



TESIS - RA 142541

**PENGARUH FASAD TERHADAP KINERJA ENERGI
PENDINGINAN PADA KANTOR PEMERINTAH DI
SURABAYA**

**WA ODE ALFIAN
3213204001**

**Dosen Pembimbing
Ir. I Gusti Ngurah Antaryama, Ph.D
Dr. Ima Defiana, ST, MT**

**Program Magister
Bidang Keahlian Arsitektur Lingkungan
Departemen Arsitektur
Fakultas Arsitektur, Desain dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
2018**



THESIS - RA 142541

**EFFECTS OF FACADE ON THE COOLING ENERGY
PERFORMANCE OF GOVERNMENT OFFICE
BUILDING IN SURABAYA**

**WA ODE ALFIAN
3213204001**

**Supervisor
Ir. I Gusti Ngurah Antaryama, Ph.D
Dr. Ima Defiana, ST, MT**

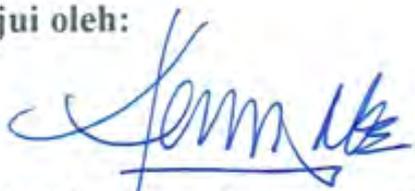
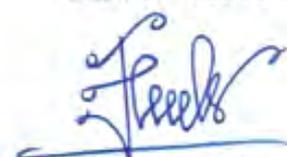
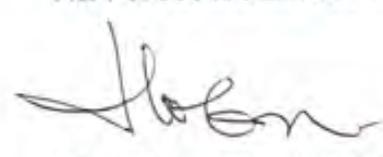
**Magister Program
Environmental Architecture
Department of Architecture
Faculty of Architecture, Design and Planning
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
2018**

Tesis disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar
Magister Tekni (MT)
di
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

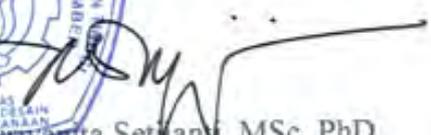
Oleh
Wa Ode Alfian
NRP. 3213204001

Tanggal Ujian : 15 Januari 2018
Periode Wisuda : Maret 2018

Disetujui oleh:

- 
1. Ir. I Gusti Ngurah Antaryama, PhD. (Pembimbing I)
NIP. 19680425 199210 1 001
 2. 
Dr. Ima Defiana, S.T, M.T (Pembimbing II)
NIP. 19700519 199703 2 001
 3. 
FX Teddy B Samodra, S.T, M.T, PhD (Penguji I)
NIP. 19800406 200801 1 008
 4. 
Dr. Ir. Vincentius Totok N, M.T (Penguji II)
NIP. 19551201 198103 1 003




Ir. Purwanita Setyaningrum, MSc, PhD
NIP. 19590427 198503 2 001

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TESIS

Saya yang bertandatangan di bawah ini:

Nama : Wa Ode Alfian

NRP : 3213204001

Program Studi : Magister (S2)

Jurusan : Arsitektur

Dengan ini saya menyatakan bahwa isi sebagian maupun keseluruhan proposal tesis saya dengan judul:

Pengaruh Fasad terhadap Kinerja Energi Pendinginan pada Kantor Pemerintah di Surabaya

adalah benar-benar karya intelektual mandiri, diselesaikan tanpa menggunakan bahan-bahan yang tidak diizinkan dan bukan merupakan karya pihak lain yang saya akui sebagai karya sendiri

Semua referensi yang dikutip maupun dirujuk telah ditulis secara lengkap pada daftar pustaka

Apabila ternyata ini tidak benar, saya bersedia menerima sanksi sesuai peraturan yang berlaku

Surabaya, 21 Januari 2018

Yang membuat pernyataan;

Wa Ode Alfian
NRP. 3213204001

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Allah SWT atas semua rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan tesis yang berjudul “Pengaruh Fasad terhadap Kinerja Energi Pendinginan pada Kantor Pemerintahan di Surabaya”. Tesis ini dibuat sebagai syarat yang harus dipenuhi untuk menyelesaikan kurikulum program S2 (Strata 2) pada Departemen Arsitektur, Fakultas Arsitektur, Desain dan Perencanaan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.

Seiring dengan selesainya tesis ini, penulis mengucapkan terimakasih banyak kepada:

1. Pembimbing tesis Ir. I Gusti Ngurah Antaryama, PhD dan Dr.Ima Defiana, ST.,MT atas ketulusan dan kesabaran dalam membimbing, memberikan saran, arahan, dan motivasi untuk mencapai tesis yang bermanfaat,
2. Penguji tesis FX Teddy B Samodra, S.T, M.T, PhD dan Dr.Ir.V.Totok Noerwasito, MT atas kritik dan saran yang bermanfaat kepada penulis,
3. Segenap dosen Arsitektur ITS yang telah meluangkan waktunya untuk memberikan masukan dan diskusi tentang materi terkait dengan tesis
4. Segenap staff Arsitektur ITS yang banyak membantu membuat persuratan ke pihak terkait demi kelancaran pengambilan data tesis,
5. Keluarga yang selalu memberi dukungan, semangat dan doa sehingga tesis ini dapat diselesaikan
6. Teman-teman Arsitektur Lingkungan 2013, Zona Bebas Stres, dan DCKTR Bidang Tata Bangunan yang selalu memberikan waktu untuk berdiskusi, berbagi informasi dan memberi motivasi kepada penulis

Penulis sangat menyadari bahwa penyusunan tesis ini belum mencapai kata sempurna. Oleh karenanya, penulis mengharapkan saran dan kritik yang mendukung untuk tercapainya hasil yang lebih baik pada waktu mendatang. Penulis berharap tesis ini dapat berguna bagi penulis secara pribadi, praktisi arsitektur dan pembaca.

Surabaya, 21 Januari 2018

Penulis

PENGARUH FASAD TERHADAP KINERJA ENERGI PENDINGINAN PADA KANTOR PEMERINTAH DI SURABAYA

Nama mahasiswa : Wa Ode Alfian
NRP : 3213204001
Pembimbing : Ir. I Gusti Ngurah Antaryama, Ph.D
Co-Pembimbing : Dr. Ima Defiana, ST.,MT

ABSTRAK

Kantor pemerintahan merupakan salah satu bangunan yang boros menggunakan energi. Khusus untuk sistem tata udara, bangunan ini menggunakan 47% total energi bangunan, dimana 20%-50% energi pendinginan tersebut disebabkan oleh fasad bangunan. Panas yang masuk melalui fasad berpotensi untuk meningkatkan beban pendinginan bangunan.

Kantor pemerintah di Surabaya sangat banyak dan memiliki desain fasad yang sangat variatif. Berdasarkan kondisi tersebut, penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kinerja energi pendinginan fasad Kantor Pemerintahan di lapangan, mengetahui pengaruh fasad (geometri, material, WWR, dan *shading device*) terhadap kinerja energi pendinginan dan menemukan desain fasade (kombinasi geometri, material, WWR, dan *shading device*) kantor pemerintah yang memiliki kinerja energi pendinginan paling efisien.

Metode yang digunakan untuk menjawab tujuan penelitian adalah eksperimen dengan menggunakan dua pendekatan yaitu pengamatan lapangan dan simulasi menggunakan *software ecotect*. Penelitian dilakukan dengan mengevaluasi pengaruh fasad (geometri, material, WWR, dan *shading device*) terhadap kinerja energi pendinginan. Evaluasi efisiensi energi didasarkan IKE listrik bangunan ber-AC dan OTTV.

Hasil penelitian lapangan menunjukkan desain fasad kantor pemerintah di Surabaya telah memenuhi standar konservasi energi, yakni dengan OTTV lebih kecil dari 35 Watt/m². Berdasarkan hasil eksperimen diketahui mengubah variabel WWR sangat berpengaruh terhadap kinerja energi pendinginan, yaitu sekitar 10%, material 9,7%, geometri 8,3% dan peneduh 7% dan kombinasi geometri, material, WWR, dan *shading devices* sangat efisien terhadap energi pendinginan adalah bangunan persegi panjang dengan perbandingan lebar terhadap panjang (*W/L rasio*) 0,6, dinding menggunakan material beton ringan, kacanya menggunakan *double low-e*, WWR 60% dan menggunakan peneduh vertikal-horizontal

Kata kunci: ecotect, energi pendinginan, fasad, hemat energi, kantor pemerintah

EFFECTS OF FACADE ON THE COOLING ENERGY PERFORMANCE OF GOVERNMENT OFFICE BUILDING IN SURABAYA

Student Name : Wa Ode Alfian
Student Identity Number : 3213204001
Supervisor : Ir. I Gusti Ngurah Antaryama, *Ph.D*
Co- Supervisor : Dr. Ima Defiana, ST, MT

ABSTRACT

Government office is a building type that consumes huge energy. The HVAC takes 47% of the energy, where 20% -50% of the cooling energy loss in building facade. The heat transfer is increasing the potential of building cooling load.

There are many government office buildings in Surabaya and varies with facade's design. Based on that condition, the research questioning the cooling energy performance of the facade in existing office buildings; the influence of the facade (geometry, materials, WWR, and shading devices) in cooling energy performance; and find the facade design (combination of geometry, materials, WWR, and shading devices) of the government office buildings which have the most efficient cooling energy performance.

The research use experiments of field observation as well as Ecotect computer simulation. It evaluates the influence of facade (geometry, materials, WWR, and shading devices) on cooling energy performance. The evaluation of energy efficiency is based on IKE electrical building and OTTV.

The results as follows: the first, the facade design of government office buildings in Surabaya have met the energy conservation standards, ie with OTTV smaller than 35 Watt/m². The second, thick skin typology is the best cooling energy performance; and the third result, the proper selection of wall openings (WWR) has the potential to improve cooling energy performance up to 21,89%, the geometry up to 14,84%, materials up to 11,07% and shading devices up to 3,97%. And the fourth, the most efficient energy performance facade design is a rectangular building with 0.6 ratio of width to the length (W/L ratio), the walls use the lightweight concrete material, the double low-e glass, WWR 60% and the use of vertical-horizontal devices.

Keywords : ecotect, cooling energy, facade, energy saving, government offices

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
COVER	iii
LEMBAR PERSETUJUAN UJIAN TESIS	v
SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TESIS	vii
KATA PENGANTAR	ix
ABSTRAK...	xi
ABSTRACT	xiii
DAFTAR ISI	xv
DAFTAR GAMBAR	xix
DAFTAR TABEL	xxi
DAFTAR SIMBOL DAN SATUAN	xxiii
BAB 1 PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.1.1 Krisis Energi Nasional	1
1.1.2 Penggunaan Energi Dalam Bangunan	3
1.1.3 Beban Pendinginan dan Fasad Bangunan	4
1.1.4 Konsumsi Energi pada Kantor Pemerintah	6
1.1.5 Surabaya sebagai Kota Tanggap Krisis Energi	7
1.2 Rumusan Masalah	8
1.3 Tujuan dan Sasaran Penelitian	10
1.4 Manfaat Penelitian	11
1.5 Batasan Penelitian	11
BAB 2 KAJIAN PUSTAKA	
2.1 Fasad Bangunan	13
2.1.1 Pengertian Fasad	13
2.1.2 Jenis- Jenis Fasad	14
2.1.3 Elemen-Element Fasad	16
2.1.4 Material Fasad Bangunan	16
2.2 Kantor Pemerintahan	19
2.2.1 Pengertian Kantor Pemerintahan	19
2.2.2 Material Fasad Kantor Pemerintahan	19
2.2.3 Tipologi Fasad Kantor Pemerintahan	20
2.3 Kondisi Panas Bangunan	21
2.3.1 Panas	21
2.3.2 Sumber-Sumber Panas	22
2.3.3 Prinsip Aliran Panas	23
2.3.4 Thermal Properties Material	24
2.4 Kinerja Energi Pendinginan	26
2.4.1 OTTV	26
2.4.2 Intensitas Konsumsi Energi	28
2.4.3 Prinsip Desain Bangunan untuk Menghemat Energi Pendinginan	29

2.5	Kondisi Iklim Tropis	30
2.5.1	Pengaruh Temperatur terhadap Beban Pendinginan ...	32
2.5.2	Pengaruh Radiasi Matahari terhadap Beban Pendinginan	32
2.6	Fasad Bangunan dan Energi Pendinginan	34
2.6.1	Pengaruh Geometri terhadap Beban Pendinginan	34
2.6.2	Pengaruh WWR terhadap Beban Pendinginan	35
2.6.3	Pengaruh <i>Shading Devices</i> terhadap Beban Pendinginan	37
2.6.4	Pengaruh Material terhadap Beban Pendinginan	37
2.7	Dasar Teori	38
2.8	Keaslian Penelitian	39

BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN

3.1	Paradigma Penelitian	41
3.2	Metode Penelitian	42
3.3	Variabel Penelitian dan Definisi Operasional Variabel	44
3.3.1	Variabel Terikat	44
3.3.2	Variabel Bebas	45
3.3.3	Variabel Kontrol	47
3.4	Rancangan Penelitian	47
3.5	Pengamatan Lapangan	47
3.5.1	Teknik Pengambilan Sampel	49
3.5.2	Teknik Pengumpulan Data	54
3.6	Rancangan Eksperimen	57
3.6.1	Model Dasar	57
3.6.2	Perlakuan Pada Eksperimen	61
3.7	Simulasi	65
3.7.1	Deskripsi Program Simulasi Ecotect v5.5	65
3.7.2	Kelebihan Program Ecotect v5.5	68
3.7.3	Kelemahan Program Ecotect v5.5	69
3.7.4	Verifikasi Ecotect v5.5	69
3.8	Analisa Hasil dan Optimasi	70

BAB 4 HASIL PENGAMATAN LAPANGAN DAN ANALISA

4.1	Lokasi Penelitian	73
4.2	Deskripsi Umum Objek Penelitian	74
4.2.1	Kantor Walikota	74
4.2.2	Kantor DPRD Kota Surabaya	81
4.2.3	Kantor Dinas Pendidikan Provinsi Jawa Timur	85
4.2.4	Gedung Keuangan Negara Republik Indonesia	87
4.3	Kinerja Energi Pendinginan pada Kantor Pemerintahan	88
4.3.1	Perhitungan OTTV Kantor Walikota Surabaya	89
4.3.2	Perhitungan OTTV Kantor DPRD Kota Surabaya	92
4.3.3	Perhitungan OTTV Kantor Dinas Pendidikan	95
4.3.4	Perhitungan OTTV Gedung Keuangan Negara	97
4.4	Pengaruh Fasad Terhadap Temperatur Ruang Dalam	100

4.5	Rangkuman Hasil Pengamatan dan Penelitian Lapangan	102
BAB 5 HASIL SIMULASI DAN ANALISA		
5.1	Data Input Simulasi Ecotect	91
5.1.1	Data Iklim	91
5.1.2	Verifikasi Data Iklim BMKG dan Hasil Pengukuran	108
5.1.3	Data Bangunan	110
5.1.4	Data Internal Heat Gain dan Lain-lain	113
5.2	Kinerja Energi Pendinginan	115
5.3	Pengaruh Geometri terhadap Energi Pendinginan	117
5.3.1	Pengaruh Rasio W/L terhadap Beban Pendinginan	118
5.3.2	Pengaruh Ketinggian terhadap Beban Pendinginan	126
5.3.3	Pengaruh Geometri terhadap Kinerja Energi Pendinginan	128
5.4	Pengaruh WWR terhadap Energi Pendinginan	131
5.4.1	Pengaruh WWR terhadap Beban Pendinginan	131
5.4.2	Pengaruh WWR terhadap Energi Pendinginan	138
5.5	Pengaruh Peneduh (<i>Shading Devices</i>) terhadap Energi Pendinginan	140
5.5.1	Pengaruh Peneduh (<i>Shading Devices</i>) terhadap Beban Pendinginan	141
5.5.2	Pengaruh Peneduh (<i>Shading Devices</i>) terhadap Energi Pendinginan	150
5.6	Pengaruh Material terhadap Energi Pendinginan	152
5.6.1	Pengaruh Material Dinding terhadap Energi Pendinginan	152
5.6.2	Pengaruh Material Kaca terhadap Energi Pendinginan ..	159
5.7	Pengaruh Kombinasi WWR, <i>Shading Devices</i> dan Material terhadap Energi Pendinginan dan OTTV	162
5.8	Rangkuman	165
BAB 6 KESIMPULAN DAN SARAN		
6.1	Kesimpulan	169
6.1.1	Kinerja Energi Pendinginan Fasad Kantor Pemerintah di Lapangan	169
6.1.2	Pengaruh Fasad terhadap Kinerja Energi Pendinginan ..	170
6.1.3	Evaluasi Kombinasi Geometri, Material, WWR, dan <i>Shading Devices</i> terhadap Kinerja Energi Pendinginan	174
6.2	Saran	174
DAFTAR PUSTAKA		xxv

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1	Kondisi Permintaan dan Penyediaan Energi di Indonesia	1
Gambar 1.2	Komposisi Penggunaan Energi menurut Sektor Kegiatan	2
Gambar 1.3	Komposisi Penggunaan Energi Dalam Bangunan	3
Gambar 1.4	Komposisi Penggunaan Energi pada kantor Pemerintah	3
Gambar 1.5	Penggunaan Energi pada Kantor Pemerintah	6
Gambar 1.6	Konsumsi Listrik di Jawa Timur	7
Gambar 1.7	Fasade Kantor Pemkot Surabaya Dulu dan Sekarang	9
Gambar 2.1	Transfer Panas Melalui Fasad Bangunan Gedung	24
Gambar 2.2	Pengaruh Shading Devices terhadap Kinerja Energi Pendinginan	37
Gambar 3.1	Diagram Ven Menjelaskan Proses Pengambilan Sampel	49
Gambar 3.2	Alur Berpikir Menentukan Geometri Model Dasar	59
Gambar 3.3	Ilustrasi perlubangan pada Fassade Bangunan	60
Gambar 3.4	Desain Fasad Kantor Pemerintah di Surabaya	61
Gambar 3.5	Tampilan Data Proyek yang Diisi	66
Gambar 3.6	Tampilan 3D Model	66
Gambar 3.7	Tampilan <i>Thermal Properties</i> Material	67
Gambar 3.8	Tampilan Analisis Termal Tentang <i>Hourly Temperature Profile</i>	67
Gambar 4.1	Peta Kota Surabaya	73
Gambar 4.2	Siteplan Kantor Walikota	74
Gambar 4.3	Kondisi Koridor dan Ruang Dalam Kantor Walikota	76
Gambar 4.4	Detail Pintu Kembar Kayu	77
Gambar 4.5	Detail Pintu Kembar Kaca	77
Gambar 4.6	Pintu Utama Kantor Walikota	78
Gambar 4.7	Detail Jendela Besar pada sisi Kiri dan Kanan Kantor Walikota.	79
Gambar 4.8	Detail Jendela Ayun (<i>Casement Window</i>) pada Kantor Walikota	80
Gambar 4.9	Detail Jendela Mati (<i>Fix Window</i>) Kecil pada Kantor Walikota. .	80
Gambar 4.10	Detail Jendela Mati (<i>Fix Window</i>) Besar pada Kantor Walikota ..	81
Gambar 4.11	Siteplan Kantor DPRD Kota Surabaya	82
Gambar 4.12	Kondisi Ruang Luar dan Ruang Dalam Kantor DPRD Kota Surabaya	83
Gambar 4.13	Jenis- Jenis Bukaannya pada Fasad Kantor DPRD Kota Surabaya	84
Gambar 4.14	Siteplan Kantor Dinas Pendidikan Provinsi Jawa Timur	85
Gambar 4.15	<i>Shading devices</i> yang terdapat pada dinding bangunan	86
Gambar 4.16	Siteplan Gedung Keuangan Negara Republik Indonesia	87
Gambar 4.17	Kondisi Ruang Dalam Gedung Keuangan	87
Gambar 4.18	Perbandingan Temperatur Ruang Luar dan Dalam (<i>lobby</i>) pada Kantor Pemerintah	102
Gambar 5.1	Kondisi Iklim Rata-rata di Surabaya 2009-2013	107
Gambar 5.2	Perolehan Panas pada Bangunan	111
Gambar 5.3	Penyederhanaan Model Dasar	112
Gambar 5.4	Perlakuan Sumber Panas Internal pada Tahap Simulasi	114
Gambar 5.5	Lokasi Bangunan	114

Gambar 5.6	Kinerja Energi Pendinginan	116
Gambar 5.7	Orientasi bangunan (kiri), Orientasi yang diteliti (kanan)	118
Gambar 5.8	Pengaruh Rasio W/L terhadap Beban Pendinginan	119
Gambar 5.9	Pengaruh Rasio W/L terhadap sQ_c	121
Gambar 5.10	Pengaruh Rasio W/L terhadap sQ_s	123
Gambar 5.11	Pengaruh Rasio W/L terhadap sQ_g	124
Gambar 5.12	Pengaruh Aliran Panas terhadap Beban Pendinginan	126
Gambar 5.13	Pengaruh Ketinggian Bangunan terhadap Beban Pendinginan ...	127
Gambar 5.14	Pengaruh Rasio W/L terhadap Energi Pendinginan	129
Gambar 5.15	Pengaruh Ketinggian Bangunan terhadap Energi Pendinginan	130
Gambar 5.16	Pengaruh WWR terhadap Beban Pendinginan	132
Gambar 5.17	Pengaruh WWR terhadap sQ_c	133
Gambar 5.18	Pengaruh WWR terhadap sQ_g	134
Gambar 5.19	Pengaruh WWR terhadap sQ_s	136
Gambar 5.20	Pengaruh WWR terhadap Energi Pendinginan	138
Gambar 5.21	Ilustrasi Peneduh Pada Bangunan	140
Gambar 5.22	Pengaruh Peneduh Terhadap Beban Pendinginan	141
Gambar 5.23	Pengaruh Peneduh Terhadap sQ_c	143
Gambar 5.24	Pengaruh Peneduh Terhadap sQ_s	145
Gambar 5.25	Pengaruh Peneduh Terhadap sQ_g	148
Gambar 5.26	Pengaruh Peneduh Terhadap Energi Pendinginan	151
Gambar 5.27	Pengaruh Material Dinding terhadap sQ_c	153
Gambar 5.28	Pengaruh Material Dinding terhadap sQ_s	156
Gambar 5.29	Pengaruh Material Kaca terhadap Beban Pendinginan	160
Gambar 5.30	Pengaruh Material Kaca terhadap sQ_c	160
Gambar 5.31	Pengaruh Material Kaca terhadap sQ_s	160
Gambar 6.1	Rancangan Eksperimen	169

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Contoh <i>Thermal Properties</i> Material Dinding	25
Tabel 2.2	Pertimbangan untuk Memenuhi Desain Peneduh	28
Tabel 2.3	Standard IKE untuk Gedung Kantor Pemerintah	28
Tabel 2.4	Berbagai Standar IKE untuk Gedung Perkantoran	29
Tabel 2.5	Pengaruh Elemen Iklim terhadap Lingkungan Terbangun	31
Tabel 2.6	Nilai Albedo dari Permukaan Bangunan	34
Tabel 2.7	Dampak WWR pada Penghematan Energi	35
Tabel 3.1	Variabel Kontrol dan Definisi Operasional Variabel	47
Tabel 3.2	Populasi Kantor Pemerintahan di Surabaya	50
Tabel 3.3	Teknik Pengumpulan Data Lapangan	56
Tabel 3.4	Ketinggian Bangunan yang Diteliti	61
Tabel 3.5	W/L Bangunan yang Diteliti	62
Tabel 3.6	WWR Bangunan yang Diteliti	63
Tabel 3.7	Jenis <i>Shading Devices</i> yang Diteliti	63
Tabel 3.8	Mengubah Material Dinding	64
Tabel 3.9	Mengubah Material Kaca Jendela	65
Tabel 4.1	Spesifikasi Material dan Elemen Kantor Walikota Surabaya	75
Tabel 4.2	Spesifikasi Material Kantor DPRD Kota Surabaya	82
Tabel 4.3	Spesifikasi Material Kantor Dinas Pendidikan Provinsi Jawa Timur	85
Tabel 4.4	Spesifikasi Material Gedung Keuangan Negara Republik Indonesia	88
Tabel 4.5	Perhitungan OTTV Kantor Walikota per Orientasi	91
Tabel 4.6	Perhitungan OTTV Kantor DPRD per Orientasi	94
Tabel 4.7	Perhitungan OTTV Kantor Dinas Pendidikan per Orientasi	97
Tabel 4.8	Perhitungan OTTV Gedung Keuangan Negara	99
Tabel 4.9	Ringkasan Data Bangunan Kantor Pemerintahan	103
Tabel 5.1	Kondisi Iklim Rata-rata di Surabaya selama 5 Tahun (2009-2013)	106
Tabel 5.2	Temperatur Ruang Luar Kantor Walikota	109
Tabel 5.3	Temperatur Ruang Luar Kantor DPRD	109
Tabel 5.4	Temperatur Ruang Luar Dinas Pendidikan	110
Tabel 5.5	Temperatur Ruang Luar Gedung Keuangan	110
Tabel 5.6	<i>Thermal Propertis Materials</i>	113
Tabel 5.7	Rasio W/L Bangunan yang Diteliti	118
Tabel 5.8	Pengaruh WWR terhadap sQc dan Beban Pendinginan	133
Tabel 5.9	Pengaruh WWR terhadap sQg dan Beban Pendinginan	135
Tabel 5.10	Pengaruh WWR terhadap sQs dan Beban Pendinginan	136
Tabel 5.11	<i>Thermal Properties</i> Material Dinding	153
Tabel 5.12	Perbandingan Beban Pendinginan dan Energi Pendinginan	158
Tabel 5.13	Perbandingan Beban Pendinginan dan Energi Pendinginan ..	161
Tabel 5.14	Pengaruh Kombinasi Material Fasade, WWR dan Peneduh (<i>Shading Devices</i>) terhadap Energi Pendinginan	167

Tabel 5.15	Pengaruh Kombinasi Material Fasade, WWR dan Peneduh (<i>Shading Devices</i>) terhadap OTTV	168
Tabel 6.1	Kombinasi Material, WWR, dan <i>Shading Devices</i> yang Memenuhi Standar Efisiensi Kinerja Energi Pendinginan	173

DAFTAR SIMBOL DAN SATUAN

α	Absorbtansi radiasi matahari
θ	<i>Solar gain factor</i>
μ	<i>Decrement factor</i>
A	Luas dinding (m ²)
A _{0i}	Luasan dinding pada bagian dinding luar i (m ²).
A _o	Luas total atap = a _r + a _s (m ²)
A _r	Luas atap yang tidak trasparan (m ²)
A _s	Luas <i>skylight</i> (m ²)
G	Radiasi matahari pada permukaan terluar (watt)
IKE	Intensitas konsumsi energi (kwh/m ² /bln)
OTTV	Nilai perpindahan panas menyeluruh pada dinding terluar (w/m ²)
OTTV _i	Nilai perpindahan panas menyeluruh pada dinding terluar yang memiliki arah atau orientasi tertentu (w/m ²)
RTTV	Nilai perpindahan termal menyeluruh untuk atap (w/m ²)
R _{so}	<i>Resistivity</i> permukaan terluar
SF	Faktor radiasi matahari (w/m ²)
TD _{EK}	Beda temperature ekuivalen (k)
ΔT	Beda temperature perencanaan antara badan luar dan bagian dalam. (diambil 5k)
To _{.t}	Temperatur ruang luar pada saat itu (°c)
To _{.t-Φ}	Temperatur ruang pada saat time-lag (°c)
Ti	Temperature rata-rata ruang dalam (°c)
U	U-value (watt/m ² k)
U _f	Tranmitans termal fenestrasi (w/m ² .k);
U _r	Tranmitans termal atap tidak transparan (w/m ² .k)
U _s	Tranmitans termal fenestrasi (w/m ² .k);
U _w	Transmitans termal dinding tidak tembus cahaya (w/m ² .k)
WWR	Perbandingan luas jendela dengan luas seluruh dinding luar pada orientasi yang ditentukan
Q _c	<i>Conduction heat flow</i> atau panas dari dinding dan kaca karena konduksi
Q _{cg}	Jumlah panas yang masuk akibat konduksi pada dinding tembus cahaya (watt/m ²)
Q _{co}	Jumlah panas yang masuk akibat konduksi pada dinding tidak tembus cahaya (watt/m ²)
Q _i	<i>Internal heat gain</i> atau sumber panas dari dalam bangunan
Q _m	Beban pendinginan (watt)
Q _s	<i>Solar heat flow</i> atau panas dari dinding dan kaca karena radiasi
Q _{so}	Aliran panas akibat radiasi pada dinding tidak transparan (watt/m ²)
Q _v	<i>Convection heat flow</i> atau panas dari dinding dan kaca karena konveksi
sQ _c	Aliran panas konduksi pada dinding <i>opaque</i> dan dinding transparan (kWh)

sQs Aliran panas radiasi pada dinding *opaque* (kWh)
sQg Aliran panas radiasi dinding transparan (kWh)

BAB 1

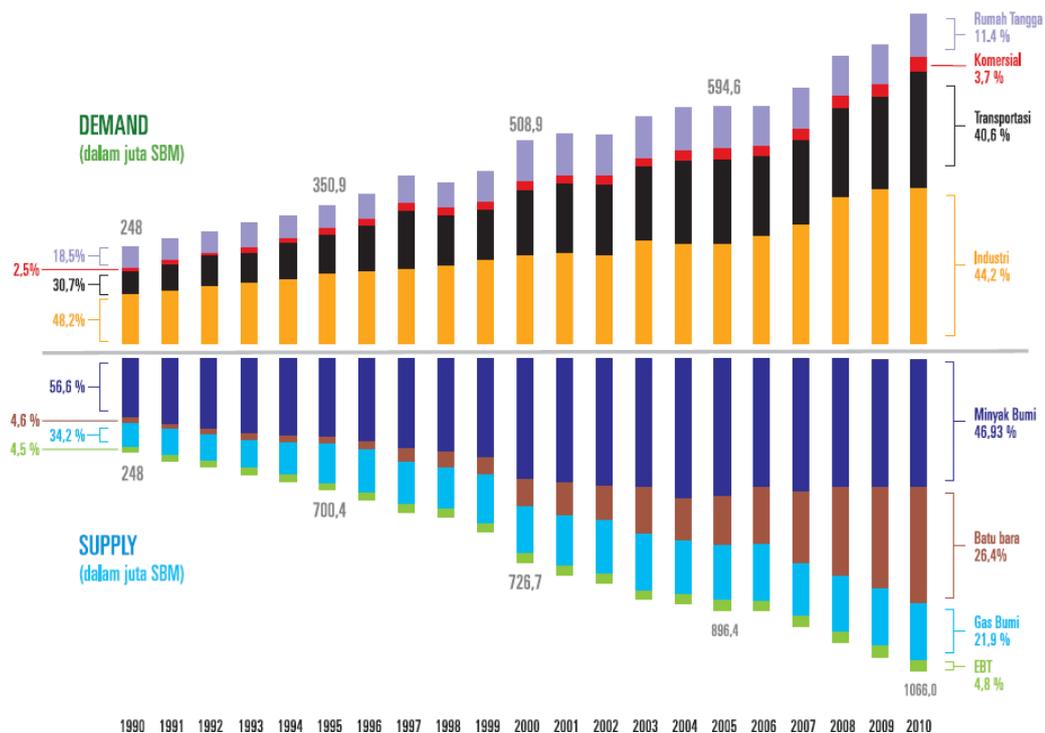
PENDAHULUAN

Bab pendahuluan menjelaskan mengenai latar belakang penelitian, rumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, batasan penelitian dan keaslian penelitian.

1.1 Latar Belakang

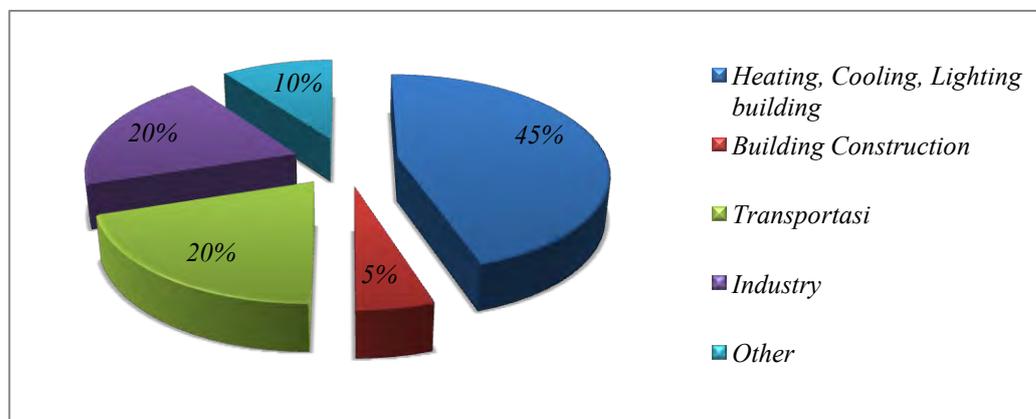
1.1.1 Krisis Energi Nasional

Pada saat ini, krisis energi menjadi permasalahan dunia tak terkecuali Indonesia. Inti permasalahannya terletak pada ketidakseimbangan permintaan (*demand*) dan penawaran (*supply*) (lihat Gambar 1.1). Salah satu faktor yang menyebabkan ketidakseimbangan tersebut antara lain adalah perilaku konsumtif dan boros dalam memanfaatkan suatu energi.



Gambar 1.1 Kondisi Permintaan dan Penyediaan Energi di Indonesia
(Dirjen EBTKE, 2011)

Pertumbuhan ekonomi dan jumlah penduduk yang sangat pesat juga berdampak pada meningkatnya kebutuhan energi akibat bertambahnya jumlah rumah, beragam bangunan komersil serta industri. Menurut Dirjen EBTKE (2011) terdapat empat sektor utama pengguna energi terbesar di Indonesia yakni sektor industri dengan pangsa 44,2%, sektor transportasi dengan pangsa 40.6%, sektor rumah tangga dengan pangsa 1,4% dan sektor komersial dengan pangsa 3.7%. Berbeda pendapat Dirjen EBTKE, Krishan (2001) menjelaskan sektor bangunan merupakan pengguna energi terbesar yaitu sekitar 45% dari keseluruhan kebutuhan energi (lihat Gambar 1.2).

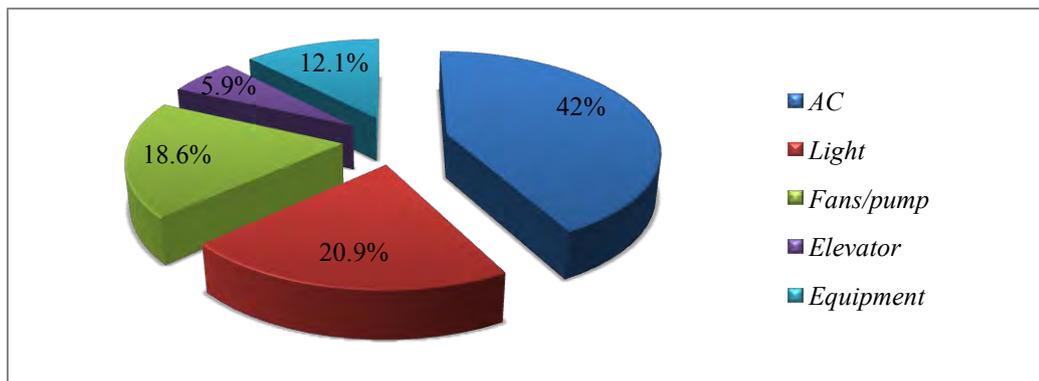


Gambar 1.2 Komposisi Penggunaan Energi menurut Sektor Kegiatan (Krishan, Arvin dkk, 2001)

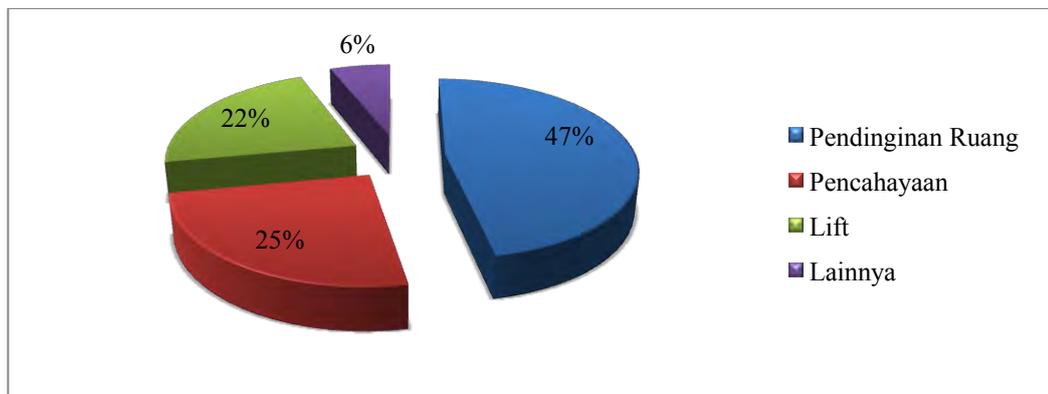
Umumnya, semua sektor kegiatan di Indonesia masih sangat bergantung pada sumber energi yang tidak dapat diperbarui yang berasal dari fosil, yaitu minyak bumi sebesar 46,9%, batu bara sebanyak 26,4% dan gas alam sebesar 21,9%. Sementara tenaga air (hidro) dan energi terbarukan lainnya hanya sekitar 4,8% dari total sumber daya energi yang dimanfaatkan (lihat Gambar 1.1). Akibat ketergantungan terhadap sumber energi fosil tersebut, Indonesia menjadi anggota OPEC (*Organization of The Petroleum Exporting Countries*) sejak tahun 1962, pada tahun 2004 Indonesia harus menghentikan kegiatan ekspor minyak dan pada tahun 2009 harus keluar dari keanggotaan OPEC karena cadangan minyak bumi tidak lagi surplus. Saat ini Indonesia bahkan harus mengimpor minyak untuk memenuhi kebutuhan domestik yang sangat besar.

1.1.2 Penggunaan Energi dalam Bangunan

Menurut Mintogoro (1999), konsumsi energi terbesar dalam bangunan baik berfungsi sebagai hunian maupun perkantoran adalah untuk memenuhi kebutuhan pencahayaan, pemanasan dan pendinginan bangunan. Hal ini sejalan dengan hasil studi yang dilakukan oleh Sugijanto (1989, dalam Stephanus, 2006) diketahui komposisi energi terbesar yang digunakan pada bangunan perkantoran di Asia adalah untuk pengkondisian udara dan pencahayaan (lihat Gambar 1.3). Sejalan dengan Mintogoro (1999) dan Sugijanto (1989), EECHI (*Energy Efficiency and Conservation Clearing House Indonesia*) juga menjelaskan umumnya gedung di negara tropis seperti Indonesia paling banyak menggunakan energi untuk sistem tata udara, yakni sekitar 45% - 70%.



Gambar 1.3 Komposisi Penggunaan Energi Dalam Bangunan Sugijanto (1989, dalam Stephanus, 2006)



Gambar 1.4 Komposisi Penggunaan Energi pada Kantor Pemerintahan Pemprov DKI Jakarta (2012)

Dari penjelasan sebelumnya diketahui konsumsi energi terbesar dalam bangunan adalah sistem pendinginan. Oleh karenanya, sasaran utama penghematan energi dalam bangunan seharusnya ditujukannya pada sistem pendinginan. Efisiensi sistem pendinginan dapat dilakukan antara lain dengan cara mereduksi beban pendinginan dan pemilihan sistem pendinginan udara yang tepat.

1.1.3 Beban Pendinginan dan Fasad Bangunan

Menurut Ministry of Construction of the People's Republic of China (2013) 20-50% konsumsi energi pendinginan disebabkan oleh fasad bangunan. Sejalan dengan penelitian tersebut, penelitian yang dilakukan oleh Mwashu, dkk (2011) menunjukkan fasad bangunan berkontribusi menyumbang 50%-60% total perolehan panas bangunan.

Fasad bangunan adalah kulit terluar suatu bangunan yang berfungsi sebagai pelindung ruang dalam dari lingkungan ruang luar (Aksamija, 2013). Selubung bangunan adalah elemen bangunan yang membungkus bangunan gedung, yaitu dinding dan atap transparan atau tidak transparan dimana sebagian energi termal berpindah lewat elemen tersebut (SNI 6389, 2011). Berdasarkan kedua pengertian tersebut, maka dapat disimpulkan bahwa selubung dan fasad bangunan memiliki pengertian dan fungsi yang sama, sehingga nantinya akan diseragamkan dengan kata fasad. Jadi, fasad yang dimaksud adalah kulit terluar bangunan yang terdiri dari dinding (transparan dan tidak transparan), pelindung (*sun shading devices*, *overhang*, teras, balkon) dan atap.

Di Indonesia, sebagai upaya efisiensi dan konservasi energi, GBCI (Green Building Council of Indonesia) mengeluarkan tiga pilihan untuk pengukuran, yakni menggunakan *software* energi dengan menghitung selisih konsumsi energi dari gedung *baseline* dan *designed*, menggunakan *worksheet* standar GBCI, dan menghitung penghematan per komponen seperti OTTV dari selubung bangunan, transportasi vertikal, *coefficient of performance* (COP) dan pertimbangan pencahayaan buatan.

OTTV (*Overall Thermal Transfer Value*, Harga Perpindahan Panas Menyeluruh) adalah angka yang menunjukkan perolehan panas akibat radiasi matahari yang melewati per meter persegi luas selubung bangunan. OTTV yang

disyaratkan SNI 03-6389-2011 sebagai upaya konservasi energi adalah lebih kecil sama dengan 35 Watt/m². OTTV bukanlah parameter untuk penghematan energi tetapi merupakan salah satu elemen/indikator efisiensi energi (Laksmiyanti, 2013).

Penghematan energi dapat dilakukan melalui pendekatan desain. Variabel yang dapat digunakan sebagai parameter dalam mendesain fasad yang konservatif terhadap penggunaan energi meliputi bentuk dan geometri bangunan, perbandingan jendela-dinding (WWR), perbandingan luas permukaan dengan volume (S/V), koefisien peneduh, material serta elemen fasad bangunan (Devi, 2002).

Yeang (1996) mengatakan bahwa bentuk bangunan akan berpengaruh pada penggunaan energi dalam bangunan. Bangunan berbentuk persegi panjang (pipih) dimana dinding terluas berorientasi utara-selatan merupakan pilihan yang terbaik guna mereduksi radiasi matahari. Markus & Morris (1980) mengatakan bentuk terbaik di daerah beriklim tropis adalah bangunan *dengan heat gain* terendah, sehingga berbicara mengenai *s/v ratio* pada bangunan tropis lebih mengarah pada *exposed area to volume ratio*.

Selain bentuk geometrin dan material bangunan, WWR dan *shading devices* juga sangat berpengaruh terhadap penggunaan energi bangunan. Beberapa penelitian sejenis mengenai konservasi energi pada selubung bangunan sudah dilakukan oleh peneliti-peneliti sebelumnya dan hasilnya menunjukkan bahwa elemen dan material fasad berpengaruh pada beban pendingin bangunan. Soebarto (2002) mendapatkan bahwa bangunan dengan WWR 30%, pengaruh pembayangan akan menurunkan 20% penggunaan energi, sementara pemakaian kaca ganda bisa menurunkan hingga 5%. Soegijanto (2002), mendapatkan pembayangan dengan WWR 20% tidak berpengaruh, dan bahkan jika jenis kaca yang digunakan mempunyai SC hanya 0.38, adanya pembayangan justru akan menaikkan konsumsi energi 2 – 2.5 %. Sementara dengan kaca biasa pada WWR 40% - 60% pembayangan akan mengurangi 8% - 10% energi bangunan. Menurut Devi (2002), komposisi optimum rasio dinding masif dan kaca adalah 67.24% dinding masif dan 32,76% bidang kaca yang berarti pada komposisi itu besar beban pendinginan aktual sama dengan beban pendinginan maksimum desain. Dengan demikian alternatif desain yang masih memungkinkan diambil adalah

menambah area dinding masif dari 67.24% hingga 100% atau mengurangi bidang kaca dari 32,76% hingga 0%.

1.1.4 Konsumsi Energi pada Kantor Pemerintah

Pemerintah sebagai pemegang kendali kebijakan penggunaan energi, tak luput dari isu sebagai salah satu konsumen yang boros energi. Yayasan Lembaga Konsumen Indonesia (YLKI) mengungkapkan sejumlah bangunan kantor pemerintah justru sangat boros dalam menggunakan energi (www.tribunnews.com). Beberapa indikator dapat digunakan untuk membuktikan kebenaran isu tersebut. Pertama, pemerintah akan membentuk tim pengawas energi listrik di tiap kantor di kota besar untuk mengontrol pemakaian listrik (www.news.liputan6.com). Kedua, Instruksi Presiden Republik Indonesia No.13 Tahun 2011 tentang penghematan energi dan air. Ketiga, adanya pernyataan dari Pemprov DKI Jakarta (2012) juga menyatakan energi pendinginan merupakan pengguna energi terbesar dalam bangunan, khususnya untuk bangunan kantor pemerintahan, energi pendinginan menggunakan 47% dari total energi bangunan. Keempat, adanya pernyataan dari Kepala BLH Kota Surabaya Musdiq Ali Suhudi yang menyatakan hasil audit energi yang dilakukan pemerintah pusat beberapa waktu lalu, terjadi pemborosan energi dan yang paling tinggi terjadi di kantor pemerintahan, dimana pemborosan tersebut bisa dilihat dari penggunaan AC (Wibisono, 2016).



Gambar 1.5 Penggunaan Energi pada Kantor Pemerintah: Gedung Balai Kota Makassar (kiri) dan Gabungan Dinas Kota Makassar (kanan)

Menanggapi isu tersebut, pemerintah membuat suatu program penghematan energi yang dilakukan di gedung pemerintah sebagai bentuk awal dari manajemen energi yang dapat membantu tercapainya penurunan biaya energi di gedung secara keseluruhan. Kesuksesannya dapat menjadi motivasi baik bagi gedung pemerintah lain maupun gedung swasta dalam satu wilayah pemerintahan, ataupun sebagai pendorong munculnya inisiatif serupa di wilayah yang lain.

1.1.5 Surabaya sebagai Kota Tanggap Krisis Energi

Upaya penghematan melalui pengembangan pembangunan berefisiensi energi akan sangat tepat dilakukan di Kota Surabaya. Hal ini disebabkan karena kota Surabaya sebagai kota terbesar kedua di Indonesia setelah Jakarta mengalami perkembangan perekonomian dan pertumbuhan kawasan terbangunan yang begitu pesat. Dampak positifnya meningkatnya potensi pendapatan daerah, sedangkan dampak negatifnya kota menghadapi berbagai permasalahan dan tantangan dalam pembangunan dan penataan kota karena munculnya bangunan-bangunan tinggi dengan fungsi tunggal (*single use*) dan fungsi campuran (*mixuse*). Pembangunan gedung yang tidak terkontrol menyebabkan kerusakan lingkungan dan perubahan wajah/permukaan kota (*terrain roughness*).



Gambar 1.6 Konsumsi Listrik di Jawa Timur PT.PLN Distribusi Jawa Timur (2016)

Perkembangan kota yang sangat pesat tentu mengkonsumsi energi listrik yang sangat besar, berlangsung jauh lebih pesat dibandingkan dengan kota-kota lain di Indonesia, khususnya Jawa Timur (Gambar 1.5). Bila kondisi tersebut tidak dibarengi oleh adanya upaya penghematan maka akan berpotensi besar menimbulkan dampak yang kurang baik terhadap ketersediaan energi listrik nasional.

Keseriusan Pemerintah Kota Surabaya untuk meminimalisir dampak negatif tersebut terlihat dengan sigap membentuk tim khusus. Pemerintah Kota Surabaya bekerjasama dengan Tim Ahli Bangunan Perencanaan (TAP) dan Tim Ahli Bangunan Gedung (TABG) menyusun sebuah kajian teknis bangunan gedung hijau untuk pemenuhan persyaratan bangunan gedung yang hemat energi, fungsional, aman, nyaman, dan sesuai dengan tata bangunan yang serasi dan selaras dengan lingkungannya, serta sesuai dengan dengan peraturan dan kebutuhan di Kota Surabaya. Berangkat alasan-alasan itulah, upaya penghematan energi pada sektor bangunan di Surabaya melalui perancangan desain fasad yang tanggap terhadap kondisi iklim memang sangat dibutuhkan.

1.2 Rumusan Masalah

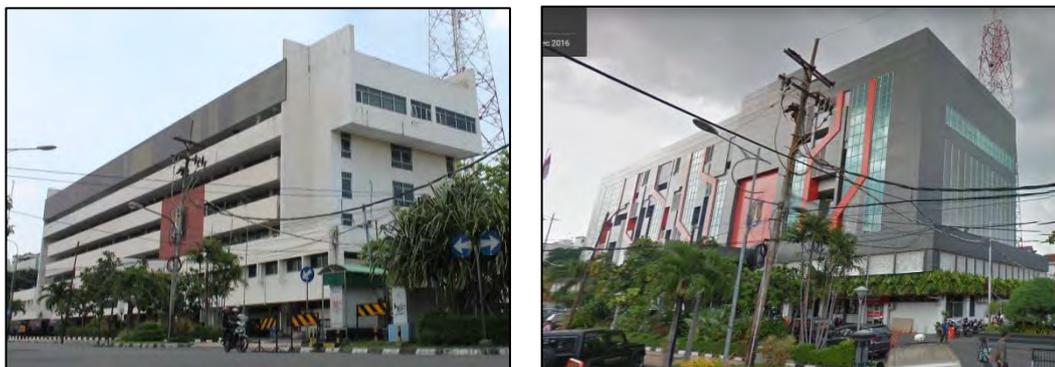
Di daerah tropis dengan kondisi temperatur udara dan radiasi matahari yang sangat tinggi, dibutuhkan suatu perancangan bangunan yang sangat baik sehingga panas yang merambat melalui fasad bangunan bisa diminimalisir. Desain fasad kantor pemerintahan di Surabaya sangat banyak dan variatif. Variasi tersebut terlihat pada geometri bangunannya, WWR, material fasad yang digunakan, dan ada tidaknya peneduh (*shading devices*), dan lain-lain (lihat Gambar 3.1). Desain fasad yang berbeda akan merespon iklim dengan cara yang berbeda-beda pula. Beberapa strategi yang dapat digunakan untuk meminimalisir panas yang merambat melalui fasad bangunan dapat berupa pemilihan geometri, WWR, material fasad, dan penggunaan peneduh (*shading devices*) yang tepat.

Fasad bangunan memegang peranan penting dalam menekan jumlah konsumsi energi pendinginan yang menjadi pengguna energi terbesar dalam bangunan. Hal ini karena desain fasad bangunan akan berpengaruh langsung terhadap jumlah perolehan panas eksternal yang menjadi faktor dominan terhadap

beban pendinginan. Berangkat dari kondisi tersebut, Badan Standarisasi Nasional Indonesia telah menentukan kriteria desain selubung bangunan yang dinyatakan dalam OTTV (*Overall Thermal Transfer Value*) sebesar ≤ 35 W/m². Ketentuan ini berlaku untuk bangunan yang dikondisikan dan dimaksudkan untuk memperoleh desain fasad yang mampu mengurangi jumlah perolehan panas eksternal sehingga beban pendinginan menjadi lebih kecil.

Berdasarkan pengamatan di lapangan, desain fasad kantor pemerintahan di Surabaya telah menerapkan beberapa prinsip desain rancang pasif guna meminimalisir pelolehan panas seperti menggunakan pelindung guna menciptakan pembayangan dan orientasi bangunan yang tidak berhadapan langsung timur-barat, serta material elemen fasad seperti dinding dari bata plaster yang dilapis cat tembok berwarna terang ataupun *cladding* berwarna terang. untuk mereduksi penyerapan panas.

Seiring dengan kemajuan zaman dan perkembangan teknologi, fasad kantor pemerintahan dari tahun ke tahun telah mengalami banyak perubahan, salah satu contohnya adalah Kantor Pemerintah Kota Surabaya. Fasad bangunan yang awalnya terkesan jadul, kaku, formal dan monoton, dimana dinding menggunakan bata plaster, jendela *clear glass* dan balkon yang juga berfungsi sebagai alat pembayangan lantai bawah, kini wajah bangunan tersebut telah berubah lebih modern, dinamis dan lebih berkelas. Penambahan *cladding* sebagai kulit kedua bangunan, perpaduan material kaca, ACP dan tanaman rambat serta penggunaan warna yang lebih beragam, sukses mengubah wajah kantor tersebut tanpa mengubah bangunan eksisting.



Gambar 1.6 Fasade Kantor Pemkot Surabaya Dulu (kiri) dan Sekarang (kanan) (www.google.co.id, 2018)

Temperatur bumi yang terus meningkat akibat *global warming* dan perubahan pola hidup masyarakat serta jam operasional kantor pemerintahan selama 8 jam dengan kapasitas penghuni yang relatif banyak, mengakibatkan penggunaan *cross ventilation* dan beberapa prinsip desain rancang pasif lainnya pada bangunan dirasa sudah tidak dapat mengatasi permasalahan termal ruang dalam sehingga penggunaan sistem pengkondisian udara seperti AC menjadi kebutuhan primer bangunan untuk menciptakan kenyamanan temperatur ruang dalam.

Menurut penelitian yang dilakukan oleh Karyono (1999) karyawan rentan stress pada jika kondisi ruang/lingkungan panas atau *heat stress*. Hal ini berdampak pada optimalisasi kegiatan mengajar. Pada suhu tinggi karyawan kurang mampu berkonsentrasi dan berdampak pada penurunan kinerja karyawan. Penelitian tersebut sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh Wong (2002) yang menyatakan ketidaknyamanan di ruang kelas menurunkan produktivitas belajar dan menyebabkan kelelahan (Tanabe, 2003), hambatan berfikir dan sakit kepala (Rajendra, 2011). Oleh karenanya untuk menghindari dampak negatif tersebut, salah satu solusi instan yang sering digunakan untuk menciptakan nyaman ruang dalam yakni dengan menggunakan pengkondisian udara (air conditioning, AC). Hal ini tentu berdampak pada beban penggunaan energi pada bangunan.

Berdasarkan uraian di atas dapat dirumuskan beberapa permasalahan sebagai berikut:

1. Bagaimana kinerja energi pendinginan fasad Kantor Pemerintahan di lapangan?
2. Bagaimana pengaruh fasad (geometri, material, WWR, dan *shading device*) terhadap kinerja energi pendinginan?
3. Bagaimanakah desain fasade (kombinasi geometri, material, WWR, dan *shading device*) kantor pemerintah yang memiliki kinerja energi pendinginan paling efisien?

1.3 Tujuan dan Sasaran Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui kinerja energi pendinginan fasad Kantor Pemerintahan di lapangan, mengetahui pengaruh fasad

(geometri, material, WWR, dan *shading device*) terhadap kinerja energi pendinginan dan menemukan desain fasade (kombinasi geometri, material, WWR, dan *shading device*) kantor pemerintah yang memiliki kinerja energi pendinginan paling efisien. Untuk mencapai tujuan tersebut, ditetapkan sasaran sebagai berikut:

1. Mengevaluasi pengaruh fasad terhadap kinerja energi pendinginan dengan perhitungan OTTV (SNI 0389, 2011)
2. Mengevaluasi pengaruh geometri terhadap energi pendinginan
3. Mengevaluasi pengaruh WWR terhadap energi pendinginan
4. Mengevaluasi pengaruh peneduh (*shading devices*) terhadap energi pendinginan
5. Mengevaluasi pengaruh material fasad terhadap energi pendinginan
6. Mengevaluasi pengaruh kombinasi material, WWR, dan *shading devices* terhadap energi pendinginan.
7. Memvalidasi perhitungan OTTV dengan energi pendinginan

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat teoritis bagi akademisi atau ilmuan di bidang arsitektur, diharapkan dapat menjadi pendukung dan penerapan teori mengenai geometri, material, WWR, dan *shading devices* terhadap energi pendinginan. Serta memberi pemahaman mengenai pengaruh material, WWR, dan *shading devices* terhadap energi pendinginan.

Manfaat praktis bagi pemerintah, pengembang dan juga kontraktor, diharapkan dari hasil penelitian ini adalah rumusan kombinasi material, WWR, dan *shading devices* pada geometri tertentu tersebut dapat dijadikan bahan pertimbangan untuk perancangan kantor pemerintahan khususnya bertingkat bangunan bertingkat rendah di daerah tropis.

1.5 Batasan Penelitian

Beberapa batasan diterapkan dalam penelitian ini guna menyamakan atau menyatukan persepsi antara peneliti dan pembaca mengenai hal-hal yang diteliti dan diharapkan penelitian ini akan lebih terfokus dan menghasilkan temuan-

temuan yang diharapkan sesuai dengan tujuan penelitian. Batasan-batasan tersebut adalah sebagai berikut:

1. Penelitian dibatasi hanya pada analisa pengaruh fasad terhadap kinerja energi pendinginan. Parameter desain fasad yang diteliti hanyalah geometri, material, WWR dan *shading devices*. Indikator yang digunakan untuk melihat kinerja energi pendinginan diukur berdasarkan standar IKE listrik pada kantor ber-AC dan OTTV (SNI 03-6389-2011). Parameter geometri yang terdiri dari rasio lebar terhadap panjang (W/L ratio) dan ketinggian bangunan terhadap kinerja energi pendinginan. Material bangunan yang diteliti hanyalah kaca jendela dan dinding. WWR yang diteliti adalah 20%, 40% dan 60% dimana model jendela yang digunakan merupakan model jendela menerus ke arah horizontal. Sementara jenis *shading devices* yang akan diteliti adalah vertikal, horizontal dan vertikal-horizontal (*egg rate*)
2. Kinerja energi pendinginan bangunan di lapangan di ukur dengan menggunakan standar konservasi energi SNI 03-6389-2011
3. Bangunan yang digunakan sebagai objek penelitian berlokasi di Surabaya, dengan koordinat 7°21'LS – 7°21'LS dan 112°36'BT – 112°54'BT, yang termasuk dalam area iklim tropis lembab
4. Data iklim yang digunakan untuk simulasi merupakan kompilasi data iklim rentan 5 tahun (2009-2013) untuk memberikan hasil yang lebih akurat dibandingkan bila menggunakan data iklim spesifik satu tahun.
5. Bangunan berfungsi sebagai kantor pemerintah dan beroperasi mulai pukul 8.00 hingga 16.00
6. Bangunan merupakan gedung bertingkat rendah dengan ketinggian dua sampai empat lantai (dijelaskan di metodologi penelitian)
7. Model dasar bangunan menggunakan bentuk dasar kotak pipih dengan rasio $W/L = 0,6$ (dijelaskan di metodologi penelitian)

BAB 2

KAJIAN PUSTAKA

Dalam sebuah penelitian ilmiah, studi literatur mutlak diperlukan sebagai dasar dari penelitian yang dilakukan. Oleh karena itu, dalam penelitian yang berjudul “Pengaruh Fasad terhadap Kinerja Energi Pendinginan pada Kantor Pemerintah di Surabaya” ini, menguraikan teori yang berkaitan dengan: fasad bangunan, tipologi fasad kantor pemerintahan, energi pendinginan, hubungan temperatur dan radiasi matahari terhadap energi pendinginan.

2.1 Fasad Bangunan

Fasad memiliki hubungan erat dengan tingkat penggunaan energi pada bangunan. Fasad berperan penting sebagai media perpindahan panas baik yang masuk maupun keluar bangunan. Oleh karenanya desain fasad haruslah dipertimbangkan dalam upaya menghemat energi.

2.1.1 Pengertian Fasad

Fasad adalah elemen arsitektural terpenting untuk mengkomunikasikan tanda dan fungsi dari sebuah bangunan. Fasad berasal dari bahasa Inggris “*facade*” yang berakar dari bahasa Latin “*facies*” yang memiliki sinonim dengan kata “*face*” dan “*appearance*” (Soegijanto, 1999).

Selubung bangunan adalah elemen bangunan yang membungkus bangunan gedung, yaitu dinding dan atap transparan atau tidak transparan dimana sebagian energi termal berpindah lewat elemen tersebut (SNI 6389, 2011). Selubung bangunan (atap, dinding, lantai) berfungsi sebagai alat menetralkan atau memodifikasi iklim luar yang tidak dikehendaki (tidak nyaman) menjadi nyaman dan sesuai dengan kehendak si penghuni (Karyono, 1999). Selubung bangunan atau kulit bangunan adalah filter antara lingkungan internal dan eksternal (Dirjen EBTKE, 2012).

Mangunwijaya (1997) mengatakan fasad adalah dinding terluar suatu bangunan. Selubung atau fasad bangunan bukan hanya bentuk dua dimensi

permukaan luar saja melainkan suatu ruang transisi yang berperan sebagai teater interaksi antara ruang luar dan ruang dalam. Sejalan dengan Mangunwijaya, Aksamija (2013) juga menjelaskan fasad memiliki dua fungsi: pertama, sebagai pelindung ruang dalam dari lingkungan luar; kedua, menciptakan atau menunjukkan citra suatu bangunan.

Menurut penulis, fasad adalah sisi terluar bangunan (dinding, jendela, *shading devices* dan atap) yang berhubungan langsung dengan lingkungan luar dan tidak menempel dengan bangunan lainnya. Fasad ini memiliki fungsi untuk memodifikasi iklim luar yang tidak nyaman guna menciptakan kenyamanan ruang dalam.

Berdasarkan teori yang dipaparkan diatas dan menurut pemahaman penulis, maka dapat disimpulkan bahwa selubung bangunan, kulit bangunan dan dinding luar adalah sama pengertiannya dengan fasad bangunan. Sehingga penulis akan menyeragamkannya dengan kata fasad.

2.1.2 Jenis-Jenis Fasad

Pada dasarnya terdapat 2 tipe fasad, yaitu: (Aksamija, 2013)

1. *Opaque facades*, disusun dari material-material yang padat, seperti batu, panel beton pracetak, *metal cladding*, insulasi, dan *cold-formed steel framing*.
2. *Glazed facades*, seperti *curtail wall* atau *storefront facades*, terbuat dari material transparan atau kaca tembus cahaya dan komponen *metal framing*.

Perilaku fisika dari dua jenis fasad berbeda karena metode komponen, material, dan konstruksinya berbeda. *Opaque facades* memiliki massa yang lebih berat, tingkat insulasi yang lebih besar dan retensi panas yang lebih baik jika dibandingkan dengan *glazed facades*. Sebaliknya *glazed facades* memiliki kemampuan meneruskan cahaya ke dalam bangunan, pengguna dapat memberikan pemandangan yang lebih baik untuk penghuni, dan beban struktur bangunan lebih ringan jika dibandingkan *opaque facades*.

Hyde (2000) mengelompokkan bangunan berdasarkan kulit bangunannya, yaitu:

1. *Thin skin*, yaitu tipe bangunan yang dindingnya lebih bergantung pada kinerja bahan dari pada menggunakan *shading devices* untuk modifikasi iklim.

2. *Thick skin*, yakni tipe kulit bangunan yang memiliki kedalaman pada fasad akibat penggunaan *shading devices*.
3. *Inclined Skin*, yakni kulit bangunan dibuat agak condong (miring)
4. *Buffering*, yakni kulit bangunan yang berongga.
5. *Valve Effect*, yakni tipe kulit bangunan yang menggunakan teknologi semacam sensor.

Untuk bangunan berkulit tipis (*thin skin*), untuk meminimalisir pengaruh negatif iklim, memilih material yang memiliki performa yang baik merupakan sesuatu yang wajib. *Solar gain* melalui dinding *opaque* dapat direduksi dengan beberapa strategi, seperti penggunaan bahan yang reflektif dan berwarna terang, penggunaan insulasi pada fasad bangunan dan penggunaan material yang tebal pada sisi terekspos matahari, sedangkan untuk dinding transparan dapat diatasi dengan menggunakan *glazing technology* (Hyde, 2000).

Bedahalnya dengan (*thin skin*), bangunan berkulit tebal (*thick skin*) menggunakan *shading devices* untuk meminimalisir efek negatif iklim. Bangunan tipe ini biasanya menggunakan *shading devices* horizontal untuk melindungi dari matahari sudut altitude besar dan *shading devices* vertikal untuk melindungi dari matahari sudut altitude kecil.

Untuk bangunan yang dinding atau kulit bangunannya miring (*inclined skin*), sudut kemiringan dinding (*opaque* dan transparan) bukan asal dibuat miring namun disesuaikan dengan geometri matahari di garis lintang tertentu dan lokasi fasad bangunan. Ada tiga hal yang harus diperhatikan untuk kaca yang dipasang miring, yaitu *sunpath*, *solar geometry* dan orientasi fasad harus diperhatikan betul, pemilihan kaca yang memiliki SC rendah dan meminimalisir silau akibat cahaya dari kaca.

Jika *thick skin*, *thin skin*, *inclined skin* dan *buffering* menggunakan sistem desain pasif, bangunan dengan *valve effect* ini menggunakan sistem desain aktif dengan bantuan teknologi yang sudah canggih yakni semacam sensor. Seperti di terapkan di museum Kempsey, atap dan dindingnya terdapat semacam sirip horizontal yang dapat dibuka dan ditutup, gunanya untuk memenuhi kebutuhan termal dan pencahayaan. Saat musim dingin, *fin* itu terbuka dan memasukkan sinar matahari, namun pada musim panas yang dimasukkan hanya *diffuse*.

2.1.3 Elemen-Elemen Fasad

Menurut Krier (1983), elemen-elemen pembentuk fasad terdiri dari:

1. Pintu masuk (*entrance*). Pintu masuk menjadi tanda transisi dari bagaian publik (ekterior) ke bagian privat (interior). Terkadang posisi *entrance* memberi peran dan fungsi demonstratif terhadap bangunan.
2. Zona lantai dasar. Merupakan elemen urban yang terpenting dari fasad. Alas dari sebuah bangunan, yaitu lantai dasarnya yang merupakan elemen perkotaan.
3. Jendela dan pintu masuk ke bangunan. Elemen ini memungkinkan pemandangan bentuk pintu gerbang yang tegas dan rumit. Kehidupan urban yang lebih baik, yaitu adanya bukaan dari dalam bangunan ke luar bangunan.
4. Pagar dan pembatas (*railing*), dibutuhkan ketika terdapat indikasi bahaya dalam penggunaan ruangan
5. Atap dan akhiran (bubungan) bangunan. Ada 2 tipe atap, yaitu tipe atap mendatar (*face style*) dan menggunung (*alpine syle*). Khusus untuk daerah tropis *alpine syle* lebih sering dijumpai.
6. Tanda-tanda (*signs*) dan ornament fasad. *Sign* adalah tanda-tanda atau segala sesuatu yang dipasang oleh pemilik took, perusahaan, kantor, bank, restoran, dan lain-lain. Sedangkan ornament merupakan kelengkapan visual sebagai estetika pada fasad bangunan

Dari keenam elemen fasad yang disebutkan di atas, *sign* dan pagar tidak tidak memiliki sifat untuk memodifikasi iklim luar sebagaimana fungsi fasad yang disebutkan pada kajian sebelumnya. Sehingga dari sekian elemen fasad yang dipaparkan di atas, penelitian ini hanya membahas elemen dinding yang terdiri dari bukaan (pintu, jendela dan kisi-kisi) dan dinding padat (*opaque*), dan elemen atap. Hal ini dikarenakan elemen tersebut sangat mendominasi pada bangunan yang diteliti.

2.1.4 Material Fasad Bangunan

Priatman (1999) menjelaskan terdapat beberapa material ekterior konvensional yang dipergunakan pada fasad bangunan meliputi:

1. *Cementitious Materials* (Bahan Semen)

Meliputi jenis material yang menggunakan semen sebagai pengikat utama. Bisa berupa beton bertulang (*precast* maupun *cast in place*) dengan aditif, pembersian, plesteran maupun lembaran semen. Perkembangan bahan semen yang relatif baru adalah *fiber reinforced concrete* (FRC) yang merupakan kombinasi semen portland dan serat-serat khusus, yaitu baja, kaca, polimer organik, keramik dan material lainnya. *Glass fiber reinforced concrete* (GFRC) merupakan material fasad masa depan dengan kelebihan yang lebih ringan, lebih lentur, kemampuan menahan tarik dan penghematan biaya struktur akibat reduksi berat material.

2. *Masonry Materials* (Bahan Bata)

Disain fasad dengan *cladding* bata untuk bangunan tinggi modern menggunakan bata tipis (*thin veneer wall*) memerlukan kemampuan ketahanan cuaca, kemampuan ikatan bata mortar, kekakuan rangka penunjang dan peralatan pengikat unit hingga detail-detail khusus yang diperlukan untuk menghindari masalah dengan faktor cuaca.

3. *Stone Materials* (Bahan Batu Alam)

Sering digunakan dalam bangunan modern yang membutuhkan ekspresi disain monumental. Digunakan dalam bentuk *stone veneers* (+50 mm) untuk mereduksi beban pada struktur utamanya. Merupakan produksi alam dengan karakter fisik yang berbeda menurut tempat dan waktu sehingga perlu penanganan terhadap pelapukan dan pengaruh kimia. Pemasangan kering memerlukan keahlian tertentu dengan anker khusus maupun ikatan adesif antar unitnya.

4. *Metal Materials* (Bahan Logam)

Tiga kategori *metal cladding* digunakan saat ini dalam bentuk plat, lembaran laminasi dan panel komposit yang dirangkai dalam sistim dinding tirai (*curtain wall*). Merupakan material yang paling digemari karena relatif ringan, fabrikasi dengan kontrol yang akurat (*pre-cut*) serta perkembangan teknologi yang mampu memenuhi kreatifitas disain dengan beragam bahan metal mulai dari plat besi cor, stainless steel, aluminium panel hingga titanium.

5. *Glass Materials* (Bahan Kaca)

Fasad dengan sistim dinding tirai kaca (*glass curtain wall*) diproduksi dengan beragam aditif dan kombinasi lapisan film menimbulkan karakteristik berbeda dari segi kemampuan memikul beban, penampilan, kinerja termal dan visual. Merupakan peleburan material anorganik dengan keramik cair lalu didinginkan tanpa kristalisasi sehingga menghasilkan bahan transparan, keras, rapuh.

Di Indonesia, batu bata paling lama dikenal dari material lainya dan hingga saat ini paling jamak dipergunakan sebagai bahan dinding. Material ini banyak digunakan untuk bangunan satu lantai hingga bangunan bertingkat rendah untuk dinding pengisi dan untuk memperoleh permukaan yang halus dan kekuatan dinding yang lebih baik, pasangan batu bata dilapisi dengan plester dan aci di kedua sisinya. Sedangkan *stone materials* dan *metal materials* umumnya merupakan material finishing yang berfungsi untuk menambah nilai estetika suatu bangunan dan juga sebagai fitur kontrol dan melindungi bangunan dari unsur-unsur yang dapat merusak bangunan.

Cementitious materials merupakan material yang cocok untuk fasad bangunan bertingkat dengan modul tipikal sehingga banyak digunakan untuk apartemen dan hotel. Dengan menggunakan material ini, bangunan akan lebih cepat dengan kualitas yang lebih terjamin, baik dari segi kekuatan maupun kerapikan karena biasanya material ini sudah difinishing rata dan halus permukaannya.

Saat ini kaca banyak digunakan untuk material fasad. Fungsi kaca, selain untuk pencahayaan alami, juga sebagai bagian dari estetika bangunan. Material ini lazim digunakan baik bangunan satu lantai maupun bangunan bertingkat tinggi. Untuk bangunan di daerah tropis penggunaan material ini mendapatkan perhatian khusus, karena sifat kaca yang selainnya memasukkan cahaya juga memasukkan panas akibat radiasi matahari dan juga menyebabkan silau. Oleh karenanya dibutuhkan strategi khusus, misal dengan penggunaan *shading devices*, *glazing technology* dan pemilihan kaca yang dapat meminimalisir dampak negative iklim luar.

2.2 Kantor Pemerintahan

Kompleksitas susunan pemerintahan suatu daerah merupakan salah satu alasan penambahan ruangan ataupun pembangunan gedung kantor pemerintahan yang baru untuk dapat menjalankan tugas sesuai fungsinya masing-masing. Bangunan-bangunan tua yang sejak dulu difungsikan sebagai kantor pemerintahan ataupun baru dialihfungsikan sebagai kantor pemerintahan menambah populasi kantor pemerintah. Adanya bangunan kantor pemerintahan baru yang bergaya modern, dan bangunan lama yang bergaya kolonial serta eksplorasi material baru pada bangunan lama dan baru inilah yang menjadi alasan mengapa desain kantor pemerintahan di Surabaya sangat banyak dan variatif.

2.2.1 Pengertian Kantor Pemerintahan

Kantor pemerintah merupakan salah satu jenis bangunan gedung negara. Bangunan gedung negara adalah bangunan digunakan untuk keperluan dinas yang menjadi barang milik negara/daerah dan diadakan dengan sumber pembiayaan yang berasal dari dana APBN, dan atau APBD, atau perolehan lainnya yang sah.

Jadi, kantor pemerintah adalah sebuah wadah berupa bangunan tempat sekelompok atau organisasai yang bekerja dalam rangka menyelenggarakan kegiatan administrasi pemerintahan.

2.2.2 Material Fasad Kantor Pemerintah

Material elemen penyusun fasad pada bangunan kantor pemerintahan di Indonesia, di atur dalam PERMEN PU 45/PRT/M/2007 tentang Pedoman Teknis Pembangunan Bangunan Gedung Negara, dengan rincian sebagai berikut:

1. Bahan penutup lantai menggunakan bahan teraso, keramik, papan kayu, vinyl, marmer, *homogenius tile*
2. Bahan dinding pengisi: batu bata, beton ringan, bata tela, batako, papan kayu, kaca dengan rangka kayu/aluminium, panel GFRC (*Glass Fibre Reinforced Cement*) dan/atau aluminium;
3. Bahan kusen dan daun pintu/jendela mengikuti ketentuan sebagai berikut:

- a. Digunakan kayu kelas kuat/kelas awet II dengan ukuran jadi minimum 5,5 cm x 11 cm dan dicat kayu atau dipelitur sesuai persyaratan standar yang berlaku;
 - b. Rangka daun pintu untuk pintu yang dilapis kayu lapis/*teakwood* digunakan kayu kelas kuat II dengan ukuran minimum 3,5 cm x 10 cm, khusus untuk ambang bawah minimum 3,5 cm x 20 cm. Daun pintu dilapis dengan kayu lapis yang dicat atau dipelitur;
 - c. Daun pintu panil kayu digunakan kayu kelas kuat/kelas awet II, dicat kayu atau dipelitur;
 - d. Daun jendela kayu, digunakan kayu kelas kuat/kelas awet II, dengan ukuran rangka minimum 3,5 cm x 8 cm, dicat kayu atau dipelitur;
 - e. Rangka pintu/jendela yang menggunakan bahan aluminium ukuran rangkanya disesuaikan dengan fungsi ruang dan klasifikasi bangunannya;
 - f. Penggunaan kaca untuk daun pintu maupun jendela disesuaikan dengan fungsi ruang dan klasifikasi bangunannya;
 - g. Kusen baja profil E, dengan ukuran minimal 150 x 50 x 20 x 3,2 dan pintu baja BJLS 100 diisi glas woll untuk pintu kebakaran.
4. Bahan penutup atap berupa beton, genteng, *metal*, *fibrecement*, *calcium board*, sirap, seng, aluminium, maupun asbes/asbes gelombang. Untuk penutup atap dari bahan beton harus diberikan lapisan kedap air (*water proofing*).

Melihat bangunan kantor pemerintahan yang ada di Surabaya, baik bangunan baru maupun bangunan lama, maka dapat ditarik satu benang merah, bahwasanya material yang digunakan relevan dengan PERMEN PU 45/PRT/M/2007.

2.2.3 Tipologi Fasad Kantor Pemerintah

Umumnya desain fasad kantor pemerintahan di Surabaya disusun dari material-material yang padat, seperti batu, panel beton pracetak, *metal cladding*, insulasi, dan *cold-formed steel framing* atau biasa disebut *opaque facades* (Aksamija, 2013). Namun, jika menggunakan teori Hyde (2000) yang mengelompokkan bangunan berdasarkan kulit bangunannya, maka tipologi kantor pemerintahan di Surabaya terdiri dari:

1. *Thin skin*, contoh kantor DPRD Kota Surabaya, Kantor Walikota, Dinas Pendidikan Jawa Timur, dan lain-lain
2. *Thick skin*, contoh Kantor Walikota, Dinas Pendidikan Jawa Timur, Dinas Peternakan, Dinas Pendapatan, Dinas Perkebunan Jawa Timur dan lain-lain
3. *Buffering*, contoh Gedung Keuangan Negara di Jl. Indrapura, Dinas PU Cipta Karya dan Tata Ruang di Jl. Gayung Kebonsari

Sedangkan tipologi fasad *inclined skin dan valve effect* pada kantor pemerintahan di Surabaya tidak ditemukan. Dari pengamatan peneliti, beberapa bangunan kantor pemerintah di Surabaya menggunakan lebih dari satu tipologi untuk memodifikasi iklim luar. Kantor Walikota, sisi Utara-Selatan menggunakan *horizontal shading (thick skin)*, sisi Timur – Barat menggunakan rongga (*buffering*), dan inti bangunannya menggunakan material dinding satu bata (*thin skin*) finishing plaster cat putih gading. Dinas Pendidikan, dinding bangunan keseluruhan memiliki ketebalan satu bata (*thin skin*) dan fasade Timur-Barat menggunakan *vertikal shading* untuk memodifikasi iklim luar, dan masih banyak contoh bangunan lainnya. Berdasarkan alasan tersebut maka penelitian ini tidak mengelompokkan bangunan berdasarkan kulit bangunan seperti teori Hyde (2000), tetapi pengelompokkan didasarkan paramener-parameter disain fasad yang sangat berpengaruh terhadap aliran panas dan beban pendinginan.

2.3 Kondisi Panas pada Bangunan

Kondisi termal dalam bangunan ditentukan oleh kinerja termal dari bangunan dan lingkungan luar. Perpindahan panas yang terjadi diantaranya keduanya (bangunan dan lingkungan luar) merupakan usaha untuk mencapai keseimbangan termal (*heat balance*).

2.3.1 Panas

Heat (panas) dan *temperature (temperatur)* adalah istilah yang sering disamakan, namun memiliki makna yang berbeda. Panas (*heat*) adalah energi molekul yang bergetar dalam suatu zat. Sedangkan temperatur adalah ukuran rata-rata energi yang bergetar di setiap molekul dalam suatu zat (Moore,1993).

Menurut Lechner (2007), terdapat 3 bentuk panas, yaitu:

1. Panas yang dapat dirasakan/terukur (*sensible heat*)/dapat diukur dengan termometer. Pergerakan beberapa molekul secara acak merupakan sebuah bentuk energi yang disebut *sensible heat*. Sebuah benda yang memiliki gerakan molekul secara acak yang lebih besar dapat dinyatakan menjadi panas dan memiliki lebih banyak udara panas.
2. Panas terpendam (*latent heat*)-perubahan wujud atau perubahan fase sebuah materi. *Latent heat* tidak diukur dengan alat pengukur. Contohnya dalam pencairan es atau penguapan air, panas yang dapat diukur *sensible heat* berubah jadi panas yang terpendam (*latent heat*). *Latent heat* merupakan sebuah bentuk padat dan tidak menyusahkan untuk penyimpanan dan pemindahan panas.
3. Panas terpancar (*radiant heat*)-sebuah bentuk radiasi magnet listrik. *Radiant heat* merupakan bentuk ketiga dari panas, merupakan bagian spektrum elektro magnetic yang disebut inframerah. Semua bahan yang menghadap sebuah ruang udara atau ruang vakum akan mengeluarkan dan menyerap energi radiant secara terus-menerus. Bahan yang sudah panas akan menghilangkan panas dengan radiasi karena mereka mengeluarkan energi lebih banyak dibanding dengan yang diserap.

2.3.2 Sumber-Sumber Panas

Menurut Devi (2002), panas di dalam bangunan diperoleh dari berbagai sumber, yaitu:

1. Sumber internal

Sumber internal yang paling berkontribusi dalam menghasilkan panas adalah manusia penghuni ruangan, penerangan ruangan dan peralatan.

a. Penghuni Ruangan

Panas tubuh manusia diperoleh akibat metabolisme. Panas tersebut digunakan untuk mempertahankan temperatur tubuh dan ketika tubuh melakukan aktifitas maka akan terjadi pelepasan panas ke lingkungan sekitar.

b. Penerangan Ruangan

Penerang ruangan menyumbang panas terhadap ruang-ruang yang ditempati sebagai suatu hasil sampingan yang tak terlepas dari fungsinya sebagai iluminasi. Banyaknya panas yang ditimbulkan lampu merupakan suatu fungsi dari tingkat iluminasi dan efisiensi sumber cahaya.

c. Peralatan

Peralatan listrik menghasilkan panas sebagai efek samping dari pengoperasiannya. Banyaknya panas yang ditimbulkan tergantung dari seberapa sering peralatan itu digunakan.

2. Sumber eksternal

Panas yang masuk ke dalam bangunan melalui elemen bangunan. Radiasi matahari yang masuk ke dalam bangunan melalui elemen fasad (atap dan dinding) mengakibatkan panas di dalam ruang.

2.3.3 Prinsip Aliran Panas

Panas secara alami mengalir dari temperatur yang lebih tinggi menuju temperatur yang lebih rendah, namun tidak harus dari jumlah panas yang lebih banyak menuju yang lebih sedikit (Lechner, 2007). Terdapat 3 jenis transfer panas, yakni:

1. Konduksi

Konduksi adalah perpindahan energi di antara dua objek yang memiliki kontrak fisik. Konduksi hanya dapat terjadi pada dinding, atap dan jendela dimana radiasi matahari akan memeanaskan satu sisi dari bahan. Dengan demikian penggunaan barang yang lebih insulatif untuk mengurangi beban pendinginan sangat direkomendasikan. Secara umum, semakin tebal dan padat suatu bahan, semakin insulatif bahan tersebut.

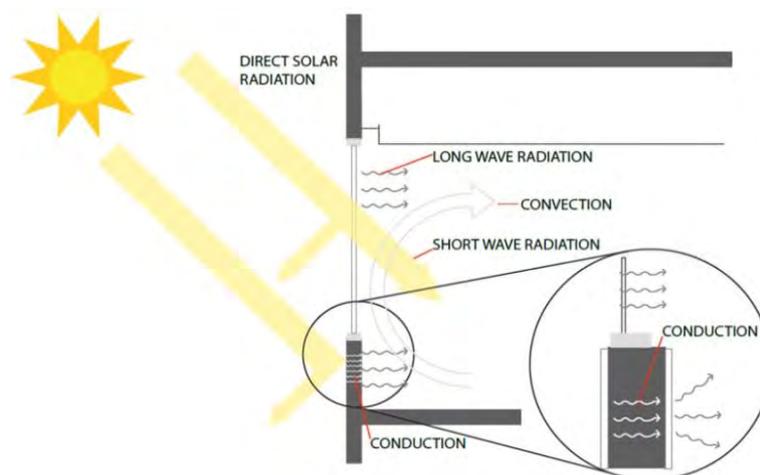
2. Konveksi

Konveksi adalah perpindahan energi diantara objek dan lingkungannya, disebabkan adanya gerakan zat cair atau gas. Perpindahan panas dengan selubung bangunan pada umumnya tidak meliputi konveksi, namun konveksi

dapat terjadi apabila kedap udara dalam selubung bangunan tidak baik, sehingga menciptakan infiltrasi udara dari ruang luar.

3. Radiasi

Radiasi adalah perpindahan energi dari atau menuju suatu objek melalui emisi atau penyerapan radiasi elektromagnetik. Kaca biasa dengan ketebalan tunggal sekitar 6% dari panas matahari dan sisanya direfleksikan atau ditransmisikan. Jumlah yang direfleksikan atau ditransmisikan bergantung pada sudut kajian, yaitu sudut antara jendela dan sinar matahari. Pada sudut kejadian yang rendah, sekitar 86% dari panas matahari ditransmisikan. Semakin tinggi sudut, semakin sedikit panas yang ditransmisikan. Contohnya, saat sudut kejadian 80°, hanya 42% dari panas matahari yang ditransmisikan.



Gambar 2.1 Transfer Panas Melalui Fasad Bangunan Gedung
(Dirjen EBTKE, 2012)

2.3.4 *Thermal Properties Material*

Thermal properties material merupakan satuan nilai yang dapat didapat berdasarkan penelitian perilaku/sifat material terhadap eleme-elemen iklim. Menurut Szokolay (1987) *thermal properties* material pada bangunan meliputi:

1. *U-Value*

Merupakan nilai total dari daya tahan material terhadap transmisi panas melalui udara. Nilai tersebut dihasilkan berdasarkan perilaku termal pada

permukaan dan rongga material ketika mengalami konduksi, konveksi, dan radiasi. Satuan u-value adalah W/m^2K .

2. *Admittance*

Merupakan kemampuan material dalam hal menyerap dan melepaskan energi panas. Nilai dari *admittance* ditetapkan berdasarkan kemampuan material dalam merespon perubahan temperatur secara dinamis. Satuan dari *admittance* adalah W/m^2K .

3. *Solar Absorbtion (Abs)*

Merupakan kemampuan permukaan material menyerap radiasi matahari secara langsung (tidak memantulkan atau meneruskan). *Solar Absorbtion* berpengaruh terhadap perhitungan *indirect solar gain* dan *sol air-temperature*. *Solar Absorbtion* bergantung pada warna, dan tidak dipengaruhi oleh jenis bahan. Bahan yang berwarna lebih gelap memiliki daya penyerapan lebih tinggi dan akan menyerap lebih banyak energi matahari. Untuk mengurangi penggunaan energi, pertimbangkanlah penggunaan bahan dengan warna yang lebih terang.

4. *Thermal Lag (T-Lag)*

Lama waktu yang dibutuhkan oleh material untuk menghantarkan energi panas dari satu sisi ke sisi lain.

Tabel 2.1 Contoh *Thermal Properties* Material Dinding

<i>Thermal Properties</i>	<i>Brick, 105, unplasterd</i>	<i>Brick 270 cavity, unplastered</i>	<i>Conblock hollow 100 + 13 plastering</i>
<i>U-value</i>	3.28	1.53	2.76
<i>Admittance</i>	4.26	4.25	3.37
<i>Time lag</i>	2.50	6.90	1.80
<i>Decriment Factor</i>	0.87	0.52	0.93
<i>Abs</i>	0.50	0.50	0.40

Sumber: Szokolay, 2003

5. *Decrement Factor (Dec)*

Merupakan representasi dari resiko puncak dari perubahan/fluktuasi temperatur yang terjadi pada salah satu sisi material berbanding dengan sisi yang lain. Nilai rasio yang ditetapkan adalah 0 – 1. Untuk kaca/ dinding

transparan *thermal decrement* merupakan kemampuan material kaca dalam menyerap efek dari cahaya, radiasi matahari dan pembayangan.

6. *Transparency*

Merupakan sifat tembus cahaya pada material

2.4 Kinerja Energi Pendinginan

Energi pendinginan merupakan energi yang digunakan untuk sistem tata udara dalam sebuah bangunan guna mencapai kenyamanan termal pengguna bangunan. Besarnya energi pendinginan tergantung pada beban pendinginan pada bangunan. Beban pendinginan adalah jumlah panas yang harus dibuang oleh AC dari dalam ke luar ruangan agar temperatur udara di dalam ruangan tidak naik dan tetap pada batas kenyamanan termal.

Menurut Satwiko (2004) faktor yang mempengaruhi besarnya beban pendinginan terdapat dalam persamaan 2.1. Cara untuk memperkecil beban pendinginan antara lain dengan menggunakan peralatan elektronik sehemat mungkin dan memperkecil rambatan panas ke dalam bangunan baik itu panas secara konduksi, radiasi dan konveksi.

$$Q_m = Q_i + Q_s + Q_c + Q_v \quad (2.1)$$

2.4.1 Perhitungan OTTV

OTTV merupakan standar yang berlaku tentang konservasi energi melalui selubung bangunan. OTTV ini diatur dalam Standar Nasional Indonesia 03-6389-2011. Standar ini memuat kriteria perancangan, prosedur perancangan, konservasi energi dan rekomendasi dari selubung bangunan pada bangunan gedung yang optimal, sehingga penggunaan energi dapat efisien tanpa mengorbankan kenyamanan dan produktivitas kerja penghuni.

Desain selubung bangunan tersebut harus memenuhi persyaratan-persyaratan sebagai berikut:

1. Berlaku hanya untuk komponen dinding dan atap pada bangunan gedung yang dikondisikan (mempunyai sistem tata udara)

- Perpindahan termal menyeluruh untuk dinding dan atap tidak boleh melebihi nilai perpindahan termal menyeluruh yaitu tidak melebihi 35 W/m^2 ($\text{OTTV} \leq 35 \text{ W/m}^2$)

Berikut adalah rumus yang dapat digunakan untuk menghitung OTTV pada elemen fasad berdasarkan SNI 03-6389-2011:

- Dinding

Untuk memenuhi standar desain OTTV, dinding harus didesain berdasarkan pertimbangan-pertimbangan berikut: Nilai absorptansi termal dari dinding eksternal, Transmittansi termal dari dinding tidak tembus cahaya, Rasio jendela ke dinding (luas jendela/luas bruto dinding eksterior), Perbedaan temperatur ekuivalen (sepadan) untuk dinding, faktor matahari (*solar factor*).

Nilai perpindah termal menyeluruh atau OTTV_i untuk setiap dinding luar bangunan gedung dengan orientasi tertentu, harus dihitung melalui persamaan:

$$\text{OTTV}_i = \alpha [(U_w \times (1 - \text{WWR}) \times \text{TD}_{\text{ek}})] + (U_f \times \text{WWR} \times \Delta T) + (\text{SC} \times \text{WWR} \times \text{SF}), \quad (2.2)$$

Untuk menghitung OTTV_i seluruh dinding luar, digunakan persamaan sebagai berikut:

$$\text{OTTV}_i = \frac{(A_{01} \times \text{OTTV}_1) + (A_{02} \times \text{OTTV}_2) + \dots + (A_{0i} \times \text{OTTV}_i)}{A_{01} + A_{02} + \dots + A_{0i}}, \quad (2.3)$$

- Atap

Nilai perpindahan termal (OTTV) dari penutup atap biasa disingkat RTTV. Sehingga RTTV bangunan gedung dengan orientasi tertentu, harus dihitung dengan persamaan:

$$\text{RTTV} = \frac{\alpha(A_r \times U_r \times \text{TD}_{\text{ek}}) + (A_s \times U_s \times \Delta T) + (A_s \times \text{SC} \times \text{SF})}{A_0}, \quad (2.4)$$

- Peneduh

Penggunaan alat-alat peneduh memperbaiki nilai SC atau dengan kata lain memperkecil koefisien peneduh, yang selanjutnya akan menurunkan nilai OTTV.

Untuk memenuhi standar desain OTTV, peneduh jendela harus dedesain berdasarkan pertimbangan-pertimbangan berikut:

Table 2.2 Pertimbangan untuk Memenuhi Desain Peneduh

Dasar Pertimbangan	Simbol	Dimensi
Koefisien peneduk kanopi (radiasi)	$SC_{\text{effective}}$	-
Total koefisien peneduh dari sistem fenetrasi	$SC_{\text{total}} = SC_{\text{glass}} \times SC_{\text{effective}}$	

Sumber: Dirjen EKBTE, 2012

2.4.2 Intensitas Konsumsi Eenergi

Indikator utama pengheman energi di sebuah gedung umumnya menggunakan Intensitas Konsumsi Energi (IKE). IKE adalah pembagian antara konsumsi energi listrik pada kurun waktu tertentu dengan satuan luas bangunan gedung setiap bulan. Angka IKE (kWh/m²/bln) diperoleh dengan membagi jumlah kWh penggunaan listrik selama sebulan dengan luas bangunan yang digunakan. Untuk perhitungan IKE yang direkomendasikan Permen ESDM No.13 Tahun 2012 dapat dilihat pada Tabel 2.2

Tabel 2.3 Standar IKE untuk Gedung Kantor Pemerintah

Kriteria	Gedung Kantor Ber-AC	Gedung Kantor Tanpa AC
	(kWh/m ² /bln)	(kWh/m ² /bln)
Sangat efisien	< 8.5	< 3.4
Efisien	8.5 – 14	3.4 – 5.6
Cukup efisien	14 – 18.5	5.6 – 7.4
Boros	> 18.5	> 7.4

Sumber : Permen ESDM No.13, 2012

Standar IKE yang digunakan sebagai rujukan tingkat penggunaan energi gedung dapat berbeda-beda, dipengaruhi oleh pendekatan analisa dan sampel gedung yang diambil dalam proses perumusan standar tersebut. Nilai IKE juga bersifat dinamis dan sewaktu-waktu dapat berubah (berdasarkan hasil penelitian terbaru) mengikuti perkembangan teknologi peralatan hemat energi dan mengikuti tingkat kesadaran hemat energi pegawai (pengguna gedung). Berikut adalah contoh Intensitas Konsumsi Energi (rata-rata) untuk Gedung Kantor dari berbagai sumber:

Tabel 2.4 Berbagai Standar IKE untuk Gedung Perkantoran

Kriteria	Gedung Kantor Ber-AC (kWh/m ² /thn)	Tahun Pengeluaran Standar
ASEAN-USAID	240	1987
ESDM & JICA Electric Power Development Co., LTD	198,2	2008
GBCI (Konsul Bangunan Hijau Indonesia)	250	2010
Peraturan Gubernur DKI Jakarta No. 38 tahun 2012 tentang Bangunan Gedung Hijau	210 - 285	2012

Sumber: Berchman, dkk (2014)

2.4.3 Prinsip Desain Bangunan untuk Menghemat Energi Pendinginan

Menurut Satwiko (2009) terdapat beberapa pertimbangan desain bangunan untuk menghemat energi pendinginan, yaitu:

1. Mengorientasikan bangunan ke utara-selatan guna meminimalkan penyerapan radiasi panas matahari; orientasi bangunan ke arah timur-barat (bangunan membujur utara-selatan) akan menyebabkan bidang permukaan bangunan yang terkena radiasi matahari langsung menjadi lebih luas. Panas yang diserap permukaan tadi akan merambat ke dalam dan menjadi beban pendinginan
2. Menata denah bangunan untuk melokalisasi panas dan kelembaban. Kelompokkan ruang yang menjadi sumber panas, bauran kelembaban, terutama dapur dan kamar mandi. Berilah *exhaust fan* atau cerobong asap di atas tungku sehingga asap dan udara panas dapat langsung dibuang keluar.
3. Memakai bahan bangunan yang dapat menahan panas matahari ke dalam ruangan sebanyak-banyaknya. Misal bahan bangunan yang bernilai transmitansi rendah (bersifat isolator) dan bernilai refleksi tinggi (warna cerah)
4. Mencegah aliran udara yang tak terkendali antara dalam dan luar ruangan; menggunakan kaca nako misalnya akan memberikan celah bagi udara yang hangat masuk ke dalam ruangan sementara udara dalam (yang sudah disejukkan) mengalir keluar. Akibat kebocoran ini AC terpaksa menyejukkan udara hangat dari luar terus-menerus. Lubang ventilasi dan daun pintu yang tidak menutup sempurna juga menjadi sumber kebocoran udara.

5. Menghindari hambatan penyebaran udara sejuk. Pada ruangan kantor yang luas biasanya dibuat dinding sekat setengah tinggi. Jika AC tipe split diletakkan di satu sisi ruang, ada kemungkinan udara sejuk yang keluar dari AC akan mengumpul di ruang di dekat saja. Oleh karena itu, dinding sekat harus diberi lubang (kisi-kisi, louver) dibagian bawah agar udara dapat mengalir leluasa ke ruang-ruang diantara sekat.

2.5 Kondisi Iklim Tropis

Menurut Szokolay (1987) dan Moore (1993) daerah iklim tropis memiliki karakteristik sebagai berikut:

- a. Langit berawan sepanjang tahun dengan cloud cover 40%-80% yang dapat menyebabkan glare/silau
- b. Matahari bersinar sepanjang tahun yang mengakibatkan radiasi tinggi
- c. Kelembaban sangat tinggi (40%-90%)
- d. Perbedaan temperatur yang relatif sama siang dan malam, dan temperatur rata-rata hangat ($23^{\circ}\text{C} - 34^{\circ}\text{C}$)
- e. Kecepatan angin rendah 1,1m/s – 4,3m/s.
- f. Curah hujan tinggi (1200mm/tahun)

Terdapat 5 elemen iklim yang sangat mempengaruhi kinerja suatu bangunan, yaitu:

- a. Radiasi matahari, yaitu perpindahan panas (energi yang berasal dari getaran molekul dalam suatu unsur) melalui gelombang elektromagnetik matahari (Olgyay, 1992). Dalam perjalanannya (heat transfer), radiasi ada yang bersifat dipantulkan, diserap, maupun diteruskan. Hal ini tergantung dari tekstur (kasar/halus) permukaan yang dilaluinya.
- b. Temperatur, yaitu ukuran rata-rata getaran energi pada setiap molekul dari suatu unsur atau ukuran dari konsentrasi panas di dalam suatu unsur. Tingkat penerimaan panas pada bangunan dipengaruhi oleh sudut datang sinar matahari, durasi penyinaran matahari, keadaan muka bumi, dan banyak sedikitnya awan
- c. Angin, yaitu gerak udara sejajar dengan permukaan bumi. Udara bergerak dari daerah bertekanan tinggi ke daerah bertekanan rendah. Udara bergerak dapat

mempercepat laju konveksi, tetapi juga mengubah koefisien heat transfer pada selubung bangunan. Selain itu juga, udara bergerak dapat mempercepat laju pelepasan panas dari permukaan kulit oleh penguapan. Semakin besar kecepatan udara, semakin besar panas yang hilang (Lippsmeier, 1997).

- d. Curah hujan, yaitu frekuensi dan banyaknya hujan yang terjadi disuatu daerah. Curah hujan disetiap daerah berbeda. Hal ini dipengaruhi oleh topografi, lereng medan, arah angin yang sejajar dengan garis pantai, dan jarak perjalanan angin di atas medan datar. Curah hujan di Indonesia tergolong banyak dengan rata-rata 2000 – 3000 mm/tahun.
- e. Kelembaban, yaitu jumlah kandungan uap air dalam satuan volume udara pada saat dan temperature tertentu. Kelembaban dibagi menjadi dua yaitu kelembaban mutlak dan kelembaban nisbi. Kelembaban mutlak adalah kelembaban yang menunjukkan berapa gram berat uap air yang terkandung dalam 1 m³ udara, sedangkan kelembaban nisbi adalah bilangan yang menunjukkan berapa persen perbandingan antara jumlah uap air yang terkandung dalam udara, dan jumlah uap air maksimum yang dapat ditampung oleh udara tersebut.

Kesemua elemen iklim tersebut memiliki pengaruh positif dan negatif (Tabel 2.5). Dengan pengetahuan ini, perancang tidaklah sulit untuk menciptakan suatu lingkungan terbangun yang idel bagi manusia.

Tabel 2.5 Pengaruh Elemen Iklim terhadap Lingkungan Terbangun

No.	Elemen Iklim	Pengaruh	
		Positif	Negatif
1.	Radiasi matahari	<ul style="list-style-type: none"> • Day-lighting • Energi surya 	<ul style="list-style-type: none"> • Beban panas internal
2.	Temperatur	<ul style="list-style-type: none"> • Kebutuhan pemanasan dan pendinginan • Pembalikan kondisi iklim • Tingkat pencampuran temperatur 	<ul style="list-style-type: none"> • Beban panas pada struktur bangunan • Berpotensi menyebabkan polusi udara
3.	Angin	<ul style="list-style-type: none"> • Desain ventilasi pada bangunan • Pengurangan beban panas pada bangunan 	<ul style="list-style-type: none"> • Beban angin pada bangunan • Penyebaran polusi udara • Pembawa debu • Penyebab tampias air hujan
4.	Curah hujan	<ul style="list-style-type: none"> • Desain drainase pada bangunan 	<ul style="list-style-type: none"> • Penyebab banjir • Kelembaban

No.	Elemen Iklim	Pengaruh	
		Positif	Negatif
		<ul style="list-style-type: none"> • <i>Urban hydrology</i> 	<ul style="list-style-type: none"> • Beban akibat air pada bangunan
5.	Kelembaban	<ul style="list-style-type: none"> • Membantu kenyamanan 	<ul style="list-style-type: none"> • Penyebab kabut • Pengubah polusi • Penyebab karat • Dapat menaikkan temperatur

Sumber: Asri (2006)

2.5.1 Pengaruh Temperatur terhadap Beban Pendinginan

Di daerah beriklim tropis, temperatur siang dan malam hari cenderung tinggi dan perbedaannya pun tidak terlalu jauh. Temperatur sangat berpengaruh terhadap aliran panas secara konduksi pada fasad bangunan. Adanya perbedaan temperatur ruang dalam dan ruang luar akan mengakibatkan adanya aliran panas untuk mencapai kesetimbangan termal. Temperatur udara luar yang tinggi yakni sekitar 45°C (Karyono, 1999) dan temperatur udara ruang dalam lebih rendah mengakibatkan terjadinya panas dari luar masuk ke dalam ruang dan berdampak pada meningkatnya beban pendinginan bangunan.

Menurut Skololay (2004) besarnya aliran panas pada dinding *opaque* (tidak tembus cahaya) dipengaruhi oleh luas permukaan, *u-value*, *decrement factor*, dan temperatur rata-rata ruang luar. Dinding tidak tembus cahaya (*opaque*) memiliki *time-lag* sehingga temperatur yang dilihat adalah temperatur beberapa jam sebelum jam perhitungan (Persamaan 2.5). Sedangkan dinding transparan (kaca) tidak memiliki *time-lag* sehingga temperatur akan langsung mempengaruhi panas yang masuk pada saat itu juga. Kaca juga tidak memiliki *degrement factor* sehingga panas yang masuk dihitung dengan persamaan 2.6 (Szokolay, 2004).

$$Q_{co} = A \times U \times \mu \times (T_{o,(t-\Phi)} - T_i), \quad (2.5)$$

$$Q_{cg} = A \times U \times (T_{o,t} - T_i), \quad (2.6)$$

2.5.2 Pengaruh Radiasi Matahari terhadap Beban Pendinginan

Indonesia yang berada pada daerah khatulistiwa, yaitu pada lintang 60°LS-110°LS dan 95°BT- 141°BT, dan dengan memperhatikan peredaran matahari

dalam setahun yang berada pada daerah 23.5° LU dan 23.5° LS maka wilayah Indonesia akan selalu disinari matahari selama 10 - 12 jam dalam sehari. Karena letak Indonesia berada pada daerah khatulistiwa maka Indonesia memiliki tingkat radiasi matahari yang cukup tinggi. Menurut data buku putih energi Indonesia (2006) bahwa diperkirakan rata-rata intensitas radiasi matahari yang jatuh pada wilayah permukaan Indonesia sekitar 4,8 kWh/m² setiap harinya.

Radiasi matahari sangat berkontribusi terhadap perolehan panas dalam bangunan. Oleh karenanya, fasad sebagai kulit terluar sebuah bangunan harus dirancang dengan baik, yakni dengan meminimalisir dampak negatif dari radiasi matahari. Menurut Lippsmeier (1997) terdapat aturan-aturan dasar untuk orientasi bangunan dan perlindungan terhadap radiasi matahari, yaitu:

- a. Sebaiknya fasad terbuka menghadap ke selatan dan utara, agar meniadakan radiasi langsung dari cahaya matahari reda dan konsentrasi tertentu yang menimbulkan penambahan panas.
- b. Untuk daerah tropis basah diperlukan pelindung untuk semua lobang bangunan terhadap cahaya langsung dan tidak langsung, bahkan bila perlu untuk seluruh bidang bangunan, karena bila langit tertutup awan, seluruh bidang langit merupakan sumber cahaya.

Radiasi matahari yang mengenai material memiliki sifat yang berbeda-beda tergantung permukaan yang dilaluinya. Dalam perjalanannya (*heat transfer*), radiasi ada yang bersifat dipantulkan, diserap, maupun diteruskan. Menurut Szokolay (2004) untuk menghitung jumlah panas yang masuk dalam selubung bangunan yang diakibatkan oleh radiasi pada material dinding tidak tembus cahaya disuatu sisi bangunan dapat menggunakan persamaan 2.7. Sedangkan untuk menghitung jumlah panas untuk dinding transparan dapat menggunakan persamaan 2.8.

$$Q_{so} = A \times U \times \alpha \times R_{so} \times G \quad (2.7)$$

$$Q_{sg} = A \times \theta \times G \quad (2.8)$$

Selain diserap dan diteruskan, sifat radiasi matahari yang lain adalah dipantulkan. Pengukuran reflektifitas permukaan oleh radiasi matahari disebut

dengan albedo. Angkanya bervariasi dari nol hingga satu, dimana permukaan yang memiliki albedo nol akan menyerap seluruh radiasi matahari dan yang memiliki albedo satu akan memantulkan seluruh radiasi matahari. Lihat Tabel 2.4 untuk nilai albedo jenis permukaan bangunan.

Tabel 2.6 Nilai Albedo dari Permukaan Bangunan.

No.	Permukaan Bangunan	Albedo
1	Cat putih	0.5 – 0.9
2	Atap yang sangat memantul	0.6 – 0.7
3	Cat berwarna	0.1 – 0.4
4	Bata dan batu	0.1 – 0.4
5	Beton	0.1 – 0.4
6	Genteng atap merah/coklat	0.1 – 0.4
7	Rumput	0.2 – 0.3
8	Pohon	0.1 – 0.2
9	Atap bergelombang	0.1 – 0.2
10	Atap aspal dan kerikil	0.05 – 0.2
11	Pelapis jalan aspal	0.05 – 0.2

Sumber: Lechner, 1997

Oleh karena radiasi matahari di daerah tropis lembab sangat tinggi, dan berdampak pada naiknya temperatur udara dalam ruang dan juga dapat meningkatkan beban pendinginan pada bangunan berpendinginan udara (AC), maka guna efisiensi energi, maka material fasad haruslah memiliki kemampuan reduksi panas yang baik dan juga nilai albedo yang tinggi.

2.6 Fasad Bangunan dan Energi Pendinginan

Pada daerah yang beriklim tropis lembab, rentang temperatur udara pada siang dan malam hari tidak terlalu jauh. Pada daerah ini, panas menjadi musuh pada bangunan sehingga dibutuhkan usaha untuk meminimalisir panas masuk dalam bangunan guna menghemat energi pendinginan

2.6.1 Pengaruh Geometri Bangunan terhadap Beban Pendinginan

Elemen pembentuk geometri sebuah bangunan adalah lebar, panjang, tinggi dan volume bangunan (Kyu dan Malkawawi, 2009). Menurut Lechner (2007) bangunan yang memanjang dari timur ke barat adalah geometri yang cocok

untuk bangunan di daerah tropis, dengan rasio lebar dan panjang 1:1,7 (Olgay 1972).

Perbandingan panjang terhadap lebar bangunan atau W/L ratio lebih banyak dan mudah digunakan. Rasio ini mempengaruhi tingkat insulasi yang diterima permukaan bangunan. Rasio ini juga berpengaruh pada aliran angin di sekitar yang akan mempengaruhi ventilasi bangunan.

Yeang (1994) menjelaskan pengaruh iklim pada bentuk bangunan bertingkat. Bentuk bangunan yang beragam memiliki sudut jatuh matahari yang beragam pula untuk masing-masing iklim. Untuk daerah iklim dingin, disarankan menggunakan bentuk silinder dengan W/L ratio 1:1. Untuk daerah iklim sedang, tropis kering dan tropis lembab, rasio yang digunakan berturut-turut 1:1.6, 1:2 dan 1:3.. Rasio ini menunjukkan bahwa meminimalkan panjang sisi dengan orientasi barat dan timur sangat penting terutama untuk daerah dengan garis lintang rendah.

2.6.2 Pengaruh WWR terhadap Beban Pendinginan

Proporsi luas jendela memiliki pengaruh sangat besar terhadap beban pendinginan karena menentukan total perolehan panas yang masuk kedalam bangunan. Hal ini dikarenakan dinding transparan (jendela kaca) dapat memasukkan panas kedalam bangunan jauh lebih tinggi dibandingkan dengan dinding *opaque*. Oleh karena itu rasio luas jendela terhadap dinding (WWR) yang lebih tinggi biasanya menyebabkan beban pendinginan lebih tinggi. Mengurangi luas jendela adalah salah satu solusi paling efektif untuk mengurangi beban pendinginan dan konsumsi energi bangunan secara keseluruhan. Karena konstruksi jendela biasanya lebih mahal daripada konstruksi dinding, mengurangi WWR juga dapat menurunkan biaya konstruksi. Hasil studi simulasi pada tipikal bangunan di Jakarta menunjukkan bahwa mengurangi luas jendela hingga setengah dapat menurunkan konsumsi energi hingga 10%.

Tabel 2.7 Dampak WWR pada Penghematan Energi

WWR	Kantor	Retail	Hotel	Rumah Sakit	Apartemen	Sekolah
69%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%		
53%	3.7%	2.0%	4.6%	3.9%		
40%	8.0%	3.9%	8.7%	7.5%	0.0%	-1.8%

WWR	Kantor	Retail	Hotel	Rumah Sakit	Apartemen	Sekolah
34%	9.5%	4.9%	10.6%	9.1%	2.3%	0.0%
20%	13.2%	7.1%	14.5%	12.6%	6.8%	5.4%

International Finance Corporation (IFC), 2011

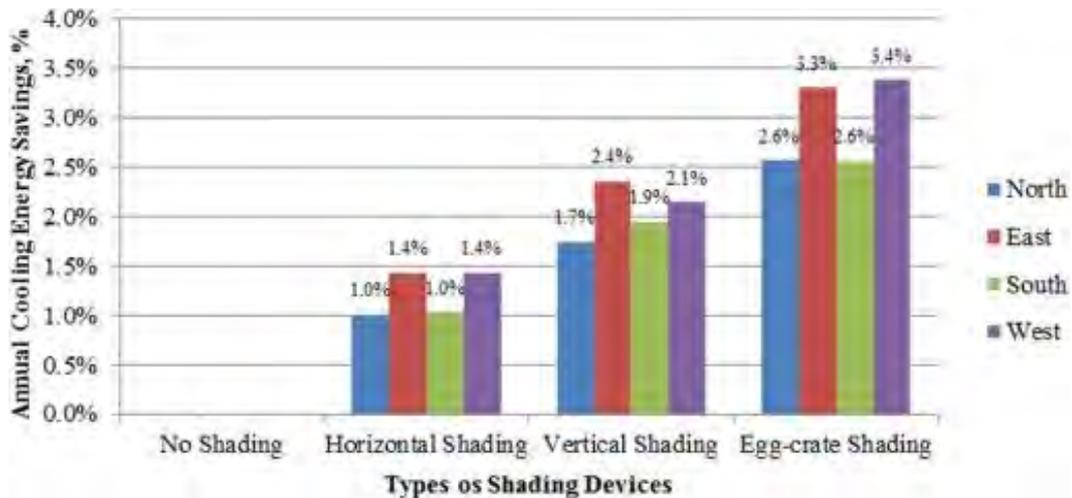
Soebarto (2002) juga mendapatkan bahwa bangunan dengan WWR 30%, pengaruh pembayangan akan menurunkan 20% penggunaan energi, sementara pemakaian kaca ganda bisa menurunkan hingga 5%. Soegijanto (2002), mendapatkan pembayangan dengan WWR 20% tidak berpengaruh, dan bahkan jika jenis kaca yang digunakan mempunyai SC hanya 0.38, adanya pembayangan justru akan menaikkan konsumsi energi 2 – 2.5 %. Sementara dengan kaca biasa pada WWR 40% - 60% pembayangan akan mengurangi 8% - 10% energi bangunan. Menurut Devi (2002), komposisi optimum rasio dinding masif dan kaca adalah 67.24% dinding masif dan 32,76% bidang kaca yang berarti pada komposisi itu besar beban pendinginan aktual sama dengan beban pendinginan maksimum desain. Dengan demikian alternatif desain yang masih memungkinkan diambil adalah menambah area dinding masif dari 67.24% hingga 100% atau mengurangi bidang kaca dari 32,76% hingga 0%.

2.6.3 Pengaruh *Shading Devices* terhadap Beban Pendinginan

Alat peneduh (*shading devices*) merupakan strategi kunci untuk mereduksi radiasi matahari yang tinggi guna mencapai kenyamanan termal saat musim panas yang berimbas pada penggunaan energi pendinginan dalam bangunan. Peneduh sebagai penolak panas merupakan lapisan pertama dari rancangan untuk mendinginkan bangunan. Penggunaan alat-alat peneduh dapat memperkecil koefisien peneduh (SC) yang selanjutnya akan menurunkan nilai OTTV.

Terdapat 3 jenis *shading devices* (Szokolay, 2008) yaitu *vertikal devices*, *horizontal device* dan *egg-crate devices* yang merupakan perpaduan antara yaitu *vertikal devices* dan *horizontal device*. Al-Tamimi (2011), Lau, dkk (2016) merupakan beberapa peneliti yang menguji efektifitas *shading devices* tersebut yang dibandingkan dengan bangunan yang tidak menggunakan *shading devices*. Berdasarkan penelitiannya pada bangunan kantor bertingkat tinggi di Malaysia diperoleh hasil bahwa bangunan yang memiliki *shading devices* memiliki kinerja

energi pendinginan yang lebih baik jika dibandingkan bangunan yang tidak menggunakan *shading devices* dan egg-rate shading memiliki kinerja energi pendinginan terbaik. Lau, dkk (2016) menyatakan *egg-crate shading* mampu menghemat energi pendinginan hingga 3,4%, *vertikal shading* 2,4%, dan *horizontal shading* 1,4%.



Gambar 2.2 Pengaruh Shading Devices terhadap Kinerja Energi Pendinginan
(.Lau dkk, 2016)

2.6.4 Pengaruh Material terhadap Beban Pendinginan

Di daerah tropis lembab, elemen dinding merupakan salah satu elemen bangunan yang memungkinkan panas dari luar dapat masuk ke dalam ruang. Karenanya sebagai selubung bangunan, dinding harus mempunyai sistem penahan panas yang baik yaitu pemilihan sistem konstruksi dengan pemilihan material yang tepat (Lechner, 2001). Penggunaan material bangunan pada elemen-elemen utama bangunan yaitu selubung bangunan (dinding, atap) harus diperhatikan. Menurut Satosa (1999) pematahan laju panas di daerah tropis dapat dilakukan dengan prinsip konstruksi yang mempunyai *heat resistance* (R) maksimal, *heat transmittance* (U-value) minimal dan *conductivity value* minimal pula.

Menurut Evans (1980), untuk daerah tropis lembab karakteristik termal material dinding dan atap harus diperhatikan. Sementara untuk pemilihan sudut kemiringan atap sangat ditentukan oleh sistem konstruksi atap, sedangkan

pemilihan material penutup atap untuk di daerah tropis adalah sama yaitu memiliki nilai *thermal resistance* (R) besar dan *conductivity* (C) kecil.

Fungsi dinding di daerah tropis lembab adalah menahan panas pada siang hari dan mampu membantu mendinginkan pada malam hari. Selain itu pada dinding juga akan diletakkan jendela/lubang bukaan sehingga harus diperhatikan dengan prosentase antara bidang dinding dengan bidang jendela. Penggunaan material pada fasad bangunan harus diperhatikan. Untuk bangunan yang menggunakan sistem pengkondisian udara (AC), dinding tidak hanya perlu mengurangi panas dari luar bangunan, tetapi juga menjaga agar kelembaban dan temperatur di dalam bangunan agar penggunaan AC menjadi lebih efisien.

Menurut Santosa (1994), pemilihan bentuk atap sepenuhnya merupakan upaya kreativitas arsitektur, karena khusus untuk daerah tropis lembab tidak terbukti adanya korelasi antar bentuk dan kemampuan penahanan panas. Untuk daerah yang memiliki garis lintang rendah seperti Surabaya (7° LS) elemen bangunan ini, yang sangat berpengaruh terhadap pengurangan beban energi karena pada daerah tersebut elevasi sinar matahari sangat tinggi. Untuk bangunan satu lantai ataupun bertingkat rendah, atap merupakan elemen bangunan yang permukannya menerima panas terbesar dibandingkan elemen lain. Sehingga komposisi antara atap dan elemen yang lain dibuat seimbang dalam upaya mengoptimalkan potensi atap untuk mengurangi beban panas di siang hari dan mampu melepaskannya di malam hari.

Penelitian mengenai “Atap di daerah tropis-basah” yang dilakukan oleh Koenigsbenger dan Lynn (Lippsmeier, 1994) sampai pada kesimpulan bahwa atap pelat beton setebal 10cm, dengan lapisan semen-pasir setebal 8cm serta langit-langit dari papan keras (*hard board*), belum menghasilkan perlindungan panas yang memadai. Namun atap ini dianjurkan untuk bangunan kantor dan sekolah yang pada sore dan malam tidak digunakan.

2.7 Dasar Teori

Menurut EECHI (*Energy Efficiency and Conservation Clearing House Indonesia*), pada umumnya gedung di negara tropis seperti Indonesia paling banyak menggunakan energi untuk sistem tata udara, yakni sekitar 45% - 70%,

dimana 20-50% konsumsi energi pendinginan di sebabkan oleh selubung bangunan (Ministry of Construction of the People's Republic of China, 2013). Selubung bangunan yang terpapar radiasi matahari memberikan kontribusi 27.5% sumber panas eksternal. Itu artinya akan ada penghematan yang cukup signifikan jika fasad/selubung bangunan dirancang dengan baik, yakni meminimalisir rambatan panas dari luar ke dalam bangunan. Menurut Pemprov DKI Jakarta (2012), kantor pemerintahan menggunakan sekitar 47% dari total energi bangunan. Standar IKE listrik yang digunakan pada penelitian ini adalah 250 kWh/m²/thn (GBCI, 2010). Jadi jika diasumsikan menggunakan 47% dari IKE listrik (250 kWh/m²/thn), maka standar konsumsi energi pendinginan maksimal 117,5 kWh/m²/thn.

Beberapa penelitian sejenis mengenai konservasi energi pada selubung bangunan sudah dilakukan oleh peneliti-peneliti sebelumnya dan hasilnya menunjukkan bahwa elemen dan material fasad berpengaruh pada beban pendingin bangunan. Menurut Soebarto (2002) dan Soegijanto (2002), komposisi material yang digunakan, WWR dan luas bidang pada orientasi tertentu akan banyak mempengaruhi terhadap konsumsi energi di dalam bangunan. Menurut Muhaisn (2015) geometri bangunan akan mempengaruhi perolehan panas yang berdampak pada konsumsi energi pendinginan. Hasil penelitiannya sejalan dengan teori Olgay (1972) yang menyatakan rasio lebar terhadap panjang (W/L) 0,6 memiliki kinerja termal terbaik. Hal ini akan menjadi dasar untuk menguji geometri dengan komposisi material dan shading devices seperti apa yang efisien dalam penggunaan energi pendinginan.

2.8 Keaslian Penelitian

Untuk menghindari duplikasi penelitian dan menambah wawasan penelitian mengenai topik penelitian yang akan dilakukan, maka terlebih dahulu dilakukan tinjauan terhadap penelitian-penelitian sebelumnya yang berkaitan dengan fasad bangunan, penerimaan panas eksternal, dan beban pendinginan. Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya, tujuan penelitian ini adalah untuk mengevaluasi kinerja energi pendinginan fasad kantor pemerintahan di Surabaya terhadap standar konservasi energi (nilai OTTV), mengevaluasi dan menganalisa

pengaruh fasad (geometri, material, WWR, dan *shading devices*) terhadap energi pendinginan, dan untuk menemukan desain fasad (kombinasi geometri, material, WWR, dan *shading devices*) yang memiliki kinerja energi pendinginan paling efisien (IKE listrik).

Dari beberapa penelitian yang telah dilakukan sebelumnya (dibahas lebih lanjut di metode penelitian), penelitian pengaruh fasad terhadap kinerja energi pendinginan pada kantor pemerintahan di Surabaya belum pernah dilakukan. Kantor pemerintah sebagai objek penelitian hampir tidak ditemukan, dan penelitian yang mengkombinasikan beberapa variabel penelitian seperti geometri, material, WWR, dan *shading devices* untuk menemukan desain fasade yang memiliki kinerja energi pendinginan paling efisien tidak pernah dilakukan. Penelitian sebelumnya yang membandingkan hasil perhitungan OTTV dengan IKE listrik juga belum ditemukan. Dengan demikian, hal tersebut menjadi salah satu celah yang akan diisi melalui penelitian ini dan bisa dikatakan penelitian ini merupakan penelitian lanjutan.

Indonesia memiliki iklim tropis lembab dengan salah satu ciri utamanya adalah temperatur udara yang tinggi baik siang maupun malam hari. Radiasi matahari dan temperatur udara yang tinggi menyebabkan kebutuhan energi untuk mendinginkan bangunan menjadi besar. Oleh karena itu, bangunan di daerah tropis membutuhkan desain rancang khusus untuk mereduksi panas bangunan. Disinilah peran perancang sangat dibutuhkan dalam perencanaan dan perancangan untuk mengakomodasi segala permasalahan, mencari solusi dan memberikan info terbaik tentang desain fasad yang bagaimana yang cocok dengan iklim tropis dan hemat menggunakan energi pendinginan

BAB 3

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Paradigma Penelitian

Penelitian yang berjudul “*Pengaruh Fasad terhadap Kinerja Energi Pendinginan pada Kantor Pemerintah di Surabaya*” ini bertujuan untuk mengetahui kinerja energi pendinginan fasad kantor pemerintahan di lapangan, mengevaluasi dan menganalisa pengaruh fasad (geometri, material, WWR, dan *shading devices*) terhadap energi pendinginan, dan menemukan desain fasad (kombinasi geometri, material, WWR, dan *shading devices*) yang memiliki kinerja energi pendinginan paling efisien

Berdasarkan uraian tujuan penelitian di atas, maka penelitian ini digolongkan dalam penelitian kuantitatif, yang menurut Groat dan Wang (2002) memiliki karakteristik sebagai berikut:

- a. Menggunakan pola pikir deduktif dimana penjelasan akan dicari melalui hubungan sebab akibat. Dalam penelitian ini hubungan sebab akibat tersebut adalah desain fasad (sebab) terhadap kinerja energi pendinginan (akibat).
- b. Relitas bersifat objektif dan tunggal. Dalam hal ini berupa realitas konsumsi energi pendinginan yang dihasilkan dari desain fasad yang berbeda-beda.
- c. Faktor manusia tidak ada kaitannya dalam penelitian. Dalam penelitian ini manusia sebagai salah satu sumber panas yang berasal dari dalam bangunan ditiadakan
- d. Data yang dihasilkan dapat diukur dengan angka. Dalam penelitian ini berupa angka intensitas konsumsi energi (IKE) listrik

Menurut Creswell (2010) penelitian kuantitatif selalu melibatkan paradigma *post-positivism* atau *positivism*. Namun berdasarkan uraian karakteristik penelitian kuantitatif diatas maka paradigma *positivism* dipilih untuk menentukan metode penelitian. Adapun karakteristik paradigma *positivism* adalah sebagai berikut:

- a. Penelitian memiliki validasi eksternal. Penelitian ini melakukan generalisasi data iklim, dengan cara memvalidasi data iklim BMKG dengan cara

membandingkan data iklim BMKG dengan pengukuran lapangan pada waktu yang bersamaan

- b. Memiliki realitas tunggal yang diketahui secara jelas dan pasti. Pada penelitian ini beberapa teori yang berhubungan dengan parameter desain fasad diteliti dan hasilnya akan divalidasi dengan penelitian terdahulu
- c. Peneliti bersifat objektifitas yang dalam proses penelitiannya menggunakan instrumen yang terukur (Groat & Wang, 2002) sehingga menghasilkan penelitian yang relevan dan teruji

3.2 Metode Penelitian

Penelitian kuantitatif dan paradigma *positivism* erat kaitannya dengan metode eksperimen. Metode eksperimental yang digunakan pada penelitian ini menggunakan dua taktik penelitian yaitu pengamatan lapangan dan taktik menggunakan simulasi dengan menggunakan *software*. Beberapa peneliti sejenis juga menggunakan taktik penelitian lapangan dan/atau taktik simulasi untuk menjawab tujuan penelitian.

Penelitian sejenis yang menggunakan taktik penelitian lapangan antara lain yang pernah dilakukan oleh Zafiroh dan Hafzan (2010) membandingkan hasil perhitungan OTTV akibat adanya perbedaan desain fasad antara bangunan perpustakaan pusat Universitas Malaya dengan bangunan perpustakaan UiTM Perak dan pengaruhnya terhadap efisiensi energi. Parameter yang desain fasad yang dibandingkan yaitu material bangunan, *shading devices*, orientasi bangunan dan juga kondisi lansekap disekitar bangunan. Al-Tamimi, dkk (2011) melakukan pengukuran temperatur ruang dalam eksisting di kedua ruang asrama di University Science Malaysia Penang. Parameter desain fasad yang digunakan penelitian ini adalah WWR dan orientasi bangunan.

Penelitian eksperimen dengan taktik simulasi telah banyak dilakukan sebelumnya. Berapa diantaranya yang pernah dilakukan oleh Juniwati (2008), membandingkan satu model dasar bangunan, dimana bangunan tersebut tidak memiliki *shading devices*, dinding tanpa insulasi dan menggunakan kaca bening, kemudian dibandingkan dengan bangunan yang menggunakan insulasi, jenis kaca yang berbeda-beda jenisnya, serta membandingkan kinerja bangunan dengan WWR

yang berbeda untuk menemukan WWR yang optimum untuk daerah tropis dan solusi material fasad untuk beberapa bangunan bertingkat di Surabaya. Sukawi (2010), membandingkan model dasar yang tidak memiliki *shading devices* dengan model yang memiliki *shading devices*, kemudian menalisa pengaruhnya *shading devices* tersebut terhadap perolehan panas pada fasad bangunan. Selain Sukawi (2010), Al-Tarmimi (2011) dan Al-Tarmimi dan Fadzil (2010) juga melakukan penelitian tentang potensi peneduh (*shading devices*) untuk mereduksi temperatur udara dalam bangunan yakni dengan membandingkan model dasar yang tidak memiliki *shading devices* dengan model yang memiliki *shading devices*, dan membandingkan temperatur udara dalam ruang antara ruang yang memiliki ventilasi dan ruang tidak memiliki ventilasi.

Pada pengamatan lapangan, peneliti mengamati orientasi bangunan terhadap arah angin, mengukur dimensi bangunan dan jendela, mengukur temperatur ruang luar dan ruang dalam serta mengidentifikasi material dan alat peneduh (*shading devices*) yang digunakan di beberapa bangunan kantor pemerintahan di Surabaya. Data-data pengamatan lapangan tersebut kemudian akan dijadikan masukan untuk menghitung OTTV eksisting bangunan, untuk keperluan pemodelan bangunan dan keperluan verifikasi data iklim.

OTTV merupakan salah satu indikator efisiensi energi, tetapi hasil perhitungannya belum bisa menjawab pertanyaan kedua dan ketiga. Data-data pengamatan lapangan seperti pengukuran dimensi bangunan di beberapa bangunan digunakan untuk memperoleh rata-rata volume kantor pemerintahan yang nantinya akan digunakan untuk menentukan geometri bangunan yang disimulasikan (model), sedangkan data pengukuran dimensi jendela akan digunakan untuk mengetahui besarnya perbandingan jendela terhadap dinding/*windows to wall ratio* (WWR) yang umum digunakan pada kantor pemerintah di Surabaya. Data mengenai material dan peneduh (*shading devices*) akan digunakan untuk variasi model bangunan yang akan disimulasikan.

Untuk mengetahui kinerja energi pendinginan akibat pengaruh geometri, WWR, dan *shading devices* dan material fasad, diperlukan beberapa variabel yang sama seperti pengaruh geometri terhadap energi pendinginan dapat diketahui, dengan menyamakan variabel WWR, orientasi dan volume bangunan,

untuk mengetahui pengaruh WWR, dan *shading devices*, variabel yang bernilai sama antara lain WWR, orientasi bangunan dan volume bangunan, sedangkan untuk mengetahui pengaruh material fasad, variabel yang bernilai sama antara lain WWR, orientasi bangunan dan volume bangunan. Oleh karena variabel pengganggu di lapangan sangat banyak dan tidak bisa dibatasi langsung, maka untuk menjawab penelitian dibutuhkan bantuan simulasi dengan menggunakan *software ecotect*.

3.3 Variabel Penelitian dan Definisi Operasiona Variabel

Menurut Schwab (2005) variabel adalah karakteristik objek dimana nilai kejadian terdiri dari dua atau lebih kejadian, sedangkan menurut Arikunto (2010) variabel adalah objek penelitian, atau apa yang menjadi titik perhatian suatu penelitian. Untuk memperjelas maksud dari setiap variabel, maka digunakan definisi operasional variable. Pada penelitian ini variabel penelitian dibagi menjadi tiga yaitu variabel bebas, variabel terikat dan variabel kontrol.

3.3.1 Varibel Terikat

Variabel terikat merupakan variabel yang dipengaruhi atau menjadi akibat, karena adanya variabel bebas (Sugiyono, 2013). Variabel terikat dalam penelitian ini adalah kinerja energi pendinginan. Energi pendinginan merupakan energi yang digunakan untuk sistem tata udara dalam sebuah bangunan guna mencapai kenyamanan termal pengguna bangunan (Juwana, 2005). Indikator kinerja energi pendinginan yang digunakan ada dua, yaitu:

- a. OTTV. OTTV (*Overall Thermal Transfer Value*) atau nilai perpindahan termal menyeluruh adalah suatu nilai yang ditetapkan sebagai kriteria perancangan untuk dinding dan kaca bagian luar bangunan gedung yang dikondisikan. Standar OTTV yang digunakan penelitian ini adalah 35 watt/m² sesuai SNI 6389 (2011)
- b. IKE Listrik. Intensitas Konsumsi Energi (IKE) listrik adalah pembagian antara antara konsumsi energi listrik pada kurun waktu tertentu dengan satuan luas bangunan gedung setiap tahun. Dalam penelitian ini standar energi pendinginan yang digunakan adalah dari 47% total konsumsi energi

listrik (Pemprov DKI Jakarta, 2012) kantor ber-AC 250kWh/m²/thn (GBCI, 2010), yaitu sekitar 117 kWh/m²/thn

Dalam penelitian ini terdapat dua parameter yang digunakan untuk mengetahui kinerja energi pendinginan yaitu:

- a. Aliran panas. Aliran panas terjadi karena adanya perbedaan temperatur. Panas secara alami mengalir dari temperatur yang lebih tinggi menuju temperatur yang lebih rendah, namun tidak harus dari jumlah panas yang lebih banyak menuju yang lebih sedikit (Lechner, 2007). Pada penelitian ini aliran panas yang diteliti adalah aliran panas konduksi dan aliran panas radiasi.
- b. Beban pendinginan. Beban pendinginan adalah jumlah panas yang harus dibuang oleh AC dari dalam ke luar ruangan agar temperatur udara di dalam ruangan tidak naik dan tetap pada batas kenyamanan termal.

3.3.2 Variabel Bebas

Variabel bebas merupakan variabel yang menyebabkan, mempengaruhi atau berefek pada hasil (Creswell, 2010). Variabel ini dapat diubah atau dimodifikasi untuk mengetahui pengaruhnya terhadap variabel terikat. Variabel terikat dalam penelitian ini adalah fasad bangunan. Fasad adalah kulit terluar bangunan yang memiliki dua fungsi: pertama, sebagai pelindung ruang dalam dari lingkungan luar; kedua, menciptakan atau menunjukkan citra suatu bangunan (Aksamija, 2013). Berdasarkan penelitian sebelumnya (lihat Lampiran 1), parameter desain fasad yang digunakan dalam penelitian ini, yaitu:

- a. Geometri. Geometri bangunan yaitu bentuk dasar suatu bangunan. Geometri bangunan terdiri dari lebar, panjang, tinggi dan volume bangunan (Kyu dan Malkawawi, 2009). Geometri bangunan yang cocok untuk daerah tropis adalah bangunan pipih yang memanjang timur ke barat (Lechner, 2007) dengan rasio lebar dan panjang 1:1,7 (Olgay 1972). Penelitian yang dilakukan oleh Muhaisn (2015) menunjukkan rasio W/L dan ketinggian berpengaruh terhadap konsumsi energi pendinginan. Berdasarkan uraian tersebut, indikator

geometri yang digunakan adalah rasio W/L dan ketinggian. Rasio W/L yang diteliti adalah 0,1 hingga 1, dan ketinggian 8m, 12m dan 16m.

- b. Orientasi bangunan adalah pengendalian termal dengan cara perencanaan alokasi bukaan cahaya (termasuk udara) yang berpotensi dalam penerimaan radiasi panas matahari ke dalam bangunan (Latifah, 2015). Untuk bangunan di daerah tropis, sebaiknya bangunan tidak berorientasi timur-barat guna mereduksi radiasi matahari yang menyebabkan panas pada bangunan (Lippsmeier, 1997). Orientasi bangunan yang diamati pada penelitian ini adalah 0° , 45° dan 90°
- c. Material fasad yaitu bahan bangunan yang digunakan pada elemen-elemen fasad. Menurut Hassan (2015) mengubah material kaca jendela dan dinding berpengaruh terhadap konsumsi energi pendinginan. Penelitian ini mengamati konsumsi energi pendinginan pada bangunan dengan material dinding dan kaca yang berbeda.
- d. Bukaan pada fasade. Bukaan pada fasade terdiri dari jendela, pintu dan kisi-kisi. Dalam penelitian ini, bukan jenis bukaan yang hendak diteliti, tetapi luasan bukaan tersebut terhadap terhadap luas dinding keseluruhan. Karena persentasi pintu dan jendela kisi-kisi sangat kecil maka bukaan fasade disederhanakan menjadi sebuah bukaan/lubang jendela yang besar. Persentase luasan jendela sangat berpengaruh terhadap konsumsi energi pendinginan bangunan, sedangkan posisi jendela hampir tidak memiliki pengaruh terhadap konsumsi energi pendinginan (Bokel, 2007). Oleh sebab itu, indikator yang digunakan dalam penelitian ini adalah WWR. WWR (*Windows to Wall Ratio*) merupakan perbandingan luas jendela terhadap luas dinding keseluruhan (dinding *opaque* dan *transparent*) (Baker dkk, 2009). WWR yang diamati pada penelitian ini adalah 20%, 40%, dan 60%.
- e. Peneduh (*shading devices*) adalah alat pembayangan sinar matahari (Latifah, 2015). Menurut Al-Tamimi (2011) ada tidaknya peneduh dan perbedaan jenis peneduh yang digunakan pada bangunan akan berpengaruh terhadap kinerja termal suatu bangunan. Oleh karenanya, penelitian ini akan meneliti beberapa model bangunan yang menggunakan peneduh vertikal, peneduh hrozontal , peneduh vertikal-horizontal dan bangunan tanpa peneduh.

3.3.3 Variabel Kontrol

Variabel kontrol atau grup kontrol adalah sebuah kondisi awal model sebelum dilakukan *treatment* atau variasi. Variabel kontrol sering dipakai oleh peneliti dalam penelitian yang bersifat membandingkan yaitu model dasar dan rancangan eksperimen (lihat Hal.51), guna menarik sebuah kesimpulan melalui penelitian eksperimental. Beberapa variabel kontrol yang digunakan pada penelitian ini dapat dilihat pada Tabel.3.1.

Tabel 3.1 Variabel Kontrol dan Definisi Operasional Variabel

Variabel Kontrol	Definisi Operasional
Geometri	Bangunan berbentuk persegi panjang dengan W/L = 0,6 dengan ketinggian 3 meter
Orientasi	Orientasi bangunan terhadap arah angin yaitu Utara-Selatan
Luas bukaan	Luas bukaan 20% dari luas dinding keseluruhan (WWR=20%)
Peneduh	Bangunan tidak memiliki <i>shading devices</i>
Material	Dinding menggunakan material batu bata, jendela menggunakan material <i>clear glass</i> dan atap datar menggunakan material genteng

3.4 Rancangan Penelitian

Rancangan penelitian yang diajukan dalam mencapai kesimpulan hasil akhir terdiri dari beberapa tahapan penelitian yang dijelaskan lebih rinci sebagai berikut:

1. Tahap studi literatur. Tahap ini dimulai dengan mengeksplorasi literatur disesuaikan dengan judul penelitian, yaitu pengaruh fasad terhadap kinerja energi pendinginan pada kantor pemerintahan di Surabaya. Secara garis besar, literatur yang dibutuhkan antara lain teori mengenai pengertian, jenis dan elemen fasad, teori mengenai material yang digunakan untuk kantor pemerintah, *thermal properties* material, daftar Kantor Pemerintahan di Surabaya, jurnal dari penelitian-penelitian sejenis dan lain-lain. Studi ini dilakukan untuk mengetahui dan menentukan lebih jauh batasan dan variabel dalam penelitian.
2. Tahap survey lapangan. Survey lapangan dilakukan pada kantor-kantor pemerintahan yang telah dipilih. Tujuan dari survey lapangan adalah mengidentifikasi jenis dan material fasade yang digunakan pada kantor pemerintahan, dan mengidentifikasi kondisi lingkungan terhadap performa

bangunan berupa temperatur serta mendapat data fisik bangunan pada lokasi studi

3. Tahap simulasi. Pada tahap ini dilakukan pemodelan dengan menggunakan *software Ecotect*. Model dasar dibuat berdasarkan pengamatan lapangan, kajian literatur dan penyederhanaan sehingga model dasar tersebut merupakan perwakilan bentuk kantor pemerintahan. Langkah selanjutnya untuk mengetahui pengaruh geometri, WWR, shading devices dan material bangunan terhadap kinerja energi pendinginan, maka model dasar tersebut akan dibandingkan dengan model bangunan eksperimen.
4. Tahap terakhir adalah tahap analisa dan pembahasan yang pada akhirnya akan mencapai suatu kesimpulan tentang kinerja energi pendinginan pada kantor pemerintahan akibat pengaruh adanya variabel kondisi penghalang di sekitar kantor pemerintahan di Surabaya.

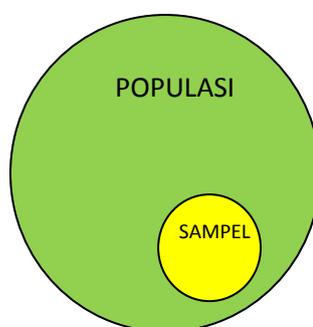
3.5 Pengamatan Lapangan

Pengamatan lapangan hanya dilakukan pada beberapa sampel bangunan saja. Data observasi lapangan sangat dibutuhkan untuk verifikasi data, dan sebagai masukan untuk keperluan simulasi. Tahap ini dimulai dengan mengambil foto dokumentasi objek yang diteliti, mengidentifikasi elemen-elemen dan material pada fasad, mengukur dimensi bukaan dan bangunan serta mengukur fluktuasi temperatur udara. Pengukuran fluktuasi temperatur udara dilakukan di dua tempat yaitu:

1. Pengukuran temperatur di luar ruangan. Pengukuran fluktuasi temperatur udara dilakukan di dalam dan luar ruangan untuk melihat perbedaan temperatur di dalam dan luar bangunan. Data hasil pengukuran ruang luar juga akan digunakan untuk memvalidasi data iklim BMKG, dimana data iklim BMKG akan digunakan untuk kebutuhan simulasi.
2. Pengukuran temperatur di dalam ruangan. Pengukuran dilakukan dengan menggunakan *HOBO data logger* yang diletakkan 1,5 m diatas permukaan lantai.

3.5.1 Teknik Pengambilan Sampel

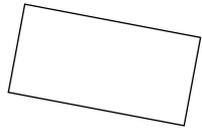
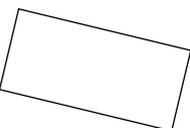
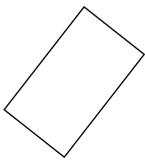
Secara umum, semua kantor di Surabaya dapat dijadikan objek penelitian. Pemilihan kantor pemerintahan sebagai populasi penelitian dikarenakan ada Peraturan Menteri dan Peraturan Pemerintah Kota Surabaya dalam rangka penghematan energi dan guna menanggapi adanya isu pemborosan energi. Populasi bangunan kantor pemerintahan di Surabaya sangat banyak dan memiliki desain fasad yang sangat variatif. Untuk melakukan efisiensi dalam pengumpulan data, maka dilakukan pengambilan sampel dari populasi. Populasi Kantor Pemerintahan di Surabaya dapat di lihat pada Tabel 3.2

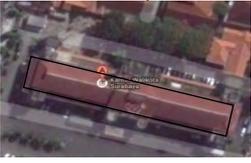
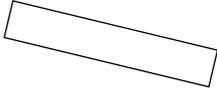
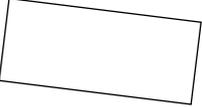
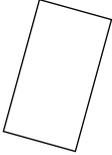
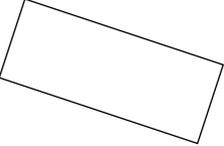


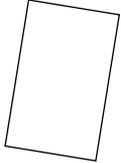
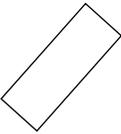
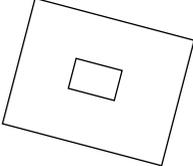
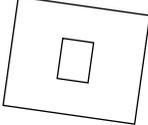
Gambar 3.1 Diagram Ven Menjelaskan Proses Pengambilan Sampel (Morissan, 2012)

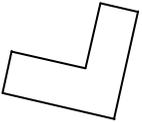
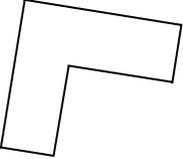
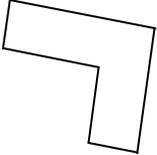
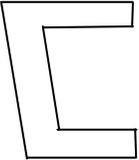
Teknik penarikan sampling pada penelitian ini adalah teknik sampel *non-probabilitas* tipe sampel terpilih (*purposive sampling*). Teknik sampel *non-probabilitas* adalah teknik penarikan sampel yang tidak mengikuti panduan probabilitas matematis (Morrisan, 2012). Sampel terpilih didefinisikan sebagai tipe penarikan sampel nonprobabilitas yang mana unit yang hendak diamati atau diteliti dipilih berdasarkan pertimbangan penelitian dalam hal unit yang mana dianggap paling bermanfaat dan representatif (Earl Babbie, 2008). Sampel dipilih berdasarkan pengetahuan yang telah dimiliki sebelumnya mengenai populasi, yaitu pengetahuan mengenai elemen-elemen yang terdapat pada populasi, dan tujuan penelitian yang hendak dilakukan. Dengan kata lain sampel dipilih berdasarkan suatu panduan atau kriteria yang telah ditentukan (Morrisan, 2012).

Tabel 3.2 Populasi Kantor Pemerintahan di Surabaya

No	Kantor Pemerintahan	Geometri Bangunan		W/L	Jumlah Lantai	Shading Devices	Keterangan
		Eksisting*	Penyederhanaan				
1	Dinas PU Cipta Karya dan Tata Ruang 	Jl. Gayung Kebonsari No.167 		0,5	3	Ada	Dinding bangunan di lapisi <i>cladding</i>
2	Kantor Pemerintah Kota Surabaya 	Jl. Jimerto 8 Surabaya 		0,5	6	Ada	Sisi depan dan belakang bangunan terdapat balkon yang juga berfungsi sebagai <i>shading devices</i>
3	Dinas Peternakan 	Jl. Ahmad Yani 		0,4	3	Ada	Adanya <i>shading devices</i> vertikal dan horizontal pada fasad
4	Kantor KPU Surabaya 	Jl. Adityawarman 		0,6	3	Ada	Terdapat <i>shading devices</i> di atas jendela untuk mereduksi panas dan cahaya matahari

No	Kantor Pemerintahan	Geometri Bangunan		W/L	Jumlah Lantai	Shading Devices	Keterangan
		Eksisting*	Penyederhanaan				
5	Kantor Walikota 	Jl. Taman Surya No.1 		0,1	3	Ada	Balkon pada lantai 2 selain berfungsi sebagai area sirkulasi, juga berfungsi sebagai <i>shading devices</i>
6	Dinas Pendapatan 	Jl. Manyar Kertoarjo 		0,4	3	Ada	Menggunakan <i>shading devices</i> horizontal
7	Dinas Pendidikan 	Jl. Genteng kali 33 		0,6	3	Ada	Adanya <i>shading devices</i> vertikal dan horizontal pada fasad
8	DPRD Kota Surabaya 	Jl. Yos Sudarso 		0,4	3	Tidak ada	Bangunan tidak memiliki <i>shading devices</i> , namun untuk menciptakan efek pembayangan bangunan dibuat berceruk

No	Kantor Pemerintahan	Geometri Bangunan		W/L	Jumlah Lantai	Shading Devices	Keterangan
		Eksisting*	Penyederhanaan				
9	Dinas Perkebunan Jawa Timur 	Jl. Gayung Kebonsari no.171 		0,6	3	Ada	Menggunakan <i>shading devices</i> vertikal
10	Gedung Keuangan Negara 	Jl. Indrapura 		0,4	6	Ada	Dinding bangunan di lapisi <i>cladding</i>
11	Dinas Kesehatan 	Jl. Jemursari No. 197 		-	3	Ada	Adanya <i>shading devices</i> vertikal dan horizontal pada fasad
12	Dinas Kependudukan dan Catatan Sipil 	Jl. Manyar Kertoarjo 6 		-	2	Ada	Adanya <i>shading devices</i> vertikal dan horizontal pada fasad

No	Kantor Pemerintahan	Geometri Bangunan		W/L	Jumlah Lantai	Shading Devices	Keterangan
		Eksisting*	Penyederhanaan				
13	Dinas Tenaga Kerja 	Jl. Jemursari Timur 		-	2	Ada	Adanya <i>shading devices</i> horizontal di atas bukaan
14	Dinas Pekerjaan Umum dan Bina Marga 	Jl. Gayung Kebonsari No.167 		-	4	Ada	Area sirkulasi lantai atas/ balkon menjadi <i>shading devices</i> untuk lantai dibawahnya.
15	Dinas Perikanan dan Kelautan 	Jl. Ahmad Yani 152B 		-	2	Ada	Overstek atap dan balkon lantai 2 berfungsi sebagai <i>shading devices</i> horizontal
16	Kantor Gubernur 	Jl. Pahlawan 		-	2	Ada	Teraslantai 1 dan 2 berfungsi sebagai <i>shading devices</i> horizontal

Sumber: * Google Map, 2016

Dalam penelitian ini, kriteria sampel penelitian didasarkan pada:

1. Bentuk dasar bangunan harus merupakan persegi panjang atau modifikasi persegi panjang
2. Bangunan bertingkat rendah yang terdiri dari 2-4 lantai
3. Bangunan memiliki alat peneduh (*shading devices*) atau *self shading*
4. Material fasade yang digunakan berbeda dari material bangunan pada umumnya

Berdasarkan kriteria tersebut, maka sampel kantor pemerintah yang terpilih ada empat, yaitu Kantor Dinas Pendidikan, Kantor Walikota, Kantor Gedung Keuangan dan Kantor DPRD. Dari keempat bangunan yang dipilih sebagai sampel penelitian, hanya bangunan Gedung Keuangan yang tidak memenuhi kriteria ketinggian bangunan bertingkat rendah. Namun pengambilan Gedung Keuangan sebagai sampel didasarkan pada desain fasad khususnya material fasad yang digunakan berbeda dari bangunan lainnya.

3.5.2 Teknik Pengumpulan Data

Pengumpulan data merupakan strategi untuk memberikan masukan dan dukungan teori serta sebagai input untuk proses evaluasi dan simulasi yang nantinya digunakan untuk mengetahui kinerja energi pendinginan pada kantor pemerintahan. Data yang diperoleh diusahakan seakurat dan seaktual mungkin untuk mendapatkan keakuratan hasil yang diteliti sesuai dengan tujuan penelitian.

a. Jenis Data dan Peralatan

Terdapat dua jenis data penelitian, yaitu data primer dan data sekunder. Data primer adalah data yang diperoleh dari observasi langsung di lapangan oleh peneliti, dapat berupa dokumentasi foto, data hasil pengukuran dan pengamatan. Data sekunder adalah data yang telah dikumpulkan dan disusun oleh pihak lain, bukan diambil langsung oleh peneliti. Dalam penelitian ini, kedua jenis data tersebut digunakan untuk kebutuhan membuat pemodelan, verifikasi, simulasi dan analisa data. Adapun data yang dimaksud adalah sebagai berikut:

1. Data untuk penelitian lapangan
 - a. Geometri (bentuk dan ukuran) bangunan kantor yang didapatkan dari hasil pengolahan data observasi lapangan
 - b. Orientasi bangunan, di dapat dari hasil pengamatan
 - c. Dimensi bukaan (pintu, jendela dan ventilasi), didapat dari pengamatan kemudian dilakukan penyederhanaan
2. Data untuk verifikasi data iklim
 - a. Temperatur rata-rata ruang luar di beberapa kantor pemerintahan di Surabaya, didapat dari pengamatan
 - b. Temperatur rata-rata ruang luar dari BMKG
3. Data untuk simulasi
 - a. Data iklim bulanan selama lima tahun, terutama temperatur maksimum, minimum dan rata-rata, kelembaban rata-rata, dan lama penyinaran di dapat dari BMKG Perak Surabaya.
 - b. Data material dan elemen penyusun fasad kantor pemerintahan, didapat literatur dan pengamatan
 - c. *Thermal properties* material, didapat dari literatur (buku)
4. Data yang digunakan untuk analisa hasil
 - a. Luas dinding keseluruhan didapat dari pengukuran model
 - b. Beban pendinginan, didapat dari hasil simulasi
 - c. *Heat flow* pada fasad bangunan didapat dari hasil simulasi
 - d. Daya listrik yang digunakan untuk sistem pendinginan didapat dari hasil simulasi

Dokumentsi diperlukan untuk menyediakan data secara visual tentang kantor pemerintahan di Surabaya. Data yang berasal dari lapangan hanya dibatasi pada pengambilan data visual tentang desain wujud fasad, elemen pembentuk dan materialnya. Hal ini digunakan untuk memudahkan pembuatan model pada program simulasi. Survey pengamatan dilakukan di Kota Surabaya di beberapa lokasi kantor dengan cara mengambil foto, sketsa, brosur, dan deskripsi material fasad dari beberapa kantor pemerintahan yang dipilih.

Table 3.3. Teknik Pengumpulan Data Lapangan

No	Jenis data	Teknik Pengumpulan Data	Instrumen Penelitian	Waktu Pengamatan
1	Data iklim Surabaya	Data sekunder dari BMKG Perak	-	Tahun 2015
	• Temperature max.			
	• Temperature min.			
	• Temperatur rata-rata			
	• Lama penyinaran			
2	Daftar kantor pemerintahan di Surabaya	Data sekunder dari website	-	Tahun 2015
4	Foto satelit bangunan pemerintahan	Data sekunder dari google earth	komputer	Tahun 2015
5	Konduktifitas, <i>density</i> , <i>specific heat</i> , dan ketebalan material	Data sekunder dari archipak dan beberapa website	-	-
6	Ketebalan, <i>U-value</i> , <i>Y-value</i> , <i>sgf</i> , <i>asg</i> dan SC kaca	Data sekunder dari website dan literatur	-	-
7	Data iklim Surabaya	Data sekunder dari BMKG	-	2015
	• Temperatur rata-rata			
	• Temperatur rata-rata	Data primer dari pengukuran lapangan	Data Logger	2015
9	Dimensi bukaan dan bangunan	Data primer dari pengukuran lapangan	Laser meter dan meteran	2015
10	Foto bangunan	Data primer dari survey lapangan	kamera	2015

b. Waktu Penelitian

Pengambilan data lapangan dilakukan tahun 2015, pada kondisi langit cerah. Waktu pengambilan data pengukuran lapangan diusahakan sama di setiap lokasi (keempat bangunan sampel) untuk mengetahui pengaruh lingkungan sekitar terhadap iklim mikro. Namun jika waktu dan kondisi tidak memungkinkan, maka data sekunder dari BMKG wajib ada untuk kemudian dibandingkan dengan data lapangan di waktu yang bersamaan, sehingga iklim mikro di bangunan tersebut dapat diketahui.

c. Penentuan Titik Ukur

Titik ukur pengaturan temperatur ruang dalam dan ruang luar bangunan kantor pemerintahan, dilakukan sebagai berikut:

- Masing-masing sampel bangunan yang terpilih, diletakkan satu alat pengukur termal di dalam ruang kantor. Pada penelitian ini ruah kantor yang dipilih adalah *lobby area*
- Alat ukur diletakkan pada ketinggian 1,5 meter di atas permukaan lantai dan diusahakan di tengah ruang (*lobby area*)
- Alat ukur selain diletakkan di dalam bangunan, juga diletakkan di luar ruangan. Alat ukur diletakkan pada ketinggian 1,5 meter di atas permukaan tanah di *drop off area* yang ternaungi (memiliki kanopi)

3.6 Rancangan Eksperimen

Rancangan eksperimen pada penelitian diawali dengan penetapan model dasar dan selanjutnya model dasar diberi perlakuan sesuai dengan variabel yang akan dibahas.

3.6.1 Model Dasar

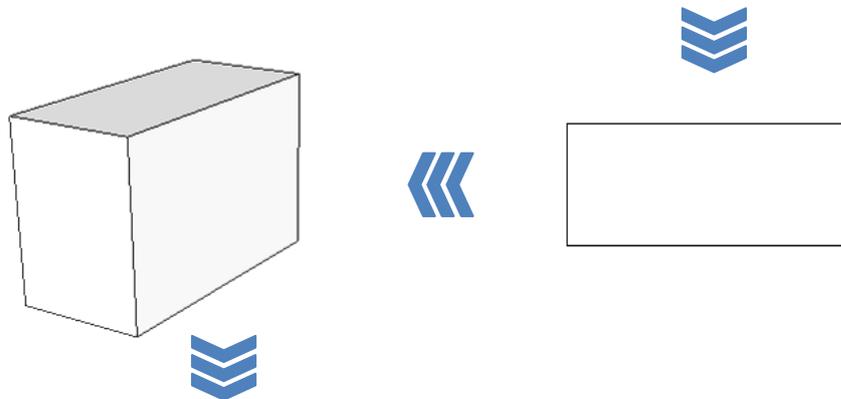
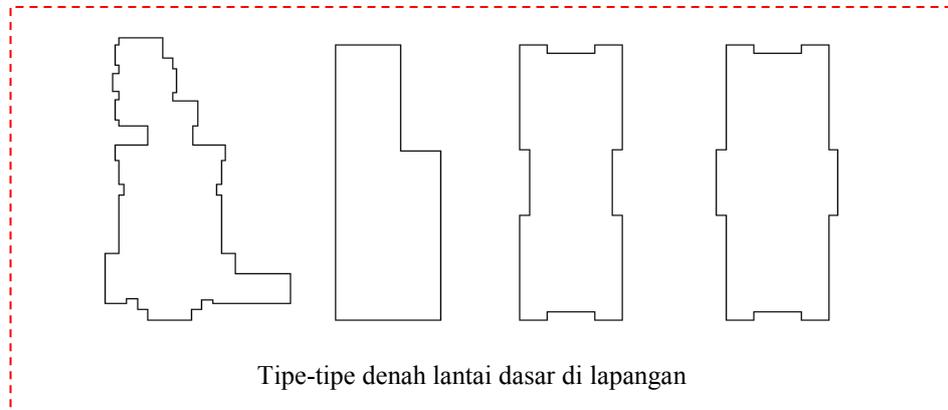
Model dasar ditetapkan berdasarkan pengamatan lapangan, kajian literatur berupa buku dan jurnal penelitian tentang pengaruh fasade terhadap efisiensi energi pendinginan. Dalam pemodelan simulasi dengan menggunakan *software ecotect*, peneliti melakukan penyederhanaan sehingga variabel diteliti dapat diketahui pengaruhnya. Kriteria model dasar yang diambil harus dapat mewakili bentuk kantor pemerintahan di Surabaya. Karakteristik permodelan bangunan antara lain:

- a. Kantor bertingkat rendah. Umumnya kantor pemerintahan di Surabaya merupakan bangunan bertingkat rendah, dimana dari 16 kantor pemerintahan yang diamati, 14 bangunan merupakan bangunan bertingkat rendah (lihat Tabel 3.2). Bangunan bertingkat rendah adalah bangunan yang jumlah lantainya 2-4 lantai secara vertikal (Idham, 2012)
- b. Material
 - Atap. Umumnya konstruksi atap pada kantor pemerintahan di Surabaya adalah atap miring dan berwarna merah (Tabel 3.2). Untuk bangunan di daerah tropis lembab seperti Indonesia, atap merupakan bagian bangunan

yang paling banyak memberikan kontribusi beban panas (Ajeel, 2013). Menurut Lippsmeier (1994) menjelaskan konstruksi atap miring merupakan desain atap yang cocok untuk bangunan di daerah tropis

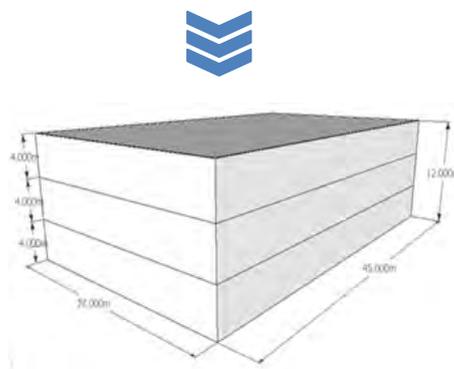
- Dinding umumnya menggunakan material bata konvensional sehingga model dasar menggunakan bata plaster dengan finishing cat putih gading.
 - Jendela menggunakan kaca *clear glass 6mm* dengan frame kayu
- c. Geometri bangunan. Geometri bangunan terdiri dari lebar, panjang, tinggi dan volume bangunan (Kyu dan Malkawawi, 2009)
- Bangunan kantor pemerintahan bertingkat rendah umumnya memiliki geometri balok pipih, dimana dari 14 bangunan bertingkat rendah terdapat 8 bangunan yang berbentuk pipih (Tabel 3.2). Leacher (2007), Evans (1980) dan Yeang (1996) menyatakan untuk daerah tropis lembab, bangunan dengan bentuk persegi panjang/pipih merupakan bentuk bangunan terbaik. Dari penelitian lapangan terhadap beberapa kantor pemerintahan yang berbentuk pipih ditemukan beberapa variasi denah lantai dasar (Gambar 5.3). Dan untuk keperluan simulasi, peneliti melakukan penyederhanaan dengan membuat balok utuh dengan permukaan fasade rata (tanpa ceruk).
 - Kantor pemerintahan di Surabaya umumnya merupakan bangunan berlantai tiga (Tabel 3.2) dengan asumsi ketinggian dari lantai ke lantai 4m (Kohn, 2002), sehingga ketinggian bangunan adalah 12 m
 - Rasio lebar terhadap panjang bangunan (rasio W/L) untuk kantor pemerintahan sangat variatif yakni 0,1 hingga 0,6, tetapi W/L 0,6 merupakan rasio yang banyak digunakan pada bangunan bertingkat rendah. Bangunan dengan rasio W/L 0,6 ditetapkan selain sebagai bangunan bertingkat rendah yang umum yang ada di Surabaya, juga sebagai upaya untuk meminimalisir perolehan panas pada fasade bangunan akibat radiasi matahari (Yeang, 1994).
 - Volume rata-rata kantor pemerintahan di Surabaya yaitu 14900m^3 . Dengan menggunakan asumsi di atas yakni tinggi bangunan 12 m dan

W/L 0,6, maka diketahui lebar dan panjang bangunan dapat diketahui yaitu 27meter dan 45 meter (Lihat Gambar 3.2)



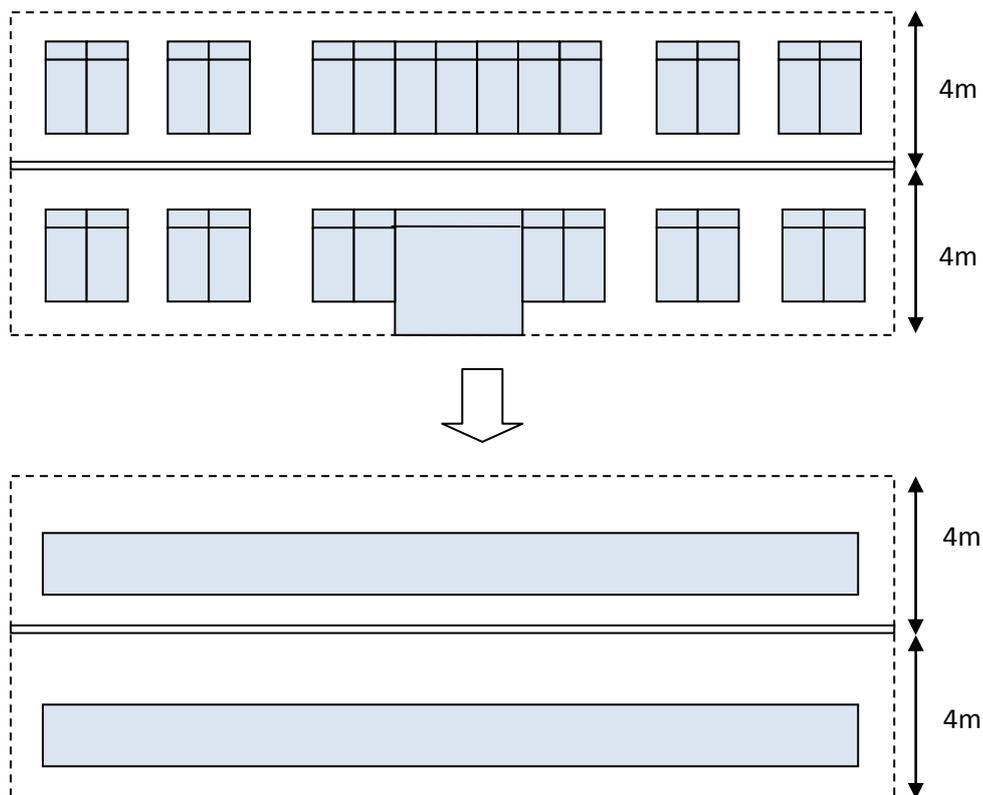
Variasi ketinggian bangunan di lapangan

W/L	0,1	0,2	0,4	0,6
Perspektif				
Ketinggian	2 lantai	6 lantai	3 lantai	3 lantai



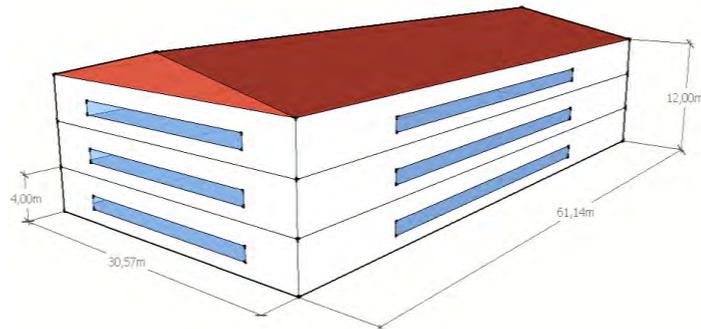
Gambar 3.2 Alur Berpikir Menentukan Geometri Model Dasar

- d. Perlubangan. Berdasarkan analisa hasil studi di lapangan menunjukkan lubang yang berada pada fasade bangunan terdiri dari lubang pintu, jendela dan *boven*. Posisi jendela umumnya berada 20 – 100cm di atas permukaan lantai, sedangkan posisi *boven* berada pada ketinggian 18 – 200cm di atas permukaan lantai. Menurut penelitian yang dilakukan oleh Bokel (2007) dan Koranteng (2015) menemukan luas jendela atau WWR akan lebih berpengaruh terhadap energi pendinginan dan kinerja termal sebuah ruangan/bangunan dibandingkan dengan posisi jendela/bukaan. Oleh karenanya lubang pada fasade bangunan disederhanakan menjadi sebuah lubang jendela besar. Berdasarkan penelitian lapangan (lihat Tebel 4.9), WWR $\pm 20\%$ banyak digunakan pada kantor pemerintahan di Surabaya, sehingga untuk model dasar penelitian ini menggunakan WWR 20% (Lihat Gambar 3.3). WWR 20% ini kemudian akan diaplikasikan pada seluruh sisi/orientasi bangunan.



Gambar 3.3 Ilustrasi perlubangan pada fasade bangunan eksisting (atas); penyederhanaan sistem perlubangan pada fasade bangunan (bawah)

Berdasarkan uraian diatas maka diketahui, umumnya desain fasad kantor pemerintah di Surabaya adalah seperti yang terlihat pada Gambar 3.4. Model tersebut kemudian akan dianalisa lagi untuk keperluan menentukan model dasar untuk keperluan simulasi. Pembahasan lebih lanjut mengenai model dasar bangunan akan di jelaskan pada bab selanjutnya (Bab 5) tentang data bangunan.



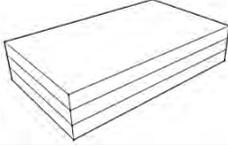
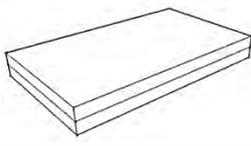
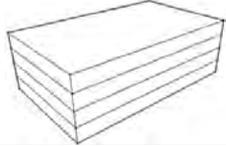
Gambar 3.4 Desain Fasad Kantor Pemerintah di Surabaya

3.6.2 Perlakuan Pada Eksperimen

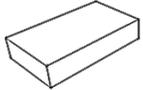
a. Perlakuan 1: Geometri

Dari studi literatur dan data lapangan (Tabel 3.2) diketahui kantor pemerintahan bertingkat rendah di Surabaya memiliki jumlah lantai sekitar 2 hingga 4 lantai, dengan perbandingan lebar dan panjang atau *width to length ratio* (W/L) 0,1 hingga 0,6. Untuk melihat pengaruh ketinggian dan W/L ratio terhadap energi pendinginan, maka volume, WWR dan orientasi bangunan yang dibandingkan harus sama.

Tabel 3.4. Ketinggian Bangunan yang Diteliti

Skenario	Model Dasar	Treatment	
Perspektif			
Ketinggian	12m	8m	16m
W/L	0,6	0,6	0,6
Volume	14900	14900	14900
WWR	20%	20%	20%
Orientasi	Utara - Selatan	Utara - Selatan	Utara - Selatan

Tabel 3.5 W/L Bangunan yang Diteliti

Skenario	Kode	Perspektif	W/L	Tinggi Bangunan (m)	Volume (m ³)	WWR	Orientasi
Model Dasar	a		0,6	12	14900	20%	Utara - Selatan
Treatment	b		0,1	12	14900	20%	Utara - Selatan
	c		0,2	12	14900	20%	Utara - Selatan
	d		0,3	12	14900	20%	Utara - Selatan
	e		0,4	12	14900	20%	Utara - Selatan
	f		0,5	12	14900	20%	Utara - Selatan
	g		0,7	12	14900	20%	Utara - Selatan
	h		0,8	12	14900	20%	Utara - Selatan
	i		0,9	12	14900	20%	Utara - Selatan
	j		1,0	12	14900	20%	Utara - Selatan

b. Perlakuan 2: WWR

Pada penelitian lapangan, ditemukan luasan jendela pada kantor pemerintahan di Surabaya berkisar 15% - 55% dari keseluruhan fasade bangunan. Menurut Juniwati (2008) bangunan bertingkat tanpa *shading devices*, WWR efektifnya adalah 20%. Untuk menjawab tujuan penelitian tentang pengaruh WWR terhadap energi pendinginan, maka WWR model dasar ditetapkan 20%, yang kemudian akan dibandingkan dengan bangunan WWR 40% dan 60%.

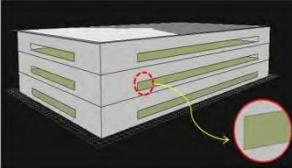
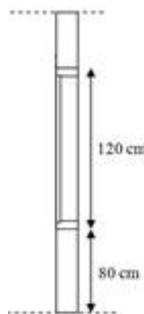
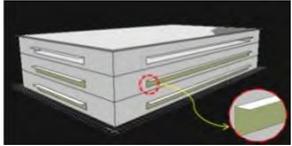
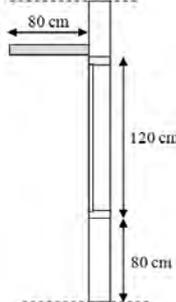
Tabel 3.6 WWR Bangunan yang Diteliti

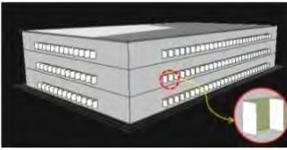
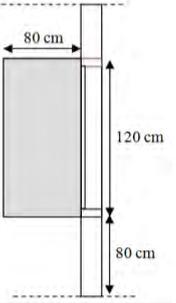
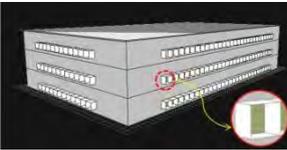
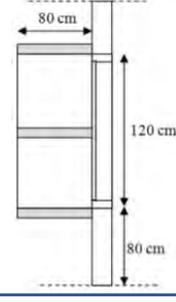
Skenario	Kode	WWR	W/L	Tinggi Bangunan (m)	Volume (m ³)	Orientasi
Model Dasar	a	20%	0.6	12	14900	Utara - Selatan
Treatment	b	40%	0.6	12	14900	Utara - Selatan
	c	60%	0.6	12	14900	Utara - Selatan

c. Perlakuan 3: *Shading Devices*

Ada tidaknya *shading devices* pada bangunan akan berpengaruh terhadap kinerja energi pendinginan suatu bangunan. Hal ini sejalan dengan teori Leacher (2007), Szokolay (2004) dan hasil penelitian Bano (2016) yang menyatakan menggunakan *shading devices* pada bangunan akan mereduksi konsumsi energi pendinginan. Besarnya penerunan konsumsi energi pendinginan sangat berpengaruh terhadap jenis *shading devices* yang digunakan. Oleh karena itu penelitian ini akan membandingkan model dasar yang tidak memiliki *shading devices*, dengan model bangunan yang menggunakan *shading devices* vertikal, horizontal dan juga vertikal-horizontal (*egg rate*).

Tabel 3.7 Jenis *Shading Devices* yang Diteliti

Skenario	<i>Shading Devices</i>			Keterangan
	Jenis	Perspektif	Tampak Samping	
Model Dasar	Tanpa pelindung			Bangunan tidak memiliki <i>shading devices</i>
Treatment	Pelindung horizontal			Posisi pelindung tepat berada di ambang atas jendela

Skenario	Shading Devices			Keterangan
	Jenis	Perspektif	Tampak Samping	
	Pelindung vertikal			Jarak setiap pelindung vertikal 100 cm ²
	Pelindung vertikal-Horizontal			Jarak setiap pelindung vertikal adalah 100 cm ² dan jarak setiap pelindung horizontal 55cm

d. Perlakuan 4: Material

Pada penelitian dilapangan, peneliti menemukan variasi penggunaan material fasade. Umumnya dinding bangunan kantor pemerintahan di Surabaya menggunakan material batu bata konvensional, bata ringan ataupun kombinasi bata dan cladding. Sedangkan untuk jenis kaca yang digunakanpun berbeda-beda, seperti *clear glass*, stopsol, dan lain-lain. Menurut Hausladden (2000) penggunaan jenis material yang berbeda fasade bangunan akan berpengaruh terhadap kinerja termal suatu bangunan. Oleh karenanya untuk mengetahui pengaruh material terhadap energi pendinginan maka peneliti akan membandingkan model dasar dengan beberapa material dari dinding dan juga dari kaca jendela yang berbeda.

Tabel 3.8 Perlakuan : Mengubah Material Dinding

Skenario	Material		
	Dinding	Jendela	Atap
Model Dasar	Batu Bata	<i>Clear Glass</i>	Atap datar, dak beton
Treatment	Bata Ringan		
	Beton Ringan		
	Batu Bata + <i>Cladding</i>		
	Bata Ringan + <i>Cladding</i>		

Tabel 3.9. Perlakuan 2: Mengubah Material Kaca Jendela

Skenario	Material		
	Jendela	Dinding	Atap
Model Dasar	Clear Glass	Batu Bata	Atap datar, dak beton
Treatment	<i>Stopsol blue</i>		
	<i>Double clear glass</i>		
	<i>Singel Low-E (Planibel G)</i>		
	<i>Planibel Energy N (Double low-E)</i>		

3.7 Simulasi

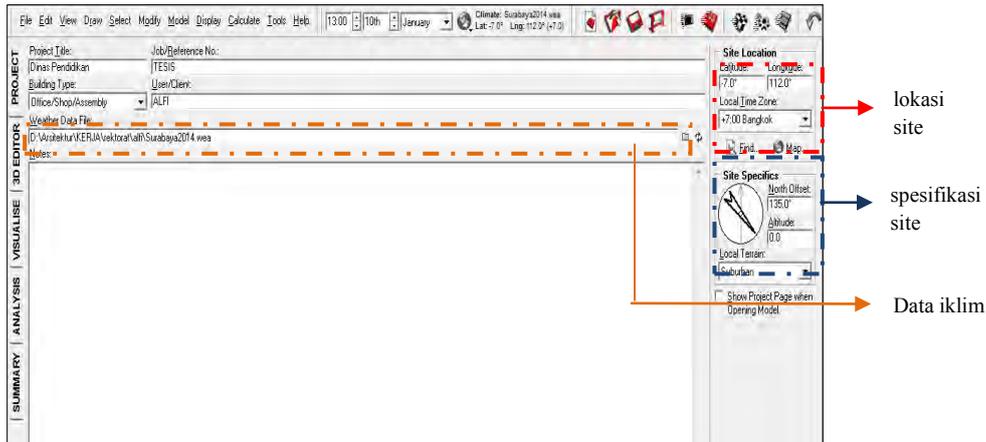
Simulasi dilakukan untuk membantu menggeneralisasikan dari kerumitan data dengan membuat sebuah tiruan dari fenomena yang dapat dikembalikan pada kondisi sebenarnya di dunia nyata dengan tujuan efisiensi waktu dan biaya (Groat dan Wang, 2001). Bahasan pada simulasi memuat studi terkait sebagai upaya penggunaan *software* simulasi dan selanjutnya dijelaskan rangkaian tahapan dalam proses pensimulasian.

3.7.1 Deskripsi Program Simulasi Ecotect v5.5

Pada penelitian ini, aplikasi utama yang digunakan untuk mengetahui aliran panas, beban pendinginan dan besarnya energi pendinginan kantor pemerintahan adalah ECOTEECT v5.5, yang dikembangkan oleh Dr.A.J.Marsh, Square One Development pada tahun 2006. Perhitungan pada program Ecotect memerlukan permodelan dalam tiga dimensi. Berikut adalah tahap-tahap menggunakan program Ecotect:

1. Mengisi lokasi site, spesifikasi site dan data iklim

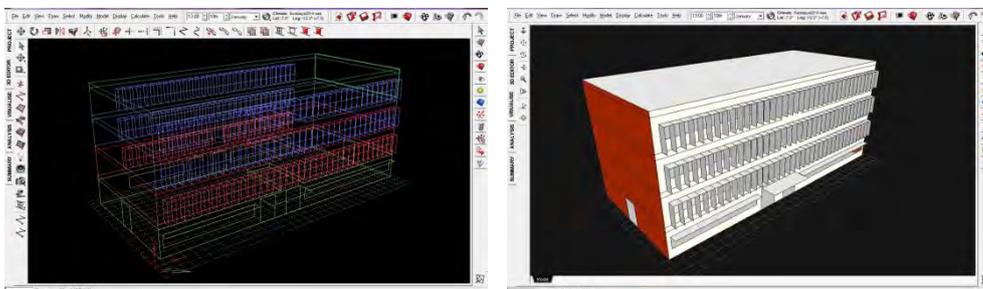
Input letak geografis yang harus diisi adalah garis lintang, garis bujur dan zona waktu GMT. Bila informasi letak geografisnya tidak bisa didapat, Ecotect menyediakan peta yang akan menampilkan ketiga variabel di atas secara otomatis. Spesifikasi site berisi derajat orientasi bangunan terhadap arah utara, dan *terrain roughness*. Data iklim pada program Ecotect dimasukkan pada program tambahan yang bernama The Weather Tool. Dari hasil program tersebut kemudian dijadikan input data iklim pada program Ecotect (Gambar 3.7).



Gambar 3.5 Tampilan Data Proyek yang Diisi

2. Membuat 3d model

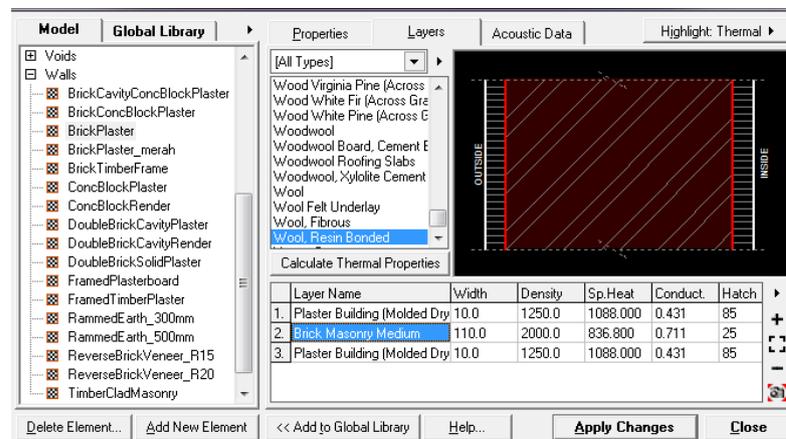
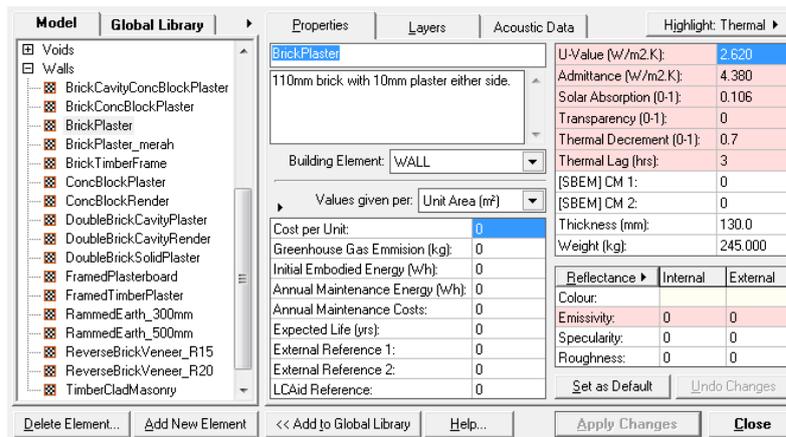
Langkah selanjutnya adalah membuat 3d model dari bangunan yang akan disimulasikan (Gambar 3.8). Terdapat dua jenis model dalam ecotect, yakni model yang diimport dari software 3d lain semisal 3dmax atau Revit Architecture; model yang kedua adalah model yang dibuat khusus dalam Ecotect.



Gambar 3.6 Tampilan 3D Model

3. Mengisi *thermal properties*

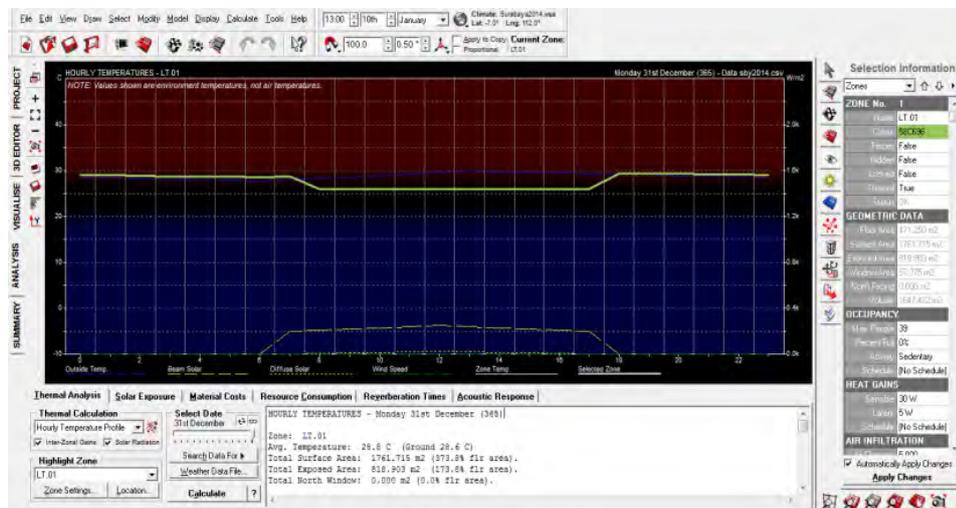
Program ini memiliki elemen material built-in yang tersedia dalam program tersebut, berupa material-material yang umum dipakai, dan juga material yang dapat dengan mudah dimodifikasi. Secara otomatis program tersebut mampu memperhitungkan material properties yang baru, seperti *reflectance*, *transmittance*, *admittance*, *u-value*, *specularity*, *roughness* dan *emissivity*.



Gambar 3.7 Tampilan *Thermal Properties* Material

4. Analisa Kondisi Termal

Berikut adalah tampilan grafis dari fitur Ecotect tentang pengukuran atau analisa kondisi termal bangunan



Gambar 3.8 Tampilan Analisis Termal *Hourly Temperature Profile*

3.7.2 Kelebihan Program Ecotect

Beberapa kelebihan yang ditawarkan oleh *software* Ecotect v5.5 adalah sebagai berikut:

1. Dengan input data iklim, material dan elemen, software ini mampu mejadi alat simulasi dan optimasi termal dalam desain bangunan dan *passive solar system*
2. Kalkulasi termal dapat berupa hasil grafis dengan kontur panas
3. Tampilan visual yang mudah dimengerti
4. Proses running cepat, sesuai dengna kompleksitas input elemen dan material
5. Dapat memperhitunka bangunan dengan tingkat kerumitan tinggi dengna kompensasi lamanya waktu yang dibutuhkan untuk menjalankan simulasi
6. Hasil kondisi termal dapat divisualisasikan dengan baik berupa grafik dua dimensi maupun grafik tiga dimensi.
7. Grafik yang mampu ditampilkan antara lain:
 - a. *Profil temperature* tiap jam
 - b. *Heat gain* dan *lost* tiap jam
 - c. Beban termal dan discomfort
 - d. Distribusi temperatur pada bangunan
 - e. *Fabric gains*, distrubusi beban termal pada material
 - f. *Indirect solar gains*, beban termal yang disebabkan radiasi matahari secara tidak langsung
 - g. *Direct solar gains*, beban termal yang disebabkan radiasi matahari
 - h. *Ventilations gain*, beban termal dari aliran udara melalui ventilasi
 - i. *Internal gains*, beban termal dari dalam bangunan
 - j. *Object attributes*, besar nilai radiasi pada masing-masing elemen fasad
8. Interkoneksi antara pembayangan dan kondisi termal bangunan
9. Mampu menghitung zona termal lebih dari satu

3.7.3 Kelemahan Ecotect v5.5

Beberapa kelemahan *software* Ecotect v5.5 adalah sebagai berikut:

1. Proses modeling harus dilakukan pada software Ecotect meskipun perintah import yang mampu membuka file dari files AutoCAD ataupun REVIT. Hal

tersebut dikarenakan perbedaan konsep dalam menerjemahkan model oleh program Ecotect

2. Ecotect hanya mampu memproses model 3d yang bersifat *surface*, dan berlaku satu lembar untuk tiap permukaan dengan ketebalam yang bersifat kalkulasi, bukan secara visual.
3. *Proses running* sesuai dengan kompleksitas *input* elemen dan material sehingga banyak data yang dikalkulasi semakin lama waktu yang dibutuhkan untuk perlindungan.
4. Ecotect v5.5 merupakan program analisa kondisi bangunan yang multifungsi (*dayligh*, termal, akustik dan pembiayaan energi), maka dalam pemasukan data perlu penelitian yang tinggi, agar tidak terjadi kesalahan dalam memasukkan (*input*) data sebab menu *optian* yang ditawarkan sangat beragam.

3.7.4 Verifikasi Ecotect v5.5

Program Ecotect telah digunakan pada penelitian:

1. *Simulated Thermal Performance of a Contemporary Design Compared with Traditional Houses in Climate Regions of Thailand* oleh Kevin McCarney, Paruj Antarikanada dan Elenea Douvlou dari University of Portsmouth, Porland Building.
2. *Thermal Performance of Toplighting System in Hot and Humid Climate: Thailand* oleh S.Harntaweewongsa, L.O.Beltran, Ph.D dari Texas A&M University
3. *Effect of Building Proportion on the Thermal Performance in the Mediterranean Climate of the Gaza Strip* oleh Muhaiscn, A.S dan Abed, H.M dari The Islamic University of Gaza, Palestine
4. *Computer Modelling Approach to Assesing Bio-Climate Performance of Building: A Comparative Study of Three Houses* oleh Nor Shahrene Mohd.Ibrahim dari Public Work Departemen, Malaysia

3.8 Analisa Hasil dan Optimasi

Analisa data dilakukan bertujuan untuk menjawab permasalahan dan mencapai tujuan penelitian yaitu untuk mengevaluasi kinerja termal fasad kantor pemerintahan di Surabaya terhadap standar konservasi energi, mengevaluasi dan menganalisa pengaruh geometri, material, WWR, dan peneduh (*shading devices*) terhadap energi pendinginan dan untuk menemukan kombinasi geometri, material, WWR, dan *shading devices* yang memiliki kinerja energi pendinginan paling efisien

Berdasarkan penjelasan sebelumnya, hasil dan pembahasan pada penelitian ini menggunakan teknik analisa data berupa analisis deskripsi, komperensi dan analisa korelasi. Analisis komperatif, yaitu teknik analisa dengan cara membuat perbandingan antara variabel bebas pada model dasar dengan *treatment* (Bungin, 2011). Tujuan analisis komperatif adalah untk memperoleh gambaran tentang sebuah kecenderungan, dalam hal ini kecenderungan energi pendinginan jika merubah geometri, material, WWR, dan peneduh (*shading devices*). Pengolahan data dilakukan dengan tabulasi dengan menggunakan tabel, diagram batang, diagram garis dan scatter diagram. Komparasi digunakan untuk membandingkan model dasar dengan kelompok eksperimen. Data yang bandingkan antara lain W/L, ketinggian bangunan terhadap aliran panas dan beban pendinginan. Evaluasi efisiensi energi pendinginan berdasarkan pada daya listrik yang digunakan untuk sistem pendinginan dan OTTV bangunan.

Analisa korelasi, yaitu teknik analisa yang digunakan untuk melihat hubungan variabel bebas dan variabel terikat. Hubungan sQ_c , sQ_s dan sQ_g terhadap beban pendinginan merupakan hubungan yang dicari dalam penelitian ini. Analisa statistis deskriptif digunakan untuk mengetahui kinerja energi pendinginan pada masing-masing model yaitu dengan mendeskripsikan konsumsi energi pendinginan, beban pendinginan dan *heat gain* pada masing-masing model. Evaluasi didasarkan pada evaluasi efisiensi energi pendinginan yang ditentukan oleh GBCI.

Analisa pengaruh geometri terhadap energi pendinginan dilakukan dengan tabulasi dan membandingkan hasil simulasi pada setiap model, kemudian mengevaluasi hubungan antara rasio W/L dan ketinggian bangunan terhadap

energi pendinginan dan beban pendinginan. Untuk menganalisa pengaruh WWR terhadap energi pendinginan juga dilakukan dengan tabulasi dan membandingkan hasil simulasi pada setiap model, kemudian mengevaluasi hubungan WWR terhadap aliran panas, beban pendinginan dan energi pendinginan.

Analisa pengaruh peneduh (*shading devices*) terhadap energi pendinginan dilakukan dengan tabulasi dengan membandingkan hasil simulasi pada tiap model, kemudian mengevaluasi hubungan antara peneduh (*shading devices*) dengan aliran panas, energi pendinginan, dan beban pendinginan.

Untuk analisa pengaruh material terhadap energi pendinginan, analisa pertama dilakukan dengan tabulasi dan membandingkan hasil simulasi pada geometri tertentu jika menggunakan material dinding yang berbeda, sedangkan material kacanya sama, kemudian mengevaluasi hubungan antara *thermal properties* material dinding terhadap aliran panas, beban pendinginan dan energi pendinginan. Analisa yang kedua juga dilakukan dengan tabulasi dan membandingkan hasil simulasi pada model tertentu, dengan material kaca yang berbedab tetapi material dindingnya sama, kemudian mengevaluasi hubungan antara *thermal properties* material kaca terhadap aliran panas, beban pendinginan dan energi pendinginan

Terakhir yang harus dilakukan untuk optimasi adalah mengevaluasi beberapa variasi model bangunan yang memiliki material, WWR, dan peneduh (*shading devices*) yang berbeda pada geometri tertentu sehingga didapat komposisi fasad yang efisien terhadap energi pendinginan.

--- halaman ini sengaja dikosongkan---

BAB 4

HASIL PENGAMATAN LAPANGAN DAN ANALISA

Pengamatan lapangan merupakan langkah selanjutnya setelah melakukan kajian pustaka. Pengamatan lapangan yang dilakukan dalam penelitian ini adalah identifikasi material yang digunakan, identifikasi elemen-elemen penyusun fasad dan juga pengukuran temperatur udara guna verifikasi data iklim untuk kebutuhan simulasi. Kedudukan pengamatan lapangan dalam penelitian ini adalah sebagai bahan pertimbangan membuat model dasar untuk keperluan simulasi, verifikasi terhadap program yang akan digunakan yaitu *ecotect*, dan pengamatan kinerja termal bangunan.

4.1 Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian yang dipilih adalah Kota Surabaya, yang merupakan kota terbesar kedua di Indonesia setelah Jakarta. Menurut Badan Pusat Statistik Kota Surabaya (2014), Kota Surabaya terletak pada $7^{\circ}21'LS - 7^{\circ}21'LS$ dan $112^{\circ}36'BT - 112^{\circ}54'BT$. Wilayahnya merupakan daratan rendah dengan ketinggian antara 3 - 6 m di atas permukaan air laut, kecuali di sebelah selatan ketinggian 25 – 50 meter diatas permukaan air laut.



Gambar 4.1 Peta Kota Surabaya
(www.ciptakarya.pu.go.id)

Temperatur Kota Surabaya cukup panas, yaitu rata-rata antara 22,60 – 34,10, dengan tekanan udara rata-rata antara 1005,2 – 1013,9 milibar dan kelembaban antara 42% - 97%. Kecepatan angin rata-rata mencapai 12 – 23 km/jam, curah hujan rata-rata antara 120 – 190 mm. Batas-batas wilayah Kota Surabaya adalah sebagai berikut:

- Batas Utara : Selat Madura
- Batas Selatan : Kabupaten Sidoarjo
- Batas Timur : Selatan Madura
- Batas Barat : Kabupten Gresik

4.2 Deskripsi Umum Objek Penelitian

Memuat tentang gambaran umum keempat bangunan kantor pemerintahan sebagai objek pengamatan untuk dapat memperjelas pandangan pada masing-masing kantor pemerintahan.

4.2.1 Kantor Walikota

Kantor Walikota Surabaya ini berada tepat di jantung kota Surabaya. Bangunan dua lantai yang berada di Jl. Taman Surya No.1 ini, telah ditempati sejak tahun 1927 dan masih digunakan hingga sekarang. Kantor ini berada dikompleks perkantoran dimana disekitar area bangunan terdapat area lapang yang ditumbuhi pepohonan dengan kepadatan sedang. Orientasi utama bangunan berada diantara Barat Daya dan Selatan. Namun karena bangunan lebih condong ke arah Selatan dari pada ke arah Barat Daya, maka bisa dikatakan bangunan ini berorientasi Selatan – Utara.



Gambar 4.2 Siteplan Kantor Walikota
(www.wikimapia.org)

a. Fisik Bangunan

Berdasarkan sirkulasi horizontalnya, Kantor Walikota termasuk dalam bangunan *single loaded corridor*, dimana terdapat teras/koridor di luar ruangan yang menghubungkan antara ruang yang satu dengan ruang yang lainnya. Koridor yang terdapat di kantor walikota bersifat terbuka, sehingga untuk pertimbangan keamanan maka sisi terluar koridor diberi dinding pembatas atau *railing* yang memiliki ketinggian 1,2m. Keberadaan koridor tidak hanya berada di lantai bawah saja, tetapi juga di lantai atas. tidak hanya berfungsi sebagai sirkulasi horizontal tetapi juga sebagai *shading devices* untuk lantai di bawahnya (Lihat Gambar 4.3)

Tabel 4.1 Spesifikasi Material dan Elemen Kantor Walikota Surabaya

Orientasi	Foto Bangunan	Keterangan
Timur		Dinding : batu bata + plaster Finishing : cat abu-abu (dominan) dan putih tulang Jendela : <i>tinted glass</i> . Atap : Genteng merah
Selatan		Dinding : bata plaster Finishing : cat abu-abu dan putih tulang (dominan) Jendela : <i>tinted glass</i> . Atap : Genteng merah
Barat		Dinding : bata plaster Finishing : cat abu-abu (dominan) dan putih tulang Jendela : <i>tinted glass</i> . Atap : Genteng merah
Utara		Dinding : bata plaster Finishing : cat abu-abu (dominan) dan putih tulang Jendela : <i>tinted glass</i> . Atap : Geteng merah



Gambar 4.3 Kondisi Koridor (bawah) dan Ruang Dalam Kantor Walikota (atas)

b. Spesifikasi Bukaan Bangunan

Kantor Walikota Surabaya memiliki beberapa jenis bukaan yang digunakan untuk memenuhi pencahayaan dan penghawaan alami di dalam bangunan. Komposisi bukaan terhadap luas dinding penampang berbeda-beda sesuai dengan fungsi ruang masing-masing bangunan. Berdasarkan dari pengamatan langsung dilapangan yang dilakukan oleh peneliti, bukaan tersebut memiliki deksripsi sebagai berikut:

- Pintu
 - Dilihat dari luar bangunan, terdapat tiga macam pintu pada fasad Kantor Walikota yaitu pintu kembar kayu, pintu kembar kaca dan pintu utama ruangan yang memiliki bentuk dan dimensi yang berbeda.
 - Pintu kembar kayu memiliki dimensi 120cm x 220cm. Umumnya pintu ini berada di sisi depan dan belakang bangunan yang berbatasan langsung dengan koridor/teras yang bersifat publik. Pintu dengan kusen jendela ini memiliki daun pintu berlapis dua, dimana pada lapis terluar terbuat dari material kayu masif, dan pada lapisan kedua didominasi oleh kaca. Desain pintu ini *united*

dengan desain jendela yang berada pada sisi kiri dan kanan pintu. Pintu ini dikhususkan untuk ruangan-ruangan yang bersifat privat.



Gambar 4.4 Detail Pintu Kembar Kayu

- Pintu kembar kaca memiliki dimensi yang sama dengan pintu kembar kayu, yaitu 120cm x 220cm (lihat Gambar 4.9). Pintu ini diletakkan pada *lobby* lantai dua yang lebih bersifat semi publik. Keberadaan pintu kaca ini mampu memberikan pencahayaan alami pada ruangan tersebut karena aliran cahaya yang masuk melalui jendela kaca dapat diteruskan melalui pintu kaca.



Gambar 4.5 Detail Pintu Kembar Kaca

- Pintu utama memiliki dimensi 200cm x 220cm. Pintu ini merupakan akses utama keluar-masuk ke dalam bangunan. Pintu utama ini berupa material

transparan (kaca). Di samping kiri dan kanan kaca terdapat kaca besar yang memiliki dimensi 180cm x 220cm. Luasnya permukaan kaca pada sisi depan ini memberikan keuntungan pada ruang yang berada di depannya (*lobby*) karena mampu meneruskan cahaya sehingga ruang lobby mendapatkan pencahayaan alami.



Gambar 4.6 Pintu Utama Kantor Walikota

- Jendela
 - Jendela pada bangunan sebagian besar menghadap ke Utara dan Selatan dimana material kayu digunakan untuk daun jendela dan juga kusen, sedangkan untuk material kaca menggunakan kaca warna atau biasa disebut dengan *tinted glass*.
 - Jendela besar dengan dimensi 150 cm x 250 cm ini memiliki jendela kecil dengan dimensi masing 40 cm x 50 cm. Jendela ini terletak di sisi samping kiri dan kanan lantai satu dan dua bangunan. Desain jendelapun berbeda-beda sehingga tidak terlihat monoton seperti jendela kaca mati (*fix window*), kombinasi *casement window* dan *fix window* dan kombinasi *horizontal pivot window* dan *fix window*. Jendela yang berukuran besar ini selain berfungsi sebagai sumber pencahayaan alami area koridor juga berfungsi agar aliran cahaya bisa diteruskan kedalam bangunan melalui jendela yang lebih kecil.



Gambar 4.7 Detail Jendela Besar pada sisi Kiri dan Kanan Kantor Walikota

- Jendela kecil jenis *casement window* dengan dimensi 50 cm x 120 cm, berjejer di sisi depan dan belakang kantor baik dilantai satu maupun di lantai dua. Jendela ayun atau *casement window* ini memiliki daun jendela yang salah satu sisinya terkain dan dioperasikan dengan cara diayun ke luar. Umumnya ruang yang menggunakan jendela ini adalah ruang yang bersifat privat. Desain jendelapun berbeda dengan jendela lainnya yang berada di ruang bersifat publik. Pada ruang-ruang bersifat privat ini, jendela terdiri dari dua lapis, dimana pada lapisan luar material jendela terbuat dari material kayu yang masif, sedangkan pada lapisan kedua jendela didominasi oleh kaca jenis *tinted glass*. Kedua lapis jendela ini dapat dibuka-tutup sesuai dengan kebutuhan. Ambang bawah jendela sekitar 80 cm dari permukaan lantai bangunan.



Gambar 4.8 Detail Jendela Ayun (*Casement Window*) pada Kantor Walikota

- Jendela kecil jenis *fix window* dengan dimensi masing- masing 50 cm x 120 cm ini terletak disetiap sisi bangunan (Gambar 4.5). Jendela ini disebut juga dengan jendela mati karena tidak mempunyai engsel jendela. Jendela ini tidak bisa dibuka tutup dan hanya mengalirkan cahaya matahari untuk menerangi ruangan, bukan udara yang masuk ke ruangan. Pada sisi depan dan belakang, jendela tipe ini diletakkan langsung diatas *casement window* (lihat Gambar 4.4), dan juga diatas pintu (lihat Gambar 4.5), sedangkan pada sisi samping kiri dan kanan bangunan jendela tersebut diletakkan 220 cm dari permukaan lantai bangunan.



Gambar 4.9 Detail Jendela Mati (*Fix Window*) Kecil pada Kantor Walikota

- Jendela besar dengan dimensi 80 cm x 250 cm, terletak di sisi depan dan belakang bangunan pada lantai dua. Jendela-jendela berukuran besar ini umumnya diletakkan pada ruang yang bersifat publik atau santai dan ruangan yang tidak menggunakan AC. Pemilihan jendela yang besarnya ini bukan tanpa alasan, selain agar pengguna bisa menikmati view ke taman, jendela ini mampu meneruskan cahaya matahari sampai keruang dalam (*lobby*) yang bersifat semi publik (Lihat Gambar 4.6) sehingga *lobby* yang berada di depan ruang kerja Walikota dan Wakil Walikota mendapatkan pencahayaan alami.



Gambar 4.10 Detail Jendela Mati (*Fix Window*) Besar pada Kantor Walikota

4.2.2 Kantor DPRD Kota Surabaya

Kantor DPRD Kota Surabaya merupakan bangunan tiga lantai yang terletak di Jl. Yos Sudarso No.18-22. Lokasi bangunan ini sangat dekat dari Kantor Walikota Surabaya. Orientasi bangunannya sama persis dengan Kantor Walikota yakni 16° dari Lintang Selatan. Pada sisi kiri bangunan banyak terdapat pepohonan dengan kepadatan sedang cenderung padat, dan juga terdapat aliran Sungai Kalimas.



Gambar 4.11 Siteplan Kantor DPRD Kota Surabaya
(www.wikimapia.org)

a. Fisik Bangunan

Berdasarkan sirkulasi horizontalnya, Kantor DPRD termasuk dalam bangunan *double loaded corridor*, dimana koridor ini biasanya terletak di tengah ruangan yang berfungsi untuk mengakses dua sisi ruangan. Fasad bangunan kantor DPRD berceruk. Cerukan ini selain berfungsi untuk estetika bangunan, ternyata juga berfungsi menciptakan pembayangan pada sisi dinding lainnya, serta mematahkan penyerapan panas akibat radiasi matahari yang mengenai dinding bangunan. Pada sisi luar bangunan nampak dinding ruang luar menggunakan finishing cat putih tulang, sedangkan kacanya menggunakan kaca reflektif.

Tabel 4.2 Spesifikasi Material dan Elemen Kantor DPRD Kota Surabaya

Orientasi	Foto Bangunan	Keterangan
Timur		Dinding : bata plaster Finishing : cat putih tulang Jendela : <i>reflecting glass</i> Atap : Genteng merah
Selatan		Dinding : bata plaster Finishing : cat putih tulang Jendela : <i>reflecting glass</i> Atap : Genteng merah

Orientasi	Foto Bangunan	Keterangan
Barat		Dinding : bata plaster Finishing : cat putih tulang Jendela : <i>reflecting glass</i> Atap : Genteng merah
Utara		Dinding : bata plaster Finishing : cat putih tulang Jendela : <i>reflecting glass</i> Atap : Geteng merah

b. Spesifikasi Bukaan Bangunan

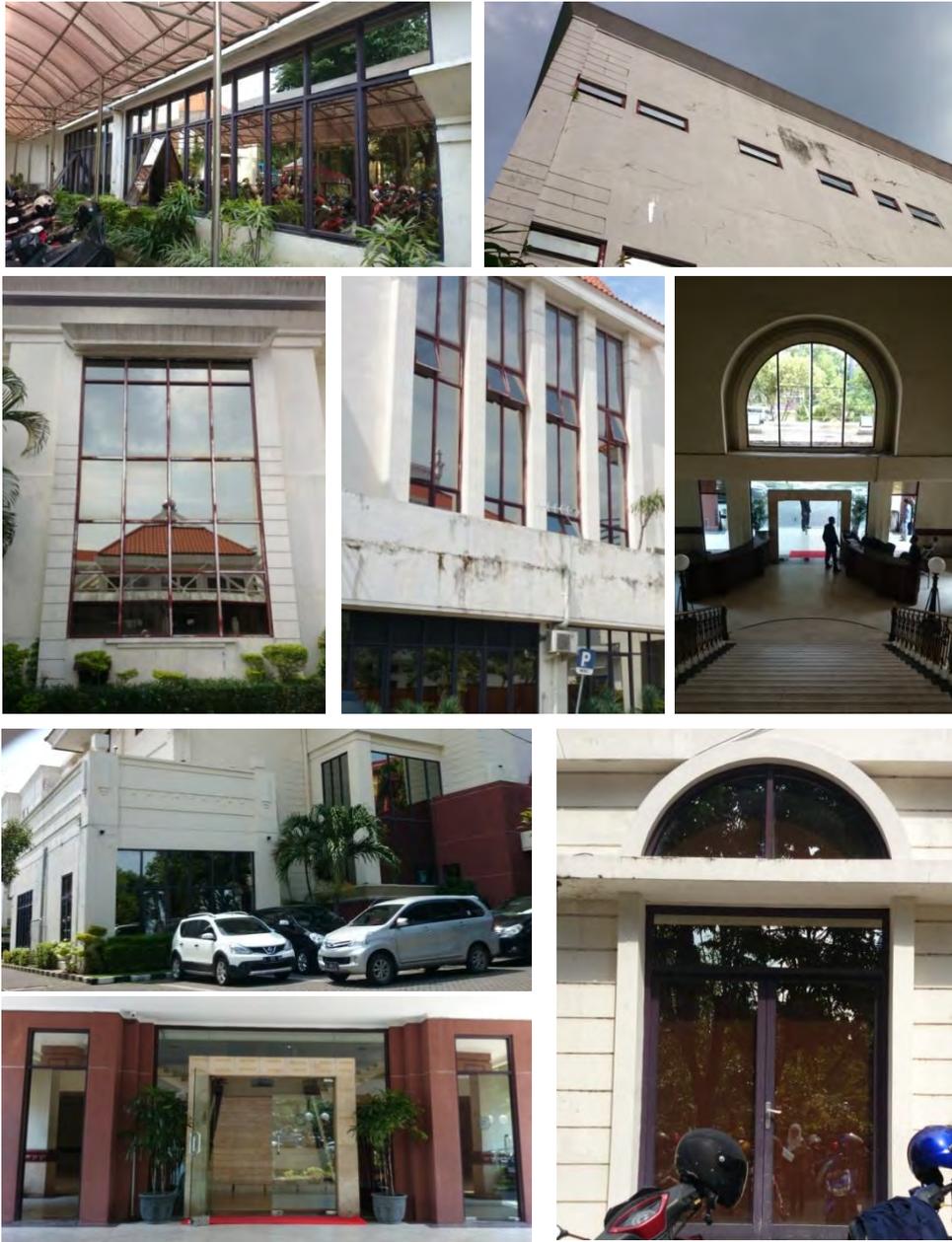
Kantor DPRD Kota Surabaya ini memiliki beberapa jenis bukaan yang digunakan untuk memenuhi pencahayaan dan penghawaan alami di dalam bangunan. Komposisi bukaan terhadap luasan dinding penampang berbeda-beda. Berdasarkan dari pengamatan langsung dilapangan yang dilakukan oleh peneliti, jenis-jenis bukaan yang dimaksud seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.13.



Gambar 4.12 Kondisi Ruang Dalam Kantor DPRD

Berdasarkan Gambar 4.13 terlihat terdapat banyak variasi dimensi bukaan pada fasad kantor DPRD dimana umumnya bukaan jendela menggunakan material kaca reflektif. Kaca ini selain mampu memantulkan cahaya dan mereduksi sifat tembus pandang dari sisi luar, sehingga sering pula disebut dengan kaca *one way*. Pada produk Asahimas kaca ini disebut dengan istilah kaca stopsol. Kaca jenis ini hampir digunakan pada seluruh bukaan jendela, kecuali pada pintu utama. Pada pintu utama, jenis kaca yang digunakan adalah kaca warna (*tinted glass*) dimana

daya pantulnya lebih rendah dari kaca reflektif sehingga masih memungkinkan pemandangan dari luar ke dalam bangunan ataupun sebaliknya. Pintu utama terhubung langsung dengan ruang *lobby* yang bersifat publik sehingga pemakaian *tinted glass* pada pintu utama sangat tepat.

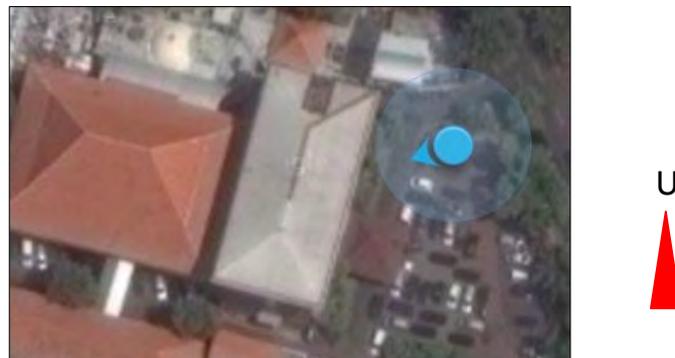


Gambar 4.13 Jenis- Jenis Bukaan pada Fasad Kantor DPRD Kota Surabaya

4.2.3 Kantor Dinas Pendidikan Provinsi Jawa Timur

Kantor Dinas Pendidikan Provinsi Jawa Timur berada di Jl. Genteng Kali No.3. Sama halnya dengan kantor DPRD Kota Surabaya, Kantor DPRD termasuk dalam bangunan *double loaded corridor*, dimana koridor terletak di tengah ruangan yang berfungsi untuk mengakses dua sisi ruangan. Bangunan yang berbentuk kotak memanjang dari Barat Daya ke Timur Laut ini, tampak mencolok dari bangunan disekitarnya dengan adanya *shading devices* pada fasad bangunan.

Shading devices pada bangunan berlantai empat ini, selain berfungsi menambah estetika suatu bangunan, juga berfungsi untuk memodifikasi iklim luar yang tidak nyaman seperti mereduksi radiasi matahari dan menyaring sinar matahari yang tidak nyaman (silau). Dari Gambar 4.14 dan 4.15 diketahui orientasi bangunan dan bukaan (jendela) terbanyak pada bangunan adalah Tenggara – Barat Laut dan pada bagian depan bangunan terdapat area lapang yang difungsikan sebagai area parkir. Minimnya penghijauan disekitar bangunan akan berpengaruh terhadap kondisi termal di luar dan dalam bangunan.



Gambar 4.14 Siteplan Kantor Dinas Pendidikan Provinsi Jawa Timur (www.wikimapia.org)

Tabel 4.3 Spesifikasi Material dan Elemen Kantor Dinas Pendidikan

Orientasi	Foto Bangunan	Keterangan
Tenggara		Dinding : bata plaster Finishing : cat putih tulang Jendela : kaca gelap grey 8 mm Atap : Genteng merah

Orientasi	Foto Bangunan	Keterangan
Barat Laut		Dinding : bata plaster Finishing : cat putih tulang Jendela : kaca gelap grey 8 mm Atap : Genteng merah
Timur Laut		Dinding : bata plaster Finishing : ACP coklat Ventilasi : Jalusi aluminium Atap : Genteng merah Ruang yang berbatasan dengan ruang luar pada sisi ini difungsikan sebagai zona servis dan sirkulasi vertikal
Barat Daya		Dinding : Bata 220mm + plaster Finishing : ACP coklat Ventilasi : Jalusi aluminium Atap : Genteng merah Ruang yang berbatasan dengan ruang luar pada sisi ini difungsikan sebagai zona servis



Gambar 4.15 *Shading devices* yang terdapat pada dinding bangunan

4.2.4 Gedung Keuangan Negara Republik Indonesia

Gedung Keuangan Negara merupakan bangunan berlantai enam yang berada di Jl. Indrapura No.5. Bangunan ini berada di kompleks perkantoran dimana disekitar bangunan terdapat area lapang yang minim penghijauan. Orientasi utama bangunan dan bukaan (jendela) terbanyak pada bangunan adalah Timur Laut – Barat Daya. Dinding bangunan dari batu bata ditambahi *cladding* untuk menambah estetika bangunan. Selain alasan tersebut, penambahan *cladding* ini juga berfungsi untuk mereduksi panas dan cahaya matahari yang berlebih sehingga tetap memperoleh pencahayaan alami guna pencahayaan di dalam ruang.



Gambar 4.16 Siteplan Gedung Keuangan Republik Indonesia
(www.wikimapia.org)



Gambar 4.17 Kondisi Ruang Dalam Gedung Keuangan

Tabel 4.4 Spesifikasi Material Gedung Keuangan Negara Republik Indonesia

Orientasi	Foto Bangunan	Material
Tenggara		Dinding : bata + <i>cladding</i> finishing : <i>ACP</i> abu-abu muda Jendela : tempered glass 8 mm Atap : Beton
Barat Daya		Dinding : bata + <i>cladding</i> finishing : <i>ACP</i> abu-abu muda Jendela : tempered glass 8 mm Atap : Beton
Barat Laut		Dinding : bata + <i>cladding</i> Finishing : <i>ACP</i> abu-abu muda Jendela : tempered glass 8 mm Atap : Beton
Timur Laut		Dinding : bata + <i>cladding</i> Finishing : <i>ACP</i> abu-abu muda Jendela : tempered glass 8 mm Atap : Beton

4.3 Kinerja Energi Pendinginan pada Kantor Pemerintahan

Pada bab sebelumnya telah dijelaskan bahwa OTTV merupakan salah satu indikator yang dipakai untuk melihat kinerja energi pendinginan sebuah bangunan. Data pengamatan dan pengukuran langsung di lapangan dijadikan masukan untuk menghitung OTTV, kecuali data temperatur ruang dalam. Hal ini dikarenakan keempat bangunan yang diamati menggunakan sistem pengkondisian udara, yakni AC untuk menciptakan kenyamanan ruang dalam, sehingga

temperatur ruang dalam bukan merupakan temperatur ruang sesungguhnya akibat fasad bangunan tetapi merupakan temperatur campuran.

Berdasarkan Persamaan 2.1 terlihat terhadap hubungan linear antara OTTV dan beda temperatur (ΔT), semakin besar beda temperatur maka OTTV akan semakin besar dan begitu pula sebaliknya. Oleh sebab itu, beda temperatur sesungguhnya tidak dapat diketahui, maka untuk kebutuhan perhitungan OTTV, beda temperatur ruang luar dan ruang dalam (ΔT) dikeempat bangunan yang diamati diasumsikan sama yaitu 5°K yang didasarkan SNI 6389 (2011).

4.3.1 Perhitungan OTTV Kantor Walikota Surabaya

Berikut adalah beberapa data hasil pengamatan dan pengukuran lapangan serta beberapa data yang diperlukan untuk menghitung OTTV bangunan guna melihat kinerja termal suatu bangunan:

- Luasan dinding total (A_o)

Luasan dinding yang dimaksud adalah semua permukaan dinding tidak tembus cahaya dan luas permukaan bukaan yang terdapat pada bagian dinding. Luasan dinding total orientasi Timur dan Barat, yakni $110,7 \text{ m}^2$, sedangkan luasan dinding total orientasi Utara dan Selatan juga sama, yakni $858,6 \text{ m}^2$

- Luas dinding tembus cahaya

Dinding tembus cahaya yang dimaksud adalah bukaan berupa pintu, jendela dan ventilasi. Pada Kantor Walikota, desain pintu dan jendela terdiri dari dua lapis yakni pintu/jendela kayu pada sisi terluar dan pintu/jendela kaca pada sisi dalam. Sehingga untuk kebutuhan perhitungan OTTV, peneliti mengasumsikan pintu/jendela terluar terbuka atau bahkan dianggap tidak ada, sehingga hanya pintu/jendela kaca saja (satu lapis). Luasan tiap diorientasinya pun berbeda-beda. Luasan bukaan pada fasad dinding orientasi Timur dan Barat $30,8 \text{ m}^2$, orientasi Utara $334,854 \text{ m}^2$, dan orientasi Selatan $343,44 \text{ m}^2$.

- Luas dinding tak tembus cahaya (dinding *opaque*)

Luasan dinding *opaque* di tiap diorientasinya berbeda-beda. Luasan dinding *opaque* orientasi Timur dan Barat $79,9 \text{ m}^2$, orientasi Selatan $523,75 \text{ m}^2$, dan orientasi Utara $515,2 \text{ m}^2$.

- WWR (*wall windows ratio*)
Adalah perbandingan luasan bukaan dengan luasan seluru dinding luar pada orientasi yang ditentukan. Nilai WWR pada dinding orientasi Timur adalah 0,28 (28%), dinding orientasi Selatan 0,39 (39%), dinding orientasi Barat 0,42 (42%), dan dinding orientasi Utara 0,40 (40%)
- Beda temperatur ekuivalen antara temperatur luar dan dalam (T_{Deq})
Bata merah dengan plaster memiliki densitas 1760 kg/m^3 dengan ketebalan 0.22 m, maka berat per meter persegi 387 kg/m^2 . Berdasarkan data dari Departemen Pekerjaan Umum konstruksi dinding ini dikategorikan dinding berat, beda temperatur ekuivalen untuk dinding 387 kg/m^2 (lebih dari 195) adalah 10 (SNI 6389, 2011)
- Beda temperatur antara kondisi perencana luar dan dalam (ΔT) di ambil 5°K (SNI 6389, 2011)
- Transmittansi dinding tak tembus cahaya (U_w)
Dinding pada Kantor Walikota menggunakan material batu bata plaster dengan ketebalan sekitar 220mm. Menurut Szokolay (2008) dinding bata plaster 220 mm memiliki nilai transmittansi sekitar $2,14 \text{ W/m}^2.\text{K}$
- Absorbtansi radiasi matahari (α)
Nilai absorbtansi radiasi matahari berdasarkan Departemen Pekerjaan Umum untuk bata merah adalah 0,89 dan untuk cat permukaan dinding luar warna abu-abu 0,88 dan cat putih 0,30. Nilai absorpsi dinding merupakan gabungan antara absorpsi bahan dinding dan absorpsi cat $\alpha = (\alpha_w + \alpha_p)/2$
- Nilai transmittansi dinding tembus cahaya/ kaca (U_f)
Bukaan pada Kantor Walikota menggunakan material *tinted glass* dimana memiliki $U_f = 5,8 \text{ W/m}^2.\text{K}$ (Asahimas, 2017)
- Koefisien peneduh / *Shading Coefficient* (SC)
Menurut Asahimas (2017), kaca warna (*tinted glass*) memiliki $SC = 0,58$. Bila diasumsikan peneduh Selatan dan Utara memiliki $SC = 0,3$ sedangkan Timur dan Barat memiliki $SC = 0,45$, maka SC total dinding Selatan dan Utara adalah $0,3 \times 0,58 = 0,17$ dan SC total dinding Timur dan Barat adalah $0,45 \times 0,58 = 0,26$

- Faktor radiasi matahari (SF)

Berdasarkan data dari Departemen Pekerjaan Umum untuk faktor radiasi matahari radiasi matahari untuk orientasi Utara 130W/m², Selatan 97 W/m², Barat 243 W/m², dan Timur 112 W/m².

Berdasarkan Persamaan 2.1 dan uraian di atas, maka OTTV setiap sisi bangunan dapat diketahui dan selanjutnya dapat dimatrikskan sebagai berikut:

Tabel 4.5. Perhitungan OTTV Kantor Walikota per Orientasi

Orientasi	Ao	WWR	Tdek	SC	SF	Uw	Uf	ΔT	α	OTTVi
Utara	858,6	0,40	10	0,26	130	0,53	5,8	5	0,57	32,76
Selatan	858,6	0,39	10	0,26	97	0,53	5,8	5	0,57	28,91
Timur	110,7	0,28	10	0,17	112	0,53	5,8	5	0,57	22,56
Barat	110,7	0,28	10	0,17	243	0,53	5,8	5	0,57	28,76

Berdasarkan Persamaan 2.2 dan Tabel 4.5, diketahui OTTV bangunan Kantor Walikota adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 \text{OTTV} &= \frac{(858,6 \times 32,76) + (858,6 \times 28,91) + (110,7 \times 22,56) + (110,7 \times 28,76)}{858,6 + 858,6 + 110,7 + 110,7} \\
 &= 30,24 \text{ Watt/m}^2
 \end{aligned}$$

Jika dilihat perolehan OTTV pada tiap orientasi (Tabel 4.5), dinding orientasi Timur, Barat, Selatan dan Utara telah memenuhi standar $\text{OTTV} \leq 35 \text{ Watt/m}^2$. Adanya perbedaan besar OTTV yang dihasilkan pada dinding Utara dan Selatan, meskipun memiliki luas penampang dan koefisien peneduh yang sama serta luasan jendela yang hampir sama besar, disebabkan oleh faktor radiasi matahari pada orientasi Utara jauh lebih besar 34% dari orientasi Selatan sehingga mengakibatkan OTTV pada orientasi Utara 34% lebih besar dari OTTV pada orientasi Selatan. Kasus yang sama juga terjadi pada OTTV orientasi Timur dan Barat yang memiliki luas penampang dan koefisien peneduh yang sama, serta luasan jendela yang hampir sama besar, tetapi karena faktor radiasi matahari pada orientasi Barat Daya jauh 118% lebih besar dari orientasi Barat Laut menyebabkan OTTV pada orientasi Barat daya lebih besar 16% dari OTTV pada orientasi Timur Laut.

Pada Tabel 4.5 di atas juga terlihat, radiasi matahari bukanlah satu-satunya yang mempengaruhi OTTV. Seperti terlihat pada dinding Selatan dan Barat dengan OTTV yang diperoleh hampir sama, dengan selisih $0,16 \text{ Watt/m}^2$, meskipun radiasi matahari pada orientasi Barat lebih besar 2,5 kali atau sekitar 150% dari orientasi selatan, tidak berarti OTTV sisi Barat menjadi lebih besar. Kondisi WWR sisi Barat yang lebih kecil 1,5 kali atau sekitar 58% lebih kecil dari sisi Selatan dan koefisien peneduhunya sisi Barat yang lebih kecil dari sisi sisi Selatan, mengakibatkan OTTV sisi Barat tidak lebih besar dari OTTV sisi Selatan.

4.3.2 Perhitungan OTTV Kantor DPRD Kota Surabaya

Kantor DPRD Kota Surabaya mewakili bangunan tanpa pelindung dengan rincian sebagai berikut:

- Luasan dinding total (Ao)
Luasan dinding yang dimaksud adalah semua permukaan dinding tidak tembus cahaya dan luas permukaan bukaan yang terdapat pada bagian dinding. Luasan dinding total orientasi Timur dan Barat sama, yakni 619 m^2 , sedangkan luasan dinding total orientasi Utara dan Selatan juga sama, yakni 928 m^2
- Luas dinding tembus cahaya
Luasan dinding *opaque* di tiap diorientasinya berbeda-beda. Luasan dinding *opaque* orientasi Timur $92,85 \text{ m}^2$, orientasi Selatan $204,16 \text{ m}^2$, orientasi Barat $32,9 \text{ m}^2$, dan orientasi Utara $167,04 \text{ m}^2$.
- Luas dinding tak tembus cahaya (dinding *opaque*)
Dinding tembus cahaya yang dimaksud adalah bukaan berupa pintu, jendela dan ventilasi. Luasan tiap diorientasinya pun berbeda-beda. Luasan bukaan pada fasad dinding orientasi Timur $526,2 \text{ m}^2$, orientasi Selatan $723,8 \text{ m}^2$, orientasi Barat $625,1 \text{ m}^2$, dan orientasi Utara 761 m^2 .
- WWR (*wall windows ratio*)
WWR pada dinding orientasi Timur adalah 15%, Selatan 22%, Barat 5% dan Utara 18%
- Beda temperatur ekuivalen antara temperatur luar dan dalam (*TDeq*)

Bata merah dengan plaster memiliki densitas 1760 kg/m^3 dengan ketebalan $0,15 \text{ m}$, maka berat per meter persegi 264 kg/m^2 . Berdasarkan data dari Departemen Pekerjaan Umum konstruksi dinding ini dikategorikan dinding berat, beda temperatur ekuivalen untuk dinding 264 kg/m^2 (lebi dari 195) adalah 10 (SNI 6389, 2011)

- Beda temperatur antara kondisi perencana luar dan dalam (ΔT) diambil 5°K (SNI 6389, 2011)

- Transmittansi dinding tak tembus cahaya (U_w)

Dinding Kantor DPRD menggunakan material batu bata plaster. Menurut Szokolay (2008) dinding bata plaster memiliki nilai transmittansi sekitar $3,02 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$

- Absorbtansi radiasi matahari (α)

Nilai absorbtansi radiasi matahari berdasarkan Departemen Pekerjaan Umum untuk bata merah adalah $0,89$ dan untuk cat permukaan dinding luar warna putih $0,30$. Nilai absorpsi dinding merupakan gabungan antara absorpsi bahan dinding dan absorpsi cat $\alpha = (\alpha_w + \alpha_p)/2$

- Nilai transmittansi dinding tembus cahaya (U_f)

Bukaan menggunakan material *kaca reflektif* atau biasa disebut dengan kaca stopsol dimana memiliki $U_f = 5,7 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ (Asahimas, 2017)

- Koefisien peneduh (SC)

Desain bangunan ini sangat minim peneduh. Penggunaan peneduh Nampak jelas hanya pada sisi depan bangunan yaitu area *drop off*. Oleh karena nilai SC hanya dipengaruhi oleh koefisien peneduh kaca. Material kaca yang digunakan adalah kaca stopsol dengan $SC = 0,53$ (Asahimas, 2017).

- Faktor radiasi matahari (SF)

Berdasarkan data dari Departemen Pekerjaan Umum untuk faktor radiasi matahari radiasi matahari untuk orientasi Utara 130 W/m^2 , Selatan 97 W/m^2 , Barat 243 W/m^2 , dan Timur 112 W/m^2 .

Berdasarkan Persamaan 2.1 dan uraian di atas, maka OTTV setiap sisi bangunan dapat diketahui dan selanjutnya dapat dimatrikskan sebagai berikut (lihat Tabel 4.6):

Tabel 4.6. Perhitungan OTTV Kantor DPRD per Orientasi

Orientasi	Ao	WWR	TDek	SC	SF	Uw	Uf	ΔT	α	OTTVi
Timur	619	0,15	10	0,53	97	3,02	5,70	5	0,60	27,39
Selatan	928	0,22	10	0,53	176	3,02	5,70	5	0,60	40,93
Barat	658	0,05	10	0,53	211	3,02	5,70	5	0,60	24,23
Utara	928	0,18	10	0,53	113	3,02	5,70	5	0,60	30,77

Berdasarkan Persamaan 2.2 dan Tabel 4.6, diketahui OTTV bangunan Kantor Walikota adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 \text{OTTV} &= \frac{(619 \times 27,39) + (928 \times 40,93) + (658 \times 24,23) + (928 \times 30,77)}{619 + 928 + 658 + 928} \\
 &= 31,74 \text{ Watt/m}^2
 \end{aligned}$$

Berdasarkan Tabel 4.6 diketahui perhitungan OTTV diseluruh sisi bangunan telah memenuhi standar yakni lebih kecil sama dengan 35 Watt/m², kecuali sisi Selatan. Pada sisi Selatan, perhitungan OTTV lebih besar dibandingkan dengan sisi lainnya dikarenakan radiasi matahari yang cukup besar dan kondisi WWR sisi Selatan lebih besar dibandingkan dengan sisi lainnya, sehingga mengakibatkan radiasi matahari yang masuk kedalam bangunan menjadi lebih besar dibandingkan dinding pada sisi lainnya. Sedangkan perhitungan OTTV terkecil berada pada sisi Barat meskipun nilai radiasi matahari pada orientasi tersebut yang sangat besar. Hal ini dikarenakan meskipun faktor radiasi matahari sisi Barat lebih besar, tetapi karena luas dinding keseluruhan dan WWR pada sisi Barat sangat kecil jika dibandingkan dengan dinding sisi lainnya, maka radiasi matahari yang masuk kedalam bangunan juga sangatlah kecil.

Secara keseluruhan fasad kantor DPRD telah memenuhi standar efisiensi energi dengan OTTV yang dihasilkan dari hasil perhitungan lebih kecil dari standar, 35 Watt/m². Namun, jika dibandingkan dengan penelitian sebelumnya, OTTV pada Kantor DPRD 2% lebih besar daripada OTTV pada Kantor Walikota. Hal ini dikarenakan nilai transmisi panas (U-value) pada dinding bata dengan ketebalan 105mm (Kantor DPRD) lebih besar dari pada bata dengan ketebalan 220mm yang digunakan oleh Kantor Walikota dan meskipun WWR Kantor DPRD lebih kecil dari pada Kantor Walikota, namun material kaca yang digunakan memiliki U-value yang hampir sama.

4.3.3 Perhitungan OTTV Kantor Dinas Pendidikan

a. Perhitungan OTTV

Dinas Pendidikan memiliki desain yang berbeda dari kedua bangunan sebelumnya karena adanya pelindung vertikal-horizontal yang dominan pada fasad bangunan. Berikut adalah spesifikasi data hasil pengamatan dan analisa yang digunakan untuk keperluan perhitungan OTTV:

- Luasan dinding total (A_o)

Luasan dinding yang dimaksud adalah semua permukaan dinding tidak tembus cahaya dan luas permukaan bukaan yang terdapat pada bagian dinding. Luasan dinding total orientasi Barat Daya sama dengan Timur Laut, yakni 233m^2 , sedangkan luasan dinding total orientasi Tenggara sama dengan Barat Laut, yakni 527m^2

- Luas dinding tembus cahaya

Dinding tembus cahaya yang dimaksud adalah bukaan berupa pintu, jendela dan ventilasi. Luasan tiap diorientasinya pun berbeda-beda. Luasan bukaan pada fasad dinding orientasi Tenggara $152,87\text{m}^2$, orientasi Barat Daya $38,81\text{m}^2$, orientasi Barat Laut $142,29\text{m}^2$, dan orientasi Timur Laut $38,47\text{m}^2$.

- Luas dinding tak tembus cahaya (dinding *opaque*)

Luasan dinding *opaque* di tiap diorientasinya berbeda-beda. Luasan dinding *opaque* orientasi Tenggara $374,1\text{m}^2$, orientasi Barat Daya $193,2\text{m}^2$, orientasi Barat Laut $384,7\text{m}^2$, dan orientasi Timur Laut $194,5\text{m}^2$.

- WWR (*wall windows ratio*)

Adalah perbandingan luasan bukaan dengan luasan seluruh dinding luar pada orientasi yang ditentukan. Nilai WWR pada dinding orientasi Tenggara adalah 29%, orientasi Barat Daya 17%, orientasi Barat Laut 27%, dinding orientasi Timur Laut 17%.

- Beda temperatur antara kondisi perencanaan luar dan dalam (ΔT) di ambil 5°K

- Transmittansi dinding tak tembus cahaya (U_w)

Dinding pada Kantor Walikota menggunakan material batu bata plaster dengan ketebalan sekitar 220mm. Menurut Szokolay (2008) dinding bata plaster 220 mm memiliki nilai transmittansi sekitar $2,14\text{W/m}^2\cdot\text{K}$

- Beda temperatur ekuivalen antara temperatur luar dan dalam (T_{Deq})
Bata merah dengan plaster memiliki densitas 1760 kg/m^3 dengan ketebalan 0.22 m , maka berat per meter persegi 387 kg/m^2 . Berdasarkan data dari Departemen Pekerjaan Umum konstruksi dinding ini dikategorikan dinding berat, beda temperatur ekuivalen untuk dinding 387 kg/m^2 (lebih dari 195) adalah 10 (SNI 6389, 2011)
- Absorbtansi radiasi matahari (α)
Nilai absorbtansi radiasi matahari berdasarkan Departemen Pekerjaan Umum untuk bata merah adalah 0,89 dan untuk cat permukaan dinding luar warna coklat tua 0,88 dan cat putih 0,30. Nilai absorpsi dinding merupakan gabungan antara absorpsi bahan dinding dan absorpsi cat $\alpha = (\alpha_w + \alpha_p)/2$ sehingga nilai absorbtansi dinding Utara dan Selatan adalah 0,6, sedangkan dinding Timur dan Barat adalah 0,89
- Nilai transmitansi dinding transparan (U_f)
Bukaan yang terdapat pada bangunan Dinas Pendidikan, menggunakan material *tinted glass* dimana memiliki $U_f = 5,8 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ (Asahimas, 2017)
- Koefisien peneduh (SC)
Menurut Asahimas (2017), kaca warna (*tinted glass*) memiliki $SC = 0,58$. Bila peneduh vertikal-horizontal dinding Selatan dan Utara memiliki $SC = 0,6$ sedangkan dinding Timur dan Barat menggunakan peneduh horizontal yang memiliki $SC = 0,7$, maka SC total dinding Selatan dan Utara adalah $0,6 \times 0,58 = 0,35$ dan SC total dinding Timur dan Barat adalah $0,7 \times 0,58 = 0,41$
- Faktor radiasi matahari (SF)
Berdasarkan data dari Departemen Pekerjaan Umum untuk faktor radiasi matahari radiasi matahari ($SF, \text{ W/m}^2$) untuk orientasi Tenggara 97 W/m^2 , Barat Daya 176 W/m^2 , Barat Laut 211 W/m^2 , dan Timur Laut 113 W/m^2 .

Berdasarkan Persamaan 2.1 dan uraian di atas, maka OTTV setiap sisi bangunan dapat diketahui dan selanjutnya dapat dimatrikskan sebagai berikut (lihat Tabel 4.7):

Tabel 4.7. Perhitungan OTTV Kantor Dinas Pendidikan per Orientasi

Orientasi	Ao	WWR	TDek	SC	SF	Uw	Uf	ΔT	α	OTTVi
Tenggara	527	0,29	10	0,29	97	2,14	5,8	5	0,60	25,68
Barat Daya	233	0,17	10	0,41	176	2,14	5,8	5	0,89	33,01
Barat Laut	527	0,27	10	0,29	211	2,14	5,8	5	0,60	33,72
Timur Laut	233	0,17	10	0,41	113	2,14	5,8	5	0,89	28,61

Berdasarkan Persamaan 2.2 dan Tabel 4.7, diketahui OTTV bangunan Kantor Walikota adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 \text{OTTV} &= \frac{(527 \times 25,68) + (233 \times 33,01) + (527 \times 33,72) + (233 \times 28,61)}{527 + 233 + 527 + 233} \\
 &= 30,04 \text{ Watt/m}^2
 \end{aligned}$$

Dari uraian di atas diketahui OTTV total dan OTTV tiap orientasi telah memenuhi standar konservasi energi yakni lebih kecil dari 35 Watt/m². Dari Tabel 4.7 terlihat meskipun nilai koefisien peneduh (SC) dan absorbtansi radiasi matahari (α) dinding sisi Barat Laut lebih kecil dari pada sisi Tenggara dan Timur Laut, tetapi OTTV terbesar berada pada orientasi Barat Laut. Hal tersebut selain dikarenakan radiasi matahari pada sisi Barat Laut lebih besar pada sisi lainnya, juga karena WWRnya yang cukup besar, sehingga radiasi matahari yang masuk ke dalam bangunan melalui bukaan (jendela) mejadi lebih besar.

Pada kantor Dinas Pendidikan, pengaruh radiasi matahari terhadap perhitungan OTTV sangat jelas terlihat dengan membandingkan OTTV sisi Tenggara dengan Barat Laut. Meskipun WWR pada sisi Tenggara 3% lebih besar dari Barat Laut, tetapi karena radiasi matahari sisi Barat Laut 37% lebih besar dari Tenggara menyebabkan OTTV sisi Barat Laut lebih besar 13,53% dari sisi Tenggara. Hal yang sama juga terjadi pada fasad sisi Barat Daya dan Timur Laut. Faktor radiasi matahari pada sisi Barat Laut lebih besar 1,6 kali atau sekitar 21% dari Timur Laut, mengakibatkan OTTV sisi Barat Laut lebih 7% dari sisi Timur Laut.

4.3.4 Perhitungan OTTV Gedung Keuangan Negara

Gedung Keuangan Negara mewakili bangunan dengan tipologi fasad tebal berongga dengan rincian sebagai berikut:

- Luasan dinding total (A_o)
Luasan dinding yang dimaksud adalah semua permukaan dinding tidak tembus cahaya dan luas permukaan bukaan yang terdapat pada bagian dinding. Luasan dinding total orientasi Barat Daya sama dengan Timur Laut, yakni 448 m^2 , sedangkan luasan dinding total orientasi Tenggara sama dengan Barat Laut, yakni 2103.5 m^2
- Luas dinding tembus cahaya
Dinding tembus cahaya yang dimaksud adalah bukaan berupa pintu, jendela dan ventilasi kaca. Luasan tiap diorientasinyapun berbeda-beda. Luasan bukaan pada fasad dinding orientasi Tenggara 710 m^2 , orientasi Barat Daya $79,6 \text{ m}^2$, orientasi Barat Laut 658 m^2 , dan orientasi Timur Laut $69,4 \text{ m}^2$.
- Luas dinding tak tembus cahaya (dinding *opaque*)
Luasan dinding *opaque* di tiap diorientasinya berbeda-beda. Luasan dinding *opaque* orientasi Tenggara $1393,5 \text{ m}^2$, orientasi Barat Daya $368,4 \text{ m}^2$, orientasi Barat Laut $1445,5 \text{ m}^2$, dan orientasi Timur Laut $378,6 \text{ m}^2$.
- WWR (*Wall Windows Ratio*)
WWR adalah perbandingan luasan bukaan dengan luasan seluruh dinding luar pada orientasi yang ditentukan. WWR pada dinding orientasi Tenggara adalah 34%, dinding orientasi Barat Daya 18%, dinding orientasi Barat Laut 31%, dinding orientasi Timur Laut 15%
- Beda temperatur ekuivalen antara temperatur luar dan dalam (T_{Deq})
Bata merah dengan plaster memiliki densitas 1760 kg/m^3 dengan ketebalan 0.15 m, maka berat per meter persegi 264 kg/m^2 . Berdasarkan data dari Departemen Pekerjaan Umum konstruksi dinding ini dikategorikan dinding berat, beda temperatur ekuivalen untuk dinding 264 kg/m^2 (lebi dari 195) adalah 10 (SNI 6389, 2011)
- Beda temperatur antara kondisi perencanaan luar dan dalam (ΔT) di ambil 5°K
- Transmittansi dinding tak tembus cahaya (U_w)
Dinding Kantor DPRD menggunakan material batu bata plaster. Menurut Szokolay (2008) dinding bata plaster memiliki nilai transmittansi sekitar $3,02 \text{ W/m}^2.\text{K}$

- Absorbtansi radiasi matahari (α)
 Nilai absorbtansi radiasi matahari berdasarkan Depertemen Pekerjaan Umum untuk bata merah adalah 0,89 dan cat putih 0,30. Nilai absorpsi dinding merupakan gabungan antara absorpsi bahan dinding dan absorpsi cat $\alpha = (\alpha_w + \alpha_p)/2$, sehingga nilai absorbtansi radiasi matahari adalah 0,60.
- Nilai transmitansi termal fenetrasi (U_f)
 Bukaannya yang terdapat pada bangunan Dinas Pendidikan, umumnya menggunakan material *tinted glass* dimana memiliki $U_f = 5,8 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ (Asahimas, 2017)
- Koefisien peneduh (SC)
 Bila ada pelindung/peneduh, maka nilai koefisiennya = 0,5, jika terekspose total nilai 1, dan bila terteduhi total nilai 0
- Faktor radiasi matahari (SF)
 Berdasarkan data dari Depertemen Pekerjaan Umum untuk faktor radasi matahari radiasi matahari untuk orientasi Tenggara 97 W/m^2 , Barat Daya 176 W/m^2 , Barat Laut 211 dan Timur Laut 113 W/m^2

Tabel 4.8. Perhitungan OTTV Gedung Keuangan Negara

Orientasi	Ao	WWR	TDek	SC	SF	Uw	Uf	ΔT	α	OTTVi
Tenggara	2103	0,39	10	0,26	97	3,02	5,80	5	0,60	32,20
Barat Daya	448	0,18	10	0,00	176	3,02	5,80	5	0,60	20,08
Barat Laut	2103	0,36	10	0,26	211	3,02	5,80	5	0,60	41,79
Timur Laut	448	0,15	10	0,00	113	3,02	5,80	5	0,60	19,75

Dengan menggunakan Persamaan 2.2 dan Tabel 4.8, OTTV Gedung Keuangan Negara dapat hitung sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 \text{OTTV} &= \frac{(2103 \times 32,20) + (448 \times 20,08) + (2103 \times 41,79) + (448 \times 19,75)}{2103 + 448 + 2103 + 448} \\
 &= 33,99 \text{ Watt/m}^2
 \end{aligned}$$

Dari perhitungan di atas diketahui desain fasad Gedung Keuangan Negara telah memenuhi standar konsesrvasi energi, yakni $\text{OTTV} \leq 35 \text{ Watt/m}^2$. Namun jika OTTV tiap orientasi dianalisa, tidak semua sisi fasad desainnya telah

memenuhi memenuhi standar konsesrvasi energi, seperti yang terjadi pada fasad sisi (Barat Laut). Tingginya OTTV pada sisi Barat Laut di sebabkan oleh faktor radiasi matahari pada sisi tersebut sangat besar jika dibandingkan dengan sisi lainnya (lihat Tabel 4.8). Meskipun WWR sisi Barat Laut lebih kecil 4% dari WWR sisi Tenggara, tetapi karena SC Barat Laut lebih besar 37% dari sisi Tenggara, maka mengakibatkan OTTV sisi Barat laut lebih besar 13% dari OTTV sisi Tenggara

Keempat bangunan yang diteliti menghasilkan OTTV di bawah standar yakni lebih kecil dari 35 Watt/m^2 , maka dapat disimpulkan desain fasad kantor pemerintahan yang ada di Surabaya telah memenuhi kriteria konservasi energi. Perhitungan OTTV dapat dijadikan indikator bangunan hemat energi, namun seberapa besar penghematan energi tidak dapat diketahui. Sehingga untuk menjawab penelitian selanjutnya, bantuan simulasi ecotect digunakan untuk menjawab pertanyaan penelitian.

4.4 Pengaruh Fasad terhadap Temperatur Ruang Dalam

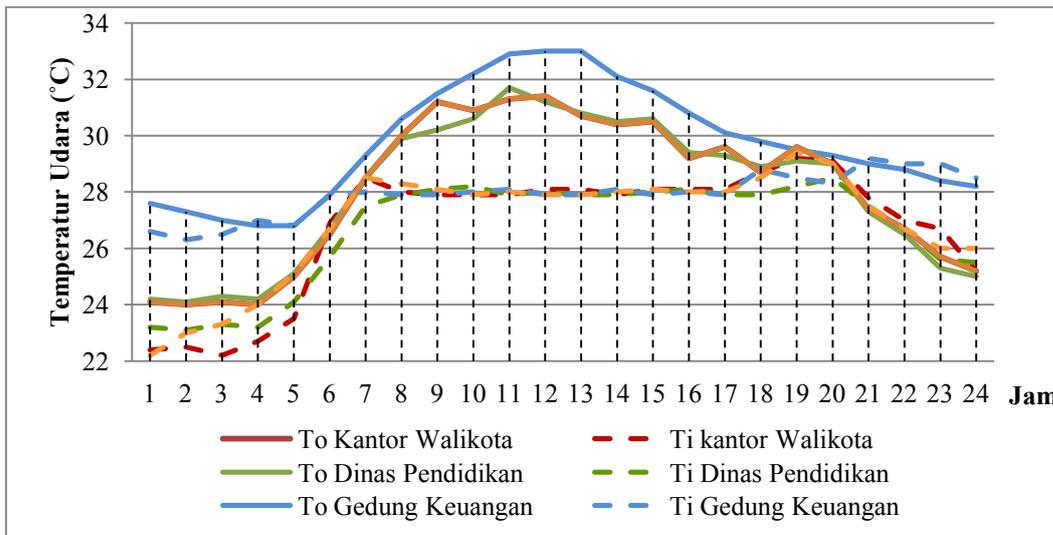
Waktu pengambilan data dan kondisi lansekap disekitar bangunan yang berbed akan berpengaruh terhadap temperatur ruang luar dan akan berimbas pada temperatur ruang dalam. Pengukuran dan pengambilan data di Kantor Walikota dilakukan selama 1 hari, yaitu pada tanggal 8 April 2015, di Kantor DPRD dilakukan selama 3 hari yaitu pada tanggal 8-10 April 2015, di Kantor Dinas Pendidikan dilakukan selama 2 hari, yaitu pada tanggal 15-16 April 2015, dan di Kantor Keuangan dilakukan selama 7 hari, yaitu pada tanggal 1 - 6 Juni 2015.

Dari pengukuran lapangan dengan menggunakan *HOBO logger data* diketahui temperatur ruang luar pada Gedung Keuangan lebih tinggi jika dibandingkan dengan temperatur ruang luar ketiga bangunan lainnya (lihat Gambar 4.18). Hal ini dikarenakan pengambilan data di Gedung Keuangan dilakukan pada bulan Juni, sedangkan ketiga bangunan lainnya di bulan April (lihat halaman 76-77). Adanya selisih pengambilan data yang terlalu jauh yaitu sekitar dua bulan dan juga minimnya vegetasi di Gedung Keuangan mengakibatkan fluktuasi temperatur ruang luar di Gedung Keuangan sangat berbeda dibandingkan ketiga bangunan lainnya.

Keempat bangunan yang diteliti memiliki desain yang berbeda sehingga respon bangunan terhadap iklim luar juga berbeda-beda. Setiap bangunan memiliki cara sendiri-sendiri untuk memodifikasi iklim luar yang tidak nyaman. Bangunan Kantor Walikota yang memiliki WWR lebih besar dari pada bangunan lainnya, memanfaatkan area sirkulasi/teras lantai dua untuk peneduh lantai satu, overstek atap untuk peneduh lantai dua untuk mereduksi radiasi matahari yang mengenai permukaan jendela dan dinding. *Finishing* dinding sekitar 70% didominasi warna putih tulang mampu mereduksi panas matahari. Kantor Dinas Pendidikan Provinsi Jawa Timur yang memiliki WWR 25,6% menggunakan peneduh vertikal-horizontal untuk memberikan efek pembayangan pada jendela sehingga dapat mengurangi panas akibat radiasi matahari, sedangkan dinding menggunakan warna terang guna memantulkan radiasi matahari yang menyebabkan panas.

Berbeda dengan Kantor Walikota dan Dinas Pendidikan Provinsi Jawa Timur yang menggunakan peneduh untuk memodifikasi iklim luar, gedung DPRD Kota Surabaya menggunakan material kaca buram dan mengkilat untuk mereduksi panas dan radiasi matahari. Fasad bangunan yang maju-mundur sehingga menciptakan ceruk ini juga berfungsi untuk mematahkan laju panas, menciptakan pembayangan pada dinding sisi deadpan atau sebaliknya. Strategi lain yang juga digunakan yaitu dengan melapisi dinding dengan cat berwarna terang, yakni putih tulang dengan nilai albedo 0,5 – 0,9 yang berarti kemampuannya untuk memantulkan cahaya/radiasi matahari sangat besar.

Sama halnya dengan kantor DPRD, Gedung Keuangan Negara juga tidak menggunakan *peneduh*. Bangunan enam lantai yang didominasi oleh elemen dinding ini, memilih menggunakan konstruksi ganda untuk memodifikasi iklim luar, yaitu dinding utama bangunan yang menggunakan material bata plaster dan dinding terluarnya menggunakan *cladding*. Dengan adanya kulit kedua dan *space* atau rongga udara diantara kedua dinding ini, aliran panas yang berasal dari kulit kedua tidak langsung mengalir kedinding paling dalam.



Gambar 4.18 Perbandingan Temperatur Ruang Luar dan Ruang Dalam (*lobby*) pada Kantor Pemerintah

Meskipun desain fasad keempat bangunan tersebut berbeda, namun pengaruhnya terhadap temperatur ruang dalam tidak dapat diketahui. Dari Gambar 4.18 terlihat perbedaan temperatur ruang luar dan ruang dalam. Pada pukul 07.00 – 17.00 temperatur ruang luar sangat tinggi diatas ambang nyaman, namun pukul 8.00 – 16.00 temperatur ruang dalam nampak stabil $\pm 28^{\circ}\text{C}$. Ini dikarenakan keempat bangunan yang diteliti menggunakan sistem pengkondisian udara yaitu AC untuk memodifikasi iklim ruang luar yang tidak nyaman, sehingga temperatur ruang dalam yang terukur adalah bukanlah temperatur sesungguhnya akibat fasad bangunan tetapi merupakan temperatur campuran. Banyaknya variabel bebas yang membedakan bangunan satu dengan bangunan lainnya seperti kondisi lingkungan, orientasi, elemen dan material yang digunakan menyebabkan penarikan kesimpulan untuk menjawab pertanyaan penelitian tidak bisa dilakukan. Oleh karenanya dibutuhkan suatu penelitian lanjutan dengan menggunakan *software* khusus untuk menjawab pertanyaan penelitian.

4.5 Rangkuman Hasil Pengamatan dan Penelitian Lapangan

Dari hasil pengamatan dan hasil analisa penelitian lapangan pada keempat bangunan yang diteliti yaitu Kantor Walikota, Kantor DPRD, Dinas Pendidikan dan Gedung Keuangan Negara yang mewakili desain kantor pemerintahan yang

ada di Surabaya, diketahui desain fasad kantor pemerintahan di Surabaya telah memenuhi standar konservasi energi, yakni dengan OTTV lebih kecil dari 35 Watt/m². Jadi bisa ditarik kesimpulan jika kinerja energi pendinginan pada kantor pemerintahan di Surabaya sangat baik.

Tabel 4.9 Ringkasan Data Bangunan Kantor Pemerintahan

Bangunan	W/L	Orientasi	Shading Devices	WWR	U-Value		OTTV (Watt/m ²)
				(%)	Dinding	Kaca	
Walikota	0,4	U - S	horizontal	19,26	2,14	5,8	30,24
Pendidikan	0,2	TG - BL	Vertikal-horizontal	24,56	2,14	5,8	31,74
DPRD	0,6	U - S	-	15,86	3,02	5,7	30,04
Keuangan	0,1	TG - BL	-	33,65	3,02	5,8	33,99

Dati Tabel 4.9 diketahui bangunan DPDR yang tidak memiliki peneduh memiliki OTTV terendah, sedangkan Gedung Keuangan memiliki OTTV tertinggi. Pada orientasi yang sama, bangunan DPRD yang tidak memiliki peneduh memiliki OTTV 21,87% lebih rendah dibandingkan dengan bangunan Kantor Walikota. Hal ini dikarena bangunan DPRD memilki WWRnya lebih rendah dan juga material kaca yang digunakan memiliki nilai transmisi (*u-value*) yang lebih rendah. Hal ini sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh Alzoubi (2010) yang menjelaskan bahwa semakin lebar bukaan bangunan, maka kinerja termal suatu bangunan akan semakin buruk yang berdampak pada naiknya konsumsi energi pendinginan suatu bangunan. Penelitian ini juga sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh Kim (2010), yang menyatakan salah satu solusi untuk mereduksi *heat gain* pada bangunan yaitu dengan menggunakan material bukaan yang memilki *u-value* yang kecil.

Sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh Lau dkk (2016), penelitian ini juga menemukan peneduh vertikal-horizontal memiliki kinerja yang lebih baik dari pada peneduh horizontal. Seperti yang terjadi pada Dinas Pendidikan, meskipun WWR dan radiasi matahari yang diperoleh bangunan lebih besar dari pada bangunan Kantor Walikota, tetapi karena bangunan menggunakan peneduh vertikal-horizontal yang memilki nilai koefisien peneduh yang lebih rendah, maka nilai OTTVnya lebih kecil dari Kantor Walikota (lihat Tabel 4.9)

Penelitian ini juga mendukung penelitian yang dilakukan oleh Saidur dkk (2009) yang menemukan adanya hubungan linear antara WWR dan OTTV. Semakin luas bukaan bangunan (WWR) maka OTTVnya akan semakin besar pula, dan begitupula sebaliknya. Seperti yang terlihat pada Tabel 4.9 antara Dinas Pendidikan dan Gedung Keuangan, meskipun keduanya menggunakan material yang sama, dan sama-sama memiliki *shading devices*, tetapi karena WWR Gedung Keuangan lebih besar, maka menghasilkan nilai OTTV yang lebih besar dari pada bangunan Dinas Pendidikan.

Meskipun hasil penelitian lapangan ini telah menjawab pertanyaan penelitian yang pertama dan mendukung teori-teori dan hasil yang penelitian yang telah ada sebelumnya, namun menurut peneliti banyaknya variabel bebas pada bangunan yang dibandingkan menyebabkan pengaruh variabel yang akan diteliti yaitu geometri, rasio W/L, ketinggian, WWR, material, dan *shading devices* terhadap kinerja energi pendinginan diragukan kebenarannya. Maka untuk menjawab pertanyaan kedua dan ketiga tersebut, maka peneliti menggunakan bantuan simulasi *ecotect*.

BAB 5

HASIL SIMULASI DAN ANALISA

Beberapa tahapan yang dilakukan untuk menganalisa kinerja energi pendinginan dengan menggunakan bantuan simulasi, diantaranya diawali dari analisa iklim kota Surabaya, verifikasi data iklim BKMKG, memasukkan data untuk keperluan simulasi. Selanjutnya bab ini berisi analisa terkait perilaku aliran panas dan beban pendinginan pada bangunan akibat adanya perbedaan perlakuan pada geometri, orientasi, *shading devices*, WWR, material yang diperoleh dari hasil simulasi. Perilaku aliran panas dan beban pendinginan selanjutnya digunakan sebagai tolak ukur untuk menganalisa kinerja energi pendinginan.

5.1 Data Input Simulasi Ecotect

Data yang dimasukkan dalam simulasi kinerja energi pendinginan merupakan data yang berdasarkan pada variabel bebas, terikat dan kontrol yang telah ditentukan sebelumnya. Untuk mempermudah simulasi, peneliti juga melakukan penyederhanaa-penyederhaan guna efesiensi waktu.

5.1.1 Data Iklim

Simulasi kinerja energi pendinginan dilakukan pada bangunan kantor pemerintah di Surabaya. Dengan adanya karekateristik khusus dan keterbatasan data iklim pada daerah tersebut maka dilakukan pendekatan dengan menggunakan data iklim yang diambil dari BMKG Perak. Data iklim yang digunakan adalah data iklim BMKG lima tahun (2009-2013) sehingga data yang diperoleh lebih valid jika dibandingkan hanya menggunakan data iklim satu tahun.

Dalam kurung waktu lima tahun terakhir (2009 – 2013), kondisi temperatur tertinggi rata-rata ada pada bulan Oktober 29,8°C, dan temperatur terendah rata-rata ada pada bulan Januari 27,6°C. Temperatur maksimum ada di bulan Oktober 36,8°C dan temperatur minimum berada pada bulan Agustus 21,0°C. Besar kecilnya temperatur udara dapat dipengaruhi oleh elemen iklim yang lainnya seperti radiasi matahari, lama penyinaran, kelembaban, kecepatan angin dan curah hujan.

Rendahnya temperatur udara rata-rata di Bulan Januari dikarenakan curah hujan sangat tinggi hingga 438mm, dengan intensitas penyinaran matahari yang sangat sedikit yakni hanya sekitar 48,19% dan radiasi matahari yang relatif kecil 862,58 watt/m² serta kelembaban tinggi 81,43%. Pada bulan terpanas (Oktober), temperatur udara rata-rata sangat tinggi hingga 29,8°C, radiasi matahari 85,60%, dan kecepatan angin cenderung tinggi, sedangkan kelembaban dan curah hujan cenderung rendah (Lihat Gambar 5.1).

Table 5.1 Kondisi Iklim Rata-rata di Surabaya selama 5 Tahun (2009-2013)

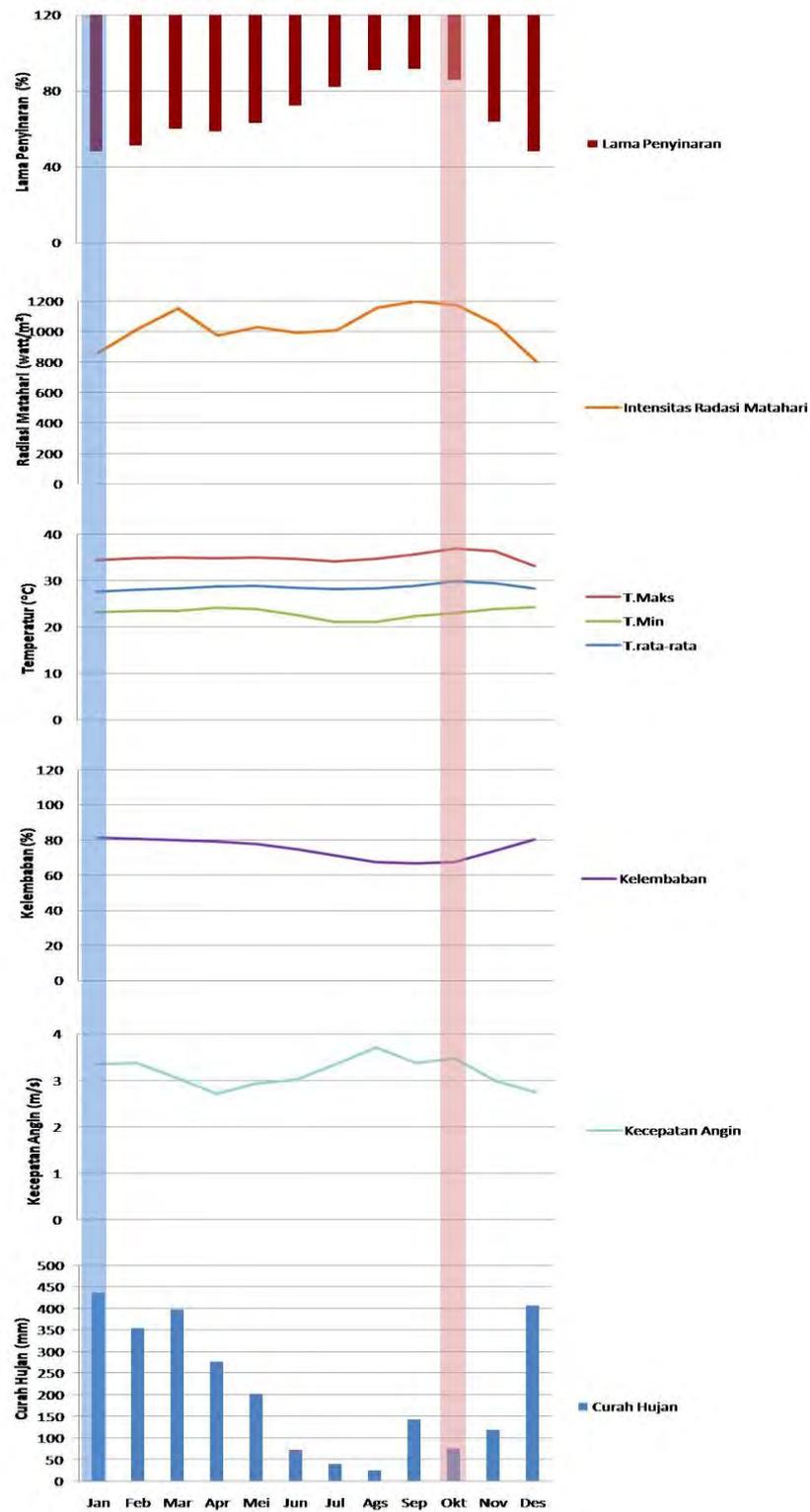
Bulan	Temperatur			RH	Kec. Angin	Arah Angin	Lama Penyinaran	Intensitas Radasi Matahari	Curah Hujan
	Rata-rata	Maks.	Min.	Rata-rata	Rata-rata	Rata-rata	Rata-rata	Rata-rata	Jumlah
	°C	°C	°C	%	m/s	Frekuensi	%	watt/m ²	mm
Jan	27,6	34,4	23,2	81,43	3,35	Barat	48,19	862,58	438,00
Feb	28,0	34,8	23,4	80,76	3,37	Barat	51,26	1016,14	355,60
Mar	28,3	35,0	23,5	80,14	3,06	Barat	60,02	1150,23	398,40
Apr	28,8	34,9	24,1	79,17	2,71	Timur	58,52	976,70	277,40
Mei	28,9	34,9	23,8	77,59	2,94	Timur	62,94	1029,35	202,80
Jun	28,5	34,6	22,6	74,69	3,02	Timur	72,35	991,10	73,75
Jul	28,1	34,1	21,2	71,17	3,35	Timur	81,99	1007,61	41,00
Ags	28,3	34,7	21,0	67,65	3,70	Timur	90,81	1154,61	25,00
Sep	28,9	35,6	22,3	66,85	3,37	Timur	91,48	1198,10	143,00
Okt	29,8	36,8	23,0	67,50	3,48	Timur	85,60	1172,35	75,67
Nov	29,4	36,4	23,8	73,72	2,99	Timur	63,68	1046,80	118,98
Des	28,3	33,1	24,2	80,23	2,76	Barat	48,13	800,10	407,00

Keterangan: = Bulan Terpanas = Bulan Terdingin

Sumber : BMKG Perak, 2015

Temperatur udara rata-rata di Surabaya pada awal tahun sangat rendah 27,6°C terus naik hingga 28,9°C pada bulan Mei kemudian turun hingga 28,1°C pada bulan Juli, dan kemudian cenderung naik lagi hingga mencapai puncak 29,8°C pada bulan Oktober dan turun lagi hingga 28,3°C pada akhir tahun. Radiasi matahari di awal dan akhir tahun cenderung rendah karena curah hujan tinggi dan durasi penyinaran matahari lebih rendah. Di awal tahun durasi penyinaran matahari cenderung naik, kecuali bulan April, hingga mencapai titik puncak 91,48% pada bulan September dan turun hingga titik terendah 48,13% pada bulan Desember. Hal ini juga serupa dengan radiasi matahari yang cenderung naik dari pertengahan bulan hingga mencapai titik tertinggi 1.172,35

watt/m² pada bulan Oktober dan turun hingga mencapai titik terendah 800,10 watt/m² pada bulan Desember.



Gambar 5.1 Kondisi Iklim Rata-rata di Surabaya 2009-2013 (BMKG Perak, 2015)

Curah hujan di awal tahun sangat tinggi sekitar 438mm dan pada bulan Maret terus menurun hingga mencapai titik terendah 25mm pada bulan Agustus, dan cenderung naik hingga akhir tahun mencapai 407 mm. Curah hujan ini sangat mempengaruhi kelembaban udara. Saat curah hujan tinggi, maka kelembaban juga tinggi. Kelembaban udara tertinggi berada pada bulan Januari yakni sekitar 81,43% dan terendah pada bulan September yakni sekitar 66,85%. Kecepatan angin tertinggi pada bulan Agustus 3,80 m/s dan titik terendah pada bulan Desember 2,76 m/s.

5.1.2 Verifikasi Data Iklim BMKG dan Hasil Pengukuran

Data iklim yang digunakan dalam simulasi Ecotect adalah data iklim dari BMKG. Untuk mengetahui keakuratan kondisi data iklim BMKG yang akan digunakan nantinya, maka perlu dilakukan verifikasi. Verifikasi dilakukan pada hari yang sama untuk melihat gambaran sejauh mana kesesuaian temperatur udara luar hasil pengukuran dengan temperatur udara luar terhadap data BMKG. Hasil pengukuran lapangan menunjukkan kondisi iklim mikro yang sudah dipengaruhi oleh kondisi lingkungan di sekitarnya.

Dengan membandingkan temperatur ruang luar pengukuran lapangan dengan data BMKG (lihat Tabel 5.2 – Tabel 5.5) diketahui selisih temperatur udara ruang luar rata-rata pada jam dan hari yang sama, sangatlah kecil berkisar 0,03 °C, - 0,4°C, dengan deviasi antara 0,39 – 0,74. Besarnya nilai simpangan yang terjadi pada keempat objek dimungkinkan karena kondisi disekitar tampak bangun hasil pengukuran dan kondisi pengambilan data iklim BMKG yang berbeda. Menurut Mason (1996) semakin kecil simpangan baku (standar deviasi), maka semakin homogen data yang dianalisa. Menurut Szokolay (1986:273) perubahan sebesar 1°C tidak banyak berpengaruh karena hanya berdampak pada perubahan sekitar 0,5 – 0.8°C MRT. Karena deviasi temperatur udara luar rata-rata di keempat bangunan sangatlah kecil yaitu lebih kecil dari satu (standar deviasi ≤ 1), maka data iklim BMKG dapat digunakan untuk kebutuhan simulasi.

Dari keempat tabel tersebut juga diketahui selisih temperatur udara luar rata-rata hasil pengukuran lapangan dan BMKG pada jam dan hari yang sama,

sangatlah kecil berkisar 0,03 °C, - 0,4°C, dengan deviasi antara 0,39 – 0,74. Besarnya nilai simpangan yang terjadi pada keempat objek dimungkinkan karena kondisi disekitar tampak bangun hasil pengukuran dan kondisi pengambilan data iklim BMKG yang berbeda. Menurut Mason (1996) semakin kecil simpangan baku (standar deviasi), maka semakin homogen data yang dianalisa. Menurut Szokolay (1986:273) perubahan sebesar 1°C tidak banyak berpengaruh karena hanya berdampak pada perubahan sekitar 0,5 – 0.8°C MRT. Karena deviasi temperatur udara luar rata-rata di keempat bangunan sangatlah kecil yaitu lebih kecil dari satu (standar deviasi ≤ 1), maka data iklim BMKG dapat digunakan untuk kebutuhan simulasi.

Tabel 5.2 Temperatur Ruang Luar Kantor Walikota

Jam	To (°C)		Selisih(°C)
	BMKG	Lap	
	(a)	(b)	(a-b)
1	25,1	24,2	0,9
2	24,9	24,3	0,6
3	25,1	24,5	0,6
4	25,1	24,4	0,7
5	25,4	25,2	0,2
6	25,7	25,9	- 0,2
7	28,3	28,9	- 0,6
8	30,1	30,2	- 0,1
9	30,8	30,4	0,4
10	31,2	30,8	0,4
11	32,4	31,9	0,5
12	32,6	31,3	1,3
13	29,5	30,4	- 0,9
14	29,5	30,8	- 1,3
15	29,6	30,8	- 1,2
16	29,5	29,8	- 0,3
17	29,2	29,5	- 0,3
18	29,0	29,1	- 0,1
19	28,8	29,2	- 0,4
20	28,8	29,1	- 0,3
21	28,6	27,6	1,0
22	26,9	26,8	0,1
23	25,8	25,6	0,2
24	25,5	25,2	0,3
Mean	28,23	28,16	0,06
Sdev			0,66

Tabel 5.3 Temperatur Ruang Luar Kantor DPRD

Jam	To (°C)		Selisih(°C)
	BMKG	Lap	
	(a)	(b)	(a-b)
1	25,3	24,2	1,1
2	24,9	24,1	0,8
3	25,1	24,3	0,8
4	25,3	24,2	0,9
5	25,4	25,1	0,3
6	25,7	26,7	- 1,0
7	28,3	28,5	- 0,2
8	30,1	29,9	0,2
9	30,8	30,2	0,6
10	31,2	30,6	0,6
11	32,4	31,7	0,7
12	32,6	31,2	1,4
13	29,5	30,2	- 0,7
14	29,5	30,5	- 1,0
15	29,6	30,6	- 1,0
16	29,5	29,4	0,1
17	29,2	29,3	- 0,1
18	29,0	28,9	0,1
19	28,8	29,1	- 0,3
20	28,8	29,0	- 0,2
21	28,6	27,3	1,3
22	26,9	26,5	0,4
23	25,8	25,3	0,5
24	25,5	25,0	0,5
Mean	28,24	27,99	0,25
Sdev			0,71

Tabel 5.4 Temperatur Ruang Luar Dinas Pendidikan

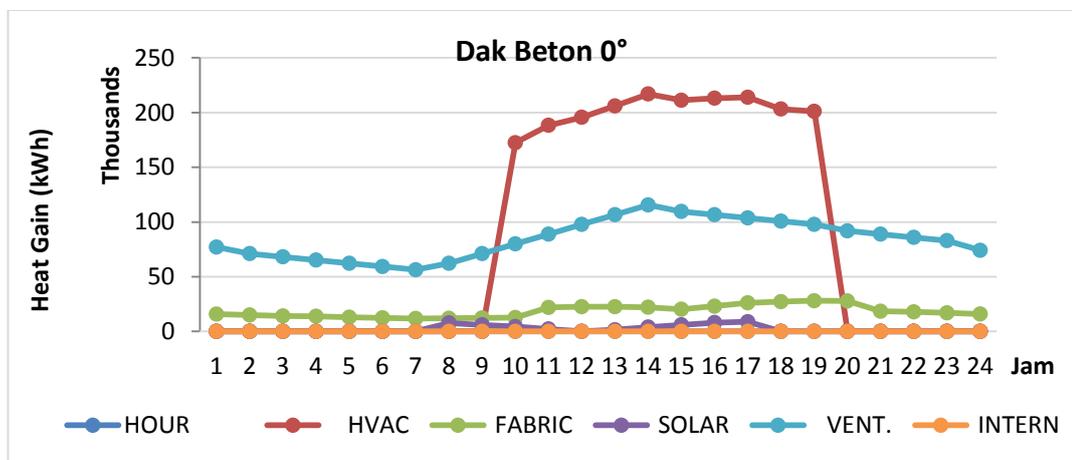
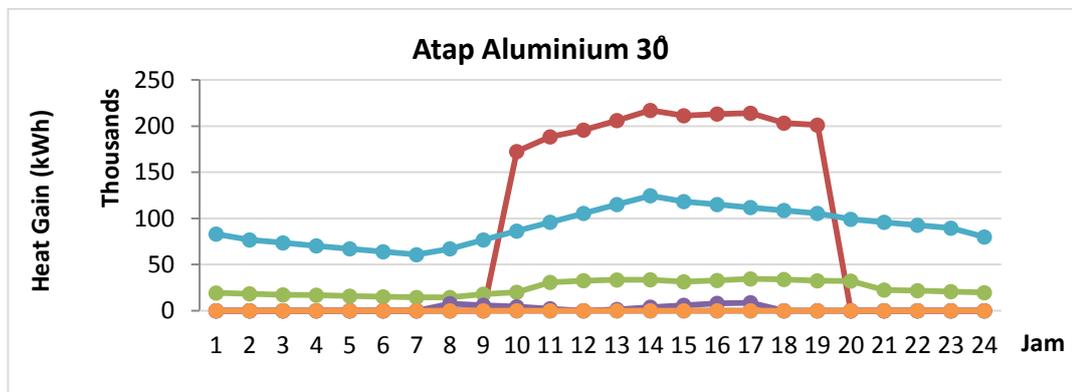
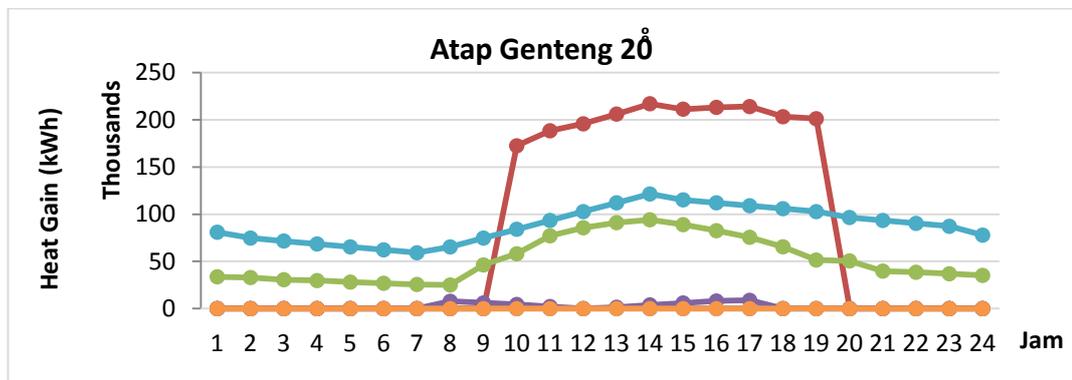
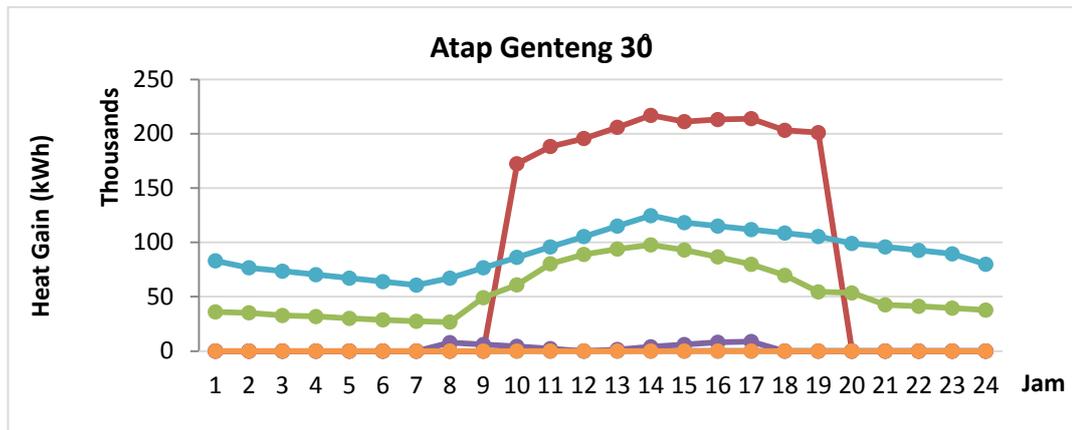
Jam	To (°C)		Selisih(°C)
	BMKG	Lap	
	(a)	(b)	(a-b)
1	26,7	26,6	0,1
2	26,6	26,5	0,1
3	26,3	26,5	- 0,2
4	26,1	26,4	- 0,3
5	25,9	26,3	- 0,3
6	25,9	26,7	- 0,7
7	26,6	27,4	- 0,8
8	28,4	29,5	- 1,1
9	29,8	30,7	- 0,8
10	30,9	31,6	- 0,7
11	31,7	33,2	- 1,5
12	32,2	32,8	- 0,5
13	32,2	30,8	1,4
14	31,9	30,5	1,4
15	31,2	30,5	0,7
16	30,4	31,1	0,6
17	29,6	30,7	- 1,1
18	29,6	29,4	0,2
19	28,3	28,7	- 0,4
20	28,0	28,6	- 0,6
21	27,7	28,4	- 0,7
22	27,4	28,3	- 0,9
23	27,2	28,1	- 0,9
24	26,9	27,8	- 0,8
Mean	28,6	29,0	- 0,4
Sdev			0,73

Tabel 5.5 Temperatur Ruang Luar Gedung Keuangan

Jam	To (°C)		Selisih(°C)
	BMKG	Lap	
	(a)	(b)	(a-b)
1	27,8	27,6	0,2
2	27,3	27,3	0,0
3	27,0	27,0	0,0
4	26,7	26,8	- 0,1
5	26,4	26,8	- 0,4
6	27,0	27,9	- 0,9
7	29,4	29,3	0,1
8	30,5	30,6	- 0,1
9	31,5	31,5	0,0
10	32,4	32,2	0,2
11	32,7	32,9	- 0,2
12	33,3	33,0	0,3
13	33,4	33,2	0,2
14	33,2	32,1	1,1
15	32,5	31,6	0,9
16	31,0	30,8	0,2
17	30,3	30,1	0,2
18	29,6	29,8	- 0,2
19	29,3	29,5	- 0,2
20	29,0	29,3	- 0,3
21	28,8	29,0	- 0,2
22	28,7	28,8	- 0,1
23	28,4	28,4	0,0
24	28,2	28,2	0,1
Mean	29,77	29,74	0,03
Sdev			0,39

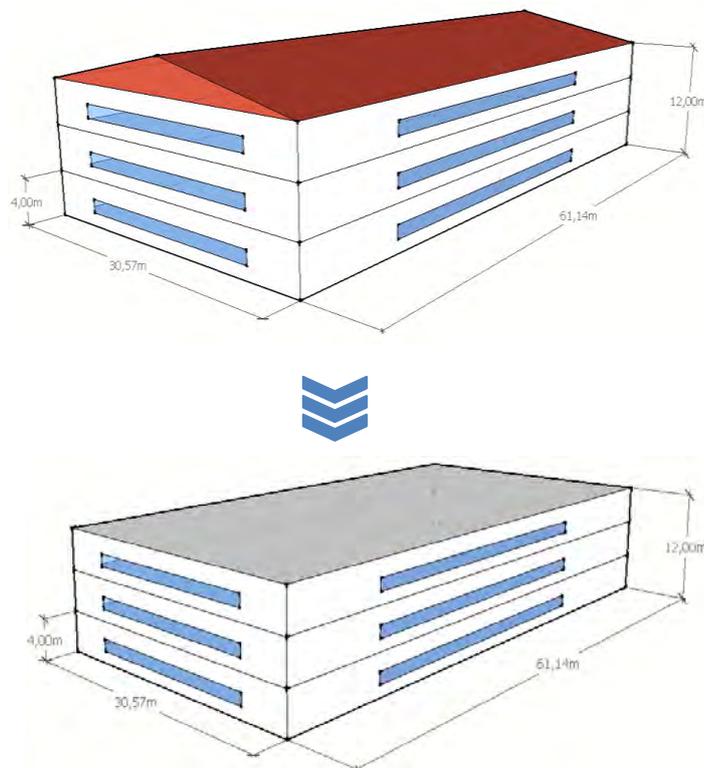
5.1.3 Data Bangunan

Berdasarkan pengamatan di lapangan, umumnya bangunan kantor pemerintah di Surabaya memiliki geometri kotak memanjang, dengan luas bukaan dinding yang kecil dan atap genteng atau alumunium dicat merah dan memiliki konstruksi miring. Untuk bangunan di daerah tropis lembab seperti Indonesia, atap merupakan bagian bangunan yang paling banyak memberikan kontribusi beban panas (Ajeel, 2013). Lippsmeier (1994) menjelaskan konstruksi atap miring merupakan desain atap yang cocok untuk bangunan di daerah tropis.



Gambar 5.2 Perolehan Panas pada Bangunan

Penelitian awal yang dilakukan oleh peneliti dengan melakukan pemodelan pada bangunan yang menggunakan material dan kemiringan atap yang berbeda diperoleh hasil bahwa meskipun jumlah panas yang berasal dari *fabric* berdeda-beda, tetapi tidak berpengaruh terhadap konsumsi energi pendinginan dalam bangunan (lihat Gambar 5.2). Penelitian tersebut sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh Al-Obaidi (2014) yang membandingkan atap genteng dan atap aluminium, diperoleh hasil mengubah warna pada atap lebih besar pengaruhnya terhadap kinerja termal bangunan dari pada mengubah material. Mengubah warna atap dari hitam ke putih dapat menurunkan tempatur ruang dalam hingga $\pm 8,5^{\circ}\text{C}$, hitam ke merah $\pm 5,5^{\circ}\text{C}$, sedangkan mengubah material atap hanya selisih $0,2$ hingga $\pm 1^{\circ}\text{C}$. Penelitian tersebut juga memperoleh hasil bahwa kemiringan hampir tidak berpengaruh terhadap kinerja termal ruang dalam, kecuali atap yang menggunakan warna putih dan warna hitam. Berdasarkan alasan di atas dan juga efisiensi waktu penelitian, maka atap yang digunakan untuk model dasar adalah dak beton dengan konstruksi atap datar (Gambar 5.3)



Gambar 5.3 Penyederhanaan Model Dasar

Deskripsi:

- Dimensi denah 27m x 45 m (Rasio W/L = 0.6)
- Dikeempat sisi dinding terdapat bukaan (WWR 20% di setiap sisi)
- Orientasi bangunan Utara – Selatan (0° terhadap Utara)
- Bangunan tidak memiliki *shading devices*
- Material yang digunakan yaitu batu bata plaster untuk dinding, *clear glass 6mm* untuk kaca jendela dan material atap dak beton

Tabel 5.6 *Thermal Propertis Materials*

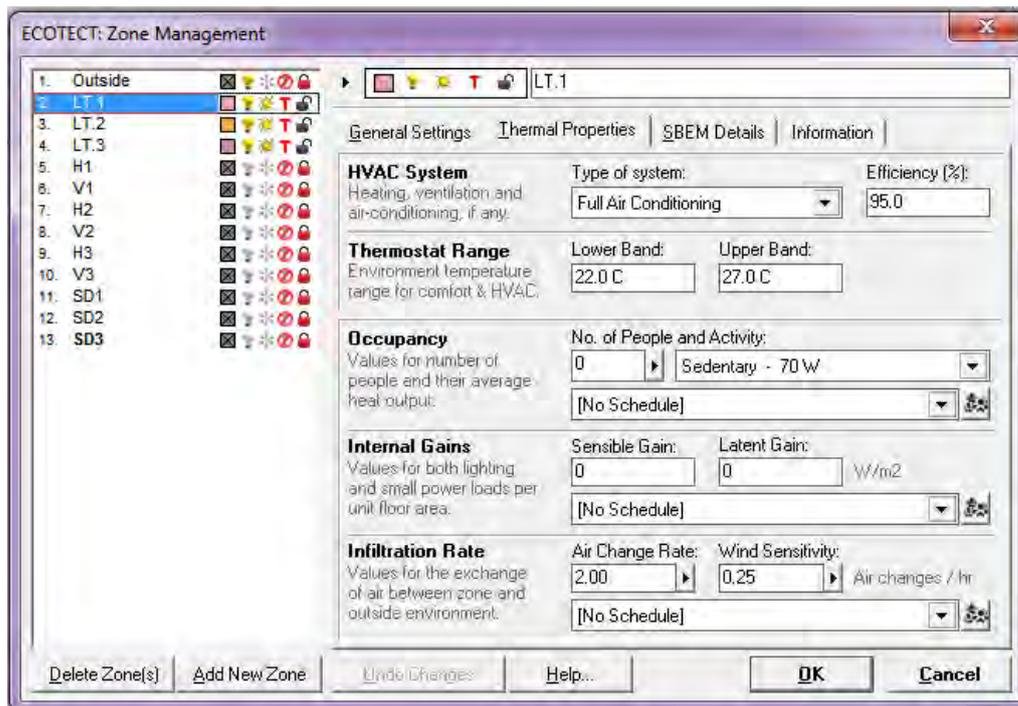
Elemen Fasade	Material	Thermal Properties				
		U-value (W/m ² .K)	Admittance (W/m ² .K)	Abs.	Dcf	Timelag (hrs)
Dinding	Batu Bata *	3,02	4,14	0,30	0,83	2,90
Atap	Atap dak beton	2,59	2,6	0,5	1	0,5
Kaca	<i>clear glass 6mm</i> ***	5,8	5,70	0,76	0,64	0,47

Sumber: * Archipak, 2011; **Szokolay, 2008: ***www.agc-flatglass.sg

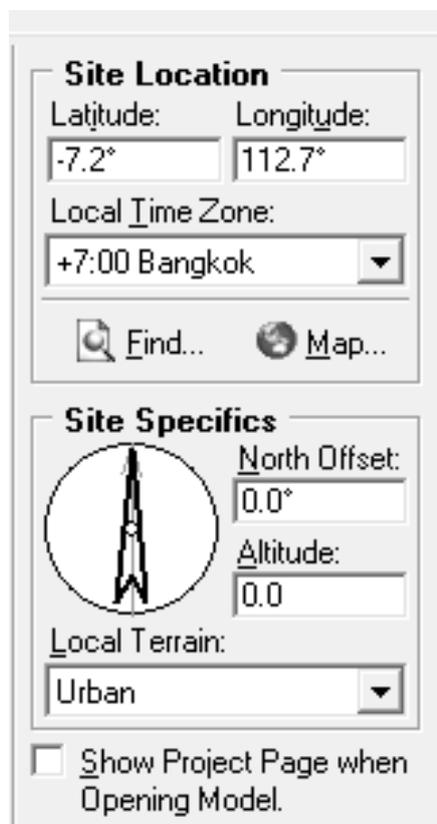
5.1.4 Data *Internal Heat Gain* dan Lain-lain

Untuk mengetahui pengaruh fasad terhadap kinerja energi pendinginan, maka *internal heat gain* ditiadakan. Jadi model diasumsikan kosong yaitu tidak memiliki penghuni, tidak memiliki penerangan buatan seperti lampu, dan tidak memiliki peralatan elektronik dan lain-lain (Lihat Gambar 5.4). Selain data *internal heat gain*, data lain yang perlu di input adalah:

- a. Jumlah pergantian udara yang diterapkan merupakan standar minimal pergantian udara untuk ruangan ber AC yaitu ACH = 2 (Juwana, 2005)
- b. *Indoor design temperature*. Temperatur ruang dalam yang digunakan adalah standar temperatur nyaman ruang kerja antara 22°C - 27°C (SNI 6390, 2011)
- c. Lokasi bangunan. Lokasi bangunan diasumsikan berada di lingkungan perkotaan/urban (Lihat Gambar 5.5)
- d. Orientasi bangunan. Orientasi bangunan didasarkan oleh teori Lippsmeier (1997) dan didukung oleh penelitian Latifah (2012) yang menyatakan orientasi bangunan yang cocok daerah tropis lembab adalah Utara – Selatan (0° dari Utara) (Lihat Gambar 5.5)



Gambar 5.4 Perlakuan Sumber Panas Internal pada Tahap Simulasi



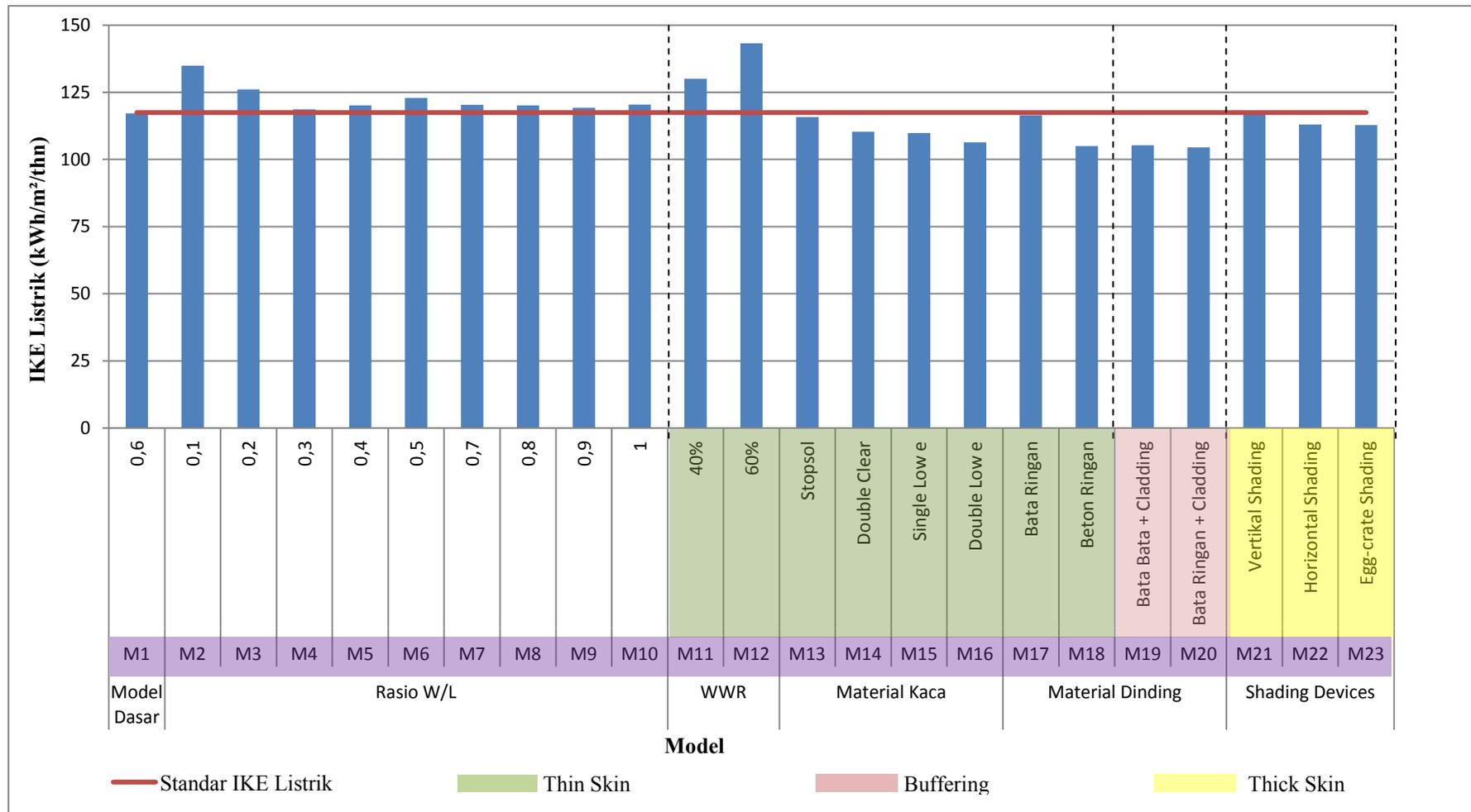
Gambar 5.5 Lokasi Bangunan

5.2 Kinerja Energi Pendinginan

M1 merupakan model dasar bangunan, dengan rasio W/L 0,6, tidak menggunakan *shading devices*, dinding menggunakan material batu bata, kaca menggunakan material *clear glass* dan luas bukaan (WWR) 20%. Gambar 5.6 menunjukkan kinerja energi pendinginan sebesar 117,18%. Bangunan ini tergolong bangunan yang memiliki kinerja energi pendinginan. BPPP (2009) menetapkan alokasi energi listrik untuk bangunan perkantoran. Sistem AC menggunakan maksimal 47% dari seluruh energi listrik yang digunakan pada bangunan. GBCI menetapkan batas maksimal konsumsi energi listrik untuk bangunan yang efisien sebesar 250 kWh/m²/thn. Jika sistem AC menggunakan 47% total energi maka bangunan yang efisien dalam penggunaan energi pendinginan adalah bangunan yang mengkonsumsi daya listrik untuk AC lebih kecil atau sama dengan 117,5 kWh/m²/thn.

Terdapat 11 model yang memiliki kinerja energi pendinginan yang lebih buruk dibandingkan model dasar (Gambar 5.6), yaitu M2, M3, M4, M5, M6, M7, M8, M9, M10, M11, dan M12. Memperkecil atau memperbesar rasio W/L model dasar (W/L=0,6) ternyata tidak dapat meningkatkan kinerja energi menjadi lebih baik, tetapi sebaliknya menjadi lebih buruk. Rasio W/L 0,1 memiliki kinerja energi pendinginan paling buruk karena dapat meningkatkan konsumsi energi pendinginan hingga 14,84%. Jadi rasio W/L 0,6 merupakan rasio bangunan yang memiliki kinerja energi pendinginan. Hal ini mendukung teori Olgyay (1972) yang menyatakan bangunan dengan perbandingan lebar dan panjang 1 : 1,7 adalah bangunan yang efisien untuk daerah tropis lembab. Selain mengubah rasio W/L model dasar, meningkatnya luas bukaan (jendela *clear glass*) juga berakibat buruk pada kinerja energi pendinginan, seperti mengubah WWR 20% (M1) menjadi 40% (M11) dapat meningkatkan konsumsi energi pendinginan hingga 10,72% dan menjadi 60% (M12) 21,89%.

Dari Gambar 5.6 diketahui terdapat 11 model yang memiliki kinerja energi pendinginan yang lebih efisien dibanding model dasar, yaitu M13, M14, M15, M16, M17, M18, M19, M20, M21, M22, dan M23 (Gambar 5.1). Model yang memiliki kinerja energi pendinginan paling baik adalah model 19 (M19), sedangkan model yang memiliki kinerja energi pendinginan terburuk adalah model 12 (M12).



Gambar 5.6 Kinerja Energi Pendinginan

Dari Gambar 5.6 juga diketahui bangunan dengan tipologi fasad berongga (*buffering*) memiliki kinerja energi pendinginan jika dibandingkan dengan tipologi lainnya. Bangunan dengan tipologi ini dapat meningkatkan kinerja energi pendinginan hingga 11,07%. Jadi dari gambar tersebut juga diketahui beberapa strategi desain yang dapat digunakan untuk meningkatkan kinerja energi pendinginan pada bangunan, yaitu:

- b. Mengubah material jendela dengan kaca yang memiliki *thermal properties* yang lebih (*thin skin*). Mengubah material kaca *clear glass* (M1) menjadi kaca *stopsol* (M13) dapat meningkatkan kinerja energi pendinginan hingga 1,45%, menjadi *double clear* (M14) 6,15%, menjadi *single low-e* (M15) 6,49%, menjadi *double low-e* (M16) 9,45%,
- c. Mengubah material dinding dengan material yang memiliki *thermal properties* yang lebih. Mengubah material batu-bata (M1) menjadi bata ringan (M17) dapat meningkatkan kinerja energi pendinginan hingga 0,89%, menjadi beton ringan (M18) 0,65%, menjadi batu bata dengan *cladding* (M19) 10,38%, menjadi bata ringan dengan *cladding* (M20) 11,07%.
- d. Bangunan menggunakan *shading devices*. Penggunaan *shading devices* pada bangunan dapat meningkatkan kinerja energi pendinginan hingga 3,97% untuk *egg-crate shading* (M21), 3,81% untuk *harizontal shading* (M22), dan 0,57% untuk *vertikal shading* (M23). Untuk bangunan yang memiliki luas dinding *opaque* lebih besar dari dinding *tranparan*, penggunaan dinding berongga atau tipologi fasad *buffering* sangat dianjurkan karena keberadaan ruang udara (*air gap*) diantara kedua kulit bangunan mampu memperlambat dan mereduksi aliran panas.

5.3 Pengaruh Geometri terhadap Kinerja Energi Pendinginan

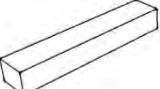
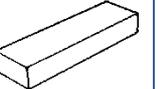
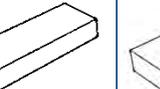
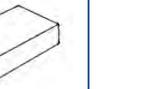
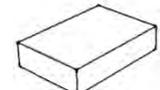
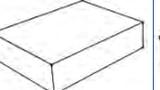
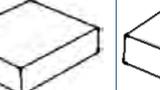
Geometri bangunan merupakan salah satu parameter utama untuk menentukan hubungan fasade/selubung bangunan terhadap lingkungan luar seperti kebutuhan pencahayaan alami, ventilasi alami dalam bangunan dan lain-lain. Variabel geometri bangunan meliputi panjang, lebar, tinggi dan volume bangunan (Kyu dan Malkawawi, 2009). Menurut Muhaisn (2015) bentuk bangunan dipengaruhi oleh rasio permukaan selubung terhadap volume bangunan

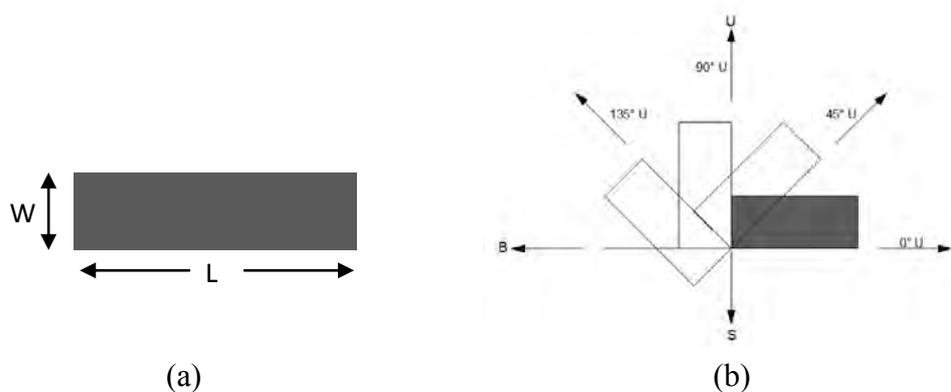
(S/V) dan rasio lebar terhadap panjang bangunan (W/L), sedangkan Ling, dkk (2007) menyebutkan rasio permukaan selubung terhadap volume bangunan (S/V) untuk geometri bangunan dipengaruhi oleh rasio lebar terhadap panjang (W/L). Oleh karenanya, untuk mengetahui pengaruh dari variabel-variabel pembentuk geometri tersebut akan dijelaskan lebih rinci pada sub-sub bab berikut ini.

5.3.1 Pengaruh Rasio W/L terhadap Beban Pendinginan

Rasio W/L (*width to length ratio*) merupakan perbandingan lebar terhadap panjang bangunan. Untuk melihat pengaruh W/L terhadap beban pendinginan, sepuluh kombinasi W/L rentang 0,1 sampai 1 akan diteliti lebih lanjut (Lihat Tabel 5.7). Beberapa variabel seperti ketinggian, volume bangunan, dan *internal heat gain* serta ACH diasumsikan sama.

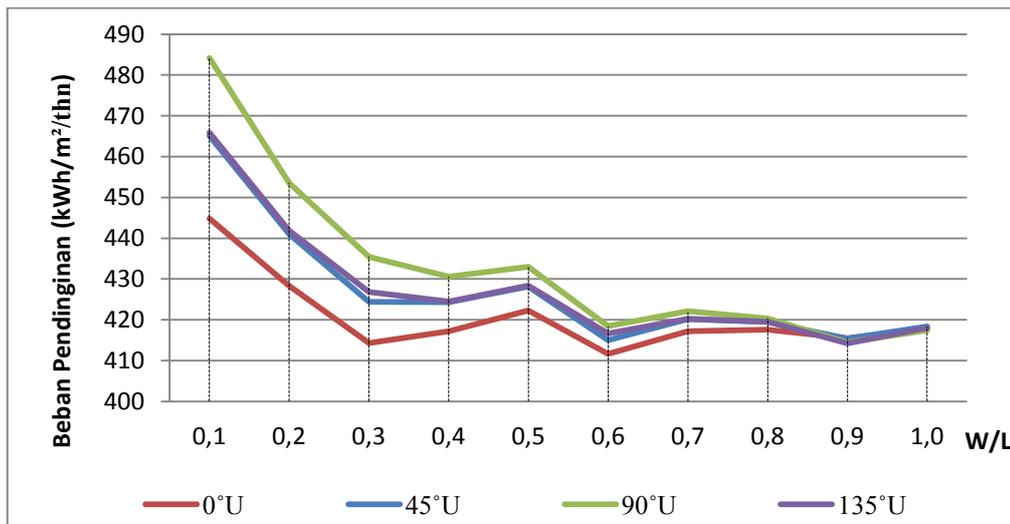
Tabel 5.7 Rasio W/L yang di teliti

W/L	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5
Perspektif					
S/V	0,28	0,24	0,22	0,21	0,20
W/L	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
Perspektif					
S/V	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20



Gambar 5.7 Orientasi bangunan (kiri), Orientasi yang diteliti (kanan)

Gambar 5.7 disamping menunjukkan pengaruh rasio W/L terhadap beban pendinginan pada orientasi yang berbeda. Gambar tersebut menunjukkan W/L rentan 0,3 – 1 memberikan pengaruh penurunan beban pendinginan yang lebih besar, namun W/L = 0,6 merupakan perbandingan panjang terhadap lebar bangunan terbaik untuk bangunan berorientasi Utara – Selatan ($0^{\circ}U$) dan Tenggara – Barat Laut ($45^{\circ}U$), sedangkan W/L= 0,9 merupakan perbandingan panjang terhadap lebar bangunan terbaik untuk bangunan berorientasi Timur – Barat ($90^{\circ}U$) dan Barat Daya – Timur laut ($135^{\circ}U$). Mengubah W/L dari 0,1 menjadi 0,6 dapat menurunkan beban pendinginan hingga 10,75% pada orientasi Tenggara – Barat Laut ($45^{\circ}U$), turun 7,46% pada orientasi Utara – Selatan ($0^{\circ}U$), turun 13,58% pada berorientasi Timur – Barat ($90^{\circ}U$) dan turun 10,57% pada orientasi Barat Daya – Timur laut ($135^{\circ}U$).



Gambar 5.8 Pengaruh Rasio W/L terhadap Beban Pendinginan

Dari Gambar 5.8 di atas juga terlihat orientasi bangunan Utara – Selatan ($0^{\circ}U$) memiliki kinerja beban pendinginan terbaik, sedangkan bangunan berorientasi Timur – Barat ($90^{\circ}U$) memiliki kinerja beban pendinginan terburuk. Pada bangunan berorientasi Utara – Selatan ($0^{\circ}U$), menaikkan rasio W/L = 0,1 menjadi 0,2 akan menurunkan beban pendinginan sebesar 3,71%, menjadi 0,3 akan menurunkan beban pendinginan sebesar 6,86%, menjadi 0,4 akan menurunkan beban pendinginan sebesar 6,21%, menjadi 0,5 akan menurunkan

beban pendinginan sebesar 5,06%, menjadi 0,6 akan menurunkan beban pendinginan sebesar 7,46%, menjadi 0,7 akan menurunkan beban pendinginan sebesar 6,22%, menjadi 0,8 akan menurunkan beban pendinginan sebesar 6,13%, menjadi 0,9 akan menurunkan beban pendinginan sebesar 6,59%, dan menjadi $W/L=1$ akan menurunkan beban pendinginan sebesar 6,08%.

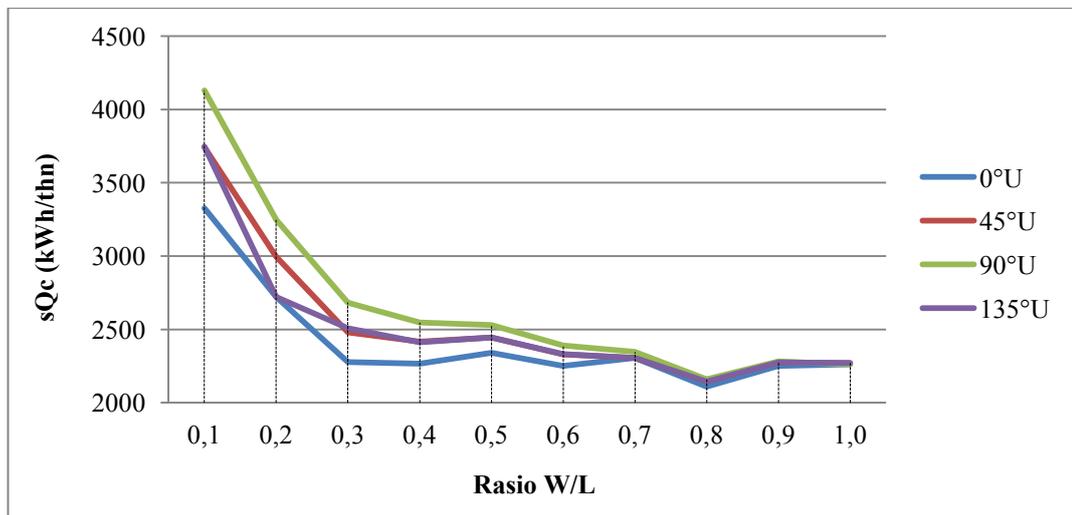
Orientasi bangunan Utara – Selatan ($0^\circ U$) memiliki kinerja beban pendinginan terbaik, sedangkan bangunan berorientasi Timur – Barat ($90^\circ U$) memiliki kinerja beban pendinginan terburuk. Pada bangunan berorientasi Utara – Selatan ($0^\circ U$), menaikkan rasio $W/L = 0,1$ menjadi 0,2 akan menurunkan beban pendinginan sebesar 3,71%, menjadi 0,3 akan menurunkan beban pendinginan sebesar 6,86%, menjadi 0,4 akan menurunkan beban pendinginan sebesar 6,21%, menjadi 0,5 akan menurunkan beban pendinginan sebesar 5,06%, menjadi 0,6 akan menurunkan beban pendinginan sebesar 7,46%, menjadi 0,7 akan menurunkan beban pendinginan sebesar 6,22%, menjadi 0,8 akan menurunkan beban pendinginan sebesar 6,13%, menjadi 0,9 akan menurunkan beban pendinginan sebesar 6,59%, dan menjadi $W/L=1$ akan menurunkan beban pendinginan sebesar 6,08%.

Untuk beberapa kasus, meningkatkan rasio W/L hanya akan menambah beban pendinginan, seperti mengubah W/L 0,3 menjadi 0,4 dan 0,5 dan mengubah W/L 0,6 menjadi 0,7 dan 0,8. Mengubah W/L dari 0,3 menjadi 0,4 akan menaikkan beban pendinginan hingga 0,6% dan naik menjadi 1,92% pada bangunan $W/L = 0,5$ pada bangunan orientasi Utara – Selatan ($0^\circ U$). Selain merubah W/L , merubah orientasi bangunan juga berdampak pada besar-kecilnya beban pendinginan. Pada W/L dengan rentang 0,1 hingga 0,6, mengubah orientasi bangunan dari Timur – Barat ($90^\circ U$) menjadi Utara – Selatan ($0^\circ U$) dapat menurunkan beban pendinginan 1,62% hingga 8,13%, sedangkan W/L rentang 0,1 hingga 0,7, hanya mampu menurunkan beban pendinginan lebih kecil dari 0,5%.

Mengubah orientasi bangunan dari Tenggara – Barat Laut ($45^\circ U$) dan atau Barat Daya – Timur laut ($135^\circ U$) menjadi Utara – Selatan ($0^\circ U$), W/L rentan 0,1 hingga 0,6 efektif dalam menurunkan beban pendinginan, dapat mereduksi hingga 4,35%. Sementara itu, W/L rentan 0,7 hingga 1,0 hanya mampu menurunkan beban pendinginan lebih kecil dari 1%. Mengubah orientasi bangunan dari Timur

– Barat (90°U) menjadi Tenggara – Barat Laut (45°U) atau Barat Daya – Timur laut (135°U), W/L rentan 0,1 hingga 0,6 efektif dalam menurunkan beban pendinginan, dapat mereduksi hingga 4,35%. Sementara itu, W/L rentan 0,7 hingga 1,0 hanya mampu menurunkan beban pendinginan lebih kecil dari 1%.

Dari kesepuluh rasio W/L yang diteliti, geometri bangunan yang menyumbang panas konduksi (sQ_c) terbesar adalah W/L = 0,1, sedangkan geometri bangunan yang menyumbang panas konduksi terkecil adalah W/L = 0,8 (Lihat Gambar 5.9). Setiap 10% kenaikan W/L pada rentang 0,1 hingga 0,3 sangat efektif dalam mereduksi aliran panas konduksi (sQ_c), sedangkan mengubah W/L rentang 0,3 hingga 1 hanya sedikit berdampak pada penurunan sQ_c .



Gambar 5.9 Pengaruh Rasio W/L terhadap sQ_c

Pada orientasi Utara – Selatan (0°U), mengubah W/L 0,1 menjadi 0,2 akan menurunkan sQ_c sebesar 18,16%, mengubah W/L menjadi 0,3 akan menurunkan sQ_c sebesar 31,56%, mengubah W/L menjadi 0,4 akan menurunkan sQ_c sebesar 31,83%, mengubah W/L menjadi 0,5 akan menurunkan sQ_c sebesar 29,64%, mengubah W/L menjadi 0,6 akan menurunkan sQ_c sebesar 32,31%, mengubah W/L menjadi 0,7 akan menurunkan sQ_c sebesar 30,66%, mengubah W/L menjadi 0,8 akan menurunkan sQ_c sebesar 36,55%, mengubah W/L menjadi 0,9 akan menurunkan sQ_c sebesar 32,31%, dan mengubah W/L menjadi 1 akan menurunkan sQ_c sebesar 31,99%.

Pada orientasi Tenggara – Barat laut (45°U), mengubah W/L 0,1 menjadi 0,2 akan menurunkan sQc sebesar 19,96%, mengubah W/L menjadi 0,3 akan menurunkan sQc sebesar 33,72%, mengubah W/L menjadi 0,4 akan menurunkan sQc sebesar 35,43%, mengubah W/L menjadi 0,5 akan menurunkan sQc sebesar 34,69%, mengubah W/L menjadi 0,6 akan menurunkan sQc sebesar 37,73%, mengubah W/L menjadi 0,7 akan menurunkan sQc sebesar 38,39%, mengubah W/L menjadi 0,8 akan menurunkan sQc sebesar 42,71%, mengubah W/L menjadi 0,9 akan menurunkan sQc sebesar 39,19%, dan mengubah W/L menjadi 1 akan menurunkan sQc sebesar 39,31%.

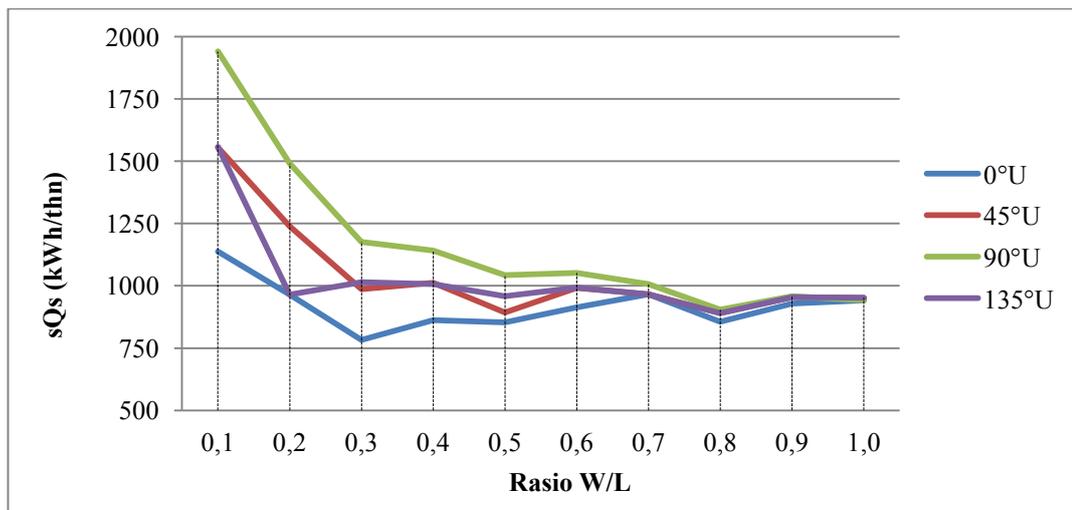
Untuk bangunan berorientasi Barat Daya – Timur laut (135°U), sQc yang diperoleh setiap 10% kenaikan W/L hampir sama dengan sQc bangunan berorientasi Tenggara – Barat laut (45°U). Mengubah W/L 0,1 menjadi 0,2 akan menurunkan sQc sebesar 27,34%, mengubah W/L menjadi 0,3 akan menurunkan sQc sebesar 33,04%, mengubah W/L menjadi 0,4 akan menurunkan sQc sebesar 35,61%, mengubah W/L menjadi 0,5 akan menurunkan sQc sebesar 34,73%, mengubah W/L menjadi 0,6 akan menurunkan sQc sebesar 37,77%, mengubah W/L menjadi 0,7 akan menurunkan sQc sebesar 38,44%, mengubah W/L menjadi 0,8 akan menurunkan sQc sebesar 42,75%, mengubah W/L menjadi 0,9 akan menurunkan sQc sebesar 39,25%, dan mengubah W/L menjadi 1 akan menurunkan sQc sebesar 39,36%.

Pada orientasi Tenggara – Barat laut (90°U), sQc yang diperoleh akibat kenaikan W/L setiap 10% akan lebih besar jika dibandingkan dengan orientasi lainnya. Mengubah W/L 0,1 menjadi 0,2 akan menurunkan sQc sebesar 21,34%, mengubah W/L menjadi 0,3 akan menurunkan sQc sebesar 35,03%, mengubah W/L menjadi 0,4 akan menurunkan sQc sebesar 38,33%, mengubah W/L menjadi 0,5 akan menurunkan sQc sebesar 38,72%, mengubah W/L menjadi 0,6 akan menurunkan sQc sebesar 42,11%, mengubah W/L menjadi 0,7 akan menurunkan sQc sebesar 43,16%, mengubah W/L menjadi 0,8 akan menurunkan sQc sebesar 47,71%, mengubah W/L menjadi 0,9 akan menurunkan sQc sebesar 44,76%, dan mengubah W/L menjadi 1 akan menurunkan sQc sebesar 45,22%.

Sama halnya dengan sQc, sQs terbesar juga berada pada W/L = 0,1 dan sQs terkecil ada pada W/L = 0,8 (lihat Gambar 5.10). Untuk W/L rentang 0,1

hingga 0,6, mengubah orientasi bangunan lebih efektif untuk menurunkan beban pendinginan dari pada mengubah/ menaikkan rasio W/L nya, sedangkan W/L rentang 0,7 hingga 1, mengubah rasio W/L lebih efektif untuk menurunkan beban pendinginan dari pada mengubah orientasi bangunannya.

Berdasarkan Gambar 5.10, mengubah W/L 0,1 menjadi 0,2 pada orientasi Utara – Selatan ($0^{\circ}U$) akan menurunkan sQs sebesar 15,23%, mengubah W/L menjadi 0,3 akan menurunkan sQs sebesar 31,24%, mengubah W/L menjadi 0,4 akan menurunkan sQs sebesar 24,24%, mengubah W/L menjadi 0,5 akan menurunkan sQs sebesar 24,99%, mengubah W/L menjadi 0,6 akan menurunkan sQs sebesar 19,77%, mengubah W/L menjadi 0,7 akan menurunkan sQs sebesar 15,06%, mengubah W/L menjadi 0,8 akan menurunkan sQs sebesar 18,33%, dan mengubah W/L menjadi 1 akan menurunkan sQs sebesar 17,20%.



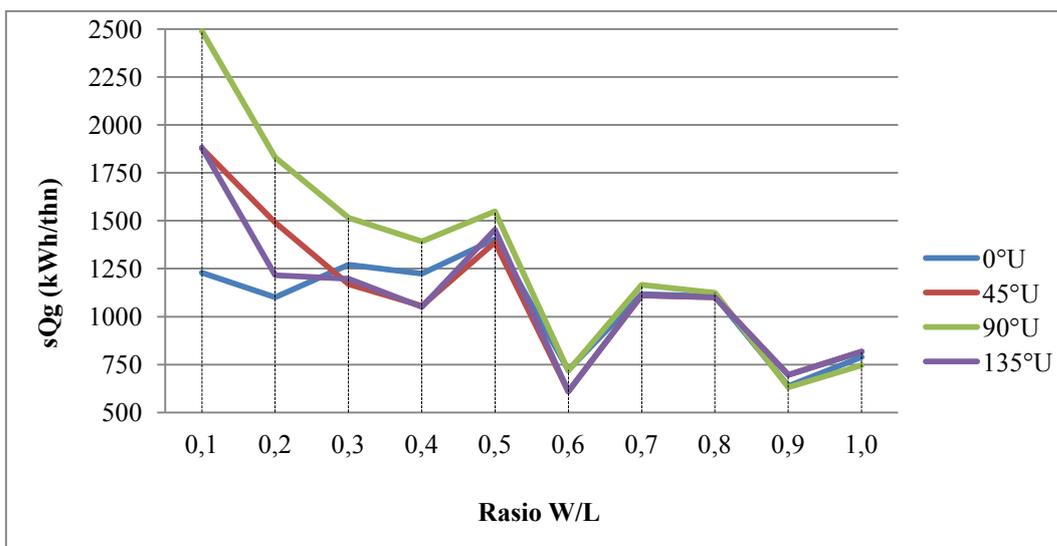
Gambar 5.10 Pengaruh Rasio W/L terhadap sQs

Pada orientasi Tenggara – Barat laut ($45^{\circ}U$), mengubah W/L 0,1 menjadi 0,2 akan menurunkan sQs sebesar 20,34%, mengubah W/L menjadi 0,3 akan menurunkan sQs sebesar 36,54%, mengubah W/L menjadi 0,4 akan menurunkan sQs sebesar 34,93%, mengubah W/L menjadi 0,5 akan menurunkan sQs sebesar 42,59%, mengubah W/L menjadi 0,6 akan menurunkan sQs sebesar 36,19%, mengubah W/L menjadi 0,7 akan menurunkan sQs sebesar 37,86%, mengubah W/L menjadi 0,8 akan menurunkan sQs sebesar 42,76%, mengubah W/L menjadi

0,9 akan menurunkan sQs sebesar 38,65%, dan mengubah W/L menjadi 1 akan menurunkan sQs sebesar 138,77%.

Pada orientasi Timur – Barat ($90^{\circ}U$), mengubah W/L 0,1 menjadi 0,2 akan menurunkan sQs sebesar 23,19%, mengubah W/L menjadi 0,3 akan menurunkan sQs sebesar 39,38%, mengubah W/L menjadi 0,4 akan menurunkan sQs sebesar 41,20%, mengubah W/L menjadi 0,5 akan menurunkan sQs sebesar 46,24%, mengubah W/L menjadi 0,6 akan menurunkan sQs sebesar 45,80%, mengubah W/L menjadi 0,7 akan menurunkan sQs sebesar 48,12%, mengubah W/L menjadi 0,8 akan menurunkan sQs sebesar 53,40%, mengubah W/L menjadi 0,9 akan menurunkan sQs sebesar 50,59%, dan mengubah W/L menjadi 1 akan menurunkan sQs sebesar 51,46%.

Pada orientasi Barat Daya – Timur laut ($135^{\circ}U$), mengubah W/L 0,1 menjadi 0,2 akan menurunkan sQs sebesar 38,09%, mengubah W/L menjadi 0,3 akan menurunkan sQs sebesar 34,89%, mengubah W/L menjadi 0,4 akan menurunkan sQs sebesar 35,37%, mengubah W/L menjadi 0,5 akan menurunkan sQs sebesar 38,48%, mengubah W/L menjadi 0,6 akan menurunkan sQs sebesar 36,28%, mengubah W/L menjadi 0,7 akan menurunkan sQs sebesar 37,97%, mengubah W/L menjadi 0,8 akan menurunkan sQs sebesar 42,87%, mengubah W/L menjadi 0,9 akan menurunkan sQs sebesar 38,77%, dan mengubah W/L menjadi 1 akan menurunkan sQs sebesar 38,90%.



Gambar 5.11 Pengaruh Rasio W/L terhadap sQg

Berbeda halnya dengan sQ_c dan sQ_s yang memperoleh aliran panas terkecil ketika $W/L = 0,8$, aliran panas akibat radiasi pada bidang transparan (sQ_g) terkecil terjadi ketika $W/L = 0,6$ pada orientasi Utara – Selatan ($0^\circ U$) dan Timur – Barat ($90^\circ U$), dan $W/L = 0,9$ pada orientasi Tenggara – Barat Laut ($45^\circ U$) dan Barat Daya – Timur Laut ($135^\circ U$). Meskipun luasan jendela/kaca hanya 20% dari luas dinding keseluruhan, namun sangat berpengaruh terhadap besar-kecilnya bebabn pendinginan.

Dari Gambar 5.11 diketahui pada orientasi Utara – Selatan ($0^\circ U$), mengubah W/L 0,1 menjadi 0,2 akan menunikan sQ_g sebesar 10,34%, mengubah W/L menjadi 0,3 akan menaikkan sQ_g sebesar 0,38%, mengubah W/L menjadi 0,4 akan menurunkan sQ_g sebesar 14,36%, mengubah W/L menjadi 0,5 akan menurunkan sQ_g sebesar 41,26%, mengubah W/L menjadi 0,6 akan menurunkan sQ_g sebesar 8,99%, mengubah W/L menjadi 0,7 akan menurunkan sQ_g sebesar 9,97%, mengubah W/L menjadi 0,8 akan menurunkan sQ_g sebesar 48,04%, mengubah W/L menjadi 0,9 akan menurunkan sQ_g sebesar 35,69%, dan mengubah W/L menjadi 1 akan menurunkan sQ_g sebesar 17,20%.

Pada orientasi Tenggara – Barat Laut ($45^\circ U$), mengubah W/L 0,1 menjadi 0,2 akan menunikan sQ_g sebesar 20,68%, mengubah W/L menjadi 0,3 akan menaikkan sQ_g sebesar 37,75%, mengubah W/L menjadi 0,4 akan menurunkan sQ_g sebesar 43,80%, mengubah W/L menjadi 0,5 akan menurunkan sQ_g sebesar 26,14%, mengubah W/L menjadi 0,6 akan menurunkan sQ_g sebesar 67,57%, mengubah W/L menjadi 0,7 akan menurunkan sQ_g sebesar 40,88%, mengubah W/L menjadi 0,8 akan menurunkan sQ_g sebesar 41,37%, mengubah W/L menjadi 0,9 akan menurunkan sQ_g sebesar 62,95%, dan mengubah W/L menjadi 1 akan menurunkan sQ_g sebesar 56,49%.

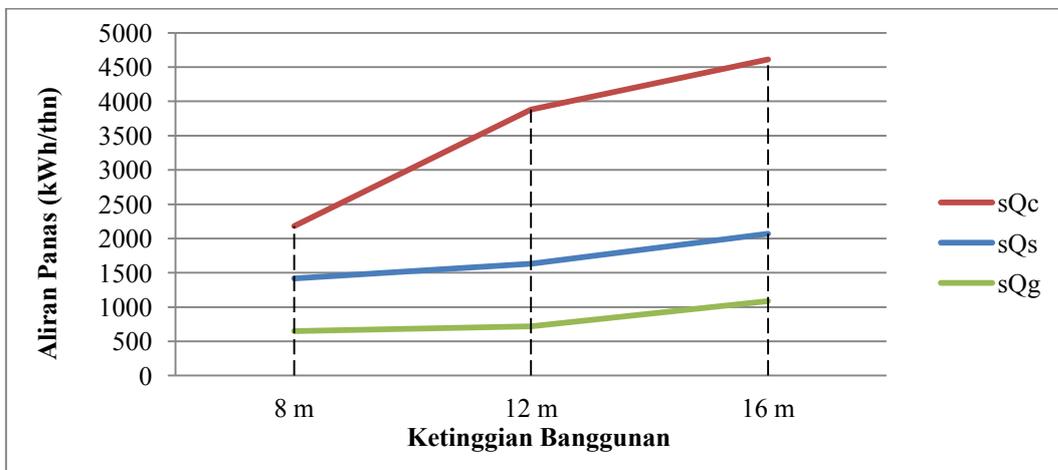
Pada orientasi Timur – Barat ($90^\circ U$), mengubah W/L 0,1 menjadi 0,2 akan menunikan sQ_g sebesar 26,47%, mengubah W/L menjadi 0,3 akan menaikkan sQ_g sebesar 39,15%, mengubah W/L menjadi 0,4 akan menurunkan sQ_g sebesar 44,04%, mengubah W/L menjadi 0,5 akan menurunkan sQ_g sebesar 37,80%, mengubah W/L menjadi 0,6 akan menurunkan sQ_g sebesar 71,17%, mengubah W/L menjadi 0,7 akan menurunkan sQ_g sebesar 53,19%, mengubah W/L menjadi 0,8 akan menurunkan sQ_g sebesar 54,81%, mengubah W/L menjadi 0,9 akan

menurunkan sQg sebesar 74,65%, dan mengubah W/L menjadi 1 akan menurunkan sQg sebesar 70,04%.

Pada orientasi Barat Daya – Timur laut (135°U), mengubah W/L 0,1 menjadi 0,2 akan menurunkan sQg sebesar 35,38%, mengubah W/L menjadi 0,3 akan menaikkan sQg sebesar 36,38%, mengubah W/L menjadi 0,4 akan menurunkan sQg sebesar 44,14%, mengubah W/L menjadi 0,5 akan menurunkan sQg sebesar 22,77%, mengubah W/L menjadi 0,6 akan menurunkan sQg sebesar 67,58%, mengubah W/L menjadi 0,7 akan menurunkan sQg sebesar 40,97%, mengubah W/L menjadi 0,8 akan menurunkan sQg sebesar 41,47%, mengubah W/L menjadi 0,9 akan menurunkan sQg sebesar 63,01%, dan mengubah W/L menjadi 1 akan menurunkan sQg sebesar 56,57%.

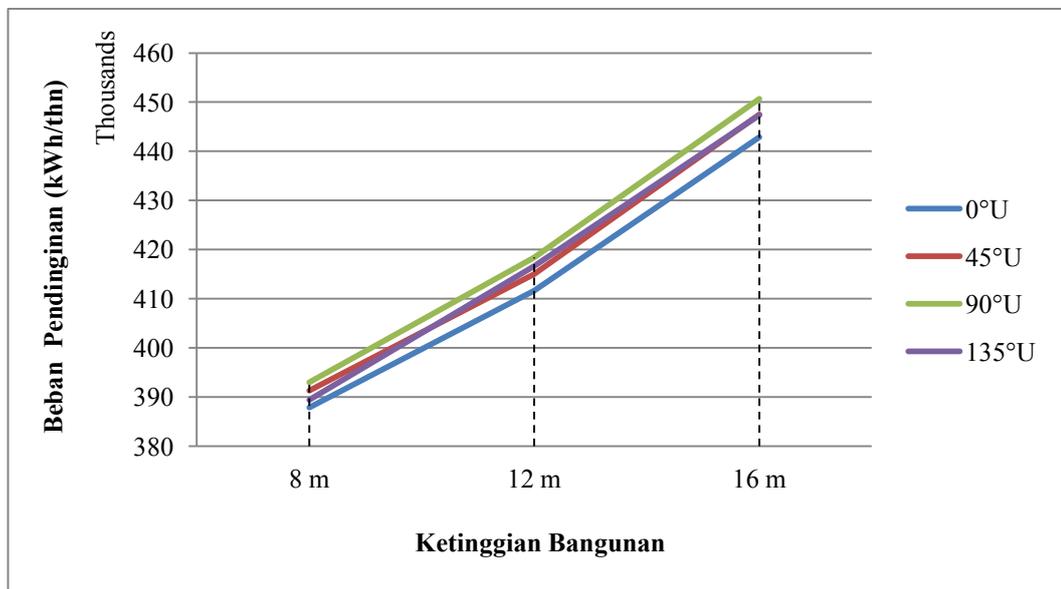
5.3.2 Pengaruh Ketinggian terhadap Beban Pendinginan

Kantor pemerintah bertingkat rendah merupakan fokus subjek pada penelitian ini. Bangunan bertingkat rendah adalah bangunan yang jumlah lantainya antara 2 – 4 lantai (Puspantoro, 2014). Berdasarkan teori tersebut, untuk mengetahui pengaruh ketinggian bangunan terhadap beban pendinginan, jika ketinggian bangunan per lantai diasumsikan 4 meter, maka ketinggian bangunan yang akan diteliti adalah 4m, 12m dan 16m. Beberapa variabel yang diasumsikan sama untuk mengetahui pengaruh ketinggian terhadap beban pendinginan adalah volume bangunan, material fasade yang digunakan, WWR dan W/L = 0,6.



Gambar 5.12 Pengaruh Aliran Panas terhadap Beban Pendinginan

Besar kecilnya beban pendinginan dipengaruhi oleh aliran panas pada fasade bangunan. Pada kasus ini, perbedaan ketinggian bangunan lebih banyak mempengaruhi sQ_c dari pada sQ_s dan sQ_g (Lihat Gambar 5.12). Mengubah ketinggian bangunan 8 meter menjadi 12 meter akan menaikkan sQ_c sebesar 194%, sQ_s sebesar 19,30% dan sQ_g sebesar 10,56%. Mengubah ketinggian bangunan dari 8 meter menjadi 16 meter akan menaikkan sQ_c skitar 231,87%, sQ_s 28,58%& dan sQ_g 67,20%, sedangkan mengubah ketinggian bangunan dari 12 meter menjadi 16 meter akan menaikkan sQ_c sebesar 12,80%, sQ_s 7,79%, dan sQ_g 51,23%.



Gambar 5.13 Pengaruh Ketinggian Bangunan terhadap Beban Pendinginan

Dari Gambar 5.13 dapat disimpulkan bahwa ketinggian bangunan berbanding lurus dengan beban pendinginan, dimana semakin tinggi bangunan maka beban pendinginan akan semakin besar pula dan begitu pula sebaliknya. Pada bangunan orientasi Utara – Selatan ($0^\circ U$), mengubah ketinggian bangunan dari 8 meter menjadi 12 meter akan menaikkan beban pendinginan sekitar 6,13%, mengubah menjadi 16 meter akan menaikkan beban pendinginan sekitar 14,18%, sedangkan mengubah ketinggian bangunan dari 12 meter menjadi 16 meter akan menaikkan beban pendinginan sekitar 7,58%. Pada bangunan orientasi Tenggara – Barat Laut ($45^\circ U$), mengubah ketinggian bangunan dari 8 meter menjadi 12 meter

akan menaikkan beban pendinginan sekitar 6,05%, mengubah menjadi 16 meter akan menaikkan beban pendinginan sekitar 14,36%, sedangkan mengubah ketinggian bangunan dari 12 meter menjadi 16 meter akan menaikkan beban pendinginan sekitar 7,84%.

Pada bangunan orientasi Timur – Barat ($90^{\circ}U$), mengubah ketinggian bangunan dari 8 meter menjadi 12 meter akan menaikkan beban pendinginan sekitar 6,48%, mengubah menjadi 16 meter akan menaikkan beban pendinginan sekitar 14,68%, sedangkan mengubah ketinggian bangunan dari 12 meter menjadi 16 meter akan menaikkan beban pendinginan sekitar 7,71%. Pada bangunan orientasi Barat Daya – Timur laut ($135^{\circ}U$), mengubah ketinggian bangunan dari 8 meter menjadi 12 meter akan menaikkan beban pendinginan sekitar 7,00%, mengubah menjadi 16 meter akan menaikkan beban pendinginan sekitar 14,89%, sedangkan mengubah ketinggian bangunan dari 12 meter menjadi 16 meter akan menaikkan beban pendinginan sekitar 7,38%.

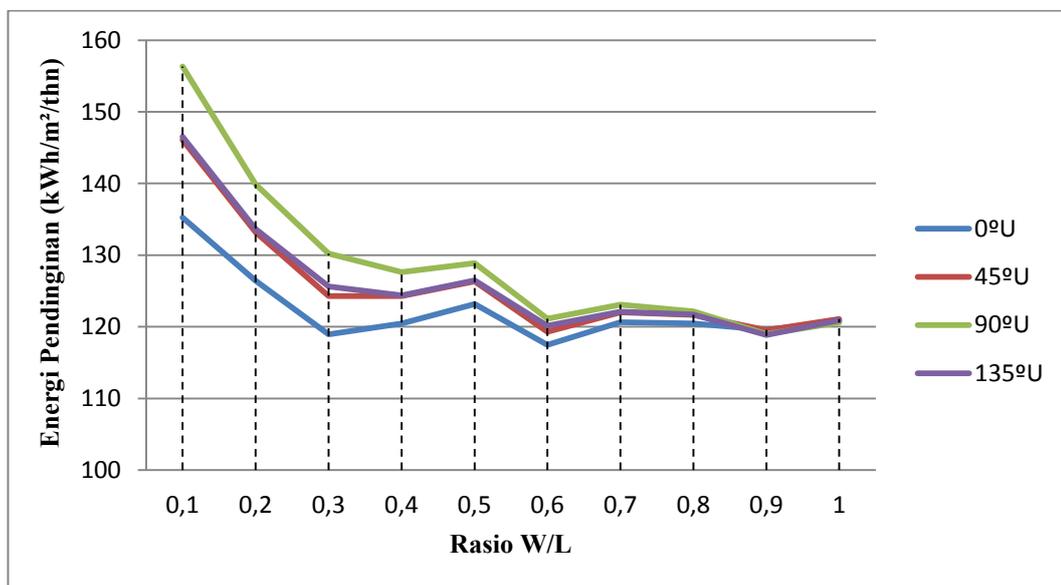
Dari Gambar 5.13 juga diketahui mengubah ketinggian bangunan akan memiliki pengaruh yang lebih besar terhadap efisiensi energi pendinginan dibandingkan mengubah orientasinya. Mengubah orientasi bangunan mampu mereduksi beban pendinginan sekitar 2%, sedangkan mengubah ketinggian bangunan mampu mereduksi beban pendinginan hingga 16,6%.

5.3.3 Pengaruh Geometri terhadap Kinerja Energi Pendinginan

Energi pendinginan berbanding lurus dengan beban pendinginan yang secara umum dipengaruhi oleh W/L dan juga ketinggian bangunan. Pada Gambar 5.8 tampak hubungan timbal balik antara W/L dengan energi pendinginan, namun pada beberapa kasus tidak demikian. Pada W/L rentan 0,1 – 0,3 semakin besar W/L maka beban pendinginan akan semakin kecil. Sama halnya dengan W/L rentan 0,5 – 0,6 dan 0,7 – 0,9 semakin besar W/L maka beban pendinginan akan semakin kecil. Namun pada rentan 0,3 – 0,5, dan 0,6 – 0,7 serta 0,9 – 1,0, W/L berbanding lurus dengan energi pendinginan.

Pada W/L rentan 0,5 – 1,0 (Lihat Tabel 5.8), meskipun bangunan memiliki S/V yang sama, tetapi kinerja energi pendinginannya berbeda-beda. Pada bangunan orientasi Utara – Selatan ($0^{\circ}U$), mengubah W/L 0,5 menjadi 0,6 akan

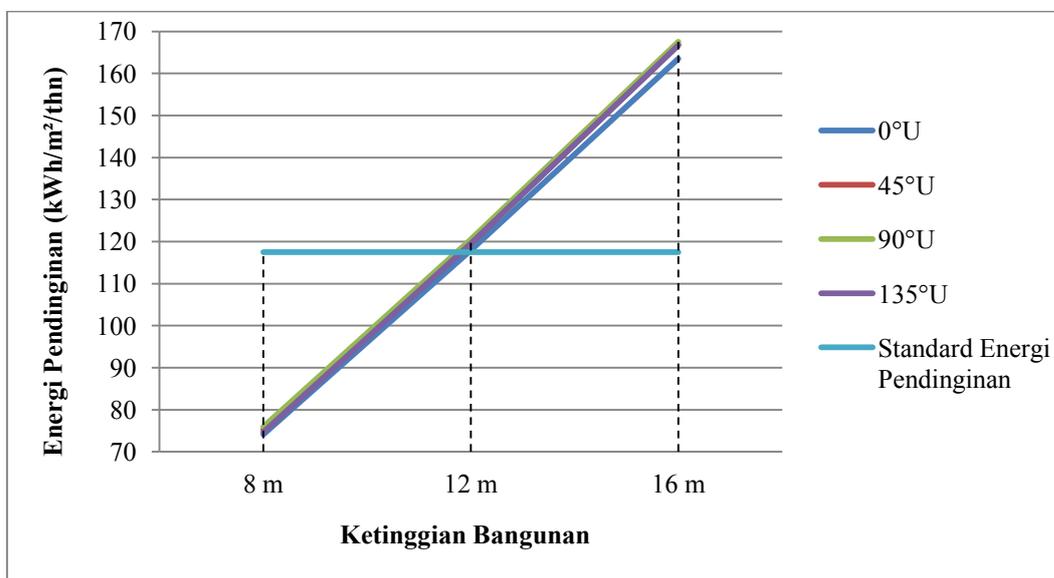
menurunkan energi pendinginan. Meskipun kenaikan rasio ini mengakibatkan luas permukaan dinding (opaque dan transparan) Timur – Barat naik menjadi 9,5% dan permukaan dinding (opaque dan transparan) Utara - Selatan turun menjadi 8,7%, tetapi karena persentase luas permukaan dinding Utara - Selatan lebih besar 100% dari dinding Timur – Barat, maka perolehan panas konduksi sQ_c (lihat gambar 5.4) dan panas radiasi pada kaca sQ_q (lihat gambar 5.8) akan turun yang mengakibatkan konsumsi energi pendinginan menjadi turun juga.



Gambar 5.14 Pengaruh Rasio W/L terhadap Energi Pendinginan

Dari Gambar 5.14, dapat ditarik beberapa kesimpulan: pertama, bangunan yang memiliki kinerja energi pendinginan terbaik adalah bangunan berorientasi Utara – Selatan (0°U) dengan $W/L = 0,6$, sedangkan bangunan yang memiliki kinerja energi pendinginan terburuk adalah bangunan berorientasi Timur – Barat (90°U) dengan $W/L = 0,1$. Hal ini mendukung teori Olgyay (1972) yang menyebutkan bahwa bangunan dengan perbandingan lebar dan panjang 1 : 1,7 atau $W/L = 0,58$ adalah bangunan yang efisien untuk daerah tropis lembab, dimana permukaan dinding terbesar berada pada sisi Utara – Selatan (Latifah, 2012). Kedua, Rasio W/L memiliki pengaruh yang lebih besar terhadap konsumsi energi pendinginan jika dibandingkan dengan pengubah orientasi bangunan. Hal

ini sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh Muhaisn (2015) yang meneliti W/L rasio antara 0,1 sampai 1,0 dan orientasi bangunan dari 10 °U hingga 90°U.



Gambar 5.15 Pengaruh Ketinggian Bangunan terhadap Energi Pendinginan

Berdasarkan Gambar 5.15, dapat ditarik kesimpulan ketinggian bangunan berbanding lurus dengan energi pendinginan. Semakin tinggi suatu bangunan maka konsumsi energi pendinginan juga akan semakin besar, begitu juga sebaliknya. Penelitian ini sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh Muhaisn (2015) yang membandingkan ketinggian bangunan 6m, 12m dan 24m. Pada hasil penelitiannya diperoleh hasil semakin tinggi suatu bangunan maka energi pendinginannya akan semakin besar pula. Dari gambar tersebut juga dapat ditarik kesimpulan bahwa bangunan dengan ketinggian 8 meter (2 lantai) untuk semua orientasi telah memenuhi standar efisiensi energi pendinginan, besarnya konsumsi energi pendinginan lebih kecil dari 117,5 kWh/m²/tn. Bangunan dengan ketinggian 12 meter (3 lantai), konsumsi energi pendinginan sedikit lebih besar dari standar energi pendinginan, sedangkan untuk bangunan dengan ketinggian 16 meter (4 lantai) konsumsi energi pendinginan jauh diatas standar. Mengacu pada penelitian ini, maka untuk kebutuhan penelitian selanjutnya, penulis menggunakan W/L = 0,6 dengan ketinggian 12 meter atau ketinggian bangunan tiga lantai untuk dijadikan model dasar (Lihat Gambar 5.9)

5.4 Pengaruh WWR terhadap Energi Pendinginan

Energi pendinginan merupakan energi yang digunakan untuk sistem tata udara dalam sebuah bangunan guna mencapai kenyamanan termal pengguna bangunan (Juwana, 2005). Besarnya energi pendinginan tergantung pada beban pendinginan pada bangunan. Beban pendinginan adalah jumlah panas yang harus dibuang oleh AC dari dalam ke luar ruangan agar suhu udara di dalam ruangan tidak naik dan tetap pada batas kenyamanan termal. Beban panas dipengaruhi oleh *external gain* dan *internal gain*. Oleh karenanya salah satu solusi untuk memperkecil beban pendinginan adalah dengan memperkecil rambatan panas kedalam bangunan baik itu panas secara konduksi, radiasi dan konveksi.

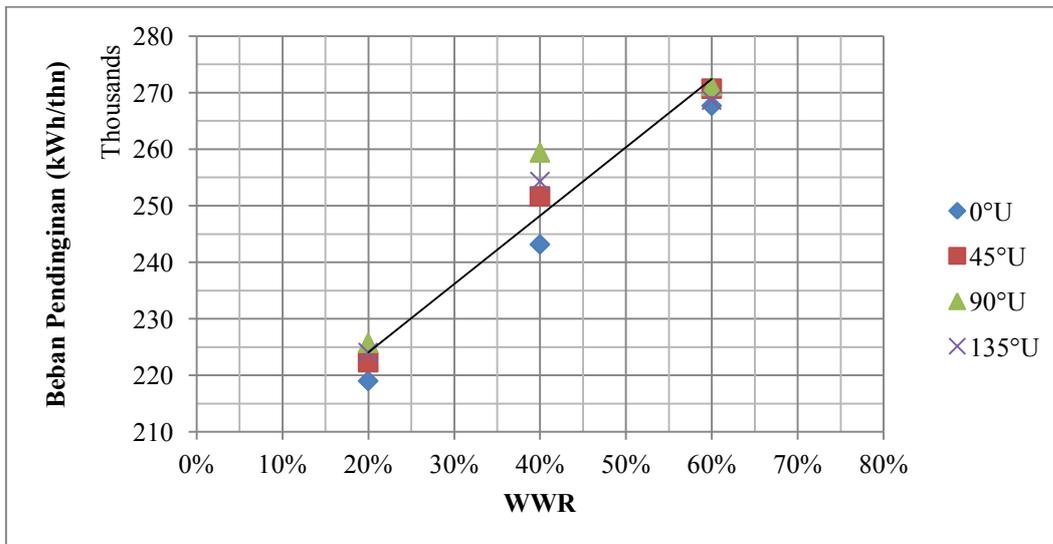
5.4.1 Pengaruh WWR terhadap Beban Pendinginan

Pada penelitian ini untuk mengetahui pengaruh WWR terhadap beban pendinginan, maka model dasar yang memiliki WWR 20% akan dibandingkan dengan model yang telah ditreatmaent yang memiliki WWR 40% dan 60%. Variabel lain yang diasumsikan sama adalah material bangunan, geometri, *internal heat gain*, ACH dan lokasi bangunan dan lain-lain.

Pada penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Juniwati (2008), telah menguji kinerja energi pendinginan pada bangunan kantor dengan WWR total 20%, 40%, 60% dan 80%. Penelitian ini akan lebih spesifik menguji kinerja beban dan energi pendinginan pada WWR 20%, 40%, dan 60% karena dianggap peneliti telah mempresentasikan WWR kantor pemerintahan yang ada di Surabaya. Hasil penelitian pada ketiga WWR tersebut dapat dilihat pada Gambar 5.16, menunjukkan peningkatan beban pendinginan hingga 11,33% ketika persentase WWR dinaikkan dari 20% menjadi 60% pada orientasi Utara- Selatan ($0^{\circ}U$), meningkat 11,16% pada orientasi Tenggara- Barat Laut ($45^{\circ}U$), meningkat 10,82% pada orientasi Timur - Barat ($90^{\circ}U$), dan meningkat 10,27% pada orientasi Timur Laut – Barat Daya ($135^{\circ}U$).

Mengubah WWR dari 20% menjadi 40%, dapat meningkatkan energi pendinginan hingga 4,97% pada orientasi Utara- Selatan ($0^{\circ}U$), meningkat 5,08% pada orientasi Tenggara- Barat Laut ($45^{\circ}U$), meningkat 6,86% pada orientasi

Timur - Barat ($90^{\circ}U$), dan meningkat 6,21% pada orientasi Timur Laut – Barat Daya ($135^{\circ}U$). Mengubah WWR dari 40% menjadi 60%, dapat meningkatkan energi pendinginan hingga 6,06% pada orientasi Utara- Selatan ($0^{\circ}U$), meningkat 5,79% pada orientasi Tenggara - Barat Laut ($45^{\circ}U$), meningkat 3,70% pada orientasi Timur - Barat ($90^{\circ}U$), dan meningkat 3,82% pada orientasi Timur Laut – Barat Daya ($135^{\circ}U$).

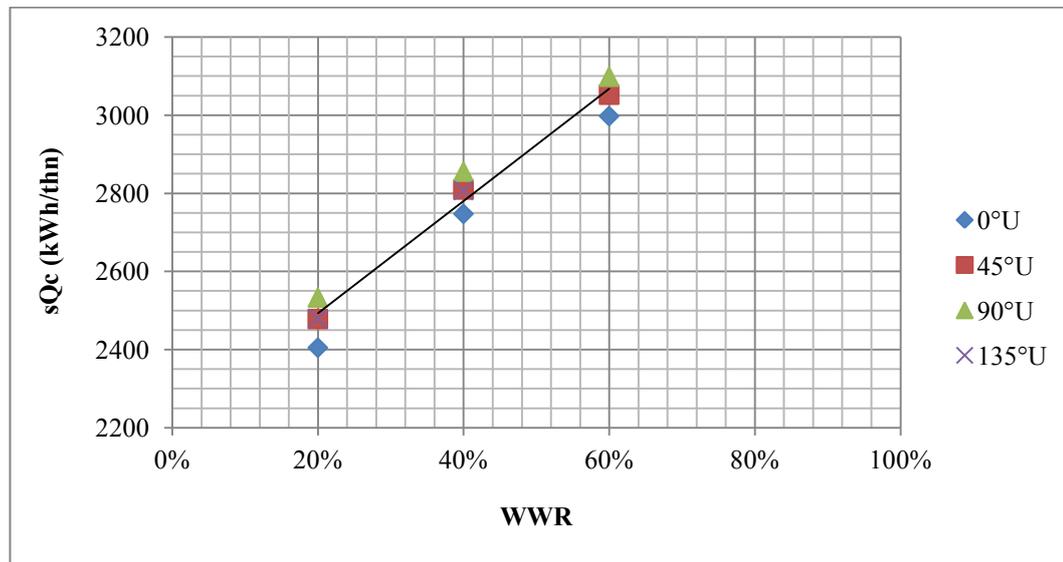


Gambar 5.16 Pengaruh WWR terhadap Beban Pendinginan

Dari Tabel 5.8 jelas terlihat mengubah luasan jandela (WWR) memiliki pengaruh yang lebih besar daripada mengubah orientasi bangunan. Mengubah WWR menjadi lebih besar atau lebih kecil dapat menaikkan atau menurunkan energi pendinginan hingga 11,33%, sedangkan mengubah orientasi bangunan pada WWR yang sama, hanya dapat menaikkan atau menurunkan energi pendinginan sekitar 0,25% hingga 3,48%.

Besar – kecilnya beban pendinginan dipengaruhi oleh aliran panas dari dinding dan kaca karena konduksi (sQc), aliran panas dinding *opaque* karena radiasi (sQs), aliran panas dinding transparat/kaca karena radiasi (sQg), aliran panas yang bersumber dari dalam bangunan (sQi) dan aliran panas akibat adanya ventilasi (sQv). Mengubah WWR menjadi lebih kecil atau lebih besar hanya berpengaruh pada besar-kecilnya sQc , sQs dan sQg . sQv tidak berubah karena

tidak ada perubahan ACH dan volume bangunan sedangkan sQ_i juga tidak berubah karena tidak ada perubahan luas lantai, peralatan elektronik yang digunakan dan jumlah pengguna bangunan.



Gambar 5.17 Pengaruh WWR terhadap sQ_c

Tabel 5.8 Pengaruh WWR terhadap sQ_c dan Beban Pendinginan

WWR	Luas Dinding (m ²)		sQ_c (kWh/thn)				Beban pendinginan (MWh/thn)			
	Transparan	Opaque	0°U	45°U	90°U	135°U	0°U	45°U	90°U	135°U
20%	349	1397	2405	2478	2533	2479	219	222	226	224
40%	699	1048	2747	2810	2855	2807	243	252	259	254
60%	1048	699	2998	3052	3099	2972	268	271	271	269

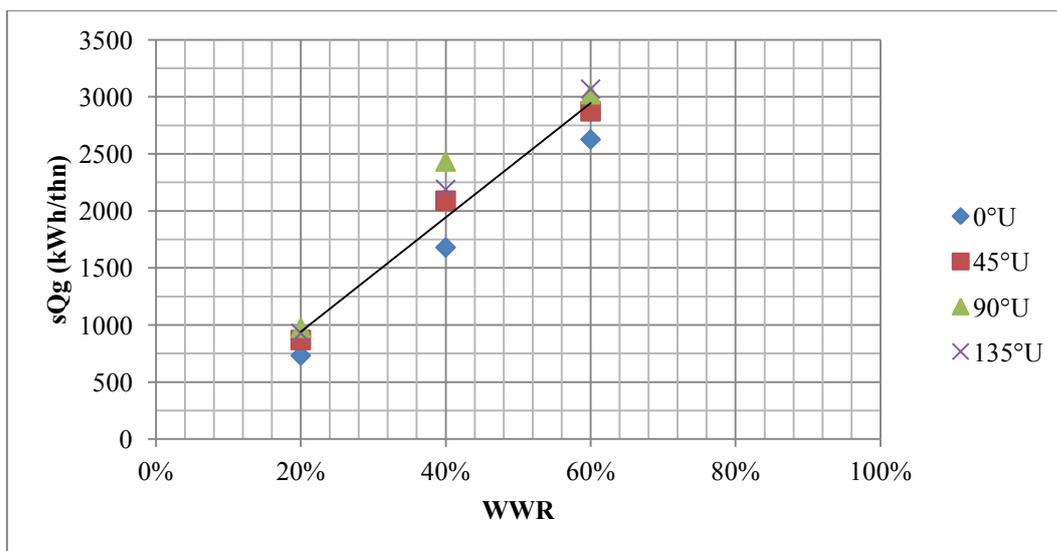
Besarnya sQ_c dipengaruhi oleh luas dinding (*opaque* dan *transparent*), *u-value*, *decrement factor* material dan temperatur udara luar. Semakin besar WWR maka luas dinding *opaque* semakin kecil sedangkan luas dinding transparan (kaca) semakin besar. Mengubah WWR bangunan dari 20% menjadi 40% berarti luas dinding transparan akan lebih besar dua kali lipat atau sekitar 100%, sedangkan dinding *opaque* akan menjadi lebih kecil sekitar 3,6%.

Mengubah WWR bangunan dari 20% menjadi 40% akan berdampak pada kenaikan sQ_c sekitar 8,16% hingga 14,24%. Bangunan berorientasi Utara – Selatan (0°U), sQ_c naik sekitar 14,24%. Bangunan berorientasi Tenggara – Barat

Laut ($45^{\circ}U$), sQ_c naik sekitar 8,16%. Bangunan berorientasi Timur – Barat ($90^{\circ}U$), sQ_c naik sekitar 13,26% dan bangunan berorientasi Timur Laut – Barat Daya ($135^{\circ}U$), sQ_c naik sekitar 13,89%.

Mengubah WWR bangunan dari 20% menjadi 60% akan berdampak pada kenaikan sQ_c yang lebih besar, jika dibandingkan dengan mengubah WWR dari 20% menjadi 40%, yaitu sekitar 23,52% hingga 25,36%. Bangunan berorientasi Utara – Selatan ($0^{\circ}U$), sQ_c naik sekitar 25,36%. Bangunan berorientasi Tenggara – Barat Laut ($45^{\circ}U$), sQ_c naik sekitar 24,54%. Bangunan berorientasi Timur – Barat ($90^{\circ}U$), sQ_c naik sekitar 23,52% dan bangunan berorientasi Timur Laut – Barat Daya ($135^{\circ}U$), sQ_c naik sekitar 25,19%.

Mengubah WWR bangunan dari 40% menjadi 60% akan menaikkan sQ_c lebih besar jika dibandingkan dengan mengubah WWR 20% menjadi 40%, meskipun pada kedua kondisi tersebut sama-sama terjadi kenaikan WWR sekitar 20%. Mengubah WWR bangunan dari 40% menjadi 60% akan berdampak pada kenaikan sQ_c sekitar 9,74% hingga 15,14%. Bangunan berorientasi Utara – Selatan ($0^{\circ}U$), sQ_c naik sekitar 9,74%. Bangunan berorientasi Tenggara – Barat Laut ($45^{\circ}U$), sQ_c naik sekitar 15,14%. Bangunan berorientasi Timur – Barat ($90^{\circ}U$), sQ_c naik sekitar 9,06% dan bangunan berorientasi Timur Laut – Barat Daya ($135^{\circ}U$), sQ_c naik sekitar 9,92%.



Gambar 5.18 Pengaruh WWR terhadap sQ_g

Tabel 5.9 Pengaruh WWR terhadap sQg dan Beban Pendinginan

WWR	Luas Dinding (m ²)		sQg (kWh/thn)				Beban pendinginan (MWh/thn)			
	Transparan	Opaque	0°U	45°U	90°U	135°U	0°U	45°U	90°U	135°U
20%	349	1397	731	868	974	927	219	222	226	224
40%	699	1048	1679	2089	2432	2188	243	252	259	254
60%	1048	699	2626	2872	3022	3068	268	271	271	269

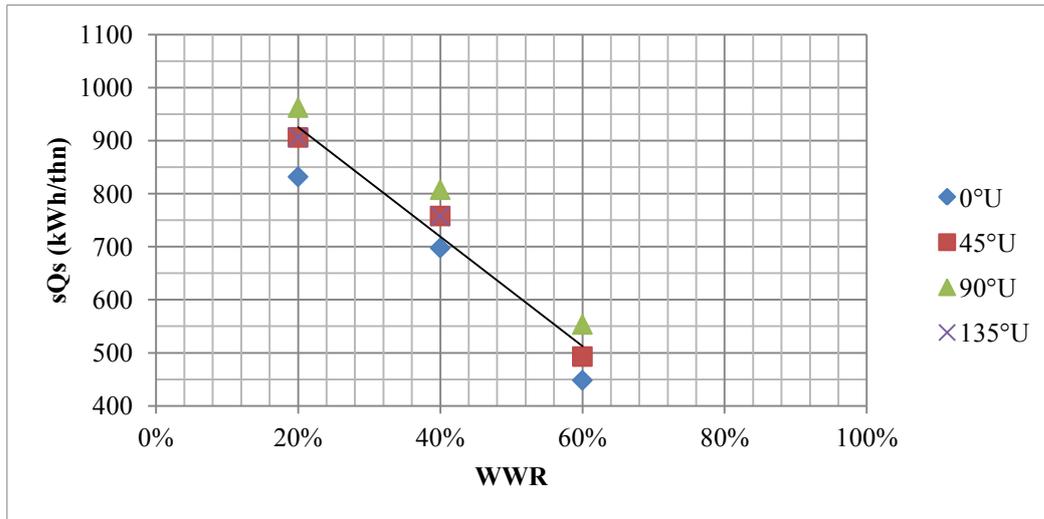
Besarnya sQg dipengaruhi oleh luas permukaan dinding transparan/jendela, *thermal properties* material dan radiasi matahari. Dalam penelitian ini, material bangunan dan radiasi matahari dibuat konstan untuk keperluan simulasi, sehingga pengaruh WWR terhadap sQg dapat diketahui. Semakin besar WWR maka luas dinding transparant akan semakin besar pula.

Gambar 5.18 menunjukkan dengan mengubah WWR bangunan dari 20% menjadi 40% berarti luas dinding transparant akan lebih besar dua kali lipat atau sekitar 100% dan akan berdampak pada kenaikan sQg sekitar 121,60% hingga 141,12%. Bangunan berorientasi Utara – Selatan (0°U), sQg naik sekitar 121,60%. Bangunan berorientasi Tenggara – Barat Laut (45°U), sQg naik sekitar 140,93%. Bangunan berorientasi Timur – Barat (90°U), sQg naik sekitar 141,12% dan bangunan berorientasi Timur Laut – Barat Daya (135°U), sQc naik sekitar 136,63%.

Mengubah WWR bangunan dari 20% menjadi 60% berarti luas dinding transparant akan lebih besar dua kali lipat atau sekitar 200% dan akan berdampak pada kenaikan sQg sekitar 210,14% hingga 246,79%. Bangunan berorientasi Utara – Selatan (0°U), sQg naik sekitar 246,79%. Bangunan berorientasi Tenggara – Barat Laut (45°U), sQg naik sekitar 231,76%. Bangunan berorientasi Timur – Barat (90°U), sQg naik sekitar 210,14% dan bangunan berorientasi Timur Laut – Barat Daya (135°U), sQc naik sekitar 231,78%.

Mengubah WWR bangunan dari 40% menjadi 60% akan menaikkan sQg lebih besar jika dibandingkan dengan mengubah WWR 20% menjadi 40%, meskipun pada kedua kondisi tersebut sama-sama terjadi kenaikan WWR sekitar 20%. Mengubah WWR bangunan dari 20% menjadi 60% berarti luas dinding transparant akan lebih besar dua kali lipat atau sekitar 50% dan akan berdampak

pada kenaikan sQg sekitar 28,62% hingga 5.8,49%. Bangunan berorientasi Utara – Selatan (0°U), sQg naik sekitar 56,49%. Bangunan berorientasi Tenggara – Barat Laut (45°U), sQg naik sekitar 37,70%. Bangunan berorientasi Timur – Barat (90°U), sQg naik sekitar 28,62% dan bangunan berorientasi Timur Laut – Barat Daya (135°U), sQc naik sekitar 40,21%.



Gambar 5.19 Pengaruh WWR terhadap sQs

Tabel 5.10 Pengaruh WWR terhadap sQs dan Beban Pendinginan

WWR	Luas Dinding (m ²)		sQs (kWh/thn)				Beban pendinginan (MWh/thn)			
	Transparan	Opaque	0°U	45°U	90°U	135°U	0°U	45°U	90°U	135°U
20%	349	1397	832	906	962	906	219	222	226	224
40%	699	1048	697	758	807	757	243	252	259	254
60%	1048	699	448	493	553	514	268	271	271	269

sQs merupakan aliran panas pada dinding *opaque* karena radiasi matahari. sQs berbanding terbalik dengan sQc, sQg dan beban pendinginan. Menurut Szokolay (2004), sQs dipengaruhi oleh luas dinding, u-value, *absorbance*, *resistivity* permukaan terluar dan radiasi matahari pada permukaan terluar. Permukaan dinding *opaque* akan semakin kecil seiring bertambah besarnya WWR. Berbeda halnya dengan sQc yang berbanding lurus dengan WWR, sQs berbanding terbalik dengan WWR. Semakin kecil permukaan dinding *opaque*,

maka permukaan dinding yang terpapar radiasi matahari akan semakin kecil sehingga sQs yang diterima akan semakin kecil pula.

Dari Gambar 5.19 diketahui mengubah WWR dari 20% menjadi 40% mengakibatkan permukaan dinding opaque lebih kecil 25% dan berdampak pada penurunan sQs sekitar 16,08% hingga 17,68%. Bangunan berorientasi Utara – Selatan ($0^{\circ}U$), sQs turun sekitar 17,68%. Bangunan berorientasi Tenggara – Barat Laut ($45^{\circ}U$), sQs turun sekitar 16,30%. Bangunan berorientasi Timur – Barat ($90^{\circ}U$), sQs turun sekitar 16,08% dan bangunan berorientasi Timur Laut – Barat Daya ($135^{\circ}U$), sQs turun sekitar 16,65%.

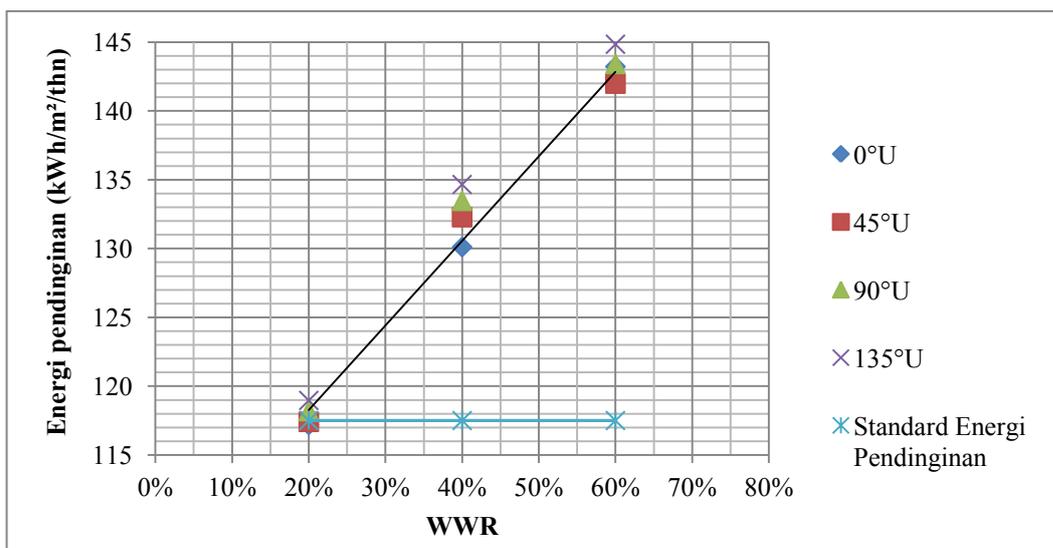
Permukaan dinding *opaque* menjadi lebih kecil, turun sekitar 50%, dengan mengubah WWR dari 20% menjadi 60%. Berbeda halnya dengan permukaan dinding opaque, permukaan dinding transparat/jendela akan menjadi lebih besar 200% dengan mengubah WWR dari 20% menjadi 60%. Kondisi ini berdampak pada penurunan sQs sekitar 42,16% hingga 46,48%. Bangunan berorientasi Utara – Selatan ($0^{\circ}U$), sQs turun sekitar 46,48%. Bangunan berorientasi Tenggara – Barat Laut ($45^{\circ}U$), sQs turun sekitar 44,45%. Bangunan berorientasi Timur – Barat ($90^{\circ}U$), sQs turun sekitar 42,16% dan bangunan berorientasi Timur Laut – Barat Daya ($135^{\circ}U$), sQs turun sekitar 42,74%. Mengubah WWR dari 40% menjadi 60% mengakibatkan permukaan dinding opaque lebih kecil 33,33% dan berdampak pada penurunan sQs sekitar 31,08% hingga 34,98%. Bangunan berorientasi Utara – Selatan ($0^{\circ}U$), sQs turun sekitar 34,98%. Bangunan berorientasi Tenggara – Barat Laut ($45^{\circ}U$), sQs turun sekitar 33,63%. Bangunan berorientasi Timur – Barat ($90^{\circ}U$), sQs turun sekitar 31,08% dan bangunan berorientasi Timur Laut – Barat Daya ($135^{\circ}U$), sQs turun sekitar 31,30%.

Dari uraian di atas dapat ditarik kesimpulan bahwa WWR berbanding lurus dengan beban pendinginan, dimana semakin besar rasio WWR, maka beban pendinginan akan semakin besar pula dan begitu pula sebaliknya. Hal ini sejalan dengan penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Loekita (2006) dan Paramita (2013). Peningkatan rasio WWR akan mempengaruhi besarnya aliran panas dalam bangunan. Aliran panas yang dimaksud adalah panas akibat konduksi (sQc), panas akibat radiasi pada dinding opaque (sQs) dan panas pada dinding transparan/kaca (sQg). Semakin besar rasio WWR, maka sQc dan sQg akan semakin besar pula,

sedangkan sQ_g akan semakin kecil. Meskipun sQ_g menurun, namun penurunan panasnya tidak sebanding dengan kenaikan sQ_c dan sQ_g sehingga mengakibatkan naiknya beban pendinginan panas kenaikan rasio WWR.

5.4.2 Pengaruh WWR terhadap Energi Pendinginan

Sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh oleh Al-Tamimi (2010) dan Paramita (2013), penelitian ini juga mendapatkan suatu hubungan linear antara rasio WWR dengan energi pendinginan (Lihat Gambar 5.14). Kenaikkan rasio WWR berbanding lurus dengan beban pendinginan, sedangkan beban pendinginan berbanding lurus dengan energi pendinginan. Ini berarti, peningkatan rasio WWR berbanding lurus pula dengan energi pendinginan. Selain rasio WWR, orientasi bangunan juga sangat mempengaruhi konsumsi energi pendinginan. Gambar 5.10 di atas juga menunjukkan orientasi Utara – Selatan ($0^\circ U$) adalah orientasi terbaik untuk bangunan yang berada di iklim tropis seperti Indonesia pada umumnya, dan Surabaya pada khususnya. Hal ini mendukung teori Lippsmeier (1997) yang menyatakan sebaiknya fasade bangunan menghadap Utara – Selatan, agar meniadakan radiasi langsung dari cahaya matahari rendah dan konsentrasi tertentu yang menimbulkan penambahan panas, dan mendukung teori Latfifah (2015) yang menyatakan untuk mengantisipasi kendala radiasi panas matahari, usahakan orientasi bangunan ke arah Utara – Selatan.



Gambar 5.20 Pengaruh WWR terhadap Energi Pendinginan

Gambar 5.20 menunjukkan pada orientasi Utara – Selatan (0°U), mengubah WWR 20% menjadi 40% akan menaikkan 4,97% energi pendinginan dan mengubah menjadi 60% akan menaikkan 11,33% energi pendinginan, sedangkan mengubah WWR 40% menjadi 60% akan menaikkan beban pendinginan 6,06%. Pada orientasi Tenggara – Barat Laut (45°U), mengubah WWR 20% menjadi 40% akan menaikkan 5,08% energi pendinginan dan mengubah menjadi 60% akan menaikkan 11,16% energi pendinginan, sedangkan mengubah WWR 40% menjadi 60% akan menaikkan beban pendinginan 5,79%.

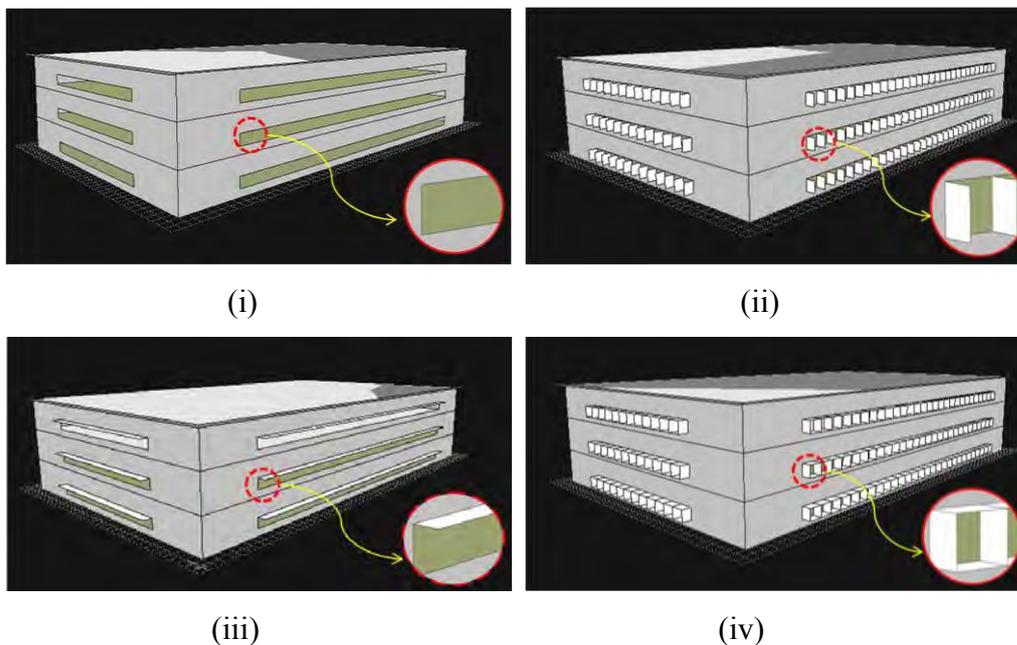
Pada orientasi Timur – Barat (90°U), dimana sisi dinding yang terbesar menghadap Timur dan Barat, menaikkan rasio WWR mengakibatkan konsumsi energi pendinginan lebih besar jika dibandingkan dengan bangunan dengan orientasi lainnya. Mengubah WWR 20% menjadi 40% akan menaikkan 6,86% energi pendinginan dan mengubah menjadi 60% akan menaikkan 10,82% energi pendinginan, serta mengubah WWR 40% menjadi 60% akan menaikkan beban pendinginan 3,70%. Pada orientasi Barat Daya – Timur laut (135°U), menaikkan rasio WWR mengakibatkan konsumsi energi pendinginan lebih besar jika dibandingkan dengan bangunan dengan berorientasi Tenggara – Barat Laut (45°U) dan Utara – Selatan (0°U), namun lebih kecil dari bangunan berorientasi Timur – Barat (90°U).

Penelitian ini menemukan WWR 20% merupakan luas bukaan yang tepat yang efisien terhadap energi pendinginan untuk bangunan yang menggunakan jendela kaca *clear glass*. Penggunaan WWR yang kecil untuk meminimalisir *heat gain* adalah salah satu cara bangunan *thin skin* untuk memodifikasi iklim luar. Penelitian ini juga menemukan meskipun kinerja energi pendinginan pada WWR 20% lebih baik, namun masih dikategorikan tidak hemat energi karena energi pendinginannya masih berada sedikit di atas standar energi pendinginan ($117,5 \text{ kWh/m}^2/\text{thn}$), kecuali bangunan yang berorientasi Utara – Selatan (0°U) (lihat Gambar 5.20). Hal ini bisa jadi dikarenakan material bangunan yang digunakan pada penelitian ini, masih merupakan material standar yang memiliki *thermal properties* kurang baik. Oleh karenanya, pada sub-sub bab selanjutnya peneliti akan menganalisa pengaruh material dan *shading devices* guna melihat pengaruhnya terhadap konsumsi energi pendinginan.

5.5 Pengaruh Peneduh (*Shading Devices*) terhadap Energi Pendinginan

5.5.1 Pengaruh Peneduh (*Shading Devices*) terhadap Beban Pendinginan

Peneduh (*shading devices*) merupakan salah satu elemen bangunan yang banyak digunakan untuk melindungi bangunan dari radiasi matahari. Pada penelitian ini terdapat tiga jenis peneduh yang diteliti yaitu peneduh vertikal, horizontal dan gabungan dari vertikal-horizontal yang biasa disebut dengan *eggcrate* (lihat Gambar 5.21). Untuk mengetahui pengaruh peneduh (*shading devices*) terhadap energi pendinginan, maka model dasar yang tidak memiliki peneduh akan dibandingkan dengan model *thick skin* (bangunan yang memiliki peneduh)

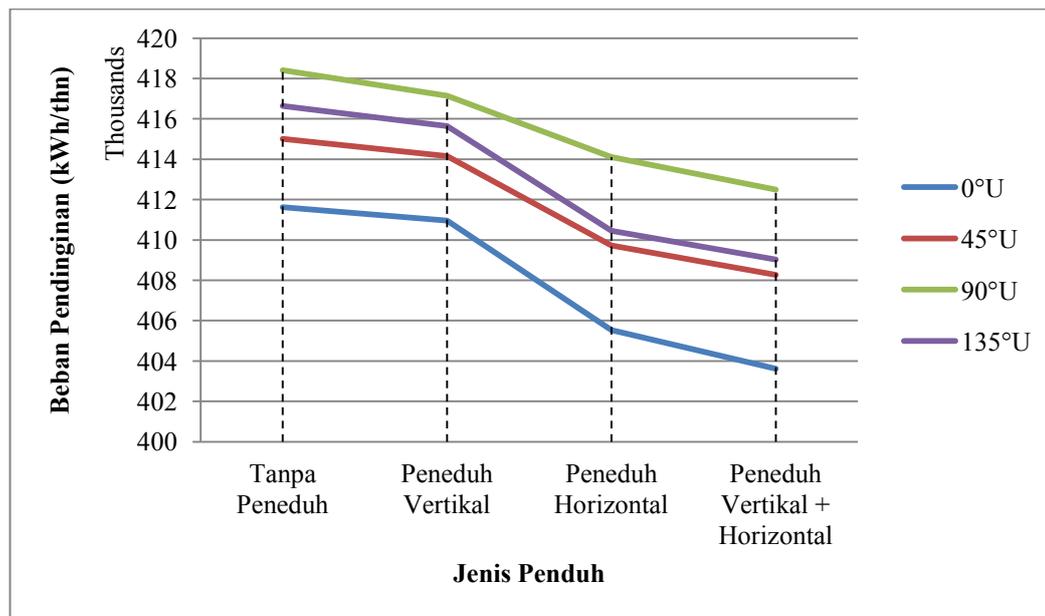


Gambar 5.21 Model bangunan (i) tidak memiliki alat peneduh (model dasar), (ii) memiliki peneduh vertikal, (iii) memiliki peneduh horizontal, (iv) memiliki peneduh vertikal-horizontal

Gambar 5.21 menunjukkan kinerja beban pendinginan pada bangunan yang tidak menggunakan peneduh dan yang menggunakan peneduh (peneduh vertikal, horizontal dan vertikal- horizontal). Penggunaan peneduh pada bangunan sangat efektif untuk menurunkan beban pendinginan. Beban pendinginan pada bangunan yang menggunakan peneduh vertikal-horizontal akan sangat kecil jika

dibandingkan dengan bangunan yang hanya menggunakan peneduh vertikal atau peneduh horizontal saja.

Berdasarkan Gambar 5.21 juga diketahui bangunan yang berorientasi Utara – Selatan ($0^{\circ}U$), penggunaan peneduh dapat menurunkan beban pendinginana sekitar 0,16% hingga 1,95%. Penambahan peneduh vertikal mampu menurunkan beban pendinginan 0,16%, peneduh horizontal 1,48% dan peneduh vertikal-horizontal 1,95%. Berbeda halnya dengan bangunan yang berorientasi Utara – Selatan ($0^{\circ}U$) yang mampu menurunkan beban pendinginan hingga 1,95%, bangunan yang berorientasi Tenggara – Barat Laut ($45^{\circ}U$) hanya mampu menurunkan beban pendinginan 1,62% dengan peneduh vertikal-horizontal, 1,27% dengan peneduh vertikal dan 0,20% dengan peneduh vertikal.



Gambar 5.22 Pengaruh Peneduh terhadap Beban Pendinginan

Bangunan yang berorientasi Timur – Barat ($90^{\circ}U$), penambahan peneduh vertikal dapat menurunkan 0,30% beban pendinginan, peneduh horizontal 1,03% dan peneduh vertikal- horizontal 1,41%. Namun bangunan yang berorientasi Timur Laut – Barat Daya ($135^{\circ}U$), penambahan peneduh vertikal dapat menurunkan 0,24% beban pendinginan, peneduh horizontal 1,48% dan peneduh vertikal- horizontal 1,82%.

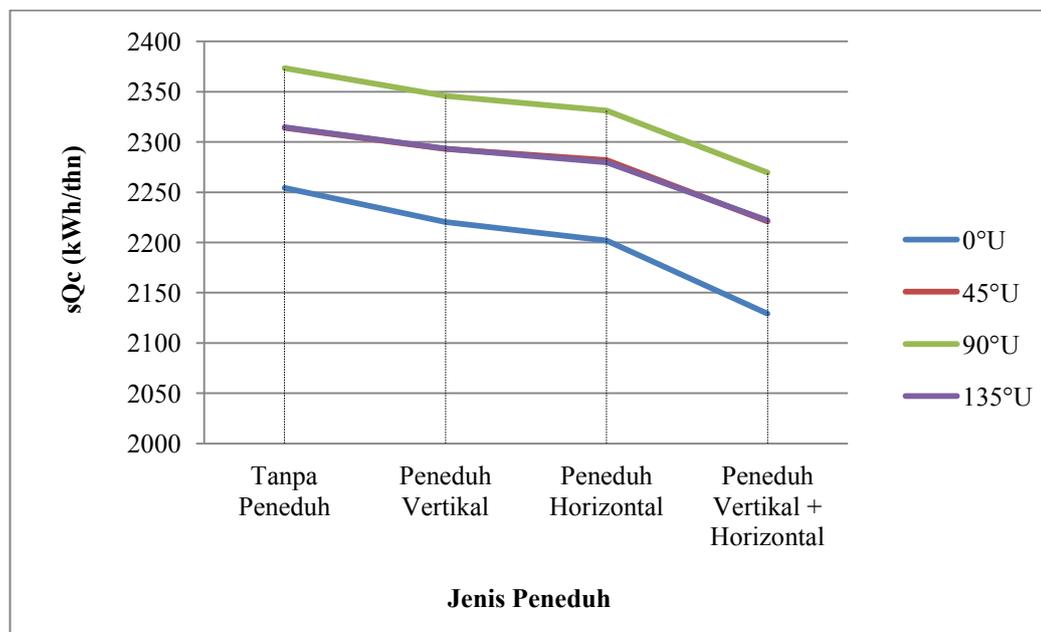
Selain penggunaan peneduh, penentuan orientasi bangunan dan bukaan/jendela yang tepat juga sangat berperan penting dalam menurunkan beban pendinginan. Bangunan yang berorientasi Utara – Selatan (0°U), akan memiliki beban pendinginan yang lebih kecil jika dibandingkan dengan bangunan orientasi lainnya. Penggunaan jenis peneduh yang sama pada orientasi bangunan yang berbeda juga akan berdampak pada beban pendinginan. Mengubah orientasi bangunan dari Utara – Selatan (0°U) menjadi Tenggara – Barat Laut (45°U) ternyata dapat menaikkan beban pendinginan 0,82% untuk bangunan yang menggunakan peneduh vertikal, dan menaikkan 0,78% untuk bangunan yang menggunakan peneduh vertikal serta menaikkan 1,03% untuk bangunan yang menggunakan peneduh vertikal-horizontal.

Berdasarkan Gambar 5.22, mengubah orientasi bangunan dari Utara – Selatan (0°U) menjadi Timur – Barat (90°U) akan menaikkan beban pendinginan dua kali lipat dari pada mengubah orientasi bangunan dari Utara – Selatan (0°U) menjadi Tenggara – Barat Laut (45°U). Mengubah orientasi bangunan dari Utara – Selatan (0°U) menjadi Timur – Barat (90°U) dapat menaikkan beban pendinginan 1,65% untuk bangunan yang menggunakan peneduh vertikal, dan menaikkan 1,51% untuk bangunan yang menggunakan peneduh vertikal serta menaikkan 2,12% untuk bangunan yang menggunakan peneduh vertikal-horizontal. Mengubah orientasi bangunan dari Utara – Selatan (0°U) menjadi Timur Laut – Barat Daya (135°U), dapat menaikkan beban pendinginan 1,22% untuk bangunan yang menggunakan peneduh vertikal, dan menaikkan 1,48% untuk bangunan yang menggunakan peneduh vertikal serta menaikkan 1,95% untuk bangunan yang menggunakan peneduh vertikal-horizontal.

Gambar 5.22 menunjukkan mengubah orientasi bangunan dari Tenggara – Barat Laut (45°U) menjadi Timur – Barat (90°U) dapat menaikkan beban pendinginan 0,72 % untuk bangunan yang menggunakan peneduh vertikal, dan menaikkan 1,07% untuk bangunan yang menggunakan peneduh vertikal serta menaikkan 1,03% untuk bangunan yang menggunakan peneduh vertikal-horizontal. Berbeda halnya dengan mengubah orientasi bangunan dari Tenggara – Barat Laut (45°U) menjadi Timur – Barat (90°U), mengubah orientasi bangunan dari Tenggara – Barat Laut (45°U) menjadi Timur Laut – Barat Daya (135°U),

ternyata dapat menurunkan beban pendinginan. Mengubah orientasi bangunan dari Tenggara – Barat Laut ($45^{\circ}U$) menjadi Timur Laut – Barat Daya ($135^{\circ}U$), dapat menurunkan beban pendinginan 0,36% untuk bangunan yang menggunakan peneduh vertikal, dan menurunkan 0,88% untuk bangunan yang menggunakan peneduh vertikal serta menurunkan 0,84% untuk bangunan yang menggunakan peneduh vertikal-horizontal.

Beban pendinginan dipengaruhi oleh besar kecilnya aliran panas dalam bangunan. Terdapat lima sumber aliran panas pada bangunan yaitu aliran panas akibat konduksi (sQ_c), aliran panas karena radiasi pada permukaan opaque (sQ_s) dan aliran panas karena radiasi pada permukaan transparan (sQ_g), aliran panas akibat konveksi (sQ_v) dan aliran panas yang berasal dari dalam bangunan itu sendiri (sQ_i). Akan tetapi ada-tidaknya peneduh dan jenis peneduh yang digunakan hanya akan berpengaruh terhadap besarnya sQ_c , sQ_s dan sQ_g . sQ_v tidak berubah karena tidak ada perubahan volume dan ACH pada masing-masing model yang disimulasikan. sQ_i juga tidak berubah karena tidak ada perubahan luas lantai, peralatan elektronik yang digunakan dan jumlah penghuni/pengguna bangunan ditiap model yang disimulasikan.



Gambar 5.23 Pengaruh Peneduh terhadap sQ_c

Berdasarkan Gambar 5.23 diketahui penambahan peneduh dapat menurunkan sQc sekitar 0,65% hingga 4,38% tergantung dari jenis peneduh yang digunakan dan orientasi bangunannya. Bangunan yang menggunakan peneduh vertikal-horizontal akan memperoleh panas konduksi (sQc) lebih kecil jika dibandingkan dengan bangunan yang hanya menggunakan peneduh vertikal saja atau peneduh horizontal saja. Pada bangunan yang tidak memiliki peneduh dengan orientasi yang sama, yaitu Utara – Selatan ($0^{\circ}U$), penambahan peneduh vertikal dapat menurunkan sQc 0,65%, penambahan peneduh horizontal dapat menurunkan sQc 0,76% dan penambahan peneduh vertikal-horizontal mampu menurunkan sQc 4,72% atau mampu menurunkan sQc empat kali lebih besar jika bangunan hanya menggunakan peneduh vertikal saja atau peneduh horizontal saja.

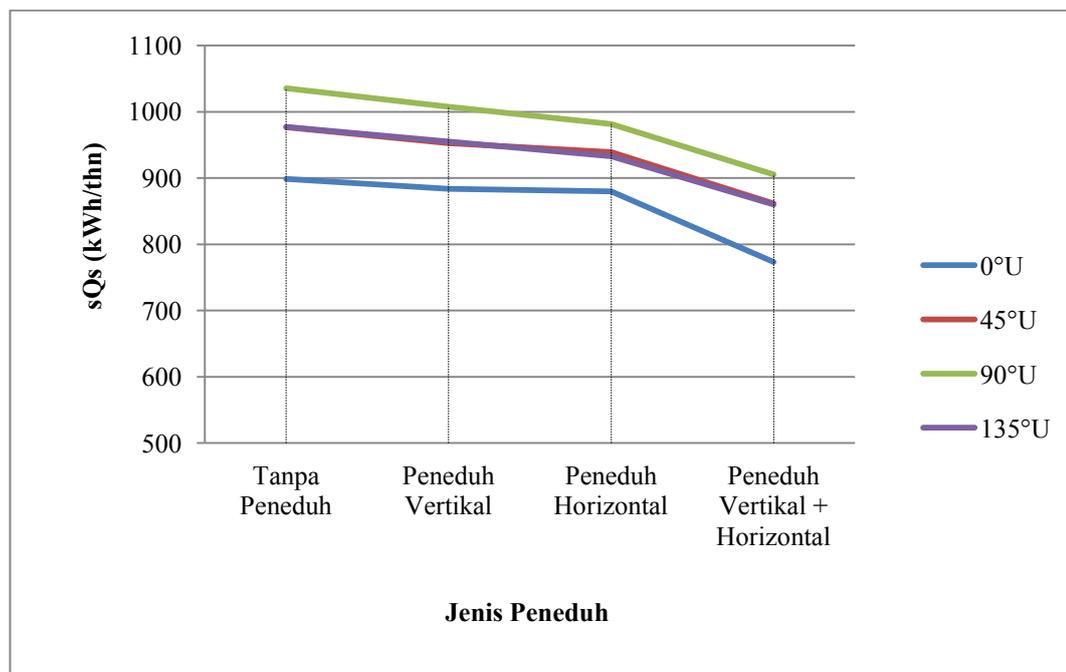
Pada bangunan yang tidak memiliki peneduh dengan orientasi yang sama, yaitu Tenggara – Barat Laut ($45^{\circ}U$), penambahan peneduh vertikal atau peneduh horizontal mampu menurunkan beban pendinginan lebih besar daripada bangunan orientasi Utara – Selatan ($0^{\circ}U$). Jika penambahan peneduh vertikal dapat menurunkan sQc 0,89% dan penambahan peneduh horizontal dapat menurunkan sQc 1,37%, maka penambahan peneduh vertikal-horizontal mampu menurunkan sQc 4,02%.

Bangunan yang berorientasi Timur – Barat ($90^{\circ}U$), penambahan peneduh vertikal pada bangunan yang tidak menggunakan peneduh mampu menurunkan 1,16% beban pendinginan, penambahan peneduh horizontal mampu menurunkan 1,78% beban pendinginan dan penambahan peneduh vertikal-horizontal mampu menurunkan 4,38% beban pendinginan. Sedangkan bangunan Bangunan yang berorientasi Timur Laut – Barat Daya ($135^{\circ}U$), penambahan peneduh vertikal pada bangunan yang tidak menggunakan peneduh mampu menurunkan 0,91% beban pendinginan, penambahan peneduh horizontal mampu menurunkan 1,50% beban pendinginan dan penambahan peneduh vertikal-horizontal mampu menurunkan 4,00% beban pendinginan.

Selain penambahan peneduh pada bangunan yang tidak memiliki peneduh, memutuskan untuk mengubah jenis peneduh bangunan juga akan berpengaruh terhadap naik-turunnya beban pendinginan. Pada bangunan orientasi Utara – Selatan ($0^{\circ}U$), mengubah peneduh vertikal menjadi peneduh horizontal dapat

menurunkan 0,11% beban pendinginan, dan mengubahnya menjadi peneduh vertikal-horizontal dapat menurunkan 4,10% beban pendinginan, sedangkan mengubah peneduh vertikal menjadi peneduh vertikal-horizontal mampu menurunkan sQc 3,99%.

Pada bangunan orientasi Tenggara – Barat Laut ($45^{\circ}U$), mengubah peneduh vertikal menjadi peneduh horizontal dapat menurunkan sQc 0,48%, dan mengubahnya menjadi peneduh vertikal-horizontal dapat menurunkan sQc 3,16%, sedangkan mengubah peneduh vertikal menjadi peneduh vertikal-horizontal mampu menurunkan sQc 2,68%. Pada bangunan orientasi Timur – Barat ($90^{\circ}U$), mengubah peneduh vertikal menjadi peneduh horizontal dapat menurunkan sQc 0,62%, dan mengubahnya menjadi peneduh vertikal-horizontal dapat menurunkan sQc 3,26%, sedangkan mengubah peneduh vertikal menjadi peneduh vertikal-horizontal mampu menurunkan sQc 2,65%. Dan pada bangunan orientasi Timur Laut – Barat Daya ($135^{\circ}U$), mengubah peneduh vertikal menjadi peneduh horizontal dapat menurunkan sQc 0,60%, dan mengubahnya menjadi peneduh vertikal-horizontal dapat menurunkan sQc 3,12%, sedangkan mengubah peneduh vertikal menjadi peneduh vertikal-horizontal mampu menurunkan sQc 2,54%.



Gambar 5.24 Pengaruh Peneduh terhadap sQs

Sama halnya dengan panas akibat konduksi (sQ_c), panas akibat radiasi pada dinding *opaque* (sQ_s) turun 1,66% hingga 13,94% dengan penambahan peneduh. Diantara ketiga peneduh yang digunakan, peneduh vertikal-horizontal memiliki kemampuan menurunkan sQ_s lebih besar dibandingkan dengan peneduh lainnya (Lihat Gambar 5.8). Peneduh vertikal-horizontal mampu menurunkan sQ_s sekitar 11,77% hingga 13,94%, peneduh horizontal mampu menurunkan sQ_s sekitar 2,11% hingga 5,18%, dan peneduh vertikal mampu menurunkan sQ_s sekitar 1,66% hingga 2,67%. Hal ini dikarenakan dengan adanya peneduh vertikal-horizontal, maka dinding yang terbayangi oleh peneduh akan semakin luas pula.

Pada orientasi Utara – Selatan ($0^\circ U$), penambahan peneduh vertikal pada bangunan yang tidak memiliki peneduh dapat menurunkan sQ_s 16,59% penambahan peneduh horizontal dapat menurunkan sQ_s 21,08% dan penambahan peneduh vertikal-horizontal dapat menurunkan sQ_s 139,36%. Pada orientasi yang sama, mengubah jenis peneduh yang digunakan juga akan berdampak pada naik-turunnya beban pendinginan. Mengubah peneduh vertikal menjadi peneduh horizontal dapat menurunkan sQ_s 4,57% dan mengubah menjadi peneduh vertikal- horizontal mampu menurunkan sQ_s 124,83%, sedangkan mengubah horizontal menjadi peneduh vertikal-horizontal mampu menurunkan sQ_s 120,82%.

Penambahan peneduh pada bangunan berorientasi Tenggara – Barat Laut ($45^\circ U$) dan Timur Laut – Barat Daya ($135^\circ U$), besarnya sQ_s yang diperoleh hampir sama atau selisihnya lebih kecil dari 0,89%. Penambahan pelindung vertikal akan menyebabkan sQ_s pada bangunan yang berorientasi Tenggara – Barat Laut ($45^\circ U$) menjadi lebih kecil jika dibandingkan dengan bangunan berorientasi Timur Laut – Barat Daya ($135^\circ U$). Namun penambahan pelindung horizontal dan pelindung vertikal-horizontal akan menyebabkan sQ_s pada bangunan yang berorientasi Tenggara – Barat Laut ($45^\circ U$) akan lebih besar jika dibandingkan dengan bangunan berorientasi Timur Laut – Barat Daya ($135^\circ U$).

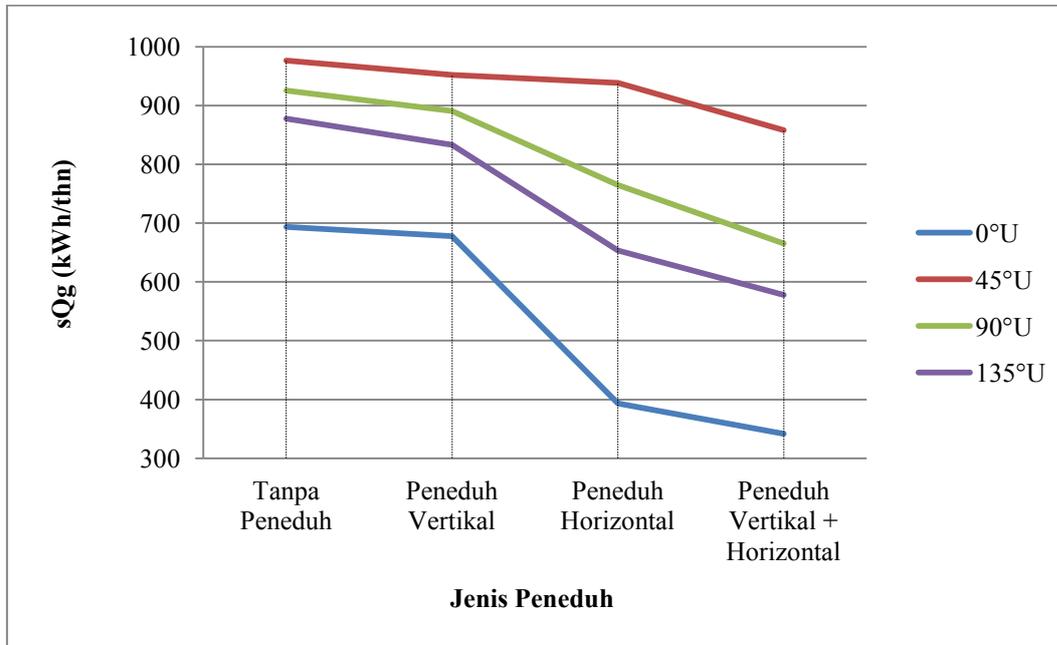
Pada orientasi Tenggara – Barat Laut ($45^\circ U$), besarnya sQ_s yang diperoleh lebih besar dari pada bangunan yang berorientasi Utara – Selatan ($0^\circ U$). Hal ini dikarenakan faktor radiasi matahari yang diterima oleh dinding Tenggara

(97W/m²) dan Barat Laut (211W/m²) lebih besar dari pada faktor radiasi yang diterima oleh dinding Utara (130 W/m²) dan Selatan (97 W/m²). Penambahan peneduh vertikal pada bangunan yang tidak memiliki peneduh dapat menurunkan sQs 24,89%, penambahan peneduh horizontal dapat menurunkan sQs 38,67% dan penambahan peneduh vertikal-horizontal dapat menurunkan sQs 120,97%. Pada orientasi yang sama, mengubah jenis peneduh yang digunakan juga akan berdampak pada naik-turunnya beban pendinginan. Mengubah peneduh vertikal menjadi peneduh horizontal dapat menurunkan sQs 14,14% dan mengubah menjadi peneduh vertikal- horizontal mampu menurunkan sQs 98,54%, sedangkan mengubah horizontal menjadi peneduh vertikal-horizontal mampu menurunkan sQs 85,61%.

Pada orientasi Timur – Barat (90°U), besarnya sQs yang diperoleh lebih besar dari pada bangunan dengan orientasi lainnya. Hal ini dikarenakan dinding terluas bangunan akan membentuk sudut tegak lurus terhadap radiasi matahari sehingga menyebabkan permukaan dinding terpapar radiasi matahari. Sisi Timur akan menerima radiasi matahari sebesar (112 W/m²) dan sisi Barat (243 W/m²). Penambahan peneduh vertikal pada bangunan yang tidak memiliki peneduh dapat menurunkan sQs 26,70%, penambahan peneduh horizontal dapat menurunkan sQs 51,84% dan penambahan peneduh vertikal-horizontal dapat menurunkan sQs 125,48%. Pada orientasi yang sama, mengubah jenis peneduh yang digunakan juga akan berdampak pada naik-turunnya beban pendinginan. Mengubah peneduh vertikal menjadi peneduh horizontal dapat menurunkan sQs 25,82% dan mengubah menjadi peneduh vertikal- horizontal mampu menurunkan sQs 101,49%, sedangkan mengubah horizontal menjadi peneduh vertikal-horizontal mampu menurunkan sQs 77,67%.

Pada orientasi Timur Laut – Barat Daya (135°U), penambahan peneduh vertikal pada bangunan yang tidak memiliki peneduh dapat menurunkan sQs 22,78%, penambahan peneduh horizontal dapat menurunkan sQs 45,28% dan penambahan peneduh vertikal-horizontal dapat menurunkan sQs 119,66%. Pada orientasi yang sama, mengubah jenis peneduh yang digunakan juga akan berdampak pada naik-turunnya beban pendinginan. Mengubah peneduh vertikal menjadi peneduh horizontal dapat menurunkan sQs 23,03% dan mengubah

menjadi peneduh vertikal- horizontal mampu menurunkan sQs 99,14%, sedangkan mengubah horizontal menjadi peneduh vertikal-horizontal mampu menurunkan sQs 77,90%.



Gambar 5.25 Pengaruh Peneduh terhadap sQg

Gambar 5.25 menunjukkan penggunaan peneduh pada bangunan, dapat menurunkan aliran panas akibat radiasi pada dinding transparan/kaca (sQg). Peneduh vertikal-horizontal mampu menurunkan panas akibat radiasi pada dinding transparan/kaca (sQg) lebih besar jika dibanding dengan peneduh lainnya. Peneduh vertikal-horizontal dapat menurunkan sQg sekitar 28,09% hingga 50,74%, peneduh horizontal sekitar 17,35% hingga 43,33% dan peneduh vertikal sekitar 2,27% hingga 31,23%.

Pada orientasi Utara – Selatan (0°U), penambahan peneduh vertikal pada bangunan yang tidak memiliki peneduh dapat menurunkan sQg 2,27%, penambahan peneduh horizontal dapat menurunkan sQg 43,33% dan penambahan peneduh vertikal-horizontal dapat menurunkan sQg 50,74%. Pada orientasi yang sama, mengubah jenis peneduh yang digunakan juga akan berdampak pada naikturunnya beban pendinginan. Mengubah peneduh vertikal menjadi peneduh horizontal dapat menurunkan sQg 42,01% dan mengubah menjadi peneduh

vertikal - horizontal mampu menurunkan sQg 49,59%, sedangkan mengubah horizontal menjadi peneduh vertikal-horizontal mampu menurunkan sQg 13,07%.

Pada orientasi Tenggara – Barat Laut ($45^{\circ}U$), penambahan peneduh vertikal pada bangunan yang tidak memiliki peneduh dapat menurunkan sQg 31,23%, penambahan peneduh horizontal dapat menurunkan sQg 31,44% dan penambahan peneduh vertikal-horizontal dapat menurunkan sQg 33,78%. Pada orientasi yang sama, mengubah jenis peneduh yang digunakan juga akan berdampak pada naik-turunnya beban pendinginan. Mengubah peneduh vertikal menjadi peneduh horizontal dapat menurunkan sQg 0,30% dan mengubah menjadi peneduh vertikal - horizontal mampu menurunkan sQg 3,72%, sedangkan mengubah horizontal menjadi peneduh vertikal-horizontal mampu menurunkan sQg 3,43%.

Pada orientasi Timur – Barat ($90^{\circ}U$), penambahan peneduh vertikal pada bangunan yang tidak memiliki peneduh dapat menurunkan sQg 3,76%, penambahan peneduh horizontal dapat menurunkan sQg 17,35% dan penambahan peneduh vertikal-horizontal dapat menurunkan 28,09%. Pada orientasi yang sama, mengubah jenis peneduh yang digunakan juga akan berdampak pada naik-turunnya beban pendinginan. Mengubah peneduh vertikal menjadi peneduh horizontal dapat menurunkan sQg 14,12% dan mengubah menjadi peneduh vertikal - horizontal mampu menurunkan sQg 25,29%, sedangkan mengubah horizontal menjadi peneduh vertikal-horizontal mampu menurunkan sQg 13,00%.

Pada orientasi Timur Laut – Barat Daya ($135^{\circ}U$), penambahan peneduh vertikal pada bangunan yang tidak memiliki peneduh dapat menurunkan sQg 3,76%, penambahan peneduh horizontal dapat menurunkan sQg 17,35% dan penambahan peneduh vertikal-horizontal dapat menurunkan 28,09%. Pada orientasi yang sama, mengubah jenis peneduh yang digunakan juga akan berdampak pada naik-turunnya beban pendinginan. Mengubah peneduh vertikal menjadi peneduh horizontal dapat menurunkan sQg 14,12% dan mengubah menjadi peneduh vertikal-horizontal mampu menurunkan sQg 25,29%, sedangkan mengubah horizontal menjadi peneduh vertikal-horizontal mampu menurunkan sQg 13,00%.

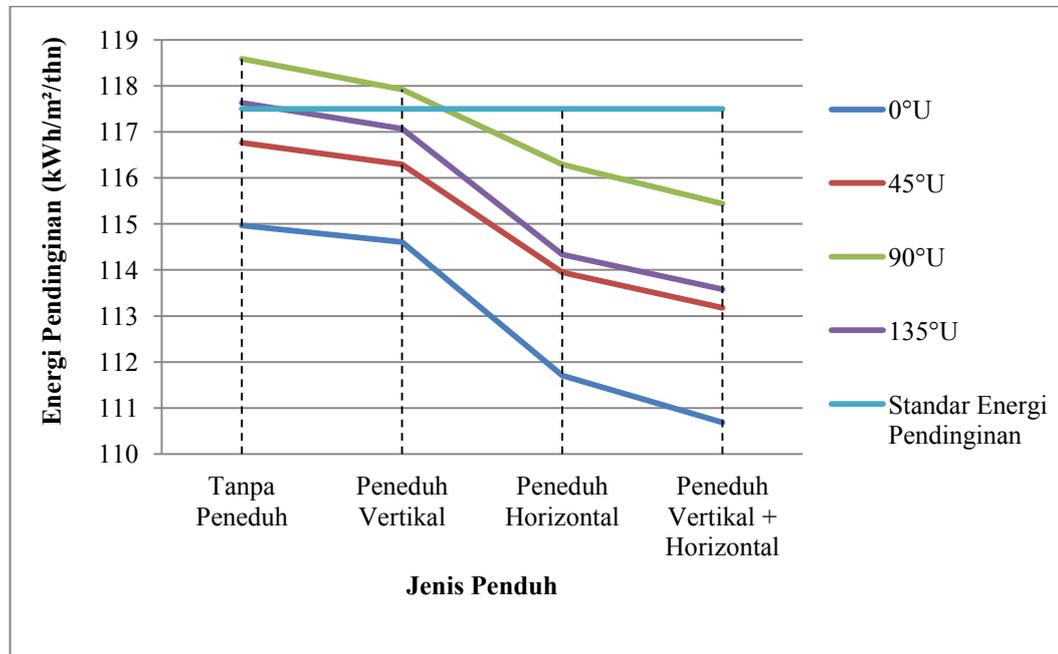
Penelitian ini sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh Lau, dkk (2016), Al-Tarmimi dan Fadzil (2010) dan Arifin dan Denan (2015) yang menyatakan peneduh vertikal-horizontal mampu menurunkan beban pendinginan yang lebih besar dibandingkan dengan dua peneduh lainnya yaitu peneduh vertikal dan peneduh horizontal. Hal ini dikarena area permukaan dinding *opaque* dan transparan yang terpapar sinar dan radiasi matahari menjadi lebih sedikit sehingga aliran panas pada permukaan dinding akibat radiasi matahari akan semakin kecil. Cahaya matahari yang menyertakan panas pada proses penyinaran/radiasinya mengakibatkan dinding yang terpapar matahari akan menyerap panas. Adanya waktu tunda (*time-lag*) pada dinding *opaque* menyebabkan temperatur permukaan tidak langsung diteruskan ke dalam bangunan, tetapi berangsur-angsur tergantung sifat bahan tersebut. Bangunan yang menggunakan pengkondisian udara seperti AC mengakibatkan temperatur ruang dalam lebih rendah dari pada ruang luar. Adanya perbedaan temperatur ini mengakibatkan adanya aliran panas konduksi dari luar ke dalam bangunan.

5.5.2 Pengaruh Peneduh (*Shading Devices*) terhadap Energi Pendinginan

Pada umumnya, desain fasade kantor pemerintahan berlantai tiga dengan WWR 20%, baik yang menggunakan peneduh atau tidak, bangunan telah memenuhi kriteria bangunan hemat energi, dimana konsumsi energi pendinginan lebih kecil dari 117,5 kWh/m²/thn (lihat Gambar 5.20). Bangunan tanpa peneduh yang berorientasi Utara – Selatan (0°U) dan Tenggara – Barat Laut (45°U), telah memenuhi standar bangunan hemat energi, sedangkan bangunan tanpa peneduh yang berorientasi Timur – Barat (90°U) dan Barat Daya – Timur laut (135°U) masih boros mengkonsumsi energi pendinginan.

Berdasarkan Gambar 5.26 diketahui penambahan peneduh pada bangunan berorientasi Utara – Selatan (0°U), dapat menurunkan 0,3% hingga 3,73% konsumsi energi pendinginan atau 2,12% hingga 4,93% dibawah satandar energi pendinginan. Penambahan peneduh pada bangunan akan mereduksi konsumsi energi pendinginan, yaitu peneduh vertikal 0,3%, peneduh horizontal 2,8% dan peneduh vertikal-horizontal 3,73%. Atau dengan kata lain penambahan peneduh pada bangunan akan menambah level efisiensi bangunan, peneduh vertikal 2,16%,

peneduh horizontal 2,46% dan peneduh vertikal-horizontal 4,93% dibawah standar.



Gambar 5.26 Pengaruh Peneduh terhadap Energi Pendinginan

Pada orientasi Tenggara – Barat Laut (45°U) penambahan peneduh pada bangunan dapat menurunkan 0,4% hingga 3,01% konsumsi energi pendinginan atau 0,63% hingga 3,02% dibawah standar energi pendinginan. Penambahan peneduh pada bangunan akan mereduksi konsumsi energi pendinginan, yaitu peneduh vertikal 0,4%, peneduh horizontal 2,4% dan peneduh vertikal-horizontal 3,07%. Atau dengan kata lain penambahan peneduh pada bangunan akan menambah level efisiensi bangunan, peneduh vertikal 0,62%, peneduh horizontal 1,02% dan peneduh vertikal 3,02% dibawah standar.

Pada orientasi Timur – Barat (90°U) dan Barat Daya – Timur laut (135°U), bangunan yang tidak memiliki peneduh, konsumsi energi pendinginan masih berada diatas standar sehingga bangunan masuk dalam kategori boros energi. Penambahan peneduh vertikal pada bangunan yang berorientasi Timur – Barat (90°U) dapat menurunkan 0,56% konsumsi energi pendinginan dan dapat menurunkan 0,48% konsumsi energi pendinginan pada orientasi Barat Daya –

Timur laut (135°U). Bangunan berorientasi Timur – Barat (90°U), meskipun penambahan peneduh vertikal dapat menurunkan konsumsi energi pendinginan, namun besarnya energi pendinginan yang dihasilkan pada orientasi tersebut masih berada diatas standar atau lebih besar 0,36% diatas standar, sedangkan penambahan peneduh horizontal dan peneduh vertikal-horizontal pada bangunan telah memenuhi standar hemat energi (lihat Gambar 5.20).

Dari uraian di atas maka dapat disimpulkan pengaplikasian peneduh (*shading devices*) pada bangunan berdampak pada konsumsi energi pendinginan. Bangunan yang menggunakan peneduh akan memiliki kinerja energi pendinginan yang lebih baik dari pada bangunan yang tidak memiliki peneduh. Dari tiga jenis peneduh yang diteliti, yakni peneduh vertikal, horizontal dan gabungan vertikal-horizontal yang biasa juga disebut dengan *eggcrate shading*, bangunan yang menggunakan peneduh vertikal-horizontal memiliki kerja yang lebih baik dari pada peneduh yang lainnya, disusul oleh peneduh horizontal dan peneduh vertikal. Bangunan yang menggunakan peneduh vertikal-horizontal mampu mereduksi energi pendinginan hingga 3,73%, peneduh horizontal 2,84% dan peneduh vertikal 0,56%. Hal ini sejalan dengan hasil penelitian yang dilakukan oleh Lau, dkk (2016) yang menyatakan peneduh vertikal-horizontal dapat mereduksi energi pendinginan lebih besar jika dibandingkan dengan peneduh vertikal dan peneduh horizontal.

5.6 Pengaruh Material terhadap Energi Pendinginan

Mengubah material model dasar menjadi material satu lapis yang memiliki *thermal properties* yang lebih baik (*thin skin*) dan menjadi material dua lapis atau material yang memiliki rongga (*buffering*) akan berdampak pada aliran panas yang masuk ke dalam bangunan berbeda-beda. Oleh karena itu, eksperimen ini akan membandingkan material satu lapis dan material dua lapis.

5.6.1 Pengaruh Material Dinding terhadap Energi Pendinginan

Salah satu variabel yang mempengaruhi besar kecilnya beban pendinginan adalah material fasade. Kemampuan material fasade untuk merespon iklim luar berbeda-beda tergantung dari karakteristik material tersebut. Oleh karenanya,

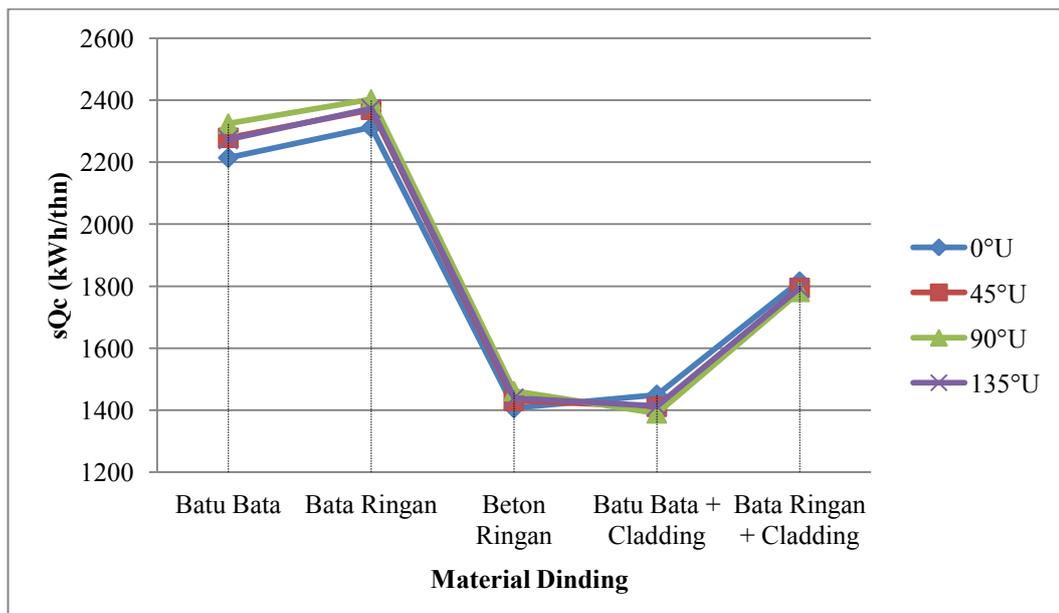
untuk melihat pengaruh material fasade terhadap energi pendinginan, maka beberapa material seperti batu bata, bata ringan, beton ringan, batu ringan dengan penambahan *cladding* dan batu ringan dengan tambahan *cladding* akan dibandingkan sesuai dengan karakternya masing-masing (lihat Tabel 5.11)

Perubahan material fasade hanya akan berpengaruh pada aliran panas konduksi (sQs) dan aliran panas radiasi pada dinding opaque (sQc), sedangkan sQg tidak berubah/berpengaruh karena material kaca yang digunakan sama yaitu clear glass 6mm. sQi tidak berubah karena tidak ada perubahan luas bangunan, peralatan yang digunakan dan jumlah pengguna bangunan disetiap model. sQv juga tidak berubah karena tidak ada perubahan ACH dan volume bangunan yang disimulasikan.

Tabel 5.11 *Thermal Properties* Material Dinding

Material Dinding	U-value (W/m ² .K)	Y-value (W/m ² .K)	Abs	Dec.factor	Timelag (hrs)
Batu Bata	3,02	4,14	0,30	0,83	2,9
Bata Ringan	2,34	2,83	0,30	0,92	1,9
Beton Ringan	1,35	2,45	0,26	0,86	5,0
Batu Bata + <i>Cladding</i>	1,88	5,00	0,26	0,03	4,0
Bata Ringan + <i>Cladding</i>	0,41	3,24	0,26	0,69	3,4

Sumber: Archipak, 2011



Gambar 5.27 Pengaruh Material Dinding terhadap sQc

Besarnya sQ_c pada dinding dipengaruhi oleh luas dinding, u -value, $decrement factor$ bahan, dan temperatur ruang luar. Namun pada penelitian ini, sQ_c hanya dipengaruhi oleh u -value, $decrement factor$ bahan karena model bangunan dan temperatur ruang luar yang disimulasikan diasumsi sama, yang berbeda hanyalah material dindingnya saja. Pada Gambar 5.27 terlihat kecenderungan aliran panas konduksi (sQ_c) yang sama saat model tersebut mengalami perubahan material dinding dan orientasi. Secara umum, bangunan yang menggunakan batu bata memiliki sQ_c terbesar, sedangkan sQ_c terkecil ketika bangunan menggunakan beton ringan atau batu bata dengan tambahan *cladding* tergantung dari orientasinya. Bangunan yang menggunakan batu bata, bata ringan dan beton ringan pada orientasi Tenggara – Barat Laut ($45^\circ U$), Timur – Barat ($90^\circ U$), dan Timur Laut – Barat Daya ($135^\circ U$), memiliki sQ_c yang lebih besar jika dibandingkan bangunan yang berorientasi Utara – Selatan ($0^\circ U$). Namun sebaliknya, ketika batu bata dan bata ringan ditambahi *cladding* pada orientasi Tenggara – Barat Laut ($45^\circ U$), Timur – Barat ($90^\circ U$), dan Timur Laut – Barat Daya ($135^\circ U$), sQ_c menjadi lebih kecil jika dibandingkan bangunan yang berorientasi Utara – Selatan ($0^\circ U$).

Pada Gambar 5.27 nampak jelas mengubah material beton ringan menjadi batu bata dengan *cladding* hampir tidak mempengaruhi aliran panas konduksi di dalam bangunan. Hal ini dikarenakan meskipun u -value beton ringan 39,26% lebih rendah dari batu bata dengan *cladding*, namun $decrement factor$ beton ringan 96,51% lebih tinggi dari batu bata dengan *cladding*. Pada Orientasi Utara – Selatan ($0^\circ U$), mengubah batu bata menjadi bata ringan yang memiliki u -value 22,5% lebih rendah dan $decrement factor$ 10,84% lebih tinggi, dapat menaikkan sQ_c sebesar 4,42%. Mengganti dinding batu bata menjadi beton ringan yang memiliki u -value 55,3% lebih rendah dan $decrement factor$ 3,61% lebih tinggi, dapat menurunkan sQ_c sebesar 36,46%. Mengganti dinding batu bata menjadi bata ringan dengan *cladding* yang memiliki u -value 86,42% lebih rendah dan $decrement factor$ 13,33% lebih rendah, dapat menurunkan sQ_c sebesar 18,02%.

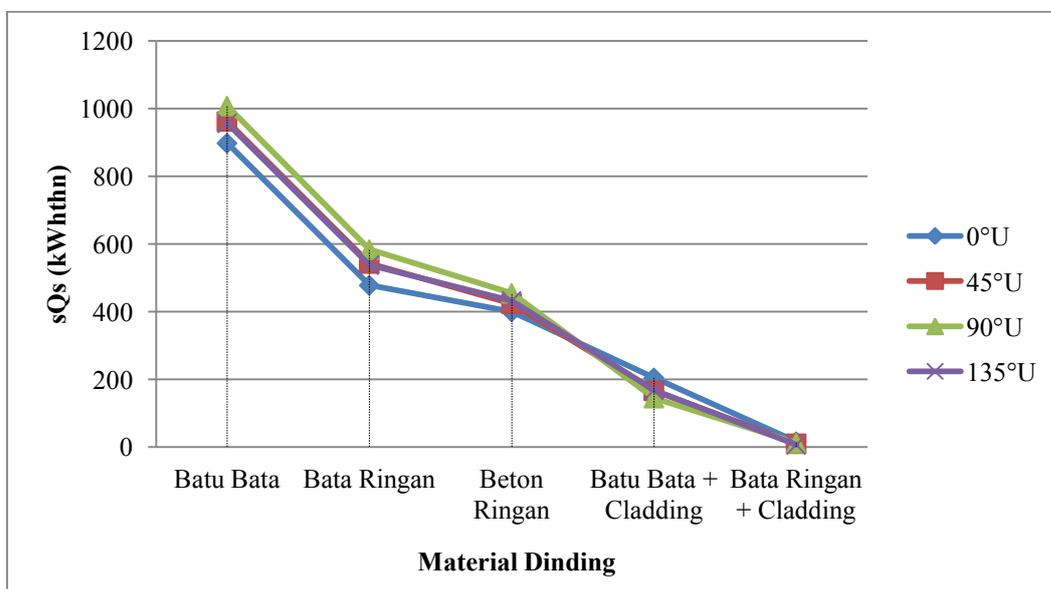
Mengubah material bata ringan menjadi beton ringan, batu bata dengan *cladding* dan bata ringan dengan *cladding* akan menurunkan aliran panas konduksi (sQ_c). Mengganti dinding bata ringan menjadi beton ringan yang

memiliki memiliki *u-value* 42,31% lebih rendah dan *decrement factor* 6,52% lebih rendah, dapat menurunkan sQc sebesar 39,14%. Mengganti dinding bata ringan menjadi batu bata dengan tambahan *cladding* yang memiliki memiliki *u-value* 19,66% lebih rendah dan *decrement factor* 38,04% lebih rendah, dapat menurunkan sQc sebesar 37,29%. Mengganti dinding beton ringan menjadi batu bata dengan tambahan *cladding* yang memiliki memiliki *u-value* 39,25% lebih tinggi dan *decrement factor* 33,72% lebih rendah, dapat menaikkan sQc sebesar 37,29%. Mengganti dinding beton ringan menjadi bata ringan dengan tambahan *cladding* yang memiliki memiliki *u-value* 69,63% lebih rendah dan *decrement factor* 36,59% lebih rendah, dapat menaikkan sQc sebesar 37,29%. Penambahan *cladding* pada konstruksi dinding batu bata, mengakibatkan *u-value* 37,74% lebih rendah dan *decrement factor* 31,33% lebih rendah., dapat menurunkan sQc 34,52% lebih rendah. Penambahan *cladding* pada konstruksi dinding bata ringan, mengakibatkan *u-value* 82,48% lebih rendah dan *decrement factor* 13,33% lebih rendah, dapat menurunkan sQc 21,49% lebih rendah.

Berdasarkan Gambar 5.27, besarnya aliran panas konduksi (sQc) pada bangunan yang berorientasi Tenggara – Barat Laut (45°U) dan Timur Laut – Barat Daya (135°U) hampir sama, dengan selisih kurang dari 1%. Pada orientasi Tenggara – Barat Laut (45°U) dan Timur Laut – Barat Daya (135°U), mengubah material batu bata menjadi bata ringan dapat menaikkan sQc sebesar 4,42%. Berbeda halnya dengan mengubah material bata menjadi bata ringan yang dapat menaikkan sQc, mengubah material bata menjadi beton ringan, batu bata dengan tambahan *cladding* dan bata ringan dengan tambahan *cladding* dapat menurunkan sQc sebesar 37,20%, 38,05%, dan 21,23%. Mengubah material bata ringan menjadi beton ringan, batu bata dengan *cladding* dan bata ringan dengan *cladding* juga dapat menurunkan sQc, jika diurutkan besarnya penurunan sQc adalah 39,60%, 40,42% dan 24,25%. Mengubah beton ringan menjadi batu bata dengan *cladding* dapat menurunkan sQc sebesar 1,36%, sedangkan mengubah beton ringan menjadi bata ringan dengan *cladding* dapat menurunkan sQc sebesar 25,43%.

Pada bangunan berorientasi Timur – Barat (90°U), mengubah material batu bata menjadi bata ringan dapat menaikkan sQc sebesar 3,37%. Berbeda halnya dengan mengubah material bata menjadi bata ringan yang dapat

mennaikkan sQ_c , mengubah material bata menjadi beton ringan, batu bata dengan tambahan *cladding* dan bata ringan dengan tambahan *cladding* dapat menurunkan sQ_c sebesar 37,10%, 40,19%, dan 23,34%. Mengubah material bata ringan menjadi beton ringan, batu bata dengan *cladding* dan bata ringan dengan *cladding* juga dapat menurunkan sQ_c , jika diurutkan besarnya penurun sQ_c adalah 39,15%, 42,14% dan 25,84%. Mengubah beton ringan menjadi batu bata dengan *cladding* dapat menurunkan sQ_c sebedar 4,91%, sedangkan mengubah beton ringan menjadi bata ringan dengan *cladding* dapat menaikkan sQ_c sebesar 21,88%.



Gambar 5.28 Pengaruh Material Dinding terhadap sQ_s

sQ_s dinding dipengaruhi oleh luasan permukaan, *u-value*, *absortance*, *decrement factor*, *resistance* permukaan dan radiasi setiap sisi. Dinding batu bata memiliki *u-value* sebesar 3,02 W/m².K, *absorbance* sebesar 0,3, *decrement factor* sebesar 0,83 dan *Rso* sebesar 0,06 untuk dinding yang tidak ternaungi. Dinding bata ringan memiliki *absorbance* yang sama dengan batu bata, artinya kemampuan menyerap radiasi matahari kedua material tersebut sama. Dengan *u-value* lebih rendah, panas yang diterima akibat radiasi juga semakin kecil, sedangkan *decrement factor* bata ringan lebih besar sehingga sisa panas yang diteruskan ke dalam bangunan semakin besar. *Aluminium cladding* memiliki *absorbance* yang lebih kecil dari pada plaster sehingga batu bata dengan *cladding*

dan bata ringan dengan *cladding* menyerap lebih sedikit radiasi dinding dengan batu bata dan bata ringan plaster. *U-value* dan *decrement factor* batu bata dengan *cladding* dan bata ringan dengan *cladding* lebih kecil dari batau bata dan bata ringan dengan plaster, sehingga panas yang diterima dan diteruskan ke dalam bangunan juga lebih kecil. Oleh karena itu sQs dinding batu bata dengan *cladding* dan bata ringan dengan *cladding* lebih kecil dari bata plaster dan bata ringan plaster.

Berdasarkan Gambar 5.28 diketahui bahwa merubah material pada dinding bangunan tidak dapat menurunkan jumlah radiasi yang menerpa selubung, namun dapat menurunkan aliran panas akibat radiasi (sQs) yang masuk melalui fasade. Mengubah material dinding batu bata menjadi bata ringan dapat menurunkan sQs hingga 46,77% pada orientasi Utara – Selatan (0° U), 43,62% pada orientasi Tenggara – Barat Laut (45° U), 42,10% pada orientasi Timur – Barat (90° U), dan 43,81% pada orientasi Timur Laut – Barat Daya (135° U). Mengubah material dinding batu bata menjadi beton ringan dapat menurunkan sQs hingga 55,47% pada orientasi Utara – Selatan (0° U), 55,96% pada orientasi Tenggara – Barat Laut (45° U), 44,89% pada orientasi Timur – Barat (90° U), dan 54,84% pada orientasi Timur Laut – Barat Daya (135° U).

Penambahan *cladding* pada batu bata akan menurunkan sQs lebih besar dari pada mengubah material dindingnya. Penambahan *cladding* pada batu bata pada orientasi Utara – Selatan (0° U) sQs turun 77,22%, orientasi Tenggara – Barat Laut (45° U) turun 82,74%, orientasi Timur – Barat (90° U) 85,65% dan orientasi Timur Laut – Barat Daya (135° U) turun menjadi 82,42%. Penambahan *cladding* pada bata ringan pada orientasi Utara – Selatan (0° U) sQs turun 98,25%, orientasi Tenggara – Barat Laut (45° U) turun 98,96%, orientasi Timur – Barat (90° U) 98,84% dan orientasi Timur Laut – Barat Daya (135° U) turun menjadi 99,32%.

Besarnya sQs, sQc, beban pendinginan dan energi pendinginan terangkum dalam Tabel 5.12. Dari tabel tersebut juga diketahui diketahui bangunan dengan tipologi *buffering* (memiliki rongga) memiliki kinerja energi yang lebih baik dibandingkan bangunan dengan tipologi *thin skin* (memiliki thermal properties yang lebih baik dari model dasar). Kinerja energi pendinginan pada bangunan yang menggunakan bata ringan lebih baik dari bangunan yang menggunakan batu

bata. Beton ringan, bata ringan dengan *cladiding* dan bata ringan dengan *cladding* memiliki kinerja energi pendinginan yang baik meskipun bangunan tersebut berorientasi Timur – Barat (90°U). Material batu bata cocok digunakan untuk bangunan yang berorientasi Utara – Selatan (0°U) dan Tenggara – Barat Laut (45°U) karena memenuhi standar energi pendinginan. Namun pada orientasi Timur – Barat (90°U) dan Timur laut (135°U), batu bata sudah tidak efektif digunakan karena konsumsi energi pendinginannya telah melebihi standar efisiensi energi pendinginan. Oleh karenanya, untuk bangunan yang dinding terluasnya berorientasi Timur – Barat (90°U) dan Barat Daya – Timur laut (135°U) disarankan memilih bahan bangunan yang memiliki *u-value*, *decrement factor*, dan *Absorbance* lebih rendah seperti seperti beton ringan, batu bata dengan tambahan *cladding* dan bata ringan dengan *cladding*.

Tabel 5.12 Perbandingan Beban Pendinginan dan Energi Pendinginan

Variabel	Parameter	Orientasi			
		Utara – Selatan (0°U)	Tenggara – Barat Laut (45°U)	Timur – Barat (90°U)	Timur Laut – Barat Daya (135°U)
Material Dinding	Thermal properties dinding opaque				
	a. Batu Bata	<i>u-value</i> = 3,02 W/mK, <i>Dcr.factor</i> = 0,83, <i>Abs</i> = 0,3			
	b. Bata Ringan	<i>u-value</i> = 2,34 W/mK, <i>Dcr.factor</i> = 0,92, <i>Abs</i> = 0,3			
	c. Beton Ringan	<i>u-value</i> = 1,35 W/mK, <i>Dcr.factor</i> = 0,86, <i>Abs</i> = 0,41			
	d. Batu Bata + Cladding	<i>u-value</i> = 1,88 W/mK, <i>Dcr.factor</i> = 0,57, <i>Abs</i> = 0,26			
	e. Bata Ringan + Cladding	<i>u-value</i> = 0,41 W/mK, <i>Dcr.factor</i> = 0,69, <i>Abs</i> = 0,26			
Kinerja Energi	sQc				
	a. Batu Bata	2214,53	2278,71	2324,54	2273,19
	b. Bata Ringan	2312,32	2369,47	2402,84	2373,17
	c. Beton Ringan	1407,21	1431,05	1462,08	1439,36
	d. Batu Bata + Cladding	1450,16	1411,63	1390,28	1413,72
	e. Bata Ringan + Cladding	1815,36	1794,94	1782,03	1793,81
	sQs				
	a. Batu Bata	897,68	961,85	1007,68	956,34
	b. Bata Ringan	477,82	542,33	583,46	537,36
	c. Beton Ringan	399,73	423,57	454,61	431,89
	d. Batu Bata + Cladding	204,49	165,97	144,61	168,08
	e. Bata Ringan + Cladding	15,75	9,98	11,74	6,49
	Beban Pendinginan (kWh/thn)				
	a. Batu Bata	214873,32	218231,92	221646,58	219861,68
	b. Bata Ringan	212583,88	252174,83	263871,03	250466,56
	c. Beton Ringan	196005,77	198108,39	200715,65	199826,00
	d. Batu Bata + Cladding	191931,35	194211,53	197400,04	194962,87
	e. Bata Ringan + Cladding	200063,37	202784,63	206236,67	203743,43
	Energi Pendinginan (kWh/m ² /thn)				
	a. Batu Bata	117,18	117,40	118,18	117,96

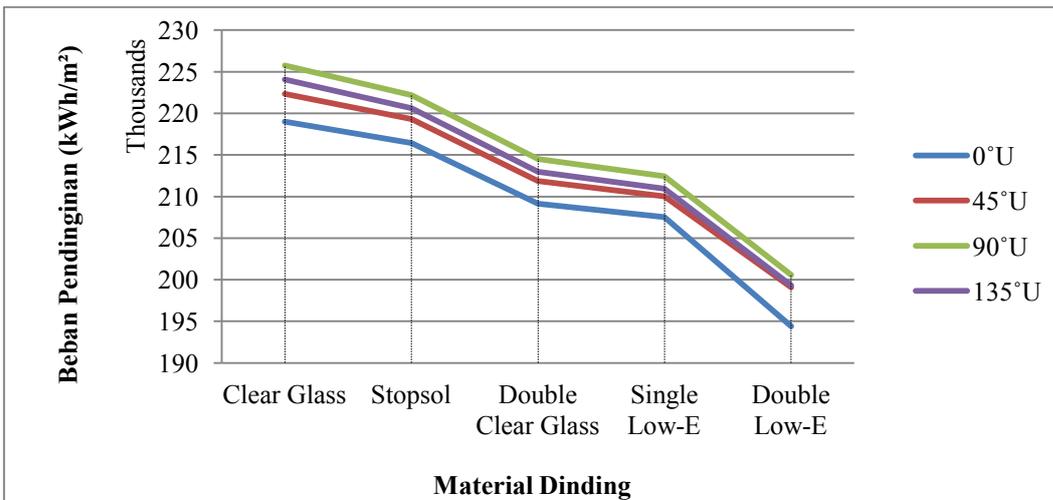
Variabel	Parameter	Orientasi			
		Utara – Selatan (0°U)	Tenggara – Barat Laut (45°U)	Timur – Barat (90°U)	Timur Laut – Barat Daya (135°U)
Material Dinding	Thermal properties dinding opaque				
	a. Batu Bata	<i>u-value</i> = 3,02 W/mK, <i>Dcr.factor</i> = 0,83, <i>Abs</i> = 0,3			
	b. Bata Ringan	<i>u-value</i> = 2,34 W/mK, <i>Dcr.factor</i> = 0,92, <i>Abs</i> = 0,3			
	c. Beton Ringan	<i>u-value</i> = 1,35 W/mK, <i>Dcr.factor</i> = 0,86, <i>Abs</i> = 0,41			
	d. Batu Bata + Cladding	<i>u-value</i> = 1,88 W/mK, <i>Dcr.factor</i> = 0,57, <i>Abs</i> = 0,26			
	e. Bata Ringan + Cladding	<i>u-value</i> = 0,41 W/mK, <i>Dcr.factor</i> = 0,69, <i>Abs</i> = 0,26			
	b. Bata Ringan	116,46	118,93	127,18	118,81
	c. Beton Ringan	104,98	106,00	107,39	106,92
	d. Batu Bata + Cladding	105,30	107,91	110,62	107,31
e. Bata Ringan + Cladding	104,49	108,50	110,35	108,01	

Keterangan: memenuhi standar energi pendinginan ($\leq 117.5 \text{ kWh/m}^2/\text{thn}$)

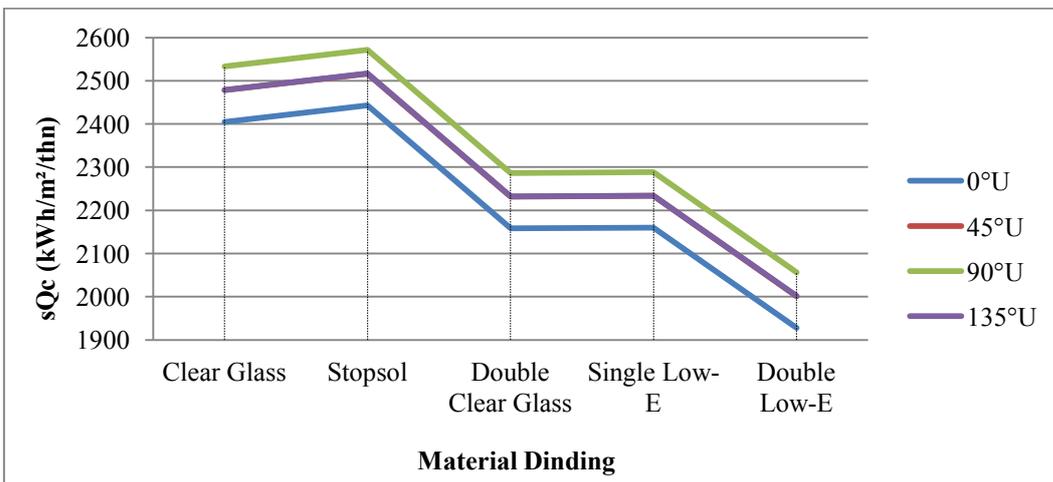
5.6.2 Pengaruh Material Kaca terhadap Energi Pendinginan

Besarnya beban pendinginan dipengaruhi oleh aliran panas dari fasade yang masuk ke dalam bangunan. Jendela yang merupakan salah satu elemen fasade turut andil menyumbang panas ke dalam bangunan. Mengubah material kaca jendela hanya akan berpengaruh pada aliran panas konduksi (sQ_c) dan radisi pada dinding transparan/kaca (sQ_g), sedangkan besarnya sQ_s disemua model sama karena material yang digunakan untuk simulasi sama yaitu, menggunakan dinding batu bata plaster. sQ_v tidak berubah karena tidak ada perubahan ACH dan volume bangunan. sQ_i juga tidak berubah karena tidak ada perubahan luas bangunan, peralatan yang digunakan dan jumlah pengguna bangunan.

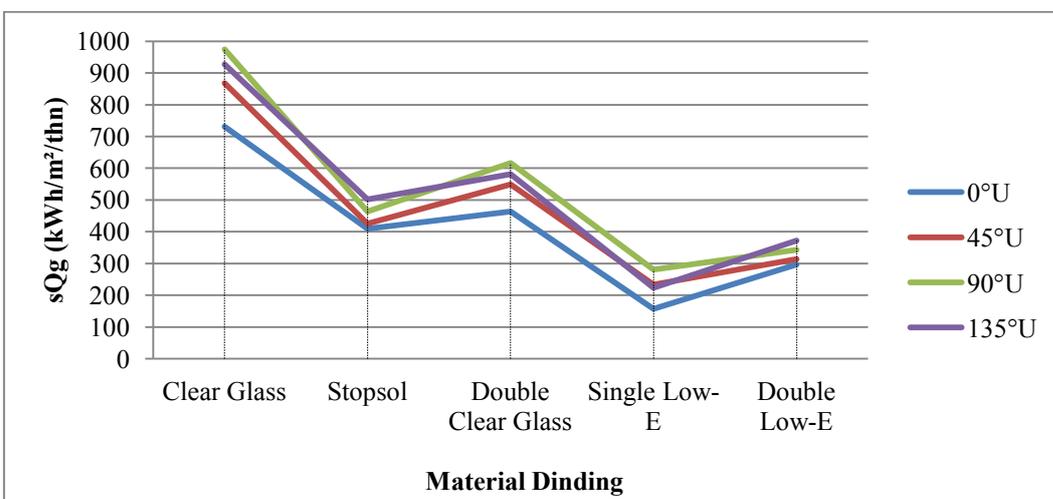
Besarnya aliran panas konduksi (sQ_c) pada kaca dipengaruhi oleh luas permukaan, *u-value* dan temperatur ruang luar, sedangkan besarnya aliran panas radiasi (sQ_g) pada kaca dipengaruhi oleh luas bidang kaca, *Asg* dan besarnya radiasi yang menerpa setiap sisi bangunan. Kaca tidak memiliki *decrement factor* sehingga luasan yang sama besarnya sQ_c pada kaca lebih besar dari pada dinding. Diantara kelima jenis kaca yang diteliti, kaca stopsol memiliki sQ_c yang lebih besar jika dibandingkan dengan jenis kaca yang lainnya karena kaca stopsol memiliki *u-value* terbesar, sedangkan *double low-e glass* memiliki sQ_c terkecil karena memiliki *u-value* terkecil (lihat Gambar 5.30). Beda halnya sQ_c , sQ_g terbesar berada ketika dinding transparan menggunakan kaca stopsol dan sQ_g terbesar ketika menggunakan kaca *single low-e glass* (lihat Gambar 5.31).



Gambar 5.29 Pengaruh Material Kaca terhadap Beban Pendinginan



Gambar 5.30 Pengaruh Material Kaca terhadap sQc



Gambar 5.31 Pengaruh Material Kaca terhadap sQs

Tabel 5.13 Thermal Properties Material Kaca

Material Kaca	U-value	Admittance	SGF	Asg lw	Asg hy	SC
	(W/m ² .K)	(W/m ² .K)				
Clear glass	6,00	6,00	0,80	0,64	0,47	0,93
Stopsol blue	6,38	6,38	0,38	0,25	0,15	0,44
Double clear glass	3,62	3,62	0,60	0,56	0,42	0,66
Singel Low-E (Planibel G)	3,62	3,62	0,71	0,81	0,11	0,82
Planibel Energy N (Double low-E)	1,34	1,34	0,42	0,71	0,12	0,48

Sumber : www.agc-flatglass.sg

Tabel 5.14 Perbandingan Beban Pendinginan dan Energi Pendinginan

Variabel	Parameter	Orientasi			
		Utara – Selatan (0°U)	Tenggara – Barat Laut (45°U)	Timur – Barat (90°U)	Timur Laut – Barat Daya (135°U)
Material Kaca	<i>Thermal properties kaca</i>				
	a. Clear Glass	<i>u-value = 6 W/mK, Asg = 0,47</i>			
	b. Stopsol	<i>u-value = 6,38 W/mK, Asg = 0,15</i>			
	c. Double Clear Glass	<i>u-value = 3,6 W/mK, Asg = 0,42</i>			
	d. Single Low-E	<i>u-value = 3,62 W/mK, Asg = 0,11</i>			
	e. Double Low-E	<i>u-value = 1,34 W/mK, Asg = 0,12</i>			
Kinerja Energi	sQc (kWh)				
	a. Clear Glass	2404,91	2478,18	2533,35	2478,86
	b. Stopsol	2443,15	2516,39	2571,60	2517,10
	c. Double Clear Glass	2158,21	2231,47	2286,66	2232,17
	d. Single Low-E	2160,22	2233,48	2288,66	2234,18
	e. Double Low-E	1927,74	2001,00	2056,19	2001,69
	sQg (kWh)				
	a. Clear Glass	731,35	867,86	974,33	927,37
	b. Stopsol	409,17	425,57	463,71	501,86
	c. Double Clear Glass	464,12	549,24	616,49	581,64
	d. Single Low-E	156,57	233,27	280,65	222,94
	e. Double Low-E	296,73	313,83	343,15	372,47
	Beban Pendinginan (kWh/thn)				
	a. Clear Glass	219015,03	222334,37	225760,25	224051,98
	b. Stopsol	216420,86	219308,46	222203,54	220618,63
	c. Double Clear Glass	209137,36	211851,15	214521,95	212987,50
	d. Single Low-E	207509,46	210019,53	212426,80	210954,03
	e. Double Low-E	194387,21	199061,58	200594,16	199325,11
	Energi Pendinginan (kWh/m²/thn)				
	a. Clear Glass	117,18	117,40	118,18	118,96
b. Stopsol	115,80	117,34	118,89	118,04	
c. Double Clear Glass	110,38	113,35	114,78	113,96	
d. Single Low-E	109,87	112,37	113,66	112,87	
e. Double Low-E	105,39	106,51	107,33	106,65	

Keterangan: memenuhi standar energi pendinginan ($\leq 117,5$ kWh/m²/thn)

Besarnya sQ_c , sQ_g , beban pendinginan dan energi pendinginan terangkum dalam Tabel 5.8. Pada tabel tersebut dapat ditarik kesimpulan mengubah material kaca memiliki pengaruh yang lebih besar terhadap penurunan konsumsi energi pendinginan dibanding dengan mengubah orientasi bangunan. Mengubah material bangunan dapat menurunkan konsumsi energi pendinginan hingga 11,24%, sedangkan mengubah orientasi bangunan hanya mampu menurunkan konsumsi energi pendinginan hingga 2,5%. Material kaca yang memiliki kinerja energi pendinginan terbaik, jika diurutkan adalah *double low-e glass*, *double clear glass*, *single low-e glass*, *stopsol* dan *clear glass*, sedangkan orientasi bangunan jika diurutkan mulai dari yang memiliki kerja energi pendinginan terbaik adalah Utara – Selatan (0°U), Tenggara – Barat Laut (45°U), Barat Daya – Timur laut (135°U) dan Timur – Barat (90°U).

5.7 Pengaruh Kombinasi WWR, *Shading Devices* dan Material terhadap Energi Pendinginan dan OTTV

Pemerintah Indonesia telah menetapkan beberapa standar efisiensi energi seperti SNI 6389:2011 dan IKE listrik (Intensitas Konsumsi Energi). SNI 6389:2011 membahas mengenai konservasi energi selubung bangunan pada bangunan gedung yang didasarkan pada *Overall Thermal Transfer Value* (OTTV). OTTV yang disyaratkan dalam SNI sebagai upaya konservasi energi adalah lebih kecil sama dengan 35 Watt/m^2 . Berbeda dengan OTTV, Standar IKE yang digunakan sebagai rujukan tingkat penggunaan energi gedung berbeda-beda, dipengaruhi oleh pendekatan analisa dan sampel gedung yang diambil dalam proses perumusan standar tersebut. Menurut GBCI standar IKE listrik yang digunakan untuk bangunan kantor adalah $250 \text{ kWh/m}^2/\text{thn}$. Jika bangunan menggunakan 47% daya listrik untuk pendinginan ruang, maka daya listrik khusus untuk energi pendinginan adalah $117,5 \text{ Wh/m}^2/\text{thn}$.

Dari Tabel 5.15 dan Tabel 5.16 jelas terlihat perbedaan standar efisiensi energi ketika menggunakan perhitungan OTTV dan IKE listrik, meskipun kedua standar tersebut dapat dijadikan indikator efisiensi energi. Perhitungan efisiensi energi menggunakan IKE listrik memberikan peluang yang cukup besar bangunan masuk dalam kategori hemat energi dari pada menggunakan perhitungan OTTV.

Seperti pada WWR 60% peluang bangunan hemat energi lebih besar, sedangkan ketika menggunakan perhitungan OTTV pada kondisi tersebut, hanya model yang menggunakan *single loe-w glass* dan *double loe-w glass* memenuhi standar (OTTV lebih besar dari 35 watt/m²).

Berdasarkan Tabel 5.16 diketahui model dasar yang memiliki WWR 20%, material dinding *opaquencya* menggunakan bata konvensional dan dinding transparannya menggunakan *clear glass*, tanpa melakukan *treatment* apapun, bangunan telah memenuhi standar konservasi energi pendinginan jika dihitung konsumsi energi pendinginannya. Namun, jika dihitung menggunakan OTTV, bangunan ini (model dasar) tidak memenuhi standar konservasi energi karena OTTV yang dihasilkan lebih besar dari 35 Watt/m² (lihat Tabel 5.22).

Sama halnya dengan kejadian di atas, pada WWR 40% dan 60% standar efisiensi energi antara dihitung menggunakan OTTV dan IKE listrik akan terdapat perbedaan. Jika dihitung menggunakan IKE listrik pada WWR 40% hanya bangunan yang menggunakan kombinasi dinding batu bata dengan kaca *clear glass* dan stopsol, kombinasi dinding bata ringan dengan kaca *clear glass* dan stopsol saja yang tidak memenuhi standar efisiensi energi, sedangkan jika dihitung menggunakan rumus OTTV terlihat pada kondisi yang sama, masih sekitar 60% model yang berada di atas standar

Perbedaan standar efisiensi energi pada bangunan bisa saja terjadi terjadi karena:

1. Standar ukuran efisiensi energi OTTV dan IKE listrik berbeda. OTTV menetapkan nilai yang tetap yaitu 35 Watt/m² berdasarkan SNI 6389:2011 berlaku untuk semua bangunan gedung, sedangkan standar IKE listrik untuk kebutuhan pendinginan yang digunakan sebagai rujukan efisiensi energi berbeda-beda setiap fungsi bangunan tergantung analisa peneliti. Menurut GBCI standar IKE listrik yang digunakan untuk bangunan kantor adalah 250 kWh/m²/thn. Jika bangunan diasumsikan menggunakan 47% daya listrik untuk pendinginan ruang (Pemprov DKI Jakarta,2012), maka daya listrik khusus untuk energi pendinginan adalah 117,5 Wh/m²/thn.
2. Radiasi matahari yang digunakan dalam perhitungan OTTV berdasarkan pada nilai rata-rata radiasi matahari di Indonesia, sedangkan pada perhitungan IKE

listrik dengan menggunakan *software ecotect* menggunakan data radiasi matahari di Surabaya dalam kurun waktu satu tahun.

3. Perhitungan OTTV tidak mempertimbangkan sifat termal bahan seperti *time-lag* sedangkan perhitungan IKE listrik dengan menggunakan *software ecotect* menggunakan sifat termal bahan yang lebih rinci. Adanya *time-lag* pada material, mengakibatkan panas yang diterima fasade bangunan tidak langsung di transfer ke dalam bangunan tetapi berangsur-angsur, sehingga kemungkinan beban panas puncak terjadi diluar jam kerja bisa terjadi.
4. Pada perhitungan OTTV, perbedaan temperatur ruang luar dan dalam diasumsikan 5°K (SNI 6389, 2011), sedangkan menggunakan *software ecotect* perbedaan temperatur bervariasi tergantung kemampuan fasade bangunan model merespon iklim setempat.

Dengan membandingkan Tabel 5.15 dan Tabel 5.16 peneliti juga menemukan beberapa fenomena yang bertentangan dengan teori yang menyatakan semakin besar WWR maka konsumsi energi pendinginan akan semakin besar pula (Szokolay, 2004). Beberapa penelitian terdahulu seperti yang dilakukan oleh Loekita (2006), Paramita (2013) Menurut Lau, dkk (2016), dan Al-Tarmimi dan Fadzil (2010) menunjukkan adanya hubungan linear antara WWR dan energi pendinginan. Secara umum penelitian ini sejalan dengan penelitian tersebut, tetapi pada beberapa kasus penelitian ini bertentangan dengan teori tersebut, khususnya model yang menggunakan material *double low-e glass*. Pada Tabel 5.9 terlihat khusus model yang menggunakan dinding batu bata dan bata ringan, WWR berbanding terbalik dengan konsumsi energi pendinginan, semakin luas bukaan kaca, maka konsumsi energi pendinginannya semakin kecil dan begitu pula sebaliknya. Hal ini dikarenakan kemampuan termal *double low-e glass* lebih baik dari pada batu bata dan bata ringan, baik dari kemampuan mereduksi radiasi matahari, maupun kemampuannya dalam meneruskan panas kedalam bangunan, sehingga semakin luas permukaan dinding transparan maka semakin baik kinerja energi pendinginan suatu bangunan.

Pada penelitian ini juga menemukan model yang dindingnya menggunakan *cladding* sedangkan jendelanya menggunakan material *clear glass*,

mengubah WWR dari 20% menjadi 40% atau 60% dapat mereduksi konsumsi energi pendinginan. Namun mengubahnya WWR 40% menjadi 60% dapat menaikkan konsumsi energi pendinginan. Jadi bisa ditarik kesimpulan khusus untuk bangunan yang dindingnya menggunakan *cladding*, WWR paling efektif adalah 40%. Berdasarkan Tabel 5.8 juga dapat ditarik kesimpulan desain fasade yang sangat efektif mereduksi konsumsi energi pendinginan adalah bangunan dengan WWR 20%, menggunakan peneduh vertikal-horizontal dimana dindingnya menggunakan beton ringan dan kacanya menggunakan *double low-e glass*.

5.8 Rangkuman

Evaluasi pengaruh geometri terhadap energi pendinginan diperoleh hasil adanya hubungan linear antara ketinggian bangunan dengan kinerja energi pendinginan, semakin tinggi bangunan maka konsumsi energi pendinginan akan semakin besar, dan begitupula sebaliknya. Seluruh kantor pemerintahan berlantai dua telah memenuhi standar energi pendinginan meskipun tidak menggunakan *shading devices* dan hanya menggunakan material yang sederhana seperti batu bata dan kaca bening. Selain ketinggian bangunan, geometri juga mencakup panjang dan lebar bangunan. Dan rasio lebar terhadap panjang yang sangat efisien terhadap energi pendinginan adalah $W/L = 0,6$ karena mampu mereduksi konsumsi energi pendinginan hingga 22,69%.

Hasil evaluasi WWR terhadap energi pendinginan menunjukkan semakin besar WWR maka perolehan panas konduksi (sQ_c) dan panas radiasi pada bidang kaca (sQ_g) semakin besar pula. Meskipun panas radiasi pada dinding (sQ_s) semakin menurun dengan meningkatnya WWR, namun besarnya penurunan sQ_s tidak sebanding dengan kenaikannya sQ_c dan sQ_g , sehingga menyebabkan beban pendinginan akan semakin besar pula seiring meningkatnya WWR. Beban pendinginan berbanding lurus dengan energi pendinginan, jadi dapat ditarik kesimpulan WWR berbanding lurus dengan energi pendinginan.

Evaluasi pengaruh peneduh (*shading devices*) terhadap energi pendinginan diperoleh hasil bahwa bangunan yang menggunakan peneduh akan memiliki kinerja energi pendinginan yang lebih baik dari pada bangunan yang tidak

memiliki peneduh. Hal ini dikarenakan dengan menggunakan peneduh (*shading devices*) panas yang diperoleh (sQ_c , sQ_s dan sQ_g) menjadi lebih sedikit. Dari tiga jenis peneduh yang diteliti, yakni peneduh vertikal, horizontal dan gabungan vertikal-horizontal yang biasa juga disebut dengan *eggcrate shading*, bangunan yang menggunakan peneduh vertikal-horizontal memiliki kerja yang lebih baik dari pada peneduh yang lainnya, disusul oleh peneduh horizontal dan peneduh vertikal. Bangunan yang menggunakan peneduh vertikal-horizontal mampu mereduksi energi pendinginan hingga 3,73%, peneduh horizontal 2,84% dan peneduh vertikal 0,56%.

Hasil evaluasi pengaruh material terhadap energi pendinginan menunjukkan bahwa material fasade bangunan memerlukan dinding dengan *u-value* dan *decrement factor* yang lebih rendah dan kaca dengan *u-value*, *decrement factor*, *absorbance* dan *asg* yang lebih rendah. Dinding bata ringan lebih efisien terhadap energi pendinginan, sedangkan kaca *double low-e* lebih efisien terhadap energi pendinginan. Namun menggabungkan kedua material tersebut tidak menjadikan kinerja energi pendinginnya menjadi lebih baik dari kombinasi dinding beton ringan dan kaca *double low-e*.

Dari uraian diatas maka dapat ditarik kesimpulan kombinasi material, WWR, dan *shading devices* sangat efisien terhadap energi pendinginan adalah dinding menggunakan material beton ringan dan kacanya menggunakan *double low-e*, WWR 60% dan menggunakan peneduh vertikal-horizontal.

Tabel 5.15 Pengaruh Kombinasi Material Fasade, WWR dan Peneduh (*Shading Devices*) terhadap Energi Pendinginan

Material		Energi Pendinginan (kWh/m ² /thn)											
		Tanpa Peneduh			Peneduh Vertikal			Peneduh Horizontal			Peneduh Vertikal + Horizontal		
Dinding	Jendela	WWR = 20%	WWR = 40%	WWR = 60%	WWR = 20%	WWR = 40%	WWR = 60%	WWR = 20%	WWR = 40%	WWR = 60%	WWR = 20%	WWR = 40%	WWR = 60%
Batu Bata	Clear Glass	117,18	130,10	143,22	116,83	124,41	136,01	113,02	116,27	126,49	112,83	113,98	124,21
	Stopsol	115,80	126,87	137,92	115,49	122,55	132,45	112,37	116,28	125,25	112,22	114,54	123,52
	Double Clear	110,38	118,94	125,14	110,08	114,56	119,43	109,45	107,81	117,70	108,17	106,20	111,17
	Single Low e	109,87	116,93	122,05	108,99	113,84	118,15	108,27	109,27	113,04	106,90	108,03	111,81
	Double Low e	106,39	105,19	103,21	105,96	104,31	102,11	103,87	102,74	101,14	103,84	102,40	100,38
Bata Ringan	Clear Glass	116,46	129,47	142,86	114,84	123,79	135,66	109,95	115,70	126,14	112,26	113,88	123,87
	Stopsol	114,23	127,13	133,97	112,08	121,92	132,10	110,15	115,71	124,90	111,65	113,98	123,18
	Double Clear	110,56	118,31	122,33	106,28	117,23	117,63	102,04	103,52	114,75	101,91	101,92	108,23
	Single Low e	108,83	116,30	121,69	108,14	113,22	116,43	106,53	108,70	112,69	107,60	107,47	111,47
	Double Low e	104,66	104,56	102,86	104,61	103,68	101,76	103,36	102,18	95,70	103,27	101,83	100,03
Beton Ringan	Clear Glass	104,98	119,99	136,44	100,63	114,34	129,26	100,78	106,48	119,53	101,38	104,20	111,91
	Stopsol	103,60	116,76	131,14	100,68	112,47	125,71	100,82	106,49	118,38	100,77	104,76	112,26
	Double Clear	100,29	108,83	118,89	100,07	105,37	113,85	97,64	99,77	112,10	95,73	100,30	105,59
	Single Low e	98,83	103,30	115,27	96,75	103,77	111,41	94,73	99,48	106,24	96,71	98,25	101,49
	Double Low e	95,74	95,82	97,09	93,22	94,23	95,37	93,30	92,95	94,05	92,39	92,68	91,72
Bata Bata + Cladding	Clear Glass	105,30	110,54	122,88	105,23	109,45	121,29	104,67	106,21	115,73	104,67	105,91	115,02
	Stopsol	104,75	110,19	121,42	104,69	109,36	120,21	104,16	106,26	116,01	104,16	106,62	115,37
	Double Clear	101,36	103,18	110,50	98,90	102,41	107,59	98,34	98,05	105,25	98,34	97,84	103,42
	Single Low e	100,75	102,85	109,01	100,68	102,25	108,15	100,17	105,90	105,17	100,17	100,24	104,60
	Double Low e	97,23	95,75	96,34	97,17	95,56	96,09	96,70	105,61	95,27	96,00	94,85	95,22
Bata Ringan + Cladding	Clear Glass	104,49	109,92	122,48	102,18	108,83	120,90	103,93	105,61	115,34	103,93	94,86	115,02
	Stopsol	101,70	109,57	121,02	102,40	108,74	119,82	101,97	106,26	115,62	103,42	94,90	115,37
	Double Clear	99,67	102,31	107,06	98,84	101,63	107,95	98,43	99,73	104,80	99,43	95,52	104,84
	Single Low e	97,23	102,23	108,61	96,82	101,01	106,76	95,41	99,81	103,78	97,44	94,55	103,60
	Double Low e	96,42	95,12	95,94	96,36	94,94	95,70	95,96	94,30	94,88	95,26	94,25	95,23

Keterangan: memenuhi standar energi pendinginan ($\leq 117,5 \text{ kWh/m}^2/\text{thn}$)

Tabel 5.16 Pengaruh Kombinasi Material Fasade, WWR dan Peneduh (*Shading Devices*) terhadap OTTV

Material		OTTV (Watt/m ²)											
		Tanpa Peneduh			Peneduh Vertikal			Peneduh Horizontal			Peneduh Vertikal + Horizontal		
Dinding	Jendela	WWR = 20%	WWR = 40%	WWR = 60%	WWR = 20%	WWR = 40%	WWR = 60%	WWR = 20%	WWR = 40%	WWR = 60%	WWR = 20%	WWR = 40%	WWR = 60%
Batu Bata	<i>Clear Glass</i>	36.18	57.68	79.19	27.77	44.16	72.35	27.30	39.88	54.58	23.93	37.78	51.63
	<i>Stopsol</i>	32.21	56.88	81.54	25.8	43.35	61.24	23.19	38.84	54.48	22.07	36.58	51.09
	<i>Double Clear</i>	27.79	48.04	68.28	22.35	37.15	51.94	20.53	33.51	46.50	19.63	31.70	43.77
	<i>Single Low e</i>	24.52	41.50	58.47	20.89	34.23	47.58	20.89	34.23	47.58	19.08	30.60	40.13
	<i>Double Low e</i>	20.58	33.61	46.65	16.62	25.89	34.76	15.8	23.05	30.80	14.64	21.73	28.82
Bata Ringan	<i>Clear Glass</i>	34.82	56.66	78.51	26.40	43.14	71.67	25.84	38.86	53.90	22.57	36.76	50.95
	<i>Stopsol</i>	30.85	55.86	80.86	24.09	42.33	60.56	21.83	37.82	53.80	20.71	35.8	50.41
	<i>Double Clear</i>	26.43	47.02	67.60	20.99	36.13	51.26	19.17	32.49	46.90	18.27	30.68	43.09
	<i>Single Low e</i>	23.16	40.48	57.79	19.53	33.21	46.90	19.53	33.21	45.82	17.72	29.58	41.45
	<i>Double Low e</i>	19.22	32.59	45.87	15.8	24.67	34.08	13.94	22.03	30.12	13.28	20.71	28.84
Beton Ringan	<i>Clear Glass</i>	32.36	54.81	77.27	23.94	41.29	70.44	23.47	37.01	52.66	20.11	34.91	49.71
	<i>Stopsol</i>	28.39	54.01	79.63	21.62	40.48	59.33	19.37	35.87	52.56	18.24	33.71	49.18
	<i>Double Clear</i>	23.97	45.8	66.37	18.52	34.28	50.03	16.71	30.64	44.58	15.80	28.83	35.86
	<i>Single Low e</i>	20.70	38.63	56.55	17.07	31.36	45.86	17.07	31.36	45.86	15.8	27.73	34.98
	<i>Double Low e</i>	16.76	30.74	44.73	12.80	22.82	32.85	11.48	20.18	28.89	10.82	18.86	26.91
Bata Bata + Cladding	<i>Clear Glass</i>	20.75	39.05	57.35	17.73	33.02	54.09	17.56	31.02	45.8	16.23	30.01	43.00
	<i>Stopsol</i>	19.60	36.76	53.92	16.22	30.00	43.77	15.09	27.74	40.39	14.53	26.61	37.70
	<i>Double Clear</i>	17.38	32.32	47.26	14.66	26.88	39.09	13.75	25.06	36.37	13.30	24.15	33.42
	<i>Single Low e</i>	17.14	31.83	46.52	15.8	28.20	41.08	15.8	28.20	41.08	14.41	26.39	34.20
	<i>Double Low e</i>	11.12	21.70	32.29	9.14	17.74	26.35	8.48	16.42	24.37	8.15	15.86	23.38
Bata Ringan + Cladding	<i>Clear Glass</i>	19.22	37.90	56.58	16.20	31.88	53.32	16.03	29.87	44.54	14.70	28.87	43.83
	<i>Stopsol</i>	15.81	30.68	45.86	13.79	27.05	40.31	13.79	27.05	40.31	12.89	25.8	38.59
	<i>Double Clear</i>	15.85	31.17	46.49	13.13	25.83	38.33	12.22	23.91	35.80	11.77	23.01	34.94
	<i>Single Low e</i>	18.07	35.81	53.16	14.69	28.85	43.01	13.56	26.59	35.00	13.00	25.8	34.24
	<i>Double Low e</i>	12.65	22.85	33.05	10.67	18.89	27.11	10.01	17.57	25.8	9.68	16.91	24.14

Keterangan: memenuhi standar OTTV ($\leq 35\text{Watt/m}^2$)

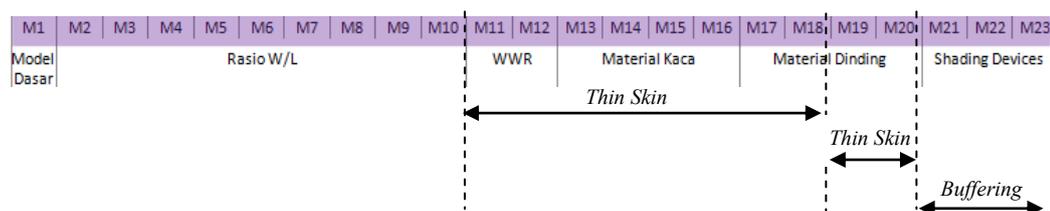
BAB 6

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Penelitian ini menggunakan metode penelitian eksperimen dengan dua pendekatan yaitu pengamatan lapangan dan menggunakan simulasi. Pengamatan lapangan dilakukan untuk mengetahui kinerja energi pendinginan fasad Kantor Pemerintahan di lapangan, sedangkan taktik menggunakan simulasi dilakukan untuk menemukan desain fasade (kombinasi geometri, material, WWR, dan *shading device*) kantor pemerintah yang memiliki kinerja energi pendinginan paling efisien, mengevaluasi, menganalisa dan menjelaskan pengaruh fasad (geometri, material, WWR, dan *shading device*) terhadap kinerja energi pendinginan.

Hubungan variabel geometri, material, WWR, dan *shading device* dicari dengan membandingkan model dasar dengan model eksperimen (lihat Gambar 6.1). Adapun model bangunan yang dimaksud yaitu bangunan berorientasi Utara – Selatan, rasio lebar terhadap panjang (rasio $w/l=0,6$), WWR di tiap sisi 20%, dinding batu bata plaster cat putih, material jendela *clear glass*, tinggi antar lantai bangunan 4m, atap datar menggunakan dak beton, jam operasional pukul 8.00 – 17.00 (5 hari jam kerja dalam seminggu).



Gambar 6.1 Rancangan Eksperimen

6.1.1 Kinerja Energi Pendinginan Fasad Kantor Pemerintahan Di Lapangan

Dari hasil pengamatan dan hasil analisa penelitian lapangan pada keempat bangunan yang diteliti yaitu Kantor Walikota, Kantor DPRD, Dinas Pendidikan dan Gedung Keuangan Negara yang mewakili desain kantor pemerintahan yang

ada di Surabaya, diketahui desain fasad kantor pemerintahan di Surabaya telah memenuhi standar konservasi energi, yakni dengan OTTV lebih kecil dari 35 Watt/m². Jadi bisa ditarik kesimpulan jika kinerja energi pendinginan fasad kantor pemerintahan di Surabaya sangat baik.

Dari keempat bangunan yang diteliti, Gedung DPRD yang tidak memiliki peneduh memiliki OTTV 21,87% lebih rendah dibandingkan dengan bangunan Kantor Walikota. Hal ini dikarena bangunan DPRD memiliki WWR yang lebih kecil dan juga material kaca yang digunakan memiliki nilai transmisi (*u-value*) yang lebih rendah. Hal ini sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh Alzoubi (2010) yang menjelaskan bahwa semakin lebar bukaan bangunan, maka kinerja termal suatu bangunan akan semakin buruk yang berdampak pada naiknya konsumsi energi pendinginan suatu bangunan. Penelitian ini juga sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh Kim (2010), yang menyatakan salah satu solusi untuk mereduksi *heat gain* pada bangunan yaitu dengan menggunakan material bukaan yang memiliki *u-value* yang kecil.

Pada pengamatan lapangan, bangunan Kantor Pemerintah di Surabaya tidak dapat diklasifikasikan menjadi *thin skin*, *thick skin* dan/atau *buffering*. Hal ini dikarenakan umumnya bangunan menggunakan dua atau lebih strategi disesain unjtuk memodifikasi iklim luar. Pada penelitian ini juga, besarnya konsumsi energi pendinginan tidak dapat diketahui, dan pengaruh geometri, WWR, dan *shading devices* dan material *fasade* terhadap energi pendinginan tidak dapat diketahui, karena banyaknya faktor pengganggu seperti orientasi, material, luas bukaan, geometri yang berbeda. Faktor pengganggu tersebut tidak dapat langsung dibatasi dilapangan, sehingga untuk menjawab pertanyaan penelitian berikutnya dibutuhkan bantuan simulasi dengan menggunakan *software ecotect*.

6.1.2 Pengaruh Fasad terhadap Kinerja Energi Pendinginan

a. Pengaruh Geometri terhadap Kinerja Energi Pendinginan

Mengubah rasio W/L dari 0,1 menjadi 0,6 mampu menurunkan konsumsi energi pendinginan 12,39% pada orientasi Utara – Selatan (0°U), 18,03% pada orientasi Tenggara – Barat Laut (45°U), 22,69% pada orientasi Timur – Barat (90°U), dan 18,11% pada orientasi Barat Daya – Timur laut (135°U). Pada W/L

yang sama ($W/L = 0,6$), semua bangunan berlantai dua dengan berbagai orientasi telah memenuhi standar efisiensi energi, sedangkan kinerja energi pendinginan pada bangunan berlantai tiga belum memenuhi standar efisiensi energi, khususnya bangunan yang berorientasi Tenggara – Barat Laut ($45^\circ U$), Timur – Barat ($90^\circ U$) dan Barat Daya – Timur laut ($135^\circ U$). Hal ini mendukung teori Olgyay (1972) yang menyebutkan bahwa bangunan dengan perbandingan lebar dan panjang 1 : 1,7 ($W/L = 0,58$) adalah bangunan yang efisien untuk daerah tropis lembab. Dari penelitian ini juga diketahui, pemilihan rasio W/L yang tepat dapat meningkatkan kinerja energi pendinginan hingga 17,4%

b. Pengaruh WWR terhadap Kinerja Energi Pendinginan

Penggunaan WWR yang tepat pada bangunan guna mencapai efisiensi energi merupakan salah satu trik bangunan *thin skin*. Penelitian ini diperoleh hasil yang sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh Loekita (2006), Paramita (2013) Menurut Lau, dkk (2016), dan Al-Tarmimi dan Fadzil (2010) menunjukkan adanya hubungan linear antara WWR dan energi pendinginan. Semakin besar WWR maka akan semakin besar pula konsumsi energi pendinginan dan begitu juga sebaliknya. Pemilihan WWR yang tepat dapat meningkatkan kinerja energi pendinginan hingga 25,72%, ketika area luas bukaan diperkecil, dari WWR 60% ke 20%.

c. Pengaruh Shading Devices terhadap Kinerja Energi Pendinginan

Penggunaan peneduh efektif untuk menurunkan konsumsi energi pendinginan merupakan kriteria utama bangunan *thick skin*. Bangunan yang menggunakan peneduh vertikal-horizontal mampu mereduksi energi pendinginan hingga 3,73%, peneduh horizontal 2,84% dan peneduh vertikal 0,56%. Hal ini sejalan dengan hasil penelitian yang dilakukan oleh Lau, dkk (2016) yang menyatakan peneduh vertikal-horizontal dapat mereduksi energi pendinginan lebih besar jika dibandingkan dengan peneduh vertikal dan peneduh horizontal. Secara umum kinerja energi pendinginan pada bangunan berlantai tiga yang menggunakan peneduh telah memenuhi standar energi pendinginan ($117,5 \text{ kWh/m}^2/\text{thn}$), kecuali bangunan yang berorientasi Timur – Barat ($90^\circ U$).

Hasil evaluasi terhadap pengaruh material dinding dan kaca terhadap energi pendinginan diperoleh dengan menetapkan beberapa asumsi yaitu volume bangunan (14900m³), WWR setiap sisi (20%), jam operational bangunan (08.00 – 18.00 wit, 5 hari kerja dalam seminggu). Berdasarkan asumsi-asumsi tersebut, hasil penelitian menunjukkan kinerja energi pendinginan yang menggunakan bata ringan tidak lebih baik dari batu bata. Kinerja energi pendinginan pada bangunan yang menggunakan dinding beton ringan, batu bata dengan *cladding* dan bata ringan dengan *cladding* telah memenuhi standar energi pendinginan, sedangkan bangunan yang menggunakan material batu bata, hanya memiliki kinerja energi pendinginan yang baik bila bangunan tersebut berorientasi Utara – Selatan (0°U) dan Tenggara – Barat Laut (45°U) saja. Menambahkan *cladding* pada dinding batu bata ternyata mampu meningkatkan efisiensi energi pendinginan sebuah bangunan hingga 12,61%, beton ringan 10,75% dan bata ringan dengan *cladding* 8,90%. Kombinasi material dinding dan kaca yang paling efisien terhadap energi pendinginan adalah bata ringan dengan *cladding* dan kaca low-e, karena mampu menurunkan konsumsi energi pendinginan terbesar hingga 19,75%.

d. Pengaruh Material terhadap Kinerja Energi Pendinginan

Umumnya dinding kantor pemerintahan menggunakan batu bata plaster putih, sedangkan kaca menggunakan kaca stopsol (tinted glass). Desain fasad yang menggunakan material kaca stopsol dan batu bata telah memenuhi standar konsumsi energi listrik khususnya untuk pendinginan namun kinerja energi pendinginannya hanya naik 1.4%. Kinerja energi pendinginan dapat meningkat hingga 6,49% jika material jendela *clear glass* diganti dengan *single low* dan dapat meningkat hingga 11% ketika dinding batu bata diganti dengan bata ringan dengan *cladding*.

6.1.3 Evaluasi Kombinasi Geometri, Material, WWR, Dan Shading Devices terhadap Kinerja Energi Pendinginan

Rumusan kombinasi material, WWR, dan *shading devices* yang efisien pada kantor pemerintah bertingkat rendah dengan geometri tertentu yang efisien terhadap energi pendinginan terdapat pada Tabel 6.1. Tabel tersebut menunjukkan

secara umum desain fasade kantor pemerintahan di Surabaya telah efisien karena kinerja energi pendinginan bangunan telah memenuhi standar yakni lebih kecil dari 117,5 kWh/m²/thn.

Desain fasade yang sangat efisien terhadap energi pendinginan adalah bangunan yang memanjang dari timur ke barat (orientasi Utara – Selatan) dengan perbandingan lebar terhadap panjang (*W/L rasio*) 0,6, dinding menggunakan material beton ringan, kacanya menggunakan *double low-e*, WWR 60% dan menggunakan peneduh vertikal-horizontal. Kombinasi desain fasad ini dapat meningkatkan kinerja energi pendinginan hingga 22%v

Tabel 6.1 Kombinasi Material, WWR, dan *Shading Devices* yang Memenuhi Standar Efisiensi Kinerja Energi Pendinginan

Material		Peneduh (<i>Shading Devices</i>)			
Dinding	Jendela	Non	Vertikal	Horizontal	Vertikal-Horizontal
Batu Bata	<i>Clear Glass</i>	20%	20%	20% - 40%	20% - 40%
	<i>Stopsol</i>	20%	20%	20% - 40%	20% - 40%
	<i>Double Clear</i>	20% - 40%	20% - 40%	20% - 40%	20% - 60%
	<i>Single Low e</i>	20% - 60%	20% - 40%	20% - 60%	20% - 60%
	<i>Double Low-e</i>	20% - 60%	20% - 60%	20% - 60%	20% - 60%
Bata Ringan	<i>Clear Glass</i>	20%	20%	20% - 40%	20% - 40%
	<i>Stopsol</i>	20%	20%	20% - 40%	20% - 40%
	<i>Double Clear</i>	20% - 40%	20% - 40%	20% - 60%	20% - 60%
	<i>Single Low e</i>	20% - 40%	20% - 60%	20% - 60%	20% - 60%
	<i>Double Low-e</i>	20% - 60%	20% - 60%	20% - 60%	20% - 60%
Beton Ringan	<i>Clear Glass</i>	20% - 40%	20% - 40%	20% - 40%	20% - 60%
	<i>Stopsol</i>	20% - 60%	20% - 40%	20% - 40%	20% - 60%
	<i>Double Clear</i>	20% - 40%	20% - 60%	20% - 60%	20% - 60%
	<i>Single Low e</i>	20% - 60%	20% - 60%	20% - 60%	20% - 60%
	<i>Double Low-e</i>	20% - 60%	20% - 60%	20% - 60%	20% - 60%
Bata Bata + Cladding	<i>Clear Glass</i>	20% - 40%	20% - 40%	20% - 60%	20% - 60%
	<i>Stopsol</i>	20% - 60%	20% - 40%	20% - 60%	20% - 60%
	<i>Double Clear</i>	20% - 60%	20% - 60%	20% - 60%	20% - 60%
	<i>Single Low e</i>	20% - 60%	20% - 60%	20% - 60%	20% - 60%
	<i>Double Low-e</i>	20% - 60%	20% - 60%	20% - 60%	20% - 60%
Bata Ringan + Cladding	<i>Clear Glass</i>	20% - 40%	20% - 40%	20% - 60%	20% - 60%
	<i>Stopsol</i>	20% - 60%	20% - 40%	20% - 60%	20% - 60%
	<i>Double Clear</i>	20% - 60%	20% - 60%	20% - 60%	20% - 60%
	<i>Single Low e</i>	20% - 60%	20% - 60%	20% - 60%	20% - 60%
	<i>Double Low-e</i>	20% - 60%	20% - 60%	20% - 60%	20% - 60%

Menurut Lau, dkk (2016), Al-Tarmimi dan Fadzil (2010) dan Arifin dan Denan (2015) semakin besar WWR maka energi pendinginan akan semakin besar pula. Secara umum penelitian ini sejalan dengan penelitian tersebut, tetapi pada beberapa kasus penelitian ini bertentangan dengan teori tersebut, khususnya model yang menggunakan material *double low-e glass*. Pada Tabel 5.21 terlihat khusus model yang menggunakan dinding batu bata dan bata ringan, WWR berbanding terbalik dengan konsumsi energi pendinginan, semakin luas bukaan kaca, maka konsumsi energi pendinginannya semakin kecil dan begitu pula sebaliknya. Hal ini dikarenakan kemampuan termal *double low-e glass* lebih baik dari pada batu bata dan bata ringan, baik dari kemampuan mereduksi radiasi matahari, maupun kemampuannya dalam meneruskan panas kedalam bangunan, sehingga semakin luas permukaan dinding transparan maka semakin baik kinerja energi pendinginan suatu bangunan.

6.2 Saran

Untuk memperoleh pemahaman yang lebih berkaitan dengan pengaruh geometri, material, WWR, dan peneduh (*shading devices*) terhadap efisiensi energi pendinginan pada kantor pemerintahan bertingkat rendah, maka dapat dilakukan beberapa pengembangan (penelitian) sebagai berikut:

1. Penelitian ini memiliki keterbatasan terhadap bentuk yang diuji, penelitian berikutnya dapat menguji bentuk selain persegi panjang untuk mengetahui pengaruhnya terhadap efisiensi energi pendinginan
2. Penelitian ini menggunakan asumsi WWR yang sama di setiap sisi dinding, padahal setiap dinding menerima radiasi matahari yang berbeda, penelitian berikutnya dapat menjadikan WWR sebagai variabel untuk mengkaji komposisi material yang efisien pada kantor pemerintah bertingkat rendah
3. Penelitian ini juga menggunakan asumsi material yang sama di setiap sisi dan di setiap lantainya, penelitian berikutnya dapat menjadikan material sebagai variabel untuk mengkaji komposisi material yang tepat di setiap sisi dan lantai bangunan.

Berdasarkan hasil evaluasi pengaruh fasad terhadap kinerja energi pendinginan, saran yang dapat diberikan adalah

1. Bangunan kantor pemerintahan sebaiknya dibangun dengan bentuk kotak yang memanjang dari timur ke barat dengan rasio panjang terhadap lebar (rasio W/L) 0,6.
2. Untuk bangunan yang memiliki luas dinding timur dan barat yang besar, sebaiknya menggunakan *egg-crate device* dan menggunakan dengan *u-value* dan *decrement factor* yang kecil serta kaca dengan *u-value* dan *asg* rendah
3. Bangunan kantor pemerintah yang akan dibangun sebaiknya menggunakan kombinasi geometri dengan $W/L = 0,6$, dinding menggunakan material beton ringan, kacanya menggunakan *double low-e*, WWR 60% dan menggunakan peneduh vertikal-horizontal

--- halaman ini sengaja dikosongkan ---

DAFTAR PUSTAKA

- Aksamija, Akla. (2013), *Sustainable Facades: Design Methode for High Performance Building Envelope*, John Wiley & Sons, Inc, New Jersey
- Al-Obaidi, K.M., Ismail, M., & Abdul Rahman, A.M. (2014). “*Investigation of Passive Design Techniques for Pitched Roof Systems in the Tropical Region*”. *Modern Applied Science* Vol.8, No.3, hal 182-191
- Al-Tamimi, N.A., Fadzil, S.F.S. (2011). “*The Potential of Shading Devices For Temperature Reduction In High-Rise Residential Buildings In The Tropics*”. *Procedia Engineering* 21, hal 273-282
- Baker, Nick dan Steemer, Koen. (2000). *Energy and Environmental in Architecture*. Edisi Kedua, Taylor & Francis Group, Inggris
- Bokel, R.M.J. (2007). “*The Effect of Window Position and Window Size on The Energy Demand for Heating, Cooling and Electric Lightin*”. *Proceedings: Building Simulation*. Hal. 117 - 121
- Devi, Eka Citra. (2002), “Perpindahan Panas Melalui Kulit Bangunan dan Pengaruhnya pada Beban Pendinginan”, *KILAS Jurnal Arsitektur FTUI* , Vol.4, No.1, hal. 76-90
- Direktorat Jenderal Energi Baru Terbarukan dan Konservasi Energi. (2011), *Kantor Hemat Energi*, Direktorat Jenderal Energi Baru Terbarukan dan Konservasi Energi, Jakarta
- Direktorat Jenderal Energi Baru Terbarukan dan Konservasi Energi. (2012), *Buku Pedoman Energi Efisiensi untuk Desain Bangunan Gedung di Indonesia: Pedoman Teknis Desain*, Direktorat Jenderal Energi Baru Terbarukan dan Konservasi Energi, Jakarta
- Earl Babbie. (2010). *The Practice of Social Research*, 12th Edition, Wadsworth Cengage Learning
- EECCHI, Direktorat Jenderal Energi Baru Terbarukan dan Konservasi Energi. 2012. *Buku Pedoman Energi Efisiensi untuk Desain Bangunan Gedung di Indonesia*. Jakarta
- Evans, Martin. (1980), *Housing, Climate and Comfort*, Architecture Press, London
- Gevorkian, Peter. (2007), *Sustainable Energy System Engineering, The Complete Green Building Design Resources*, MacGraw Hill, New York
- Givoni, B. (1998), *Climate Considerations in Building and Urban Design*. Van Nostrand Reinhold, New York

- Wibisono, Kunto. (2016). Kesadaran efisiensi energi kantor pemerintahan Surabaya rendah. Antaranews. Indonesia (www.kupang.antaranews.com/nasional/berita/580994/kesadaran-efisiensi-energi-kantor-pemerintahan-surabaya-rendah?utm_source=antaranews&utm_medium=nasional&utm_campaign=antaranews), akses 17/01/2018
- Berchman,H, Suaib,S, Agustina,I, Panjaitan,R, Winne. (2014). Panduan Penghematan Energi di Gedung Pemerintah: Sesuai Amanat Peraturan Menteri ESDM No. 13 tahun 2012 tentang Penghematan Pemakaian Listrik. Jakarta (www.iced.or.id)
- Hilmawan, Edi dan Said Mustafa. (2009). *“Energy Efficiency Standart and Labeling Policy in Indonesia” International Cooperation for Energy Efficiency Standart AND Labeling Policy*,Tokyo
- Hyde, Richard. (2000). *Climate Responsive Design: A Study of Buldings in Moderate and Hot Humid Climates*. E & FN Spon. Oxon
- Instruksi Presiden Republik Indonesia No.13 Tahun 2011 tentang Penghematan Energi dan Air
- International Finance Corporation (IFC). 2011. Jakarta Building Energy Efficiency Baseline and Saving Potential: Sensitivity Analysis.
- Juwana, Jimmy S. (2005), *Panduan Sistem Bangunan Tinggi: Untuk Arsitek dan Praktisi Bangunan*. Erlangga, Jakarta
- Karyono, Tri Harso. (1999), *Arsitektur: Kemapanan Pendidikan Kenyamanan dan Penghematan Energi*, PT Catur Libra Optima, Jakarta.
- Knack,Ulrich, Klein,Tillmann, Bilow,Marcel, Auer,Thomas. (2007). *Facades: Principle of Contruction*, Birkhauser Verlag AG, Berlin
- Koenigsberger,O.H et al. (1973), *Manual of Tropical Hosing and Building, Part I Climatic Design*, Longman Group Limited, London
- Koranteng, dkk (2015). *“Passive Analysis of the Effect of Window Size and Position on Indoor Comfort for Residential Rooms in Kumasi, Ghana”*. International Advanced Research Journal in Science, Engineering and Technology. Vol.2, Issue 10, Hal.114-120
- Krier, Rob. (1988), *Architecture Composition. Academic Edition*, Great Britain
- Krishan, Arvin Dkk, (2007), *Climate Responsive Architecture: A Design Handbook for Energy Efficient Building*, Tata McGraw Hill

- Laksmiyanti, D.P.E. (2013), *Pengaruh Bentuk dan Material Terhadap Efisiensi Energi Pendinginan pada Perkantoran Bertingkat Menengah di Surabaya*, Tesis Magister, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya
- Loekita, Sandra. (2006), *Analisa Konservasi Energi Melalui Selubung Bangunan*, Civil Engineering Dimension, Vol.8, No.2, hal 93-98
- Lechner, N. (2001), *Heating, Cooling, Lighting: Design Methods for Architect*, John Wiley & Sons, Inc, Canada
- Ling C.S (2007), *Mini Minimising Solar Insolation in High Rise Buildings Through Self Shaded Form*, Universitas Teknologi, Malaysia
- Lippsmeier, Georg, (1997), *Bangunan Tropis*, Edisi ke-2, Erlangga, Jakarta
- Mangunwijaya, Y.B. (1997), *Pengantar Fisika Bangunan*, Djambaran, Jakarta
- Mason, R.D., dan Lind, D.A., (1996). *Teknik Statistik untuk Bisnis & Ekonomi*, Edisi kesembilan, Erlangga, Jakarta.
- Moore, F. (1993), *Environmental Control System: Heating, Cooling, Lighting*, McGraw Hill Inc., New York
- Morissan, (2012), *Metode Penelitian Survei*, Kencana, Jakarta
- Ministry of Construction of the People's Republic of China. (2006). *Design Code for Office Building (JGJ67-2006)*. China Architecture and Building Press. Beijing.
- Mintigoro, Danny Santoso, (1999), *Strategi "Daylighting" pada Bangunan Multi Lantai Diatas dan Dibawah Permukaan Tanah*, Jurnal Dimensi Arsitektur, Vol.27 No.1, Juli 1999
- Mwasha, A., Williams, R., Iwaro, J., (2011), *"Modeling the performance of residential building envelope; The role of sustainable energy performance indicators"*, Energy Buildings 43, hal.2108–2117.
- Olgay, V. (1972), *Design with Climate – Bioclimate Approach to Architectural Regionalism*, Princeton University Press, New Jersey
- PERMEN PU 45/PRT/M/2007 tentang Pedoman Teknis Pembangunan Bangunan Gedung Negara
- Peraturan Menteri ESDM Nomor 13 tahun 2012 tentang Penghematan Pemakaian Tenaga Listrik
- Priatman, Jimmy (1999), *"Tradis dan Inovasi Material Fasad Bangunan Tinggi"*, *Dimensi Tekni Arsitektur*, Vol.27, No.2, hal.65-73

- Santoso, Anik Juniwati dan Antaryama, IGN. (2005), *Konsekuensi Energi Akibat Pemakaian Bidang kaca Pada Bangunan Tinggi di Daerah Tropis Lembab*, Dimensi Teknik Arsitektur Vol.33, No.1, hal 70-75
- Satwiko, Prasasto, (2009), *Fisika Bangunan*, Andi, Yogyakarta
- Schwab, D.P (2005), “*Research Method of Organizational Studies*”, Edisi Kedua, Lawrence Erlbaum Associates, Inc., New Jersey.
- SNI 03-6389-2011 tentang Konservasi Energi Selubung Bangunan pada Bangunan Gedung
- SNI 03-6390-2011 tentang Sistem Tata Udara pada Bangunan Gedung di Indonesia
- Soebarto, Veronica. (2002), “*A Wholistic Design Approach for Energy Efficient Commercial Building in The Tropics*”. *Proceeding Seminar Arsitektur Tropis*. Universitas Trisakti. Jakarta, hal 70-78,
- Soegijanto. (2002), Pengaruh Selubung Bangunan Terhadap Penggunaan Energi dalam Bangunan. Disampaikan dalam Seminar Arsitektur Hemat Energi, Universitas Kristen Petra, 23 Nopember 2002
- Sukawi. (2010). “*Kaitan Desain Selubung Bangunan terhadap Pemakaian Energi dalam Bangunan (Studi Kasus Perumahan Graha Padma Semarang)*”, Prosiding Seminar Nasional dan Teknologi, Universitas Wahid Hasyim Semarang
- Talarosha, Basaria, (2005), “*Menciptakan Kenyamanan Termal dalam Bangunan*”, *Jurnal Sistem Teknik Industri* Vol.6, No.3, hal 148 – 158
- Utomo, Darmawan Wisnu, (2008), *Pengaruh Desain Fasad Terhadap Beban Pendinginan Pada Apartemen di Daerah Tropis*. **Tesis**. Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya
- www.news.liputan6.com/read/158433/kantor-pemerintah-boros-energi, akses 25/03/2015
- www.tribunnews.com/nasional/2012/05/08/kantor-pemerintahan-boros-pakai-listrik, akses 25/03/2015
- www.wikimapia.org, akses 04/04/2015
- www.ciptakarya.pu.go.id/profil/profil/barat/jatim/surabaya.pdf
- Zaforl, Anas dan Al-Hafzan. (2010). *Energy Efficiency Toward Building Envelope An Analysis Study Between Main Library of University Malaya Building and Library of UiTM Perak Building*. Vol.1, No.2

Lampiran 1 : Data Iklim Surabaya 2009 - 2014

Tahun : 2009

B U L A N	TEMPERATUR UDARA (° C)			KELEMBABAN UDARA (%).			ARAH DAN KECEPATAN ANGIN (Knot)			LAMANYA PENYINARAN MATAHARI (%)	CURAH HUJAN Pos Gubeng		
	Avg	Max	Min	Avg	Max	Min	Arah	Kec	Kec		C. HUJAN (mm)	Max (mm)	Hh
							terbanyak	Avg	Max				
JANUARI	27,7	35,4	23,5	80	97	46	B	5	30	52	322	65	14
PEBRUARI	28,4	35,6	22,6	80	97	52	B	7	25	64	517	83	18
MARET	28,6	35,2	23,4	81	97	48	B	6	22	59	345	60	15
APRIL	28,6	35,1	23,8	82	98	55	B	6	25	58	349	60	16
M E I	29,0	35,0	24,6	81	97	54	B	6	26	49	209	31	15
J U N I	28,8	35,0	23,0	78	96	46	T	6	20	55	47	22	4
J U L I	28,8	34,7	21,6	75	97	40	T	7	18	69	76	28	8
AGUSTUS	29,2	34,9	22,0	72	94	42	T	7	16	85	25	14	2
SEPTEMBER	28,8	35,8	23,2	76	97	40	T	7	36	65	143	37	10
OKTOBER	28,7	35,8	22,2	77	97	46	T	6	24	61	168	62	8
NOPEMBER	28,8	35,6	23,0	78	98	41	T	6	41	56	82	22	9
DESEMBER	27,7	22,6	27,7	81	98	53	B	6	28	51	363	109	15
JUMLAH	343,1	410,7	280,6	941	1163	563		75	311	722	2646	593	134
RATA-2	28,6	34,2	23,4	78	97	47		6	26	60			
MAX	29,2	35,8	27,7	82	98	55		7	41	85			

Tahun : 2010

B U L A N	TEMPERATUR UDARA (⁰ C)			KELEMBABAN UDARA (%).			ARAH DAN KECEPATAN ANGIN (Knot)			LAMANYA PENYINARAN MATAHARI (%)	CURAH HUJAN Pos Gubeng		
	Avg	Max	Min	Avg	Max	Min	Arah	Kec	Kec		C. HUJAN (mm)	Max (mm)	Hh
							terbanyak	Avg	Max				
JANUARI	27,7	35,4	23,5	80	97	46	B	5	30	52	322	65	14
PEBRUARI	28,4	35,6	22,6	80	97	52	B	7	25	64	517	83	18
MARET	28,6	35,2	23,4	81	97	48	B	6	22	59	345	60	15
APRIL	28,6	35,1	23,8	82	98	55	B	6	25	58	349	60	16
M E I	29,0	35,0	24,6	81	97	54	B	6	26	49	209	31	15
J U N I	28,8	35,0	23,0	78	96	46	T	6	20	55	47	22	4
J U L I	28,8	34,7	21,6	75	97	40	T	7	18	69	76	28	8
AGUSTUS	29,2	34,9	22,0	72	94	42	T	7	16	85	25	14	2
SEPTEMBER	28,8	35,8	23,2	76	97	40	T	7	36	65	143	37	10
OKTOBER	28,7	35,8	22,2	77	97	46	T	6	24	61	168	62	8
NOPEMBER	28,8	35,6	23,0	78	98	41	T	6	41	56	82	22	9
DESEMBER	27,7	22,6	27,7	81	98	53	B	6	28	51	363	109	15
JUMLAH	343,1	410,7	280,6	941	1163	563		75	311	722	2646	593	134
RATA-2	28,6	34,2	23,4	78	97	47		6	26	60			
MAX	29,2	35,8	27,7	82	98	55		7	41	85			
MIN	27,7	22,6	21,6	72	94	40		5	16	49			

Tahun : 2011

B U L A N	TEMPERATUR UDARA (⁰ C)			KELEMBABAN UDARA (%)			ARAH DAN KECEPATAN ANGIN (Knot)			LAMANYA PENYINARAN MATAHARI (%)	CURAH HUJAN Pos Gubeng		
	Avg	Max	Min	Avg	Max	Min	Arah	Kec	Kec		C. HUJAN (mm)	Max (mm)	Hh
							terbanyak	Avg	Max				
JANUARI	27,4	34,2	22,8	82	97	47	B	7	22	40	322	65	14
PEBRUARI	27,7	34,4	23,2	81	97	54	B	7	20	42	517	83	18
MARET	27,9	34,2	23,6	81	97	53	B	7	32	58	345	60	15
APRIL	28,2	34,3	24,0	81	95	52	B	6	18	46	349	60	16
MEI	28,9	34,5	24,5	76	96	45	T	6	18	72	209	31	15
JUNI	28,1	34,8	22,0	70	97	38	T	7	18	85	47	22	4
JULI	28,1	33,6	22,0	70	92	38	T	7	16	96	76	28	8
AGUSTUS	28,0	34,2	21,4	67	89	35	T	8	16	84	25	14	2
SEPTEMBER	28,6	35,2	22,8	66	91	33	T	5	11	95	143	37	10
OKTOBER	29,8	36,4	22,8	66	92	28	T	7	28	88	168	62	8
NOPEMBER	28,9	35,4	23,6	77	97	44	T	6	15	57	82	22	9
DESEMBER	28,3	35,4	23,6	79	97	47	B	4	20	47	363	109	15
JUMLAH	340,0	416,6	276,3	894	1137	514		78	234	810	2148	489	100
RATA-2	28,3	34,7	23,0	74	95	43		6	20	68			
MAX	29,8	36,4	24,5	82	97	54		8	32	96			
MIN	27,4	33,6	21,4	66	89	28		4	11	40			

Tahun : 2012

B U L A N	TEMPERATUR UDARA (° C)			KELEMBABAN UDARA (%).			ARAH DAN KECEPATAN ANGIN (Knot)			LAMANYA PENYINARAN MATAHARI (%)	CURAH HUJAN Pos Gubeng		
	Avg	Max	Min	Avg	Max	Min	Arah terbanyak	Kec Avg	Kec Max		C. HUJAN (mm)	Max (mm)	Hh
JANUARI	27,5	33,9	22,4	83	99	57	B	7	25	37	625	81	19
PEBRUARI	28,1	34,6	23,5	80	98	41	B	5	40	57	389	60	9
MARET	27,9	35,1	23,2	80	97	47	B	7	29	50	196	25	18
APRIL	29,1	35,0	24,0	76	94	43	T	6	18	72	83	24	6
MEI	28,9	34,8	23,4	73	95	39	T	7	18	77	67	19	5
JUNI	28,4	34,0	21,6	70	93	40	T	7	20	86	14	14	1
JULI	27,7	34,1	21,0	67	95	35	T	7	18	87	-	-	-
AGUSTUS	27,7	34,4	21,4	65	89	32	T	8	18	98	-	-	-
SEPTEMBER	28,8	35,4	22,0	63	97	26	T	8	24	99	-	-	-
OKTOBER	30,2	36,8	24,6	65	90	28	T	7	26	93	8	8	1
NOPEMBER	30,0	36,6	25,0	71	95	34	T	6	24	74	60	30	4
DESEMBER	28,5	35,8	23,7	80	97	37	B	6	44	36	448	68	17
JUMLAH	342,6	420,5	275,8	873	1139	459		80	304	864	1890	329	80
RATA-2	28,6	35,0	23,0	73	95	38		7	25	72			
MAX	30,2	36,8	25,0	83	99	57		8	44	99			
MIN	27,5	33,9	21,0	63	89	26		5	18	36			

Tahun : 2013

B U L A N	TEMPERATUR UDARA (°C)			KELEMBABAN UDARA (%).			ARAH DAN KECEPATAN ANGIN (Knot)			LAMANYA PENYINARAN MATAHARI (%)	CURAH HUJAN Pos Gubeng		
	Avg	Max	Min	Avg	Max	Min	Arah	Kec	Kec		C. HUJAN (mm)	Max (mm)	Hh
							terbanyak	Avg	Max				
JANUARI	27,7	34,4	23,2	83	98	55	B	7	26	52	741	99	23
PEBRUARI	28,3	35,2	24,0	81	97	49	B	6	32	49	315	49	13
MARET	28,4	35,4	23,7	81	97	49	B	6	28	63	486	79	21
APRIL	28,8	34,6	24,2	80	97	41	T	5	21	45	349	90	15
MEI	28,8	34,8	23,7	80	97	52	T	6	27	53	435	87	14
JUNI	28,4	34,7	23,0	80	99	51	T	6	21	47	149	51	6
JULI	27,8	33,8	21,4	75	96	38	T	7	27	66	65	65	1
AGUSTUS	28,2	35,2	20,2	67	92	37	T	8	24	90	-	-	-
SEPTEMBER	28,8	35,6	23,0	64	88	28	T	8	22	100	-	-	-
OKTOBER	30,2	37,6	23,6	64	90	27	T	7	22	93	-	-	-
NOPEMBER	29,2	36,9	23,6	73	97	37	T	6	24	61	83	41	4
DESEMBER	27,8	35,1	23,6	87	97	46	B	5	30	43	418	71	17
JUMLAH	342,5	423,3	277,2	915	1145	510		75	304	762	3041	632	114
RATA-2	28,5	35,3	23,1	76	95	43		6	25	63			
MAX	30,2	37,6	24,2	87	99	55		8	32	100			
MIN	27,7	33,8	20,2	64	88	27		5	21	43			

Tahun : 2014

B U L A N	TEMPERATUR UDARA (° C)			KELEMBABAN UDARA (%)			ARAH DAN KECEPATAN ANGIN (Knot)			LAMANYA PENYINARAN MATAHARI (%)	CURAH HUJAN Pos Gubeng		
	Avg	Max	Min	Avg	Max	Min	Arah	Kec	Kec		C. HUJAN (mm)	Max (mm)	Hh
							terbanyak	Avg	Max				
JANUARI	27,4	34,4	23,6	81	97	54	B	6	25	44	244	54	15
PEBRUARI	27,5	34,3	23,0	83	97	54	B	7	31	60	324	78	13
MARET	28,6	34,6	23,0	79	100	49	B	6	30	83	537	78	19
APRIL	28,8	35,8	24,1	79	97	46	BL	6	31	66	289	45	22
M E I	29,6	35,3	23,8	75	97	41	T	7	22	75	100	24	8
J U N I	29,3	35,1	23,8	74	97	45	T	6	21	84	85	24	5
J U L I	28,6	34,0	22,0	70	93	43	T	6	21	88	17	17	1
AGUSTUS	28,4	34,2	21,8	67	90	37	T	8	27	98	-	-	-
SEPTEMBER	28,7	35,3	21,8	62	88	52	T	8	25	98	-	-	-
OKTOBER	30,1	37,3	22,9	61	91	48	T	9	25	94	-	-	-
NOPEMBER	30,0	37,6	24,8	69	93	26	T	6	25	72	81	24	5
DESEMBER	28,1	35,4	23,8	80	100	53	B	6	25	42	443	109	16
JUMLAH	345,2	423,3	278,4	880	1140	548		81	308	904	2120	453	104
RATA-2	28,8	35,3	23,2	73	95	46		7	26	75			
MAX	30,1	37,6	24,8	83	100	54		9	31	98			
MIN	27,4	34,0	21,8	61	88	26		6	21	42			