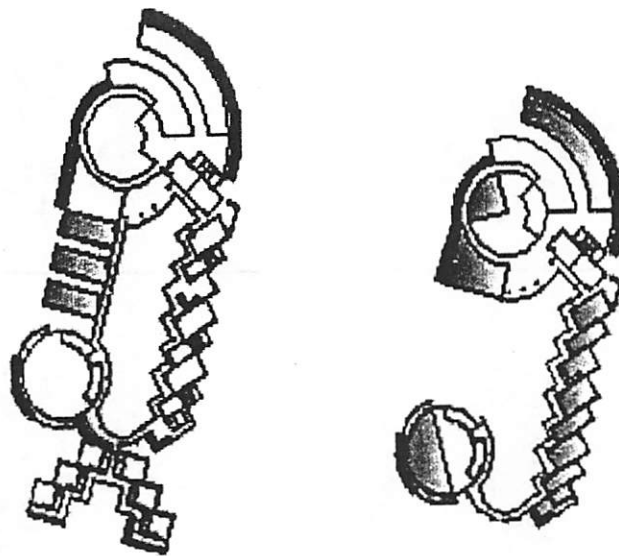
Azimuth simulasi	Simulasi dan hasil
256	
260	
295	

Lanjutan Tabel 31 : Uji letak pembayang berdasarkan simulasi azimuth

Azimuth simulasi	Simulasi dan hasil
304	

(Sumber: Meira Davina, 2005)

Dari simulasi tersebut Tabel 31 maka diputuskan adanya penambahan pembayang pada bukaan dibukaan pada arah matahari terlarang seperti tergambar Gambar 159 berikut.



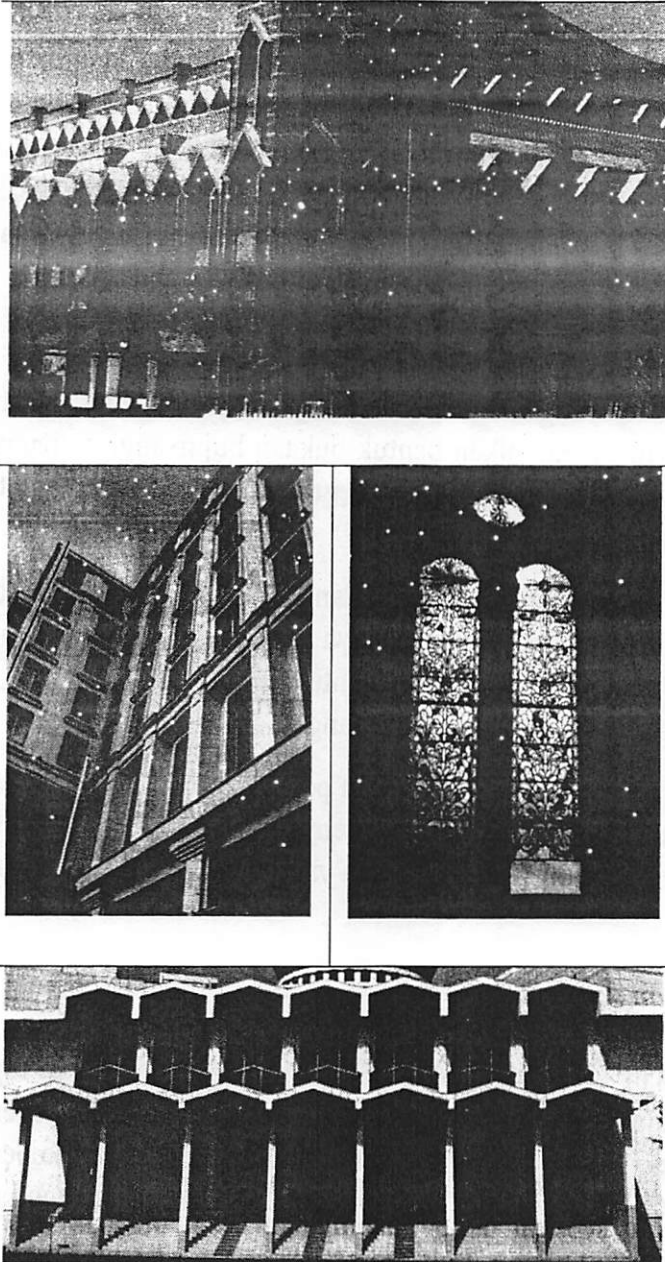
Keterangan gambar *tanda blok* adalah letak bukaan dengan pembayang

Gambar 159 *Posisi bukaan dengan pembayang*

(Sumber: Maira Davina, 2005)

8.4. Bukaan Ventilasi dan Peneduhan

Bukaan adalah pelubangan pada kulit bangunan yang memungkinkan sinar matahari dan atau angin dapat masuk ke dalam bangunan. Ujud bukaan tersebut bisa dalam bentuk ventilasi angin atau bukaan cahaya matahari. Jendela dan bouvenligh adalah nama yang sangat umum digunakan.



Gambar 160 Contoh variasi bukaan dan pembayang pada praktek rekayasa bangunan untuk termal

(Sumber: Dokumen Pribadi Dadang Aruman, 2009-2012)

Bukaan bangunan menjadi sangat penting dalam rekayasa bangunan untuk pencapaian kenyamanan termal karena bukaan menjadi penghubung antar ruang dalam dengan ruang luar. Dengan demikian bukaan akan menjadi penentu seberapa besar bangunan mampu memanfaatkan potensi iklim lingkungan dan seberapa besar bangunan mampu mempertahankan ruang dalam dari tekanan ruang luar.

Unsur dan aspek bukaan

Dalam rekayasa bukaan, ada empat unsur bukaan yang harus ditetapkan. Empat unsur tersebut adalah dimensi, orientasi, kedudukan dan elemen bukaan. Keempat unsur tersebut harus ditetapkan berdasarkan dua aspek pertimbangan. Dua aspek pertimbangan tersebut adalah aspek matahari dan angin

1) Dimensi

Dimensi adalah parameter yang memuat dua hal yaitu ukuran luas dan bentuk. Dimensi jendela $2 \times 2 \text{ m}^2$ menunjukkan bentuk bukaan bujursangkar dengan luas 4 m^2 . Dimensi bukaan dengan jari-jari 2 m menunjukkan bahwa bentuk bukaan adalah lingkaran dengan luas $3,14 \text{ m}^2$.

Bentuk bukaan dipadu dengan penempatan dalam bidang dinding nantinya akan menentukan kualitas dan distribusi cahaya matahari dan angin yang akan masuk pada ruangan. Luas bukaan akan menentukan kuantitas besarnya cahaya matahari dan debit angin yang masuk dalam ruangan.

Berdasarkan Guohou Gan, 2001, dalam penelitiannya tentang temperatur radiasi rata-rata dengan kenyamanan termal menyatakan bahwa dimensi bukaan mempengaruhi efek temperatur radiasi rata-rata yang berakibat pada kenyamanan termal ruang.

Dimensi bukaan dan matahari

Penetapan besar bukaan untuk daerah tropis dengan altitude tinggi seperti di Indonesia akan berhadapan dengan dilema dua kepentingan. Dua kepentingan tersebut adalah kepentingan pencahayaan siang hari dan kepentingan pengendalian radiasi matahari. Dalam hal ini kepentingan pencahayaan matahari dapat digunakan sebagai dasar penempatan besar bukaan. Sebagai pengatasan masuknya panas akibat radiasi matahari adalah dengan melakukan rekayasa elemen bukaan lainnya. Elemen bukaan lain tersebut adalah unsur elemen untuk kepentingan pembayangan dan unsur orientasi untuk menghindarkan arah-arahan matahari dengan kualitas yang tidak diinginkan.

Dimensi bukaan dan angin

Dimensi bukaan dan angin adalah hubungan yang sangat potensial untuk dikembangkan dalam rekayasa bukaan. Pada daerah tropis hangat lembab seperti di Indonesia, proses pendinginan ruang yang paling efektif adalah dengan pendinginan konveksi. Angin adalah sumber daya yang potensial pendinginan ruang dengan konveksi.

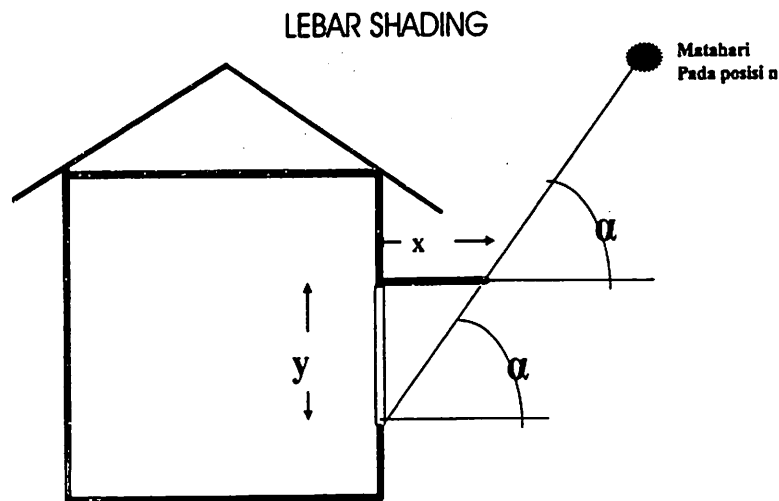
Penetapan dimensi untuk kepentingan angin akan berhubungan dengan kebutuhan debit udara yang diperlukan, distribusi dan kecepatan angin yang disyaratkan dalam ruang. Dengan mengetahui debit udara yang dibutuhkan dan dengan mengetahui kecepatan angin maka dapat ditetapkan luas bukaan yang dibutuhkan oleh sebuah ruangan. Standar-standar yang mungkin dikembangkan dengan perhitungan untuk mendapatkan dimensi yang diperlukan dapat dilihat pada SNI tentang bukaan ventilasi.

Elemen eksternal bukaan

Elemen eksternal bukaan dapat berupa empat ujut. Empat tersebut meliputi pembayang horisontal dan pembayang vertikal untuk selanjutnya dalam buku ini disebut sirip. Penyebutan ini disebabkan pembayang vertikal yang melekat pada bangunan seperti sirip pada ikan. Selain pembayang horisontal dan vertikal, elemen bukaan dapat berupa elemen penyaring (*screen*), panil penutup dan tabir atau tirai.

Pembayang sangat potensial untuk mengendalikan masuknya radiasi panas langsung dari matahari. Hal ini menjadi sangat menguntungkan bagi bangunan di daerah sekitar khatulistiwa seperti Indonesia. Bangunan dekat dengan khatulistiwa mempunyai altitude rata-rata tahunan yang lebih tinggi dibanding daerah lain. Sementara altitude yang tinggi akan menyebabkan intensitas radiasi yang lebih besar.

Pencegahan radiasi langsung matahari masuk melalui bukaan dilakukan dengan mendesain dimensi bukaan berdasarkan hasil perhitungan yang berbasis pada sudut jatuh bayangan horisontal (SBH) dan sudut jatuh bayangan vertikal (SBV). Secara prinsip perhitungan dilakukan dengan rumus tangen SBH dan SBV. Gambar berikut menjelaskan prinsip tersebut.



Keterangan:

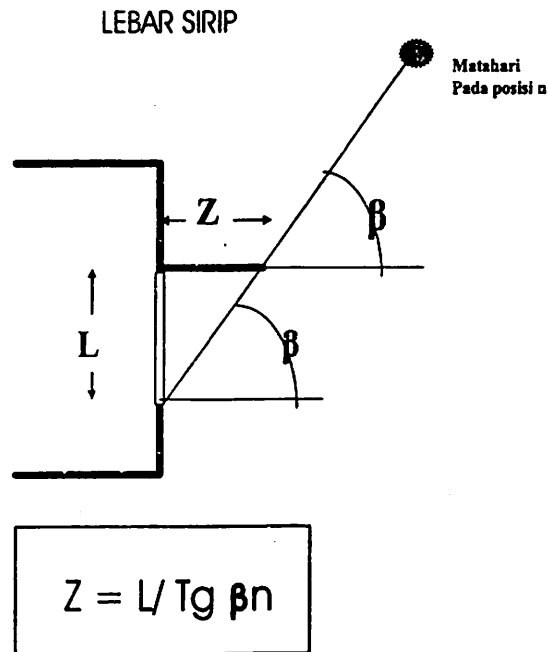
X = panjang pembayang horisontal (ph) terhadap bidang bukaan yang akan dibayangi; y = tinggi jendela yang akan dilindungi; α = sudut jatuh bayangan vertikal (SBV); n = posisi matahari yang akan diperhitungkan

Gambar 161 Prinsip perhitungan pembayang horisontal, ph didasari oleh sudut jatuh bayangan vertikal (SBV)

Panjang ph dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$X = y / \tan \alpha \dots\dots\dots (8.5)$$

Ukuran pembayang vertikal (pv) diukur dengan prinsip tangen. Secara rinci dijelaskan pada gambar berikut:



Keterangan:

z = panjang pembayang vertikal (bv); l = lebar jendela yang akan dilindungi;
 β = sudut jatuh bayangan horisontal (SBH); n = posisi matahari yang akan diperhitungkan

Gambar 162 Prinsip perhitungan pembayang vertikal, p_v didasari oleh sudut jatuh bayangan horisontal (SBH)

Perhitungan panjang pembayang vertikal menggunakan rumus sebagai berikut:

$$Z = l / \text{tg } \beta n \quad (8.6)$$

8.5. Rekayasa Ruang Luar untuk Kenyamanan Termal

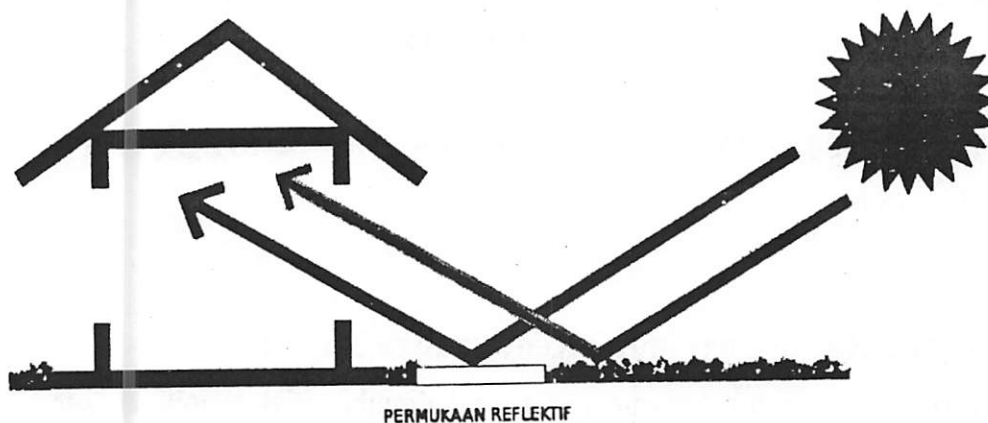
Rekayasa ruang luar untuk kenyamanan termal dimulai sejak pemilihan site. Walaupun dalam praktek dunia arsitektur kesempatan memilih site tidak selalu dimiliki oleh seorang arsitek. Namun bila kesempatan itu tersedia maka hal yang paling menentukan untuk mencari kemudahan dalam pengelolaan rekayasa untuk termal adalah memilih iklim site yang tepat. Setelah pemilihan site tepat maka diharapkan tekanan iklim terhadap usaha rekayasa bangunan menjadi lebih ringan. Namun demikian bila hal tersebut tidak terjadi, langkah selanjutnya adalah dengan rekayasa site.

8.5.1. Pemilihan site

Pemilihan site harus memperhatikan iklim mikro. Penting untuk diketahui bahwa iklim site berbeda dengan iklim makro. Iklim makro adalah seluruh gejala meteorologis di atmosfer yang juga ditentukan oleh topografi permukaan bumi. Data dikumpulkan dalam jangkauan yang lama dan meliputi zona yang relatif lebih luas dibanding dengan iklim site. Iklim site termasuk kategori iklim mikro. Bila kita membicarakan iklim paling tidak kita membicarakan tujuh elemen iklim yaitu radiasi matahari, temperature, kelembaban, angin, curah hujan dan kondisi langit serta tekanan udara. Tujuh elemen iklim tersebut akan unik disetiap zona iklim karena adanya keunikan dari pergerakan energi dan massa akibat sistem pergerakan yang unik bumi terhadap matahari. Dalam konteks iklim mikro, elemen-elemen iklim untuk kenyamanan termal ditentukan oleh lima unsur yang menjadi kriteria. Lima kriteria tersebut adalah penutup tanah, kemiringan site, elevasi, faktor alamiah dan tanah lapang.

1. Penutup tanah

Penutup tanah sangat penting dalam menentukan kualitas iklim site. Hal ini disebabkan penutup tanah akan mempengaruhi reflektivitas radiasi matahari yang jatuh ke site. Pada akhirnya radiasi matahari reflektif tersebut menjadi penyebab naik turunnya temperatur site. Ilustrasi berikut dapat menjelaskan bagaimana permukaan tanah menentukan tekanan panas pada bangunan.



Gambar 163 *Permukaan tanah akan menentukan perolehan panas ruang atau bangunan*

Pemilihan site berdasarkan penutup tanah dilakukan dengan melihat potensi tanah. Seberapa mungkin karakteristik tanah memberi peluang bagi arsitek untuk mengembangkan variasi penutup tanah yang menguntungkan dalam rekayasa site. Tanah yang subur untuk ditanami akan memberikan kemungkinan pada site untuk

ditutup dengan tanaman hijau sementara tanah yang gersang atau berbatu akan membutuhkan rekayasa lahan yang lebih mahal untuk ditutup dengan tanaman hijau. Berikut dalam Tabel 32 disampaikan beberapa contoh material dengan sifat reflektif. Namun demikian data tentang reflektivitas material akan tetap berbeda pada kelembaban dan sudut radiasi yang berbeda. Sehingga data-data berikut perlu diaplikasikan dengan kondisi yang sesuai.

Tabel 32 *Material dan reflektivitasnya*

No	Material	Reflektivitas dalam %
1	Permukaan air, laut	3-10
2	Daun hijau	25-32
3	Lapangan rumput	3-15
4	Rumput kering	32
5	Tanah berpasir	15-40
6	Kayu	5-20
2	Beton	30-50
3	Batu bata	23-48
4	Batu	18
5	Salju putih yang baru	75-95

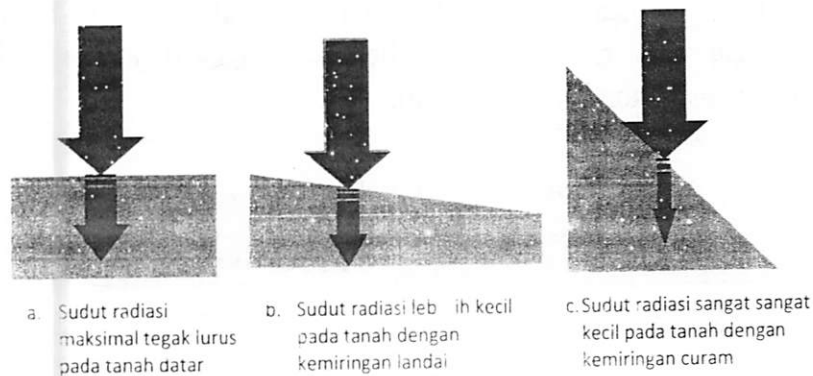
Catatan: reflektivitas ini tetap akan berbeda bila kelembaban dan sudut radiasi berbeda.

(Sumber: Evan, 1980)

2. Kemiringan site

Kemiringan site akan menentukan sudut jatuh relatif radiasi matahari pada permukaan tanah. Sudut jatuh relatif matahari pada permukaan site akan menimbulkan intensitas radiasi matahari yang berbeda. Secara ilustratif dijelaskan pada Gambar 164. Pada kondisi sudut radiasi maksimal, yaitu dalam kondisi tanah datar maka sudut jatuh relatif radiasi matahari terhadap tanah tegak lurus sehingga intensitas yang terserap oleh tanah menjadi paling tinggi. Sedangkan pada kondisi tanah dengan kemiringan landai, maka sudut jatuh relatif matahari menjadi lebih kecil dari kondisi sebelumnya. Sementara pada kondisi tanah dengan kemiringan yang curam maka sudut jatuh relatif matahari menjadi paling kecil. Bila tujuan desain adalah untuk mencari tekanan panas yang rendah terhadap bangunan maka site dengan kemiringan yang curam akan lebih menguntungkan. Namun demikian konsekuensi akibat pemiliha site yang curam pada aspek keruangan, struktur dan

konstruksi serta rekayasa lahan harus dipikirkan sebagai suatu catatan desain atau tantangan desain.



Gambar 164 Perbandingan kemiringan tanah dengan intensitas radiasi matahari

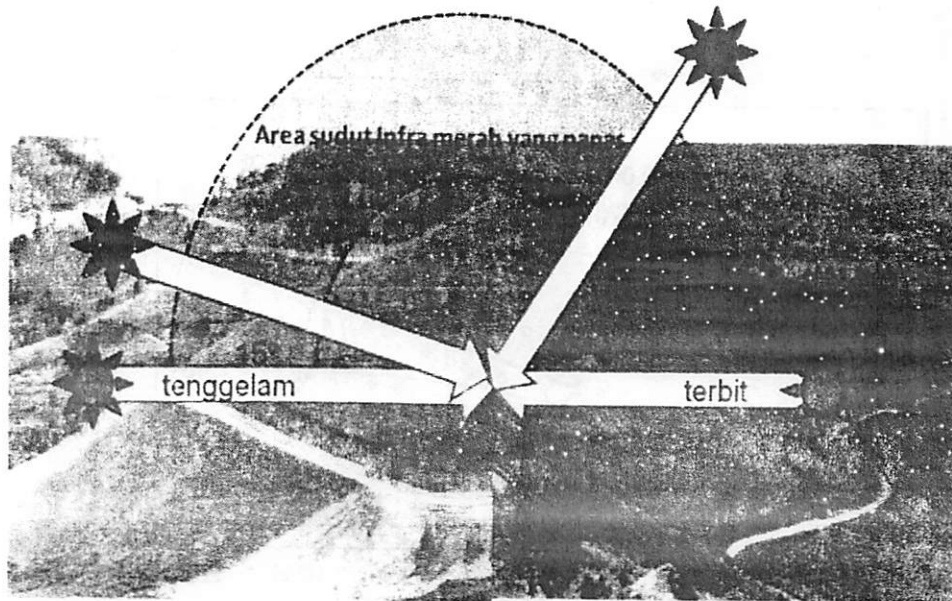
3. Orientasi site

Orientasi site akan menentukan sudut jatuh relatif radiasi matahari pada saat baik arah horisontal ataupun arah vertikal. Seperti halnya kemiringan site, maka makin tegak lurus sudut jatuh matahari pada site maka intensitas radiasi matahari akan besar. Orientasi site selain berdampak pada aspek kuantitas radiasi matahari juga berdampak pada aspek kualitas matahari.

Kualitas matahari dibedakan menjadi tiga, yaitu kualitas cahaya infra merah (*infra red*), kualitas cahaya penglihatan (*visible light*) dan kualitas cahaya ultra ungu (*ultra violet*). Radiasi matahari ultra ungu adalah cahaya matahari gelombang pendek (atau frekuensi tinggi).

Radiasi matahari ultra violet mempunyai panjang gelombang antara 290 nm sampai dengan 380 nm. Kualitas radiasi ultra violet dominan terdapat pada radiasi matahari pada posisi mulai terbit sampai dengan ketinggian 45° . Radiasi ini memberikan efek fotokimiawi. Radiasi matahari jenis kualitas cahaya penglihatan (*visible light*) mempunyai panjang gelombang antara 380 nm sampai dengan 700 nm. Kualitas cahaya ini menyebabkan mata dapat melihat. Radiasi matahari infra merah mempunyai panjang gelombang antara 700 nm sampai dengan 2300 nm. Radiasi ini menghasilkan pancaran panas dan sedikit efek fotokimiawi. Kualitas radiasi infra merah dominan terdapat pada radiasi matahari mulai ketinggian 45° sampai dengan 15° sebelum tenggelam.

Orientasi massa dan ruang untuk kenyamanan termal haruslah melihat karakteristik kebutuhan kualitas radiasi yang tepat. Sehingga site yang baik haruslah memberikan peluang bagi massa dan ruang dalam menangkap kualitas radiasi matahari yang diinginkan.



Gambar 165 Orientasi site terhadap matahari akan menentukan potensi site terhadap perolehan kualitas radiasi matahari yang dibutuhkan bangunan

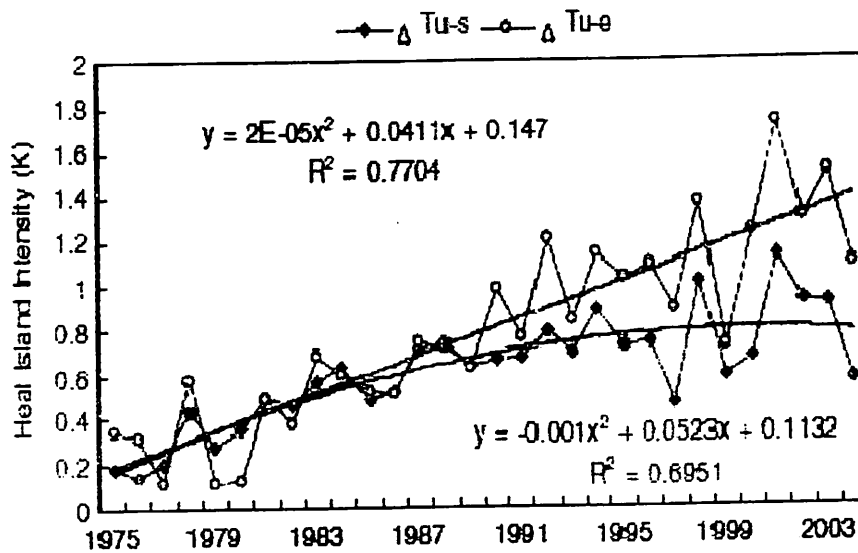
4. Elevasi

Elevasi site akan menentukan karakteristik iklim mikro. Variasi karakteristik iklim mikro nantinya akan berdampak pada tekanan iklim ruang luar ke dalam ruang dalam. Untuk itu pemilihan site harus didasari salah satunya oleh elevasi.

5. Faktor alamiah dan tanah lapang

Faktor alamiah dan tanah lapang akan menentukan iklim mikro. Faktor alamiah dan kondisi tanah akan berbeda-beda antara daerah pedesaan, daerah peri-peri serta daerah kota. Intensitas aktivitas penduduk di perkotaan menimbulkan tingkat produksi limbah aktivitas lebih tinggi dibanding di pedesaan. Hal ini menimbulkan kondisi udara menjadi berbeda. Kondisi ini diperkuat dengan makin luasnya komponen buatan lingkungan seperti bangunan dan jalan menggantikan komponen alamiah seperti vegetasi dan bentangan air.

Gejala meningkatnya suhu di pusat kota terjadi di beberapa kota. Berikut hasil penelitian yang dilakukan di Shanghai tentang gejala pulau panas yang bervariasi pada daerah pusat kota dan daerah sub urban. Secara diagramatis fluktuasi tersebut terlihat pada Gambar 166.



Gambar 166 Variasi intensitas pulau panas perkotaan (urban heat island) berdasarkan perbedaan temperatur maksimum harian antara pusat urban dan sub urban di sanghai

(Sumber : Tan dkk,2010)

Dengan gambaran tersebut di atas maka sangatlah penting memperhatikan kondisi alamiah dari site. Kondisi alamiah site yang buruk akan memberikan tekanan yang lebih tinggi pada pencapaian rekayasa bangunan untuk termal. Dengan juga sebaliknya.

8.5.2. Rekayasa site

Setelah tahap pemilihan site dilakukan, maka langkah selanjutnya adalah merekayasa site. Pengolahan ruang luar sebagai cara untuk meningkatkan potensi dan atau memperbaiki sumber daya site sehingga dapat memberikan keuntungan pada pencapaian kenyamanan thermal bangunan. Langkah rekayasa site ditetapkan berdasarkan dua hal. Pertama adalah tujuan desain, ke dua adalah kondisi iklim mikro.

Daerah dengan iklim yang relatif hangat atau panas menyebabkan desain lebih ditujukan untuk pendinginan atau menyejukan. Bagaimana cara mendinginkan atau menyejukan bangunan tergantung dari potensi iklim. Pada daerah dengan iklim tropis hangat lembab tentunya berbeda dengan iklim panas kering.

Indonesia adalah daerah yang beriklim tropis hangat lembab dengan potensi angin yang berlimpah dan altitude yang relatif tinggi. Kondisi ini menyebabkan

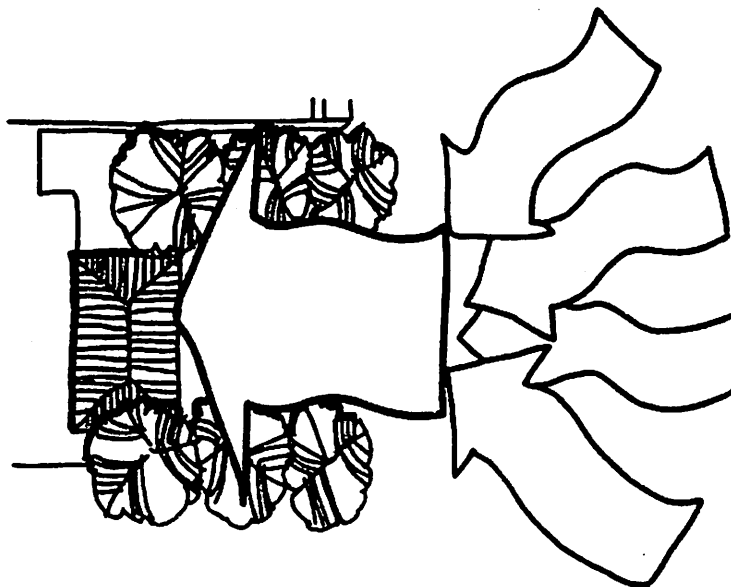
tujuan desain diarahkan pada usaha pendinginan secara konveksi dengan angin dan peneduhan untuk menghindari radiasi matahari dengan altitude tinggi.

Rekayasa site untuk termal dengan pengendalian angin dan radiasi matahari dapat dilakukan dengan 3 prinsip. Ketiga prinsip tersebut adalah pengendalian bentukan, struktur tanah, tumbuhan sebagai pengendali angin; pengendalian bentukan, *ground cover*, tanaman untuk pengendalian radiasi matahari dan pembayangan; pengolahan bentukan, tanaman dan struktur tanah serta elemen lansekap lain sebagai pendinginan site.

Pengendalian bentukan, struktur tanah, tumbuhan sebagai pengendali angin dilakukan untuk membentuk gejala lorong angin dan atau tanggul angin serta bayangan angin yang tepat dalam site. Gejala lorong angin adalah gejala meningkatnya kecepatan angin karena terkumpulnya angin dari bentangan yang lebih luas ke area berlorong yang sempit. Meningkatnya kecepatan angin disebabkan karena angin dengan debit yang sama tiba-tiba harus melewati lorong yang lebih sempit. Debit adalah perkalian kecepatan dengan penampang. Bila penampang mengecil maka kecepatan meningkat.

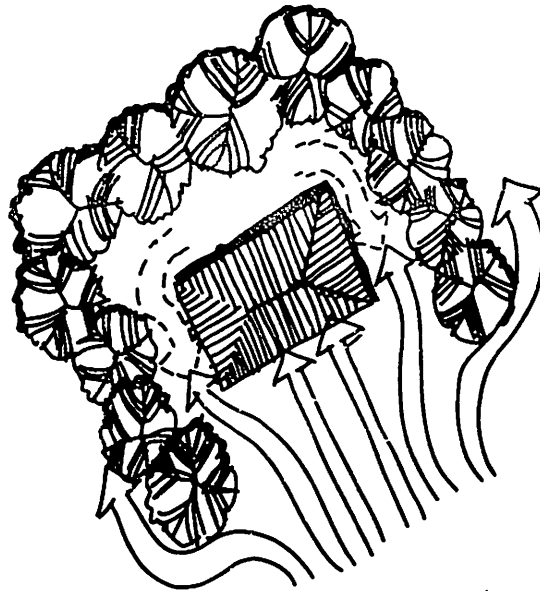
Meningkatnya kecepatan angin secara tepat akan menguntungkan bagi proses pendinginan angin baik untuk bangunan ataupun ruang. Namun demikian tetap harus diwaspadai agar kecepatan angin yang menimpa bangunan atau masuk dalam bangunan tidak melampaui kecepatan yang dibutuhkan.

Pembentukan lorong angin dapat dilakukan dengan membuat jajaran pohon, elemen buatan atau bangunan lain dalam site sehingga membentuk lorong. Secara ilustratif dapat dilihat dalam gambar berikut.



Gambar 167 Penataan lansekap dengan tatanan pohon membentuk lorong angin

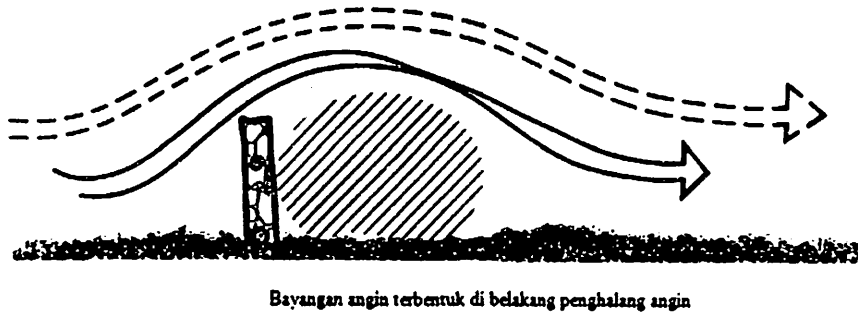
Tata lansekap baik berupa pohon atau elemen lain seperti bukit buatan yang membuat massa bangunan terkurung di tengah bangunan seperti Gambar 168, menyebabkan adanya turbulensi karena angin seolah masuk dan terperangkap dalam tanggul. Kondisi ini menyebabkan sisi bangunan yang berhadapan dengan angin mengalami tekanan positif sementara sisi bangunan lain mengalami hisapan (negatif).



Gambar 168 Contoh penataan elemen vegetasi yang membentuk tanggul angin

Gejala bayangan angin terjadi bila angin yang datang pada site terhalang oleh elemen dalam site seperti jajaran pohon, dinding pembatas atau bukit. Bayangan angin akan terbentuk dibelakang halangan angin tersebut. Bila kita kan menghindari angin, maka bangunan kita seyogyanya ditempatkan di daerah bayangan angin tersebut. Namun bila kita ingin menangkap angin maka bangunan kita harus ada di luar bayangan angin. Tersebut. Secara ilustratif dijelaskan pada Gambar 169.

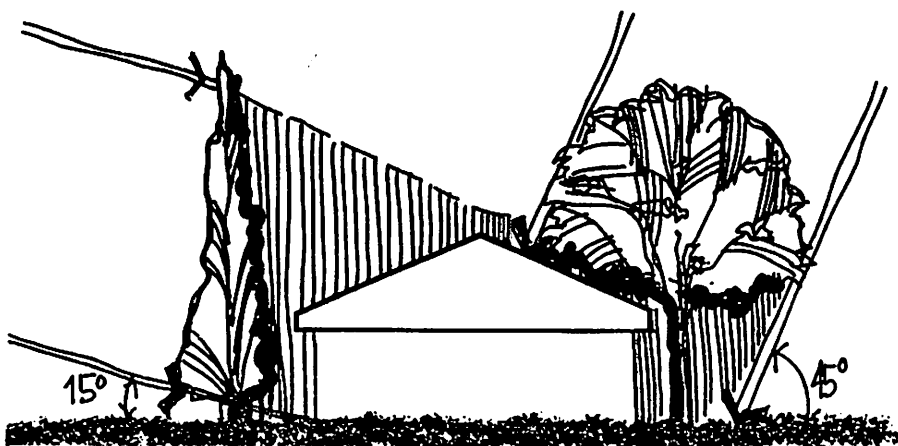
Bentukan, struktur tanah dan vegetasi juga dapat dilakukan untuk meningkatkan pengendalian angin di musim kemarau. Meningkatnya suhu di musim kemarau siang hari dapat dikompensasi dengan meningkatkan pendinginan melalui proses konveksi. Agar pendinginan angin untuk proses konveksi menjadi meningkat maka elemen vegetasi digunakan untuk meningkatkan perolehan bangunan terhadap angin. Namun demikian posisi masuknya angin pada bukaan harus diperhitungkan sehingga tidak menimbulkan efek negatif seperti pendinginan badan yang tidak simetris.



Gambar 169 Bayangan angin dalam site

Pengendalian bentukan, penutup tanah, tanaman dapat digunakan untuk pengendalian radiasi matahari dan pembayangan. Sebagai contoh dapat dilihat pada ilustrasi Gambar 170. Penanaman jenis tanaman yang tepat pada sisi yang tepat untuk bangunan adalah cara untuk memberikan pembayang matahari pada bangunan dan ruang. Untuk itu dalam analisis site perlu dianalisis arah matahari yang diinginkan atau ditolak.

Matahari dengan kualitas ultra violet datang dari arah terbit hingga 45° . Sedangkan kualitas radiasi matahari infra merah menjadi dominan memberikan efek panas mulai sudut 45° hingga 15° sebelum tenggelam. Oleh karena itu bila kita ingin menghalangi matahari dengan kualitas radiasi panas maka pada sisi terbit ditanam tanaman dengan tipe kanopi. Sedangkan sebaliknya di sisi matahari tenggelam ditanam penghalangan radiasi matahari dengan tipe dahan rendah.



Gambar 170 Peneduhan dengan vegetasi yang tepat pada posisi yang tepat

Memperkecil refleksi permukaan tanah di depan jendela adalah cara lain yang dapat mengurangi beban termal pada ruang dan bangunan. Pengolahan jenis penutup tanah di depan jendela dan atau merekayasa bentuk permukaan elemen vegetasi, tanah atau bidang di depan jendela.

Pengolahan bentukan, tanaman dan struktur tanah serta elemen lansekap lain dapat digunakan sebagai pendinginan site. Ada beberapa cara pendinginan site yang mungkin. Menanam tanaman penutup tanah, pohon peneduh untuk mengurangi radiasi di site. Selain hal tersebut, cara lain yang dapat ditempuh adalah menambah elemen air. Adanya elemenair akan memunculkan proses evaporasi. Proses evaporasi akan menyerap panas di site sehingga site menjadi dingin

Pertanyaan dan Latihan untuk Dikerjakan

1. Jelaskanlah langkah-langkah praktis rekayasa dasar secara alamiah untuk mencapai kenyamanan termal yang berkaitan dengan:
 - a. Kulit bangunan
 - b. Bentuk massa
 - c. Bukaan ventilasi peneduhan
 - d. Orientasi
 - e. Tata ruang luar
 - f. Pelembaban atau pengeringan udara
2. Lakukanlah latihan merekayasa bangunan untuk kenyamanan termal dengan penerapan prinsip-prinsip rekayasa bangunan dalam desain. Informasi data klimatis dan variabel lain serta arahan desain dapat diambil dari hasil latihan bab empat, lima dan enam.

oooOooo

DAFTAR PUSTAKA

- Abel Tablada., Anda M De La Pena., Frank De Troyer, 2005, *Thermal Comfort of Naturally Vantilated Buildings in Warm Humid Climate: Field Study*, PLEA 2005, 22nd Conference of Passive and Low Energy Architecture, Beirut, Libanon.
- Adebamowo, 2006, *Thermal Comfort For Naturally Ventilated Houses in Lagos Metropolis*, Dalam Kumpulan Abstrak: *Comfort and Energy Use in Buildings-Getting It Right*, NCEUB, EPSRC, UK.
- Ahmet Ugursal dan Charles H. Culp, 2012, *An Empirical Thermal Comfort Model For Transient Metabolic Conditions*, ASHRAE Trancsaction, P. 742-750, ASHRAE.
- Andreasi & Lamberts, 2006, *Thermal Comfort in Buildings Located in Region of Hot and Humid Climate of Brazil*, Dalam Kumpulan Abstrak: *Comfort and Energy Use in Buildings-Getting It Right*, NCEUB, EPSRC, UK.
- Anupama Sharma dan Richa Tiwari, 2007, *Evaluation of Data For Developing An Adaptive Model of Thermal Comfort and Preference*, Journal: *Enviromentalist Journal* (2007) 27:73-81, Proquest.
- Auliciems, 1989, *Thermal Comfort*, Dalam Nancy C. Ruck, 1989, *Building Design and Human Performance*, Van Nostrand Reinhold, New York.
- Azwar, S., 2003, *Reliabilitas dan Validitas*, Pustaka Pelajar, Yogyakarta.

- Baker dan Standeven, 1996, *Thermal Comfort For Free Running Building*, Jurnal: Energy and Buildings, No 23 Hal 175-182, Elsevier Science.
- Bapsi Ugm, 2002, *Universitas Gadjah Mada Dalam Angka*, Tahun 2002, UGM, Yogyakarta.
- Barlow & Fiala, 2006, *How Adaptive Comfort Theories Might Influence Future Low Energy Office Refurbishment Strategies*, Dalam Kumpulan Abstrak: *Comfort And Energy Use In Buildings-Getting It Right*, NCEUB, EPSRC, UK.
- Bell., Fisher dan Loomis, 1978, *Environmental Psychology*, Saunder Company, Toronto.
- Bell., Greene., Fisher., dan Baum, 2001, *Environmental Psychology*, Harcourt College Publisher, United State of America.
- BPPS Sleman, 2002, *Kabupaten Sleman dalam Angka 2002*, BPPS Sleman, Sleman Yogyakarta.
- BPS DIY, 2001, *Daerah Istimewa Yogyakarta dalam Angka, Daerah Istimewa Yogyakarta in Figures 2001*, Balai Pusat Statistik Propinsi DIY, Yogyakarta.
- Brager dan De Dear, 1998, *Thermal Adaptation In The Built Environment, A Literature Review*, Jurnal: Energy and Buildings No 27 Hal 83-96, Elsevier Science.
- Brager., Paliagan., De Dear, 2004, *Operable Window, Operational Control, Occupant Comfort*, ASHRAE Trancsaction 2004, Vol 110, Part 2, Page:28-35., ASHRAE Inc, www.ASHRAE.Org.
- Brannen, 1992, *Mixing Methods: Qualitative and Quantitative Research*, Avebury, Sydney.
- Cambell, Joan M, 1983, *Ambient Stressor*, Jurnal Environment & Behavior, Vol 15 No 3 Hal 355-380, Sage Publication Inc.
- Charles, K.E, 2003, *Fanger's Thermal Comfort and Draught Models*, Irc Research Report Rr -162, Institute for Research in Construction, National Research Council of Canada, Canada.
- Chirarattananon., Htan., Menon., Vangtook., 2006, *Thermal Comfort Assessment in Two Tropical Regions and Radian Cooling As A Passive Cooling Option*, Dalam Kumpulan Abstrak: *Comfort and Energy Use in Buildings-Getting It Right*, Nceub, Epsrc, Uk.
- Clements-Croome, 1997, *Naturally Ventilated Buildings, Building for the Senses, Economy and Society*, E&Fn Spon, London.

- Davina, Meira, 2005, *Taman Kanak-Kanak Islam Terpadu di Universitas Islam Indonesia*, Proyek Tugas Akhir, Jurusan Arsitektur UII, Yogyakarta.
- De Dear dan Brager, 2002, *Thermal Comfort in Naturally Ventilated Buildings: Revision to ASHRAE Standard 55*, Jurnal: Energy and Buildings 34, Elsevier Science, www.Elsevier.Com/Locate/Enbuild.
- De Dear., Fountain., Popovic., Watkins., Brager., Arens., Benton., 1993, *A Field Study of Occupant Comfort and Office Thermal Environments In A Hot-Humid Climate*, Final Report ASHRAE-702, ASHRAE Inc & Marquaire Park Research.
- Diekhoff, George, 1992, *Statistics For The Social and Behavioural Sciences: Univariate, Bivariate, Multivariate*, Wm.C.Brown Publishers,-----.
- Diperindagkop DIY, 2004, *Rekapitulasi Tanda Daftar Perusahaan (Tdi)*, Diperindagkop DIY, Yogyakarta.
- Disbangopsau, 2005, *Data Klimatologi Bulan Januari-Mei 2005 Stasiun: Adisutjipto (96853)*, Bagian Meteorologi Disbangopsau TNI AU, Yogyakarta.
- Djunaedi, Achmad, 2000, *Metodologi Penelitian I*, Handout Program S-2 Teknik Arsitektur, Paskasarjana, UGM, Yogyakarta.
- Doelle dan Prasetyo, 1986, *Akustik Lingkungan*, Erlangga, Jakarta.
- D&R International, Ltd, 2008, *2008 Buildings Energy Data Book*, Building Technologies, Energy Efficiency and Renewable Energy U.S. Department of Energy, USA.
- Egan, David, 1983, *Concept in Architectural Lighting*, Mc Graw-Hill, Toronto.
- Egan, David, 1988, *Architectural Acoustics*, Mc Graw-Hill, Toronto.
- Elzeyadi (2002) dalam Vorafat Inkarojit, 2005, *Balancing Comfort: Occupant's Control of Window Blinds in Privat Office*, Disertasi Doktor di Architecture Univ of California, Berkeley.
- Eric Sundstrom, 1987, *Work Environments : Offices & Factories* dalam Altman & Stokol, 1987, *HandBook of Environmental Psychology*, Vol 1, John Wiley & Sons, New York.
- Evans, 1980, *Housing, Climate and Comfort*, The Architecture Press, London.
- Evans, Garry W. dan Cohen, S., 1987, *Environment Appraisal*, Dalam Altan, Stokol (Editor), 1987, *Handook of Environmantal Psychology*, Vol 1, John Wiley & Sons, New York.

- Evans, Garry W., Karen Mata Allen., Richard Tatalla., Tiffany O' Meaga, 1996, *Multiple Stressor: Performance, Psychophysiological and Affective Responses*, Journal of Environmental Psychology, No 6, Hal 147-154, Academic Press Limited.
- Evans, Gerry W. dan Cohen, 1987, *Environmental Stress*, Dalam Altman & Stokol, 1987, *HandBook of Environmental Psychology*, Vol 1, John Wiley & Sons, New York.
- Fanger, 1982, *Thermal Comfort Analysis and Applications in Environmental Engineering*, Robert E Krieger Publishing Company, Malabar, Florida.
- Feriadi Henry dan Hien Wong Nyuk, 2003, *Fuzzy Logic Modelling For Thermal Comfort Standard In The Tropical Climate*, Dalam Architecture and The Sun, Prosiding Seminar International of Sustainable Environmental Architecture Senvar IV di Trisakti, Jakarta, Indonesia.
- Feriadi, Henry dan Hien Wong Nyuk, 2002, *Thermal Comfort For Naturally Ventilated Houses In Indonesia*, Dalam Karyono, Nicol, Roaf (Editor), 2002, *Building Research and The Sustainability of The Built Environment In Tropics*, Proceedings Simposium Internasional, Universitas Oxford Brooks & Tarumanegara, Indonesia.
- Gaspersz, 1995, *Teknik Analisis Dalam Penelitian Percobaan*, Tarsito, Bandung.
- Ghizelli., Campbell., Zedeck, 1981, *Measurement Theory For The Behavioral Sciences*, Freeman and Company, San Francisco.
- Gifford, 1987, *Environmental Psychology, Principles and Practice*, Allyn and Bacon, Inc., Toronto.
- Gossauer., Leonhart., Wagner., 2006, *Workplace Occupant Satisfaction- A Study In Sixteen German Office Buildings*, Dalam Kumpulan Abstrak: Comfort And Energy Use In Buildings-Getting It Right, Nceub, Epsrc, Uk.
- Gouvea., Labaki., Ruas., Maia, 2006, *Thermal Comfort Evaluation: A Study In Corkplaces At The Clothing Industry In Barzil*, Dalam Kumpulan Abstrak: Comfort and Energy Use In Buildings-Getting It Right, Nceub, Epsrc, Uk.
- Guba, Lincoln, 1985, *Naturalistic Inquiry*, Sage Publications, London.
- Guinness., Stein., Reynolds, 1981, *Mechanical and Electrival Equipment For Buildings*, Wiley Trans, New York.
- Guyton. 1992, *Fisiologi Manusia dan Mekanisme Penyakit (Human Physiology and Mechanisms of Desease)*, Egc, Jakarta.

- Gozali, I., dan Fuad, 2005, *Structural Equation Modeling. Teori, Konsep & Aplikasi dengan Program Lisrel 8,54*, Badan Penerbit UNDIP.
- Hair, JR. Joseph F., Anderson, Rolph E., Tatham, Ronald L. and Black, William C. 1998. *Multivariate Data Analysis*. Prentice-Hall International, Inc.
- Hariyanto, Agus Dwi, 2005, *Thermal Comfort Study of An Air-Conditioned Design Tropical in Tropical Surabaya*, Jurnal Dimensi Teknik Arsitektur, Vol. 33, No.1, 2005:76-86, [Http://Puslit.Petra.AC.Id/~Puslit/Journals](http://Puslit.Petra.AC.Id/~Puslit/Journals).
- Haryadi dan Setiawan, 1995, *Arsitektur Lingkungan dan Perilaku*, PPSL, Dikti, Indonesia.
- Havenith., Holmer dan Parson, 2002, *Personal Factor in Thermal Assessment: Clothing Properties & Metabolic Heat Production*, Jurnal Energy and Building Vol 34 Pp 581-591., Elsevier Science, www.Elsevier.Com/Locate/Enbuild.
- Hedge, Alan, 1982, *The Open Plan Office*, Jurnal Environment & Behavior, Vol 14 No5, Hal 519-542. Saga Publication, Inc.
- Hedge, Alan, 2003, *Thermal Comfort*, Cornell University, www.Google.Com.
- Hedge, Alan, 2007, *Thermal Comfort*, Cornell University, [Http://www.Esru.Strath.AC.Uk/Reference/Concepts/Thermal_Comfort.H](http://www.Esru.Strath.AC.Uk/Reference/Concepts/Thermal_Comfort.H).
- Heerwagen, Judith H., Land, J., Diamond R., 1991, *Coping With Discomfort*. Solar World Congress, Proceeding of Congress of The International Solar Energy Society, Vol 3 Batch I.
- Hellwig., Brasche., Bischof, 2006, *Thermal Comfort In Offices-Natural Ventilation Vs Air Conditioning*, Dalam Kumpulan Abstrak: Comfort and Energy Use In Buildings-Getting It Right, Nceub, Epsrc, Uk.
- Hoppe, 2002, *Different Aspects of Assessing of Indoor & Outdoor Thermal Comfort*, Jurnal Energy and Buildings Vol 34 Pp661-665., Elsevier Science, Www.Elsevier.Com/Locate/Enbuild.
- Humphreys dan Nicol, 2002, *The Validity of ISO-PMV For Predicting Comfort Votes In Every-Day Thermal Environments*, Jurnal Energy And Buildings Vol 34 Pp:667-684, Elsevier Science, www.Elsevier.Com/Locate/Enbuild.
- Humphreys., Sykes dan Roaf, 1995, *Standards For Thermal Comfort Indoor Air Temperature Standards For The 21st Century*, Chapman & Hall, London.
- Innova, Down Load 2002, *Thermal Comfort*, www.Comfortinova.Com.
- Intyre, Mc, 1980, *Indoor Climate*, Applied Science Publishers Ltd, London.

- Imrie, Rob, 2006, *Accessible Housing, Quality, Disability and Design*, Routledge, New York, USA.
- Kantor Perbendaharaan Badan Wakaf UII, 2004, *Inventarisasi Ruang di Fakultas UII*, Badan Wakaf UII, Yogyakarta.
- Karyono, 1995, *Thermal Comfort For The Indonesian Workers In Jakarta*, Jurnal: Building Research Information, Vol 23 Nov 1995,-----
- Karyono, 1999, *Arsitektur Kemampuan Pendidikan Kenyamanan dan Penghematan Energi*, Catur Libra Optima, Jakarta.
- Karyono, Tri Harso & Wonohardjo, Suryamanto, 2006, *Report on Thermal Comfort Study In Bandung*, Indonesiadalam Kumpulan Abstrak: Comfort and Energy Use In Buildings-Getting It Right, Nceub, Epsrc, Uk.
- Keraf dan Dua, 2001, *Ilmu Pengetahuan, Sebuah Tinjauan Filosofis*, Kanisius, Yogyakarta.
- Koenigsberger; Ingersoll; Mayhew, Alan; Szokolay, 1975, *Manual of Tropical Housing and Building*, Orient Longman Limited, New Delhi, India.
- Lippsmeire, 1990, *Bangunan Tropis*, Erlangga, Jakarta, Indonesia.
- Mallick, 1996, *Thermal Comfort and Building Design In Tropical Climate*, Jurnal: Energy and Building, No 23 Hal 161-167, Elsevier Science.
- Markus., Moris, 1980, *Buildings, Climate and Energy*, Pitman Limited Publishing, London.
- Maruyaman, 1998, *Basic of Structural Equation Modeling*, Sage Publication, New Delhi.
- Moos, 1976, *The Human Context Environmental Determinents of Behavior*, John Wiley & Sons, Toronto.
- Moore, Fuller, 1993, *Environmental Control Systems Heating Cooling Lighting*, Mc Graw Hill, Singapura.
- Mueller, 1992, *Pengukuran Sikap Sosial, Pegangan untuk Peneliti dan Praktisi*, Bumi Aksara, Jakarta.
- Mufida, Etik, 2008, *Rekayasa Termal Bangunan*, Hand Out Perkuliahan Jurusan Arsitektur UII, Arsitektur UII, Yogyakarta.
- Muhadjir, Noeng, 1992, *Metodologi Penelitian Kualitatif, Telaah Positivistik, Rasionalistik, Phenomenologik, Realisme Metaphisik*, Rake Sarasin, Yogyakarta.

- Myer, Anne, 1980, *Experimental Psychology*, Brook/Cole Publishing Company, Monterey, California.
- Nasution, 1988, *Metoda Penelitian Naturalistik Kualitatif*, Tarsito, Bandung.
- Nazir, 1985, *Metoda Penelitian*, Ghalia, Indonesia.
- Olesen dan Parson, 2002, *Introduction to Thermal Comfort Standards and to The Proposed New Vffersion of En ISO 7730*, Jurnal Energy And Building Vol 34 Pp:537-548, Elsevier Science, Www.Elsevier.Com/Locate/Enbuild.
- Ong, 1995, *Design For The Individual: A Radical Reading of ISO 7730. Thermal Comfort For Individual*, dalam Nicol, Humphreys (Editor), 1995, *Standard For Thermal Comfort: Indoor Air Temperature For The 21 Century*, E&Fn Spon, London.
- Oseland, 1994, *A Comparison of The Predicted and Reported Thermal Comfort Sensation Vote In Home During Winter and Summer*, Jurnal: Energy and Building No 21 Hal 45-54, Elsevier Science.
- Parson, 2003, *Environmental Ergonomics: A Review of Prinsiples, Method and Models*, Jurnal Applied Ergonomics Vol 31 PP:581-594, Elsevier Science, Www.Elsevier.Com/Locate/Apergo.
- Peraturan Menteri Pekerjaan Umum, 2006, *Pedoman Persyaratan Teknis Bangunan Gedung*, Kementrian Pekerjaan Umum, Jakarta.
- Richard A., Farland, Mc., 1981, *Physiological Psychology, The Biology of Human Behavior*, Mayfiels Publishing Company, California.
- Rigg, T., Lahav, R., 2001, *Sustainability – Concept And Reality*, Dalam Krishan, Yannas, Baker, Szokolay (Editor), 2001, *Climate Responsive Architecture, A Design HandBook For Energy Efficient Building*, Tata Mc Graw-Hill Publishing Company Limited, New Delhi.
- Rowe, 1996, *Does HVAC Work?* Architectural Science Review, Vol 39 No 39 Hal 123-133.
- Ruey-Lung Hwang, Tzu-Ping Ling, Chen-Peng Chen, Nai-Jung Kuo, 2009, *Investigating The Adaptive Model of Thermal Comfort For Naturally Ventilated School Building In Taiwan*, Int Journal: Biometcorol(2009), 53:189-200, Springer.
- Salling, Mark dan Harvey, M., 1981, *Poverty, Personality and Sensitivity to Residential Stressor*, Jurnal Environment & Behavior, Vol 13 No 2 Hal 131-163, Sage Publication Inc.

- Santosa, Mas, 1986, *Climatic Factors and Their Influence on The Design of Buildings In A Hot Humid Country, With Special Reference To Indonesia*, Thesis, Department of Architecture University of Queensland, Australia.
- Sartono Nuryoto, 1992, *Kemandirian Remaja Ditinjau dari Tahap Perkembangan, Jenis Kelamin, dan Peran Jenis*, Desertasi Program Doktor Ilmu Psikologi, UGM.
- Sarwono, 1992, *Psikologi Lingkungan*, Gramedia, Jakarta.
- SNI, 2001, SNI 03-6572-2001: *Tata Cara Perancangan Sistem Ventilasi dan Pengkondisian Udara pada Bangunan Gedung*, SNI PU, Jakarta.
- Sudjana, 1990, *Teknik Analisis Data Kualitatif*, Tarsito, Bandung.
- Sugini, 2002, *Komparasi Model PMV Dengan Model Nicol&Humphreys dan Dear&Brager, Analisis Komparasi Model Kenyamanan Thermal Dengan Pendekatan yang Berbeda: Keseimbangan Panas dan Model Adaptif*, Studi Mandiri, Program Doktor, Paskasarjana, UGM, Yogyakarta.
- Sugini, 2002, *Peta Issue-Issue Studi Kenyamanan Thermal*, Jurnal Teknisia Vol VII PP:137-234, 2002.
- Sugini, 2003, *Pendekatan Dan Metoda Serta Kriteria-Kriteria Penguji Penelitian Arsitektur Pada Area Studi Kenyamanan Thermal*, dalam Menimbang Ulang Cara Merancang Reconsidering Design Method, Prosiding Seminar Nasional, Jurusan Arsitektur, UII, Yogyakarta.
- Sugini, 2003, *The Meaning of Thermal Comfort Quality Terms In Relation With Climatic Variables*, Dalam Architecture and The Sun, Prosiding Seminar International of Sustainable Environmental Architecture Senvar IV di Trisakti, Jakarta, Indonesia.
- Sugini, 2007, *Indoor Climatic Variables and The Bias of The Thermal Comfort Index of PMV In Warm Humid Climate, Specific Reference : Yogyakarta Indonesia*, Prosiding Seminar Internasional: Environment and Architecture, Petra, Surabaya, Indonesia.
- Sugini, 2007, *Model Kenyamanan Termal Termo Adaptif Psikologis pada Ruang Dalam Bangunan di Yogyakarta*, Disertasi UGM, Yogyakarta.
- Sugini, 2008, *Comfortable Thermal Quality For Women Worker In Tropical Warm Humid Climate Spesific Reference: Office And Garment Worker In Yogyakarta, Indonesia*, Prosiding International Conference "Women In Public Sector", UGM, Yogyakarta.
- Sugini, 2008, *Range Nyaman Termal Termo Adaptif Psikologis dan Kenyamanan Termal pada Ruang Pabrik Garmen di Yogyakarta Lingkup Amatan :*

- Pabrik Garmen Mataram Tunggal Garmen*, Prosiding Seminar Nasional Teknologi IV, UTY, Yogyakarta.
- Sugini, 2010, *Reinforcement Energy Sustainability Through Restatement of Thermal Comfort Standard*, Prosiding 11th International Conference on Sustainable Environmental Architecture, Isbn: 978-979-33341-5-8, Its Surabaya, Indonesia.
- Sugini, 2012, *The Index of Pmvtap Reformulation of Thermal Comfort Index Model Base on Thermo-Adaptives-Psychological Paradigm*, Jurnal Internasional: Journal of Engineering & Sciences (Ijens), ISSN: 2077-1185, Volume 12 Issue:06.
- Sugini; Nugraha Jaka, 2013, *Model Indeks Kenyamanan Termal Thermo Adaptif Psikologis PMVtap dengan Pendekatan SEM untuk Penetapan Standar Termal Ruang Ber AC Hemat Energi*, Laporan proses penelitian (belum terpublikasi).
- Sugiyono, 2000, *Statistika untuk Peneliti*, Alfabeta, Bandung.
- Sukanto, 1990, *Sosiologi, Suatu Pengantar*, Raja Grafindo Persada, Jakarta.
- Supranto, 2000, *Teknik Sampling untuk Survei & Eksperimen*, Rineka Cipta, Jakarta.
- Suryabrata, 1987, *Metodologi Penelitian*, Rajawali, Jakarta.
- Wade, 1991, Dalam Snyder dan Catanese, 1991, *Pengantar Arsitektur*, Erlangga, Jakarta.
- Wei Yang, Guoqiang Zhang, 2008, *Thermal Comfort In Naturally Ventilated and Air-Conditioned Buildings In Humid Subtropical Climate Zone In China*, Journal: Biometeorol, 52:385-398, Springer.
- Wong., Feriadi., Lim., Tham., Sekhar., Cheong, 2002, *Thermal Comfort Evaluation of Naturally Ventilated Public Housing In Singapura*, Jurnal Building and Environment Vol 37 Pp:1267-1277, Pergamon, [Www.Elsevier.Com/Locate/Buildenv](http://www.Elsevier.Com/Locate/Buildenv).
- Yasar, Admal, 2012, *Radio Show di Manokwari*, Proyek Tugas Akhir, Jurusan Arsitektur UII, Yogyakarta.

GLOSARIUM

Aklimatisasi : adaptasi badan terhadap iklim.

Altitude : sudut yang terbentuk antara horison dengan tinggi matahari, 194.

Asimetri termal : kondisi ketika badan mengalami kualitas dan sensasi termal yang tidak simetris.

Azimuth : sudut yang terbentuk antara proyeksi matahari di horison dengan sumbu utara.

Bukaan : perlubangan bangunan untuk memasukan cahaya atau udara.

Comfort : kenyamanan.

Contextual differences : perbedaan kontekstual.

Discomfort : ketidaknyamanan.

Evaporasi : proses perubahan cairan menjadi gas sehingga membutuhkan panas.

Firmitas : kekuatan dan keawetan serta teknologinya.

Garis bujur : garis yang membelah bumi menjadi dua bagian timur dan bagian barat membujur dari utara ke selatan.

Garis lintang : garis yang membelah bumi menjadi dua utara dan selatan melintang dari timur ke barat.

Homeostatis: kondisi ketika badan dalam posisi setimbang.

Indeks termal : besaran ukuran yang digunakan untuk mengindikasikan kualitas termal.

Kenyamanan termal : kualitas termal yang menunjukkan tingkat kepuasan penghuni ruang terhadap lingkungan termalnya.

Kesesakan : persepsi penghuni terhadap kepadatan ruang, baik kepadatan orang dan atau barang.

Konduksi : perpindahan panas melalui persentuhan molekul yang bergetar karena panas ke molekul lain yang bersentuhan dengannya.

Konveksi : perpindahan panas melalui aliran fluida.

Latitude : garis lintang.

Longtitude : garis bujur.

Nyaman termal : kenyamanan termal yang dipersepsikan nyaman oleh penghuni ruang
Organism differences: perbedaan karakteristik yang melekat pada organisme.

Pembayang horisontal : elemen kulit bangunan (dinding) yang berbentuk horisontal untuk membayangi bidang atau lubang bangunan dari sudut jatuh matahari vertikal.

Perbedaan fisiologis : perbedaan karakteristik yang melekat pada aspek fisiologis.

Perbedaan individual : perbedaan karakteristik yang melekat pada individu.

Perbedaan kontekstual : perbedaan karakteristik individu yang berkaitan dengan aspek kontekstual individu tersebut.

Perbedaan organisme : organism differences.

Perbedaan psikologis individual : perbedaan individual pada aspek psikologis.

Psychological individual differences : perbedaan psikologis individual.

Radiasi : perpindahan panas melalui pancaran gelombang.

Rekayasa termal : rekayasa untuk kepentingan kenyamanan termal Sudut jatuh bayangan horisontal: sudut relatif yang terbentuk antara proyeksi matahari di horison terhadap arah tegak lurus bidang atau bukaan yang dilindungi atau diperhitungkan.

Termo adaptif fisiologis : terminologi paradigma yang memandang bahwa kenyamanan termal ditentukan oleh proses adaptasi fisiologis.

Termo adaptif psikologis : terminologi paradigma yang memandang bahwa kenyamanan termal ditentukan oleh proses adaptasi psikologis terhadap proses adaptasi fisiologis.

Termo fisiologis : terminologi paradigma yang memandang bahwa kenyamanan termal adalah proses fisiologis saja. Termoregulator adalah proses pengaturan respon badan terhadap stimulus atau tekanan termal lingkungan.

Vasodilasi : proses dipompanya darah ke tepi tubuh sebagai bagian dari proses reflek fisiologis badan dalam mengatasi tekanan termal lingkungan.

Vasokonstriksi : proses ditariknya darah ke badan dalam sebagai bagian dari proses reflek fisiologis badan dalam mengatasi tekanan termal lingkungan.

Venustas : aspek keindahan, estEtika.

oooOooo

INDEKS

A

adaptasi 17, 19, 21, 22, 29, 30, 34, 35,
36, 39, 41, 42, 43, 44, 84, 88,
90, 118

Aklimatisasi 20, 21, 22, 87, 93, 125

aktivitas 1, 2, 7, 8, 12, 18, 20, 23, 24,
25, 26, 27, 36, 37, 38, 41, 43, 45,
46, 49, 51, 54, 55, 56, 58, 59,
64, 68, 75, 84, 87, 89, 93, 97,
103, 129, 130, 131, 133, 135,
137, 139, 141, 151, 153, 154,
164, 166, 167, 169, 181, 182,
184, 231

akustikal 2, 37, 40, 110

altitude 66, 169, 173, 210, 211, 224,
225, 232, 233

arsitektur 1, 2, 3, 7, 8, 69, 77, 88, 89,
91, 117, 121, 122, 132, 133,
134, 161, 180, 185, 195, 227

Asimetri termal 27

Azimuth 210, 211, 218, 220, 221, 222

B

bukaan 76, 81, 110, 144, 145, 147,
148, 149, 163, 169, 171, 177,
187, 207, 209, 216, 218, 220,
222, 223, 224, 225, 226, 234,
236

C

comfort 9, 26, 28, 50, 51, 52, 53, 54,
61, 62, 67, 83, 84, 85, 86, 87, 88,
89, 92, 93, 161, 166, 167, 168,
169, 170, 174, 185

contextual differences 30, 39

Coping 29, 30, 31, 32, 43, 44, 118

D

desain 1, 2, 3, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 46,
47, 49, 50, 56, 61, 64, 65, 69,
77, 81, 89, 91, 92, 95, 119, 161,
163, 164, 165, 166, 168, 169,
171, 175, 176, 177, 180, 181,
184, 185, 187, 192, 193, 198,

- 200, 204, 206, 207, 213, 216,
218, 219, 220, 225, 229, 230,
232, 233, 236
- determinisme 32, 33
- discomfort 9, 50, 51, 54, 161, 166,
167, 168, 169, 185
- Draught 27, 28, 85, 86
- E**
- Effective Temperature 9, 51, 52, 54,
86
- energi 3, 4, 5, 6, 7, 11, 25, 58, 84, 90,
93, 108, 167, 183, 216, 228
- evaporasi 9, 18, 19, 26, 56, 57, 66,
162, 163, 178, 236
- F**
- firmitas 2
- G**
- garis bujur 169, 211, 213
- garis lintang 169, 205, 211
- gas refrigeran 6
- H**
- homeostatis 9, 20, 21, 23, 29, 30, 31,
40
- I**
- iklim 1, 11, 12, 21, 22, 24, 31, 32, 37,
40, 43, 45, 46, 51, 53, 54, 55, 56,
61, 62, 64, 66, 67, 81, 83, 84, 86,
89, 90, 92, 93, 94, 97, 98, 99,
115, 122, 123, 157, 161, 162,
163, 166, 169, 188, 193, 195,
198, 203, 209, 213, 216, 224,
227, 228, 231, 232
- iklim mikro 12, 32, 228, 231, 232
- iluminasi 37, 126, 145
- Indeks termal 8, 9, 10, 11, 12, 45, 49,
54, 68, 77, 81, 82, 83, 87, 89, 90,
92, 95, 96, 103, 108, 113, 129,
133, 135, 136, 137, 138, 140,
142, 143, 161, 166, 167, 168,
181, 182, 185
- individual differences 12, 39
- interaksionisme 32, 33
- K**
- kebisingan 37, 40, 42, 43, 44, 45, 70,
76, 81, 88, 107, 109, 110, 126,
144, 145, 149, 181, 184
- kecepatan udara 9, 24, 25
- kelembaban 9, 10, 12, 24, 25, 39, 40,
41, 43, 45, 46, 50, 51, 52, 53, 54,
55, 56, 60, 61, 65, 66, 68, 69, 75,
85, 91, 93, 97, 103, 119, 123,
125, 126, 129, 131, 134, 136,
138, 140, 142, 143, 157, 158,
159, 164, 167, 168, 169, 170,
176, 178, 181, 182, 183, 217,
228, 229
- Kenyamanan 1, 2, 3, 6, 7, 8, 9, 10, 11,
12, 13, 16, 18, 21, 22, 23, 25, 26,
27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35,
36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 44,
45, 46, 47, 49, 51, 53, 54, 55, 56,
57, 59, 60, 61, 62, 63, 67, 68, 75,
76, 77, 80, 81, 83, 85, 86, 87,
88, 89, 90, 91, 93, 94, 95, 96,
97, 99, 107, 108, 109, 110, 111,
118, 119, 129, 131, 132, 133,
134, 135, 136, 137, 141, 143,
144, 146, 150, 160, 161, 163,
164, 166, 167, 168, 180, 181,
182, 184, 185, 187, 188, 193,

198, 200, 105, 207, 208, 216,
218, 219, 224, 227, 228, 230,
232, 236

Kenyamanan Termal 1, 2, 3, 6, 7, 8,
9, 10, 11, 12, 13, 16, 18, 21, 22,
23, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32,
33, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 41,
42, 43, 44, 45, 46, 47, 49, 51, 54,
55, 56, 57, 59, 61, 62, 63, 67, 68,
75, 76, 77, 80, 81, 83, 85, 86, 87,
88, 90, 91, 93, 94, 95, 96, 97, 99,
107, 108, 109, 110, 111, 118,
119, 129, 131, 133, 135, 136,
137, 138, 140, 141, 142, 143,
150, 160, 161, 163, 164, 166,
167, 168, 181, 182, 185, 187,
188, 193, 198, 200, 205, 207,
208, 216, 218, 219, 224, 227,
230, 236

kepadatan ruang gerak 37

keringkahan (vulnerability) 30

kesesakan 37, 40, 41, 42, 44, 45, 46,
76, 81, 93, 107, 109, 110, 144,
145, 146, 147, 148, 149, 183

kognitif 37, 38

konduksi 18, 19, 26, 162, 188, 248

konveksi 9, 18, 19, 24, 26, 27, 56, 57,
94, 162, 163, 188, 189, 203,
209, 210, 213, 225, 233, 234

L

latitude 169, 211

longtitude 169

N

New Effective Temperature 9, 51

Nyaman termal 2, 9, 10, 11, 17, 21,

56, 86, 90, 91, 92, 93, 95, 97,
98, 99, 103, 104, 105, 111, 114,
115, 116, 119, 161, 162, 163,
164, 166, 167, 169, 182, 183,
218

O

organism differences 39

ozon 6

P

Pembayang Horisontal 225, 226

pencahayaan 3, 4, 37, 40, 84, 85, 86,
216, 224

pendinginan 3, 6, 27, 50, 52, 53, 54,
86, 94, 162, 163, 178, 203, 210,
213, 225, 233, 234, 236

perbedaan fisiologis 45, 46

perbedaan individual 12

perbedaan kontekstual 30, 32, 39

perbedaan-perbedaan organisme 39

perbedaan-perbedaan psikologis
individual 12, 30, 39, 68

performansi 2

perilaku terbuka (over behavior) 29

perilaku tertutup (cover behavior). 29

persepsual 2, 181

PMV (Predicted Mean Vote) 12, 55

psikologis 9, 10, 11, 12, 16, 21, 22, 23,
28, 29, 30, 31, 33, 36, 37, 38, 39,
40, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 55, 62,
67, 68, 75, 77, 82, 90, 91, 92,
93, 96, 98, 99, 118, 119, 162,
182, 183

Psychological individual differences
39

R

radiasi 6, 9, 10, 12, 18, 19, 24, 26, 28,
39, 40, 41, 43, 45, 46, 50, 52, 53,
54, 55, 56, 57, 59, 66, 68, 75, 91,
93, 94, 97, 103, 125, 129, 131,
134, 136, 138, 140, 142, 143,
157, 162, 163, 164, 166, 167,
169, 178, 181, 182, 188, 189,
190, 193, 194, 207, 209, 218,
220, 224, 225, 228, 229, 230,
231, 233, 235, 236

Rekayasa Termal 3, 188, 193

Ruang 1, 2, 3, 7, 8, 10, 11, 12, 23, 24,
25, 27, 28, 30, 31, 32, 33, 34, 35,
36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 44,
45, 46, 47, 49, 50, 51, 56, 57,
60, 61, 63, 64, 67, 68, 69, 75, 76,
77, 80, 81, 83, 84, 85, 86, 87, 88,
89, 90, 91, 92, 93, 94, 95, 99,
107, 108, 109, 110, 111, 112,
113, 114, 115, 116, 117, 118,
119, 122, 125, 126, 128, 129,
130, 131, 132, 133, 134, 135,
136, 137, 138, 139, 140, 141,
142, 143, 144, 145, 146, 147,
148, 149, 150, 151, 152, 153,
155, 157, 158, 159, 160, 161,
162, 163, 166, 167, 168, 169,
180, 181, 182, 183, 184, 185,
187, 188, 192, 193, 194, 195,
197, 198, 200, 202, 203, 205,
206, 207, 208, 209, 210, 213,
215, 216, 218, 224, 225, 227,
228, 229, 230, 231, 232, 233,
235, 236

S

sensitivitas serta hardiness 30

shelter 1

sistem pasiv 36

sosio kultural 9, 40

spasial 37, 69, 110, 160

Standard Effective Temperature 9, 51

stimulus termal 12, 32, 33, 34, 37

stresor 30, 31, 32, 35

Sudut Jatuh Bayangan Horisontal
225, 227

T

temperatur udara 9, 11, 24, 50, 52, 53,
59, 67, 68, 193

Termo adaptif fisiologis 8

termo-adaptif-psikologis 9, 10, 11,
12, 16, 21, 23, 33, 82, 161

Termo adaptif psikologis 9, 10, 11, 12,
16, 21, 23, 33, 41, 43, 44, 45, 46,
55, 68, 82, 90, 91, 92, 93, 96, 99,
119, 161, 182

termofisiologis 8

thermometry 9, 49

transaksionisme 32, 34, 39

U

utilitas 2

V

variabel klimatis 37, 42, 61, 182

variabel perbedaan psikologis 41, 46,
55, 90, 93, 98, 182

ventilasi alamiah (naturally venti-
lated, NV) 36

venustas 2

visual 2, 29, 37, 39, 76, 78, 110, 144,
145, 147, 148, 149, 215