

**EVALUASI KONSEP *GREEN BUILDING* DALAM HAL EFISIENSI
DAN KONSERVASI ENERGI PADA GEDUNG A TEKNIK
PENGAIRAN UNIVERSITAS BRAWIJAYA**

TESIS

TEKNIK SIPIL KONSENTRASI MANAJEMEN KONSTRUKSI

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Magister Teknik



ARISKA DESY HARYANI

NIM 196060100111030

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

FAKULTAS TEKNIK

MALANG

2021



LEMBAR PENGESAHAN
EVALUASI KONSEP *GREEN BUILDING* DALAM HAL
EFISIENSI DAN KONSERVASI ENERGI PADA GEDUNG A
TEKNIK PENGAIRAN UNIVERSITAS BRAWIJAYA
TESIS

TEKNIK SIPIL KONSENTRASI MANAJEMEN
KONSTRUKSI

Ditujukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Magister Teknik



ARISKA DESY HARYANI
NIM. 196060100111030

Tesis ini telah direvisi dan disetujui oleh dosen pembimbing
pada tanggal 19 Juli 2021

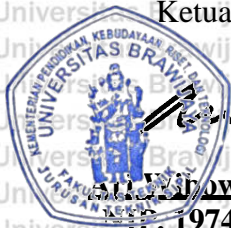
Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

Dr. Eng. Yatnanta Padma Devia, ST., MT.
NIP. 19740813 199903 2 002

Dr. Eng. Eva Arifi, ST., MT
NIK. 201002 771203 2 001

Mengetahui
Ketua Program Studi



Dr. Eng. Aji Sijowo, ST., MT., Ph.D.
NIP. 19740619 200012 1 002

Lembar Identitas Komisi Pembimbing dan Penguji

Judul : **Evaluasi Konsep Green Building Dalam Hal Efisiensi Dan Konservasi Energi Pada Gedung A Teknik Pengairan Universitas Brawijaya**

Nama Mahasiswa : **Ariska Desy Haryani**

Program Studi : **Managemen Konstruksi**

KOMISI PEMBIMBING

Pembimbing 1 : **Dr. Eng. Yatnanta Padma Devia, ST, MT**

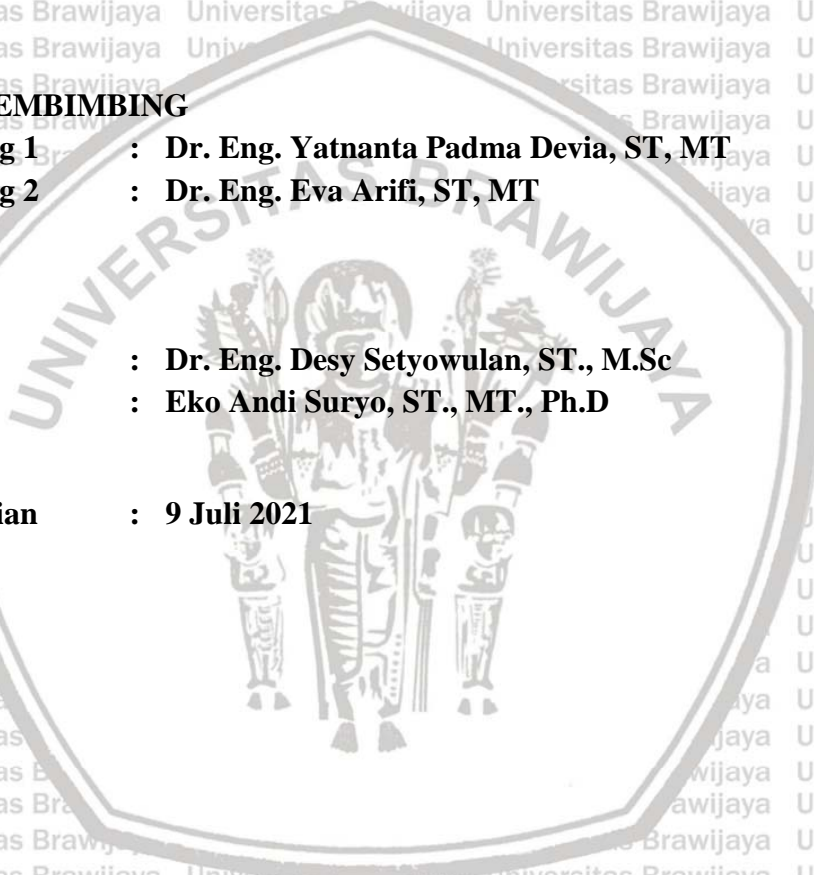
Pembimbing 2 : **Dr. Eng. Eva Arifi, ST, MT**

PENGUJI

Penguji 1 : **Dr. Eng. Desy Setyowulan, ST., M.Sc**

Penguji 2 : **Eko Andi Suryo, ST., MT., Ph.D**

Tanggal Ujian : **9 Juli 2021**





**UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM MAGISTER**



SERTIFIKAT BEBAS PLAGIASI

Nomor : 011/UN10.F07.11.21/PP/2021

Sertifikat ini diberikan kepada :

ARISKA DESY HARYANI

Dengan Judul Tesis :

**EVALUASI KONSEP GREEN BUILDING DALAM HAL EFISIENSI DAN KONSERVASI ENERGI
PADA GEDUNG A TEKNIK PENGAIRAN UNIVERSITAS BRAWIJAYA**

Telah dideteksi tingkat plagiasinya dengan kriteria toleransi $\leq 5\%$, dan
dinyatakan Bebas dari Plagiasi pada tanggal 19 Juli 2021



Dekan Jurusan Teknik Sipil

Dr. Alwafi Puji Raharjo, ST., MT

NIP. 19700829 200012 1 001

Ketua Program Studi S2 Teknik Sipil

Ir. Ari Wibowo, ST., MT., Ph.D

NIP. 19740619 200012 1 002

Kata Pengantar

Puji syukur dipanjatkan kepada Allah SWT atas petunjuk-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan Tesis sebagai salah satu syarat memperoleh gelar Magister Teknik di Teknik Sipil Universitas Brawijaya.

Tesis ini mengambil topik mengenai konservasi energi yaitu dengan judul “Evaluasi Konsep *Green Building* Dalam Hal Efisiensi Dan Konservasi Energi Pada Gedung A Teknik Pengairan Universitas Brawijaya”. Berdasarkan pengamatan penulis bahwa seiring meningkatnya pembangunan gedung – gedung tinggi baik digunakan untuk gedung pendidikan ataupun peruntukan lainnya meningkat pula penggunaan energi. Dengan kondisi seperti saat ini apabila penggunaan energi khususnya energi alam yang tidak terkendali dan tidak dibatasi maka pada suatu saat akan terjadi kelangkaan energi. Untuk itu perlu dilakukan konservasi energi dan perencanaan pembangunan yang tepat sehingga dapat mengurangi konsumsi energi pada saat bangunan telah dioperasikan.

Beribu ucapan terimakasih disampaikan kepada semua pihak yang telah memberikan dukungan moril maupun materil dalam penyusunan tesis ini. Dan terakhir, kritik dan saran yang membangun selalu diharapkan agar suatu saat tesis ini dapat menjadi penelitian yang memberikan manfaat dan menambah wawasan bagi para pembaca.

Malang, Juli 2021

Penulis

RINGKASAN

Ariska Desy Haryani, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Juli 2021, Evaluasi Konsep *Green Building* Dalam Hal Efisiensi Dan Konservasi Energi Pada Gedung A Teknik Pengairan Universitas Brawijaya, Dosen Pembimbing: Yatnanta Padma Devia dan Eva Arifi.

Pemanasan global membawa perubahan dalam kehidupan masyarakat, salah satunya pada bidang pembangunan yang dinilai berpengaruh terhadap peningkatan suhu bumi. Konsep *Green Building* dikembangkan untuk meminimalkan dampak kerusakan lingkungan akibat pemanasan global melalui 6 aspek penilaian. Salah satu aspek penilaian adalah konservasi energi pada saat operasional bangunan. Berdasarkan penelitian terdahulu, ada keterkaitan antara besarnya konsumsi energi suatu bangunan dengan pengaruhnya terhadap pemanasan global. Penggunaan energi pada bangunan berkaitan dengan kebutuhan bangunan dalam pemenuhan kenyamanan pengguna. Bangunan dengan desain yang tepat dapat memenuhi kenyamanan pengguna dengan pencahayaan dan penghawaan alami tanpa mengkonsumsi energi untuk peningkatan kenyamanan. Untuk itu penelitian ini dilakukan dengan tujuan mengetahui besarnya konsumsi energi pada bangunan, mengevaluasi sistem pencahayaan dan penghawaan alami serta mencari celah untuk penghematan energi dengan memodifikasi bangunan berdasarkan hasil evaluasi sehingga penggunaan pencahayaan dan penghawaan termal dapat lebih optimal.

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah komparatif kuantitatif dengan membandingkan hasil pengukuran dan simulasi dengan standar SNI. Dalam penelitian ini, dilakukan perhitungan konsumsi energi pada gedung perkuliahan sebagai objek penelitian. Sebagai gedung yang dioperasikan selama hampir 8 jam dalam sehari, gedung perkuliahan harus memenuhi kenyamanan visual dan kenyamanan termal untuk mendukung kegiatan perkuliahan. Dengan menggunakan *software* Ecotect dilakukan analisis mengenai kenyamanan visual dan kenyamanan termal dalam gedung. Melalui hasil simulasi kondisi eksisting dengan standar kenyamanan maka akan didapat zona-zona yang memiliki kenyamanan kurang dari standar. Untuk itu dilakukan beberapa perubahan pada zona dalam gedung untuk meningkatkan kenyamanan gedung.

Berdasarkan hasil penelitian, konsumsi energi pada gedung berada pada kategori efisien-sangat efisien untuk ruang nonAC dengan nilai IKE dibawah $2,25 \text{ kWh/m}^2$ dan kategori efisien untuk ruang berAC dengan nilai IKE dibawah $11,61 \text{ kWh/m}^2$. Keadaan eksisting pencahayaan alami gedung tidak sesuai dengan standar pencahayaan yaitu 250-300 lux. Kondisi gedung menunjukkan adanya ketidaknyamanan pada sisi gedung dengan orientasi timur laut dimana pencahayaan alami terlalu berlebihan bahkan mencapai lebih dari 500 lux, disamping itu pada sisi dengan orientasi barat daya pencahayaan pada bagian dalam gedung cenderung gelap karena distribusi pencahayaan yang tidak merata. Sejalan dengan perolehan pencahayaan yang sangat besar, temperatur pada orientasi timur laut menunjukkan angka yang melebihi standar $20,5^{\circ}\text{C}$ - $27,1^{\circ}\text{C}$, bahkan dapat mencapai $29,9^{\circ}\text{C}$ pada kondisi puncak. Dengan beberapa kondisi tersebut didapat alternatif terbaik untuk penggunaan pencahayaan dan penghawaan alami yang lebih optimal yaitu dengan perubahan dimensi jendela, penggantian material kaca *clear glass* dengan *solar heat reflective glass*. Melalui alternatif tersebut konsumsi energi pada gedung dapat direduksi hingga 14% atau sebesar Rp 12.424.507,64.

Kata kunci : Kenyamanan Termal, Kenyamanan visual, Konsumsi Energi

Daftar Isi

LEMBAR PENGESAHAN	i
LEMBAR IDENTITAS KOMISI PEMBIMBING DAN PENGUJI	ii
LEMBAR ORISINALITAS TESIS	iii
UCAPAN TERIMAKASIH	iv
KATA PENGANTAR	vi
RINGKASAN	vii
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR GAMBAR	xiii
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Identifikasi Masalah	3
1.3 Rumusan Masalah	4
1.4 Batasan Masalah	4
1.5 Tujuan Penelitian	5
1.6 Manfaat Penelitian	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1. Energi	7
2.1.1. Energi Listrik	7
2.2. Konservasi Energi	8
2.2.1. Efisiensi Energi Listrik	8
2.2.2. Intensitas Konsumsi Energi (IKE)	9
2.2.3. <i>Energy Cost</i> (Biaya Energi)	10
2.2.4. Audit Energi	11
2.3. Sistem Pencahayaan Bangunan	11
2.3.1. Kenyamanan Visual Bangunan	13
2.3.1.1 Iluminasi	13
2.3.1.2. Pengukuran Intensitas Penerangan	14
2.3.1.3. Penentuan Titik Pengukuran	14
2.3.2. Sistem Pencahayaan Alami	17
2.3.3. Peningkatan Pencahayaan Alami Gedung	18
2.3.4. Sistem Pencahayaan Buatan	21
2.4. Sistem Penghawaan	22

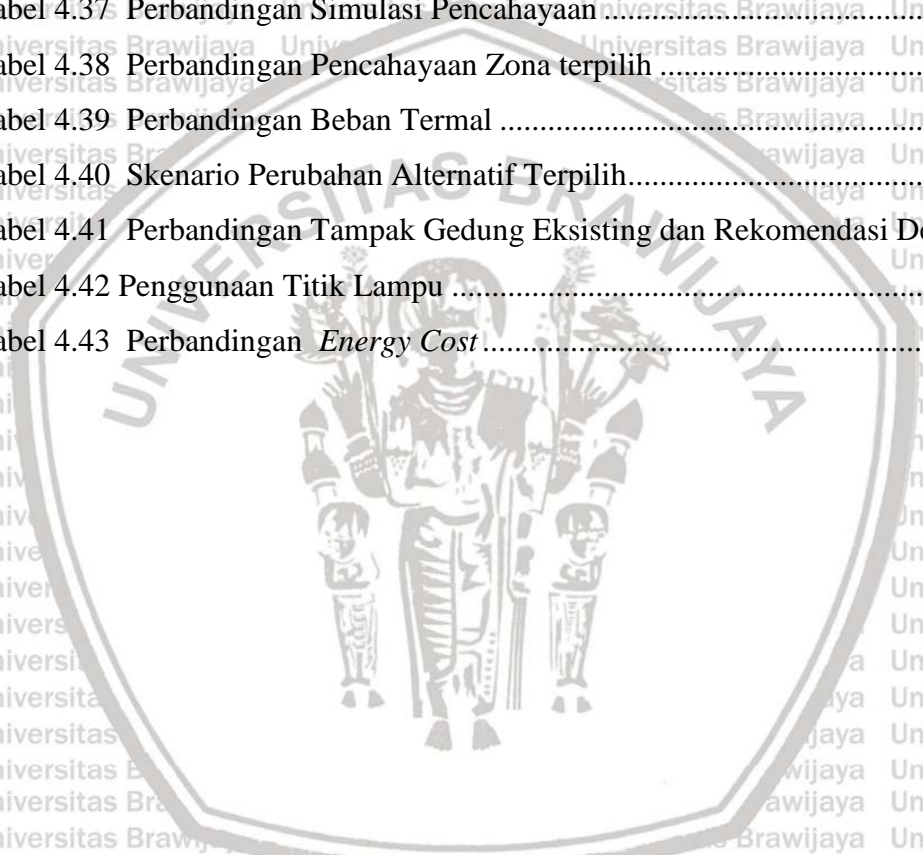


2.4.1. Kenyamanan Termal Bangunan	22
2.5. <i>Overall Thermal Transfer Value</i> (OTTV)	23
2.6. Perolehan Panas Bangunan (<i>Heat Gains</i>)	24
2.6.1. <i>Passive Gains Breakdown</i>	25
2.6.2. <i>Fabric Gains</i>	25
2.6.3. <i>Indirect Solar Gains</i>	25
2.6.4. <i>Direct Solar Gains</i>	25
2.6.5. <i>Ventilation Gains</i>	26
2.6.6. <i>Internal Gains</i>	26
2.6.7. <i>Interzonal Gains</i>	26
2.7. Peningkatan Kenyamanan Termal Alami Gedung	26
2.7.1. Strategi Pengendalian Termal	27
2.8. <i>Software Ecotect</i>	28
2.8.1. Kelebihan <i>Software Ecotect</i>	29
2.8.2. Keterbatasan <i>Software Ecotect</i>	29
BAB III METODE PENELITIAN	
3.1. Penelitian Terdahulu	30
3.2. Kerangka Konsep Penelitian	32
3.3. Tahapan Penelitian	32
3.4. Lokasi Penelitian	34
3.5. Waktu Pengambilan Data Penelitian	34
3.6. Variabel Penelitian	35
3.7. Data Penelitian	35
3.8. Teknik Pengumpulan Data	36
3.9. Teknik Pengolahan Data dan Tahapan Penelitian	37
3.9.1. Efisiensi Energi	37
3.9.2. Analisis Pencahayaan dan Termal Eksisting	37
3.9.3. Peningkatan Efisiensi Energi	37
3.10. Perhitungan <i>Energy Cost</i> Desain Terpilih	37
3.11. Hipotesis Penelitian	38
BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN	
4.1. Gambaran Umum Objek Penelitian	39
4.2. Kondisi Lingkungan	43
4.3. Perhitungan Nilai IKE	43
4.4. Pemodelan Gedung	47
4.5. Analisis Kondisi Gedung	50
4.5.1. Analisis Pencahayaan Gedung	51

Daftar Tabel

Tabel 2.1 Standar IKE untuk Gedung Pendidikan	10
Tabel 2.2 Standar IKE Indonesia	10
Tabel 3.1 Variabel Penelitian	35
Tabel 4.1 Rincian Luas Gedung A	43
Tabel 4.2 Rincian Beban Listrik	44
Tabel 4.3 Histori Penggunaan Energi Listrik	44
Tabel 4.4 Nilai IKE Ruang BerAC	45
Tabel 4.5 Nilai IKE Ruang NonAC	46
Tabel 4.6 Tampak Gedung dan Lingkungan Sekitar Gedung A	48
Tabel 4.7 Pencahayaan Ruangan Beberapa Zona Terpilih	56
Tabel 4.8 Perbandingan Hasil Pengukuran, Simulasi Dan SNI	57
Tabel 4.9 Profil Temperatur Ruang Sidang	59
Tabel 4.10 Perbandingan Temperatur Standar, Pengukuran dan Simulasi Ruang Sidang	60
Tabel 4.11 Profil Temperatur Ruang Kelas 2 Lantai 3	62
Tabel 4.12 Perbandingan Temperatur Standar, Pengukuran dan Simulasi Kelas 2 Lantai 3	63
Tabel 4.13 Profil Temperatur Ruang Kelas 4 Lantai 3	65
Tabel 4.14 Perbandingan Temperatur Standar, Pengukuran dan Simulasi Kelas 4 Lantai 3	66
Tabel 4.15 Profil Temperatur Ruang Kelas 2 Lantai 5	68
Tabel 4.16 Perbandingan Temperatur Standar, Pengukuran dan Simulasi Kelas 2 Lantai 5	69
Tabel 4.17 Profil Temperatur Ruang Kelas 4 Lantai 5	71
Tabel 4.18 Perbandingan Temperatur Standar, Pengukuran dan Simulasi Kelas 4 Lantai 5	71
Tabel 4.19 Prosentase <i>passive gains breakdowns</i>	74
Tabel 4.20 Rerata Nilai <i>Fabric Gains</i>	76
Tabel 4.21 Rerata Nilai <i>Direct Solar Gains</i>	77
Tabel 4.22 Rerata Nilai <i>Indirect Solar Gains</i>	79
Tabel 4.23 Rerata Nilai <i>Ventilation Gains</i>	80
Tabel 4.24 Rerata Nilai <i>Interzonal Gains</i>	82
Tabel 4.25 Rekapitulasi Perhitungan OTTV	83
Tabel 4.26 Hasil Simulasi Alternatif Desain 1	87
Tabel 4.27 Hasil Simulasi Termal Alternatif Desain 1	88

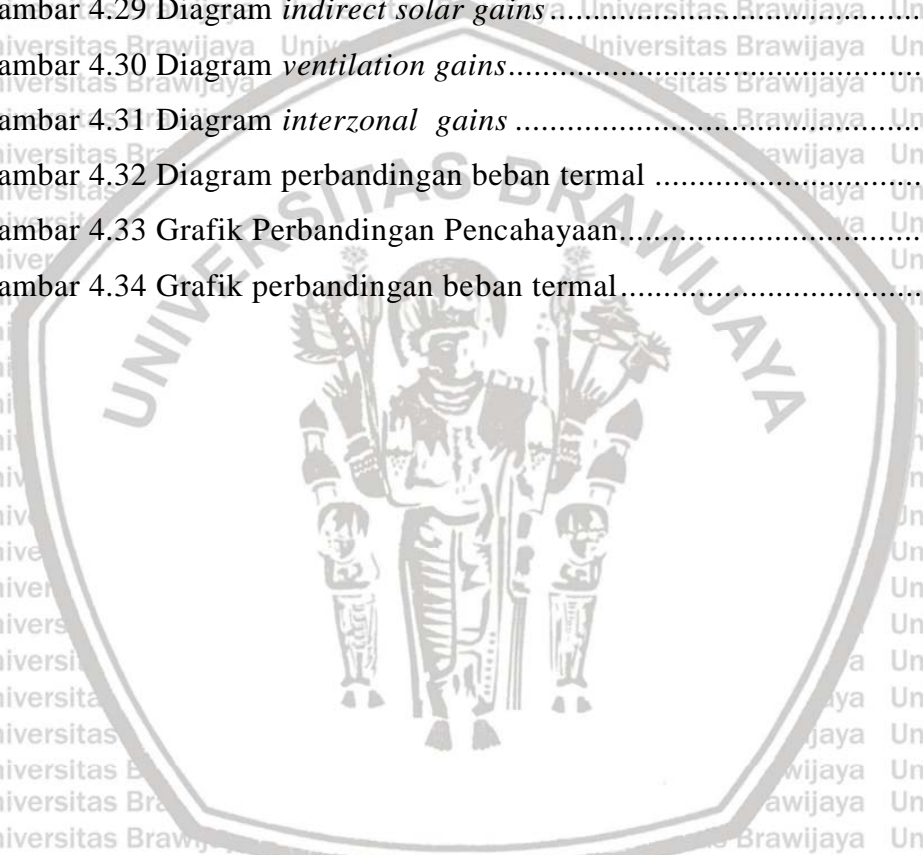
Tabel 4.28 Hasil Simulasi Alternatif Desain 2	89
Tabel 4.29 Hasil Simulasi Termal Alternatif Desain 2	91
Tabel 4.30 Hasil Simulasi Alternatif Desain 3	92
Tabel 4.31 Hasil Simulasi Termal Alternatif Desain 3	93
Tabel 4.32 Hasil Simulasi Termal Alternatif 4.....	94
Tabel 4.33 Hasil Simulasi Alternatif Desain 5	96
Tabel 4.34 Hasil Simulasi Termal Alternatif Desain 5	97
Tabel 4.35 Hasil Simulasi Alternatif Desain 6	98
Tabel 4.36 Hasil Simulasi Termal alternatif Desain 6	99
Tabel 4.37 Perbandingan Simulasi Pencahayaan	100
Tabel 4.38 Perbandingan Pencahayaan Zona terpilih	102
Tabel 4.39 Perbandingan Beban Termal	104
Tabel 4.40 Skenario Perubahan Alternatif Terpilih.....	106
Tabel 4.41 Perbandingan Tampak Gedung Eksisting dan Rekomendasi Desain.....	109
Tabel 4.42 Penggunaan Titik Lampu	110
Tabel 4.43 Perbandingan <i>Energy Cost</i>	111



Daftar Gambar

Gambar 2.1 Penentuan titik pengukuran luasan kurang dari 10m ²	15
Gambar 2.2 Penentuan titik pengukuran luasan 10m ² -100m ²	15
Gambar 2.3 Penentuan titik pengukuran luasan lebih dari 100m ²	16
Gambar 2.4. Penentuan tuu dan tus.....	16
Gambar 2.5 Penentuan tuu dan tus untuk bangunan dengan panjang lebih dari 7 m.....	17
Gambar 2.6 Ilustrasi <i>sky light</i>	19
Gambar 2.7 Ilustrasi <i>clerestory window</i>	19
Gambar 2.8 Ilustrasi <i>side lighting</i>	20
Gambar 2.9 Ilustrasi <i>Shelf light</i>	20
Gambar 2.10 Ilustrasi <i>Awning</i>	21
Gambar 3.1 Skema Tahapan Penelitian.....	33
Gambar 3.2 Peta Kota Malang.....	34
Gambar 4.1 Tampak citra satelit gedung A.....	39
Gambar 4.2 Denah lantai 1.....	40
Gambar 4.3 Denah lantai 2.....	40
Gambar 4.4 Denah lantai 3.....	41
Gambar 4.5 Denah lantai 4.....	41
Gambar 4.6 Denah lantai 5.....	42
Gambar 4.7 Denah lantai 6.....	42
Gambar 4.8 Pemodelan gedung A.....	47
Gambar 4.9 Pemodelan gedung A dan sekitar.....	50
Gambar 4.10 Analisi Kondisi Gedung.....	50
Gambar 4.11 Simulasi pencahayaan lantai 2.....	51
Gambar 4.12 Simulasi pencahayaan lantai 3.....	52
Gambar 4.13 Simulasi pencahayaan lantai 4.....	53
Gambar 4.14 Simulasi pencahayaan lantai 5.....	54
Gambar 4.15 Simulasi pencahayaan lantai 6.....	55
Gambar 4.16 Grafik temperatur ruang siding lantai 2.....	58
Gambar 4.17 Perbandingan hasil pengukuran dan simulasi ruang sidang.....	60
Gambar 4.18 Profil temperatur ruang kelas 2 lantai 3.....	61
Gambar 4.19 Perbandingan hasil pengukuran dan simulasi ruang kelas 2 lantai 3.....	63

Gambar 4.20 Profil temperatur Ruang Kelas 4 Lantai 3	64
Gambar 4.21 Perbandingan hasil pengukuran dan simulasi kelas 4 lantai 3	66
Gambar 4.22 Profil temperatur ruang kelas 2 lantai 5	67
Gambar 4.23 Perbandingan Hasil Pengukuran dan simulasi kelas 2 lantai 5	69
Gambar 4.24 Profil temperatur Ruang Kelas 4 Lantai 5	70
Gambar 4.25 Perbandingan Hasil Pengukuran dan simulasi kelas 4 lantai 5	72
Gambar 4.26 Diagram <i>passive gains breakdowns</i>	73
Gambar 4.27 Diagram <i>fabric gains</i>	75
Gambar 4.28 Diagram <i>direct solar gains</i>	76
Gambar 4.29 Diagram <i>indirect solar gains</i>	78
Gambar 4.30 Diagram <i>ventilation gains</i>	79
Gambar 4.31 Diagram <i>interzonal gains</i>	81
Gambar 4.32 Diagram perbandingan beban termal	95
Gambar 4.33 Grafik Perbandingan Pencahayaan	103
Gambar 4.34 Grafik perbandingan beban termal	105



BAB I PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Global warming mulai diteliti sekitar tahun 1980-an sedikit banyak membawa perubahan dalam kehidupan masyarakat dunia. Kemunculan pemanasan global membuat para ilmuwan berlomba – lomba meneliti penyebab dan pencegahan yang dapat dilakukan guna mengurangi pemanasan global, mengingat begitu banyak dampak negatif yang akan ditimbulkan. Banyak sekali faktor yang menyebabkan terjadinya pemanasan global, salah satunya adalah proyek konstruksi. Proyek konstruksi menjadi salah satu penyebab pemanasan global karena memiliki peran besar dalam perubahan lingkungan di permukaan bumi.

Proyek konstruksi yang merupakan suatu upaya untuk menciptakan infrastruktur guna mengembangkan suatu wilayah adalah hal yang tidak bisa dihindari. Dalam satu tahun banyak sekali pembangunan infrastruktur yang dilaksanakan. Hal ini kemudian menjadi polemik karena di satu sisi pembangunan bermanfaat guna mengembangkan potensi wilayah, namun di lain sisi berdampak terhadap keberlanjutan lingkungan. Dengan latar belakang tersebut, beberapa pihak mencoba mengembangkan suatu konsep membangun dengan meminimalkan dampak terhadap kerusakan lingkungan, salah satunya dengan konsep *green building*.

Istilah *green building* mulai dikenal pada tahun 1987 yakni sejak munculnya formulasi Perserikatan Bangsa – Bangsa (PBB) mengenai *sustainable development* atau pembangunan berkelanjutan. Untuk mendukung *sustainable development*, pada tahun 2002 dibentuklah *World Green Building* yang beranggotakan 100 negara. *World Green Building* sendiri adalah organisasi internasional yang memiliki jaringan pada tiap negara anggotanya, yaitu *The Green Building Council*. *The Green Building Council* bertugas untuk mendorong peningkatan pembangunan *green building* dan memastikan standar *green building* sesuai dengan kriteria yang ada sebagai strategi untuk mengurangi emisi karbon.

Green Building memiliki beberapa kriteria penilaian dalam menilai suatu bangunan yang disebut dengan *GreenShip*. Dalam *greenShip* ditetapkan enam aspek penilaian diantaranya ketepatan guna lahan, efisiensi dan konservasi penggunaan energi, konservasi air, sumber dan siklus material, kualitas udara dan kenyamanan, serta manajemen

lingkungan bangunan, dimana masing – masing aspek memiliki muatan nilai tertentu dalam penilaian.

Berdasarkan uraian di atas salah satu aspek yang berdampak besar terhadap alam dan sekaligus menjadi tolak ukur penilaian dalam konsep *green building* adalah efisiensi dan konservasi energi. Dari begitu banyak penelitian mengenai konstruksi dan *global warming* yang dilakukan, banyak peneliti yang mengungkapkan keterkaitan antara besarnya konsumsi energi suatu bangunan dengan pengaruhnya terhadap *global warming*.

Berdasarkan penelitian, U.S. *Green Building Council (USGBC)* mengungkapkan bahwa bangunan berada pada peringkat 1 dalam konsumsi energi dunia, yaitu mengkonsumsi sebanyak 41% energi dunia.

Indonesia adalah salah satu negara dengan konsumsi energi yang besar dan terus meningkat setiap tahunnya. Merujuk laporan *Global Tracking Framework Report* tahun 2005 yang dirilis di Wina, Austria, Indonesia termasuk dalam 20 negara yang mengkonsumsi 80% energi dunia. Berdasarkan data PLN konsumsi energi Indonesia pada tahun 2014 sebesar 878 kWh/kapita dan mencapai 1.064 kWh/kapita pada tahun 2018 atau mengalami peningkatan sebesar 21% dalam kurun waktu 4 tahun. Dari total keseluruhan energi yang digunakan tersebut, 85% diantaranya berasal dari alam, dimana dalam penggunaannya menimbulkan emisi karbon yang menyumbang terhadap *global warming*.

Pada tahun 2018 Indonesia berkomitmen untuk melakukan konservasi energi sebagai upaya peningkatan dalam bidang ekonomi, menciptakan ketahanan energi serta mengupayakan reduksi emisi karbon sebagai bentuk dukungan dalam memperbaiki kondisi iklim global. Komitmen ini didukung dengan diterbitkannya beberapa regulasi yang mendukung konservasi energi seperti Undang-undang tentang energi dan Permen Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM). Menurut UU energi Nomor 30 Tahun 2007, Segala usaha terstruktur yang direncanakan secara terpadu guna menjaga kelestarian sumber daya energi serta menjaga agar penggunaannya dilakukan secara tepat dan tidak berlebihan. Dalam implementasinya, kegiatan konservasi energi dilakukan pada seluruh proses pengelolaan energi, dari mulai penyediaan hingga pemanfaatannya sehingga upaya konservasi dapat lebih maksimal.

Audit energi infrastruktur dapat menjadi salah satu opsi dalam usaha untuk melakukan konservasi energi. Audit energi merupakan upaya evaluasi untuk mengetahui peluang penghematan yang dapat dilakukan sehingga konsumsi energi dapat ditekan. Audit energi pada infrastruktur dilakukan guna mengetahui dan mengevaluasi suatu bangunan apakah bangunan tersebut sudah mengkonsumsi energi yang minimum atau masih ada

peluang – peluang penghematan sehingga mampu menurunkan kembali konsumsi energi gedung tersebut.

Gedung perkuliahan adalah bangunan yang digunakan dalam proses belajar mengajar dimana beroperasi selama hampir 8 jam perhari yaitu pada jam operasional kampus untuk kegiatan belajar mengajar pukul 08.00-16.00. Gedung tersebut dilengkapi dengan fasilitas dimana dalam penggunaannya membutuhkan energi listrik seperti lampu untuk penerangan, proyektor, colokan untuk mengisi daya laptop dll. Untuk itu tema yang diambil dalam tesis ini adalah evaluasi efisiensi dan konservasi energi pada gedung perkuliahan, karena gedung perkuliahan tentu membutuhkan pencahayaan optimal dalam proses belajar mengajar sedangkan apabila pencahayaan tidak optimal pasti membutuhkan energi untuk penerangan. Disisi lain untuk menciptakan kenyamanan dalam perkuliahan tentu dibutuhkan kenyamanan dalam hal penghawaan, apabila penghawaan kurang optimal pasti diperlukan banyak energi untuk membantu penghawaan ruangan. Dengan berbagai alasan tersebut maka dipilihlah gedung A Teknik Pengairan Fakultas Teknik Universitas Brawijaya sebagai sebagai objek penelitian mengenai evaluasi energi.

Sejalan dengan berkembangnya dunia teknologi dan informasi, dikembangkan pula software yang mampu melakukan simulasi pencahayaan dan termal atau penghawaan yakni *software ecotect*. *Software* ini merupakan software yang menganalisis bangunan dengan mengintegrasikan pemodelan 3 dimensi melalui berbagai analisis dan performa bangunan. Output yang nantinya akan dihasilkan berupa estimasi pencahayaan dan nilai termal maupun pemilihan material yang mempengaruhi tingkat pencahayaan dan penghawaan ruangan. *Ecotect* sebagai alat bantu untuk mengevaluasi performa bangunan dalam penggunaan energi dalam hal ini untuk pencahayaan dan penghawaan.

1.2. Identifikasi Masalah

Beberapa permasalahan dapat diidentifikasi berdasarkan uraian latar belakang di atas, diantaranya yakni :

1. Energi, khususnya energi listrik merupakan sumber energi yang tidak dapat diperbaharui dimana konsumsinya selalu meningkat setiap tahunnya dan Indonesia merupakan negara dengan tingkat konsumsi energi yang besar, untuk itu perlu dilakukan upaya-upaya dalam konservasi, salah satunya dengan evaluasi efisiensi dan konservasi energi.
2. Bangunan merupakan salah satu penyumbang konsumsi energi yang sangat besar, untuk itu seharusnya evaluasi energi dilakukan dalam tahap perencanaan

bangunan untuk menghasilkan bangunan hemat energi. Sebagian besar bangunan di Indonesia belum menerapkan konservasi energi pada tahap perencanaan, sehingga evaluasi energi perlu dilakukan guna memberikan rekomendasi untuk kedepannya.

3. Gedung perkuliahan harus memiliki kenyamanan visual maupun termal untuk mendukung kegiatan belajar mengajar sehingga gedung yang memiliki pencahayaan dan kondisi termal alami kurang baik cenderung menggunakan alat bantu penerangan maupun pengkondisian udara untuk menciptakan kondisi nyaman. Penggunaan peralatan bantu tersebut mengakibatkan meningkatnya konsumsi energi bangunan, untuk itu perlu dilakukan evaluasi terhadap kondisi pencahayaan dan termal alami gedung untuk menentukan langkah penghematan konsumsi energinya.

1.3. Rumusan Masalah

Beberapa rumusan masalah yang diangkat dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Bagaimana efisiensi energi pada gedung A Teknik Pengairan, Universitas Brawijaya ditinjau dari nilai Intensitas Konsumsi Energi ?
2. Bagaimana kondisi pencahayaan dan termal eksisting pada bangunan gedung A Teknik Pengairan, Universitas Brawijaya ?
3. Bagaimana rekomendasi desain untuk meningkatkan efisiensi energi gedung A Teknik Pengairan, Universitas Brawijaya ?
4. Bagaimana perbandingan *energy cost* pada bangunan gedung A Teknik Pengairan, Universitas Brawijaya sebelum dan setelah rekomendasi ?

1.4. Batasan Masalah

Batasan masalah diperlukan guna membatasi analisis penelitian terhadap permasalahan. Adapun batasan dalam penelitian ini yakni:

1. Penelitian dilakukan pada gedung A Teknik Pengairan Universitas Brawijaya.
2. Pengukuran pada zona (ruangan) dilakukan pada zona terpilih pada setiap lantai (tidak keseluruhan).
3. Penelitian dilakukan pada kinerja gedung, tidak termasuk furniture.
4. Aspek yang diteliti adalah konsumsi energi dibatasi pencahayaan dan penghawaan.

5. Perhitungan termal bangunan tidak memasukkan *internal gains*.
6. Analisis dilakukan pada 3 variabel yakni konsumsi energi, pencahayaan dan termal serta rekomendasi desain dan perhitungan biaya energi.
7. Data konsumsi energi yang digunakan adalah pada saat gedung digunakan secara normal (diambil data tahun 2019, sebelum pandemi covid-19).
8. Data iklim yang digunakan adalah sepanjang tahun 2020-2021 yang berasal dari BMKG.
9. Data pengukuran pencahayaan dan termal dilakukan pada bulan Maret 2021.
10. Perhitungan *energy cost* hanya membandingkan besarnya biaya yang dikeluarkan untuk konsumsi energi, tidak memasukkan faktor *maintenance* dan *replacement* pada gedung.
11. Pemilihan rekomendasi desain diasumsikan pada saat cuaca cerah (*overcast*).
12. Perhitungan *energy cost* diasumsikan pada saat cuaca cerah/ pencahayaan alami optimal.

1.5. Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian merupakan suatu hal harus ada dalam suatu penelitian, adapun tujuan untuk penelitian ini diantaranya :

1. Menghitung besaran indeks konsumsi energi listrik sehingga dapat menetapkan apakah konsumsi gedung termasuk hemat, sedang atau boros sebagai evaluasi dalam penggunaan energi.
2. Mengidentifikasi kondisi pencahayaan dan termal bangunan baik secara eksisting maupun hasil simulasi beban termal bangunan
3. Mendesain gedung dengan tingkat konsumsi energi yang lebih efisien sehingga nantinya dapat menjadi bahan pertimbangan apabila dilakukan rehabilitasi terhadap gedung.
4. Menghitung perbandingan *energy cost* pada kondisi eksisting maupun setelah rekomendasi.

1.6. Manfaat Penelitian

Adapun beberapa manfaat yang diharapkan yakni :

1. Bagi Peneliti : Melalui hasil penelitian, peneliti dapat mengetahui sejauh mana efisiensi konsumsi energi pada salah satu infrastruktur gedung perkuliahan

2. Bagi Fakultas Teknik : Mengetahui tingkat konsumsi energi pada salah gedung perkuliahan serta gambaran desain untuk melakukan efisiensi energi apabila suatu hari akan dilakukan rehabilitasi gedung
3. Hasil penelitian dapat menjadi kajian untuk melakukan penelitian lebih lanjut mengenai efisiensi konsumsi energi di Universitas Brawijaya.



BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Energi

Energi memiliki pengertian yang luas dan berbeda antara ahli satu dan lainnya. Energi didefinisikan sebagai tenaga dimana berkaitan dengan gerak ataupun kerja (Yahdi,1996). Energi sendiri asalnya adalah bahasa Yunani yakni *ergon* atau diartikan kerja. Pengertian tersebut merujuk pada adanya energi yang selalu dibutuhkan pada saat melakukan berbagai kegiatan, misalnya berjalan, memasak, menyalakan lampu dll. Setiap kegiatan membutuhkan energi, namun dalam besaran dan bentuk yang berbeda.

Dalam wujudnya, energi memiliki beberapa bentuk. Bentuk-bentuk tersebut dapat berubah dari bentuk energi satu ke energi lainnya atau disebut dengan konversi energi. Adapun beberapa bentuk energi yaitu :

1. Energi mekanika
2. Energi bunyi
3. Energi panas
4. Energi cahaya
5. Energi kimia
6. Energi nuklir
7. Energi magnet
8. Energi radiasi
9. Energi panas bumi

Segala sesuatu yang mampu menghasilkan energi merupakan salah satu pengertian sederhana dari sumber energi. Sumber energi sendiri dapat digolongkan menjadi 2 yakni energi tak diperbaharui dan energi diperbaharui. Energi tak diperbaharui adalah sumber energi yang keberadaannya terbatas, dapat habis sewaktu – waktu dan dapat diperbaharui dalam waktu yang sangat lama, contoh sumber energi tak diperbaharui adalah fosil dan mineral alam.

2.1.1. Energi Listrik

Dewasa ini salah satu jenis energi yang begitu dekat dengan kehidupan manusia adalah energi listrik. Hampir setiap jam dalam sehari manusia selalu menggunakan listrik, bahkan mungkin energi ini dapat dikatakan salah satu kebutuhan manusia. Energi listrik menjadi begitu bermanfaat karena mudah dikonversi menjadi berbagai macam bentuk energi lainnya, seperti menjadi cahaya pada bola lampu, menjadi energi kinetik pada pendingin ruangan dsb.

Energi listrik dapat dihasilkan oleh berbagai sumber energi misalnya air, uap, gas alam, minyak bumi, angin dan panas bumi. Kendati demikian energi masih terbilang terbatas karena masih terbatas pula sumber energi yang dapat diolah dan digunakan sebagai sumber energi.

2.2. Konservasi Energi

Berdasarkan SNI 6390: 2011 konservasi diartikan sebagai seluruh usaha yang tersistem, terencana dan terpadu sebagai upaya dalam pelestarian sumberdaya energi serta meningkatkan efisiensi penggunaannya tanpa mengesampingkan kenyamanan dan kebutuhan. Konservasi energi sangat dibutuhkan mengingat penggunaan energi, khususnya di Indonesia, masih terpaku pada sumber energi tak dapat diperbaharui, dimana sumber energi tersebut nantinya akan terbatas (langka) dan habis. Dalam pelaksanaan konservasi energi, pemerintah Indonesia telah menerbitkan beberapa regulasi atau peraturan yang mengatur mengenai implementasi konservasi energi, diantaranya :

1. UU No. 30 Tahun 2007 perihal Energi
2. PP No. 70 Tahun 2009 terkait Konservasi Energi
3. Permen ESDM No. 12 mengenai Penghematan Bahan Bakar
4. Permen ESDM No. 13 perihal Penghematan Tenaga Listrik, dan
5. Permen ESDM No. 14 Tentang Manajemen Energi

Dalam pelaksanaannya untuk memaksimalkan hasil implementasi konservasi energi, maka penerapan konservasi energi secara menyeluruh dari awal atau hulu sampai dengan akhir (hilir), yang meliputi penyediaan energi sampai dengan pengguna energi dengan penerapan prinsip konservasi sumberdaya energi sesuai dengan PP No.70 Tahun 2009

2.2.1. Efisiensi Energi Listrik

Pada dasarnya efisiensi energi ialah salah satu cara dalam upaya konservasi energi (Hidayanto, 2012). Setiap usaha yang dilakukan dengan tujuan mereduksi penggunaan energi disebut juga dengan efisiensi energi. baik dilakukan dengan mengubah sistem maupun dengan penggunaan peralatan yang sifatnya hemat energi. Adapun kriteria efisiensi energi pada bangunan berdasarkan Permen ESDM No 13 mengenai Penghematan Energi Listrik meliputi :

- a. Sistem tata udara
- b. Sistem tata cahaya

c. Peralatan pendukung lainnya

2.2.2. Intensitas Konsumsi Energi (IKE)

Intensitas Konsumsi Energi (IKE) ialah besarnya energi listrik yang digunakan oleh suatu bangunan dibandingkan dengan luasan bangunan tersebut. Nilai IKE berbanding lurus dengan jumlah konsumsi energi dan berbanding terbalik dengan luasan bangunan sehingga semakin besar nilai konsumsi energi bangunan semakin besar pula nilai IKE bangunan tersebut dan semakin besar luasan bangunan maka semakin kecil nilai IKE bangunan. Nilai IKE dapat dihitung untuk konsumsi energi selama satu bulan maupun satu tahun dengan nilai parameter yang tentunya berbeda untuk kriteria tahunan dan bulanan. Nilai IKE dapat menjadi parameter untuk mengetahui besarnya konservasi yang dilakukan suatu bangunan.

Untuk menentukan besarnya nilai IKE pada suatu bangunan, maka perlu mengetahui besarnya energi total dari berbagai jenis peralatan yang menggunakan energi listrik dalam bangunan tersebut tersebut. Besarnya konsumsi energi dipengaruhi oleh daya peralatan listrik dan lamanya pemakaian. Rumus menghitung nilai IKE dapat dilihat pada persamaan berikut

$$P_K = P \times t \times \sum d \quad (2.1)$$

dengan :

P_K = besar konsumsi energi (kWh)

P = daya yang dimiliki alat listrik (kW)

t = lama penggunaan alat listrik (jam)

$\sum d$ = hari penggunaan efektif peralatan listrik

Mengacu pada SNI 03-6196-2000 mengenai pelaksanaan audit energi penentuan nilai IKE dapat dilakukan dengan perhitungan sebagaimana persamaan di bawah.

$$IKE = \frac{P_K}{A} \quad (2.2)$$

dengan :

IKE = indeks konsumsi energi (kWh/m²/tahun)

P_K = konsumsi energi (kWh)

A = luas bangunan (m²)

Dalam menentukan kategori besarnya energi yang dikonsumsi suatu bangunan, maka diperlukan adanya parameter atau standar konsumsi energi. Beberapa regulasi telah

mengatur kriteria untuk menentukan kategori bangunan. Menurut Peraturan Gubernur nomor 38 tahun 2012 dan pedoman standar IKE yang ditetapkan Departemen Pendidikan Indonesia Tahun 2004 untuk bangunan di lingkungan pendidikan, standar IKE untuk beberapa bangunan berdasarkan peruntukannya adalah sebagai berikut.

Tabel 2.1 Standar IKE untuk Gedung Pendidikan

Kriteria	Ruangan AC	Ruangan Non AC
	(KWh/m ² /bulan)	(KWh/m ² /bulan)
Sangat Efisien	4.17 - 7.92	0.84 - 1.67
Efisien	7.92 - 12.08	1.67 - 2.5
Cukup Efisien	12.08 - 14.58	-
Agak Boros	14.58 - 19.17	-
Boros	19.17 - 23.75	2.5 - 3.34
Sangat Boros	23.75 - 37.75	3.34 - 4.17

Sumber : Pedoman Departemen Pendidikan tahun 2004

Tabel 2.2 Standar IKE Indonesia

Tipe Bangunan	Rentang IKE (kWh/m ² /tahun)			Waktu Operasi Acuan
	Batas Bawah	Acuan	Batas Atas	
Perkantoran	210	250	285	10 jam/hari, 5 hari/minggu, 52 minggu/tahun = 2600 jam/ tahun
Hotel	290	350	400	24 jam/hari, 7 hari/minggu, 52 minggu/tahun = 8736 jam/ tahun
Apartemen	300	350	400	24 jam/hari, 7 hari/minggu, 52 minggu/tahun = 8736 jam/ tahun
Sekolah	195	235	265	8 jam/hari, 5 hari/minggu, 52 minggu/tahun = 2080 jam/ tahun
Rumah Sakit	320	400	450	24 jam/hari, 7 hari/minggu, 52 minggu/tahun = 8736 jam/ tahun
Pertokoan	350	450	500	12 jam/hari, 7 hari/minggu, 52 minggu/tahun = 4368 jam/ tahun

Sumber : Peraturan Gubernur no. 38 tahun 2012

Standar nilai IKE tersebut merupakan parameter guna mengetahui bagaimana konsumsi energi suatu sistem (bangunan). Dengan adanya standar tersebut bangunan dapat melakukan efisiensi energi namun tetap harus sesuai dengan kaidah konservasi energi yakni tanpa mengurangi kenyamanan penggunaan gedung

2.2.3. Energy Cost (Biaya Energi)

Biaya energi merupakan besarnya biaya atau ongkos yang harus dibayarkan untuk setiap konsumsi energi listrik yang digunakan. Konsumsi energi listrik memiliki satuan kilowatt-jam atau biasa dikenal dengan kWh, sedangkan untuk biaya energi dinyatakan dalam satuan Rp/kWh. Adapun biaya energi per kWh atau Rp/kWh yang harus dibayarkan

dapat berbeda – beda antara pengguna energi satu dengan lainnya sesuai dengan jenis golonganannya.

Besarnya energi yang digunakan sebanding dengan biaya energi yang dikeluarkan, sehingga semakin banyak dan semakin lama energi digunakan maka semakin besar pula biaya energi yang harus dikeluarkan. Besarnya biaya energi pemakaian listrik dapat dilihat pada rumus berikut

$$\text{Biaya energi} = P \times t \times \text{Rp/KWh} \quad (2.3)$$

Dengan,

P = daya alat listrik (KW)

T = waktu penggunaan (jam)

Rp/KWh = Besarnya biaya tiap KWh

2.2.4. Audit Energi

Merujuk pada ISO 50002 mengenai audit energi, pengertian audit energi (*energy audit*) adalah suatu mekanisme atau cara untuk menganalisis penggunaan energi dan konsumsi energi. Pada Undang-Undang Konservasi Energi India 2001 (BEE 2008), audit energi dideskripsikan sebagai aktivitas terkait penyusunan, monitoring dan analisis konsumsi energi serta penyerahan laporan audit dimana pada laporan tersebut terdapat rekomendasi-rekomendasi untuk mengurangi besarnya konsumsi energi yang dilengkapi dengan manfaat biaya analisis dan rencana aksinya. Dengan kata lain, proses audit energi dapat digunakan untuk mengurangi penggunaan listrik yang berlebihan sehingga mampu menghemat biaya energi pada sebuah bangunan.

Pelaksanaan audit energi sendiri tidak semata hanya untuk mengurangi biaya energi saja, namun juga untuk memenuhi kewajiban dari pemerintah. Dengan surat edaran nomor 302.E/07/DJE/2010 dari Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral, pemerintah menegaskan kewajiban konservasi energi untuk masyarakat pengguna energi, baik berupa energi listrik maupun energi nonlistrik dengan batasan minimal 6000 ton minyak pertahun untuk nonlistrik atau 69.780 Megawatthour (MWh) pertahun untuk pengguna energi listrik.

2.3. Sistem Pencahayaan Bangunan

Dalam perencanaan bangunan, sistem pencahayaan bangunan merupakan suatu hal yang harus dipertimbangkan dengan matang, terlebih untuk bangunan yang didesain untuk hemat energi. Ditinjau dari asal sumber cahaya, pencahayaan bangunan dibedakan menjadi dua diantaranya sistem pencahayaan alami dan sistem pencahayaan buatan. Bangunan

hemat energi memerlukan desain bangunan yang lebih matang karena sistem pencahayaan alami harus optimal sehingga penggunaan pencahayaan buatan dapat direduksi.

Berdasarkan Permen PU No 05/PRT/M/2007 kenyamanan gedung dapat dipenuhi dengan pemenuhan beberapa faktor yang berkaitan dengan kinerja gedung, salah satunya adalah pencahayaan. Adapun beberapa persyaratan untuk pencahayaan dalam gedung adalah sebagai berikut :

1. Pencahayaan alami ataupun pencahayaan buatan termasuk di dalamnya pencahayaan dalam kondisi darurat harus dimiliki oleh seluruh bangunan guna pemenuhan standar sistem pencahayaan
2. Pencahayaan alami yang berasal dari bukaan pada bangunan harus dimiliki oleh setiap bangunan gedung baik yang diperuntukkan sebagai gedung kesehatan, pendidikan rumah tinggal maupun pelayanan umum.
3. Setiap ruangan dalam gedung harus memiliki pencahayaan alami yang optimal
4. Dalam perencanaan pencahayaan bangunan harus mempertimbangkan tingkat iluminasi standar, efisiensi dalam penggunaan energi dan kenyamanan visual pengguna
5. Pencahayaan darurat harus memenuhi standar pencahayaan guna kepentingan evakuasi pada saat darurat dan bekerja otomatis
6. Pengendali manual seperti stop kontak maupun sensor otomatis untuk seluruh sistem pencahayaan buatan harus diletakkan pada posisi yang mudah terlihat oleh pengguna bangunan
7. Ruangan di dalam maupun diluar gedung harus menggunakan memiliki pencahayaan yang baik, baik dengan pencahayaan alami maupun pencahayaan buatan
8. Beberapa persyaratan pencahayaan meliputi beberapa hal, yakni:
 - Konservasi energi pada sistem pencahayaan buatan pada bangunan gedung yang tertuang dalam SNI 03-6197-2000
 - Tata cara perancangan sistem pencahayaan alami pada bangunan gedung, atau edisi terbaru sesuai dengan SNI 03-2396-2001
 - Tata cara perancangan sistem pencahayaan buatan pada bangunan gedung, atau edisi terbaru sebagaimana pada SNI 03-6575-2001
 - Apabila terdapat kondisi lain dimana tidak ditemukan standarnya maka harus mengacu pada pedoman teknis dan standar baku.

Tata cara terkait perancangan sistem pencahayaan buatan bangunan sebagaimana dijabarkan pada SNI 03-6575-2001 tidak menetapkan nilai tertentu mengenai besarnya tingkat fluktuasi cahaya alami yang bersumber dari matahari sehingga tingkat pencahayaan matahari ditentukan dengan besar yang sama (seragam) untuk Indonesia yakni 10.000 lux.

2.3.1. Kenyaman Visual Bangunan

Kenyamanan visual merupakan suatu keadaan dimana pencahayaan yang ada dapat memenuhi standar pencahayaan yang dibutuhkan maupun standar silau yang ditoleransi. Kegiatan dalam ruang kelas seperti belajar mengajar yang efektif dan nyaman salah satunya dipengaruhi oleh pencahayaan (Lechner, 2007). Berkaitan dengan standar pencahayaan yang dibutuhkan bangunan, tentu ada parameter yang digunakan untuk mengukur standar tersebut. Untuk menciptakan kondisi nyaman SNI 03-6197-2000 mengatur tingkat kenyamanan pencahayaan ruangan dengan mempertimbangkan aktivitas pengguna. Adapun parameter nilai lux setiap ruangan dapat dilihat pada tabel berikut

Tabel 2.3. Rekomendasi Standar Nilai Rerata Pencahayaan, Redensi dan Temperatur Warna

Peruntukkan	Nilai Pencahayaan (lux)	Redensi Warna	Temperatur Warna		
			Warm White < 3300 K	Coll White 3300K-5300K	Daylight >5300K
Bangunan Pendidikan					
Ruang Kelas	250	1 atau 2		●	●
Perpustakaan	300	1 atau 2		●	●
Laboratorium	500	1		●	●
Ruang Gambar	750	1		●	●
Kamar Mandi	250	1 atau 2		●	●
Kantin	200	1	●	●	
Gudang Arsip	150	1 atau 2		●	●

Sumber : SNI 03-6197-2000

Kondisi visual ruangan dikatakan baik apabila pencahayaan dapat memenuhi standar minimal pencahayaan yang dibutuhkan, sesuai jenis aktivitas pengguna. Rasio pencahayaan yang baik adalah 4:1 antara sumber cahaya dan bagian gelap atau dengan kata lain tidak terjadi kontras yang berlebihan yang dapat mengganggu kenyamanan pengguna saat melihat. Dua faktor yang berpengaruh pada kenyamanan visual yakni besarnya nilai iluminasi dan *daylight factor*.

2.3.1.1. Iluminasi

Iluminasi berasal dari bahasa Latin *illuminare* yang berarti menerangi. Pengertian iluminasi sendiri merupakan tingkat pencahayaan atau intensitas penerangan pada suatu

bidang atau sering disebut dengan kuat penerangan. Satuan dari iluminasi cahaya adalah lux. Semakin besar nilai iluminasi, visibilitas suatu objek dalam ruangan akan semakin besar. Peningkatan nilai iluminasi akan membuat detail kejelasan semakin besar dan waktu pemahaman terhadap objek semakin kecil (Evan, 1981).

2.3.1.2. Pengukuran Intensitas Penerangan

SNI 16-7062-2004 mendefinisikan lux sebagai satuan intensitas cahaya permeter luas yang dikenai arus cahaya sebesar 1 lumen. Luxmeter ialah alat pengukur nilai intensitas cahaya (lux). Prinsip kerja luxmeter adalah dengan melakukan konversi energi. Energi cahaya yang ditangkap oleh luxmeter dikonversi menjadi energi listrik, selanjutnya energi listrik dikonversi kembali menjadi energi gerak yang mampu menggerakkan jarum skala. Untuk luxmeter digital, besarnya intensitas cahaya dapat langsung dilihat pada layar.

2.3.1.3. Penentuan Titik Pengukuran

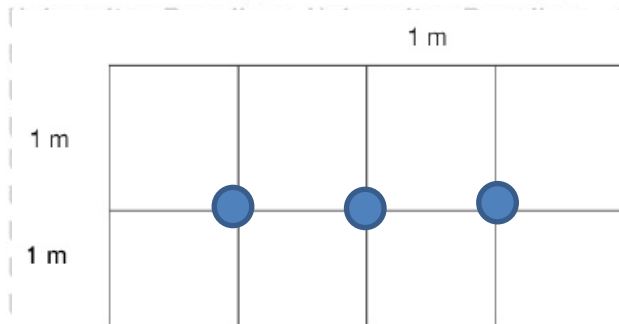
Dalam menentukan besarnya intensitas cahaya suatu ruangan, maka diperlukan suatu metode pengukuran pencahayaan. Ada beberapa cara dalam penentuan titik pengukuran yaitu penentuan titik ukur sesuai dengan SNI dan penentuan titik ukur dalam buku arsitektur. Penentuan titik pengukuran dalam buku – buku arsitektur lebih detail dengan memperhitungkan jarak ukur terhadap lubang cahaya.

A. Penentuan titik ukur SNI 16-7062-2004

Untuk mengetahui mekanisme pengukuran termasuk menentukan titik ukur dan cara pengukurannya maka dibuatlah standar mengenai tata cara pengukuran pencahayaan tempat kerja dalam SNI 16-7062-2004. Berdasarkan standar tersebut pemilihan titik ukur dapat diklasifikasikan menurut luas ruangan yang diukur yakni luasan dibawah 10 m^2 , luasan 10 m^2 - 100 m^2 dan luasan melebihi 100 m^2 . Berikut uraian klasifikasi penentuan titik pengukuran pencahayaan :

1. Untuk luasan dibawah 10 m^2

Untuk luas ruangan yang tidak mencapai 10 m^2 maka penentuan titik pengukuran pencahayaan dapat dilakukan pada titik perpotongan antara garis vertikal dengan horizontal pada jarak 1 m. Berikut contoh gambar pengukuran untuk ruangan dengan luas tidak mencapai 10 m^2 dengan lingkaran biru sebagai titik pengukuran.

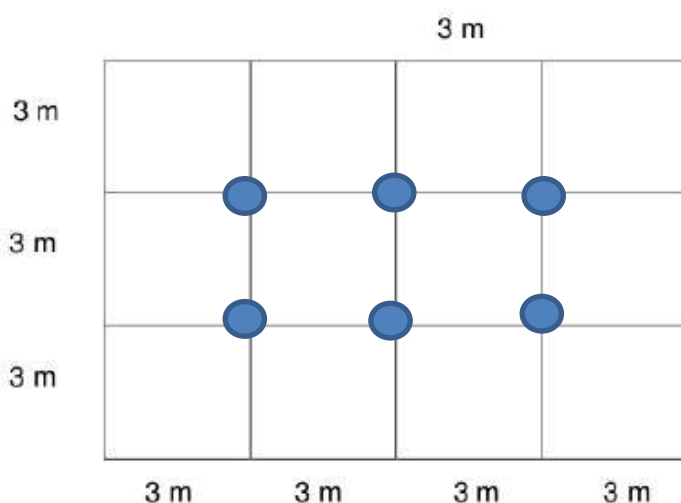


Gambar 2.1. Penentuan titik pengukuran pada luasan dibawah 10 m^2

2. Luasan berkisar 10 m^2 - 100 m^2

Penetapan titik ukur pada ruangan yang memiliki luas 10 m^2 hingga 100 m^2 dapat dilakukan dengan membuat garis vertikal dan horizontal terlebih dahulu dalam jarak 3m. Titik perpotongan kedua garis tersebut dapat ditetapkan sebagai titik ukur.

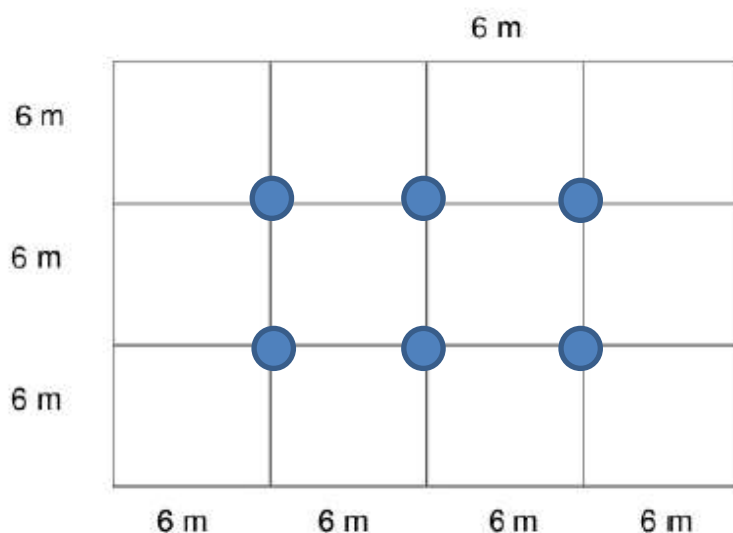
Berikut contoh gambar titik ukur untuk ruangan dengan luasan $10 - 100 \text{ m}^2$ dengan lingkaran biru sebagai titik pengukuran



Gambar 2.2. Penentuan titik pengukuran pada luasan 10 m^2 sampai 100 m^2

3. Luasan melebihi 100 m^2

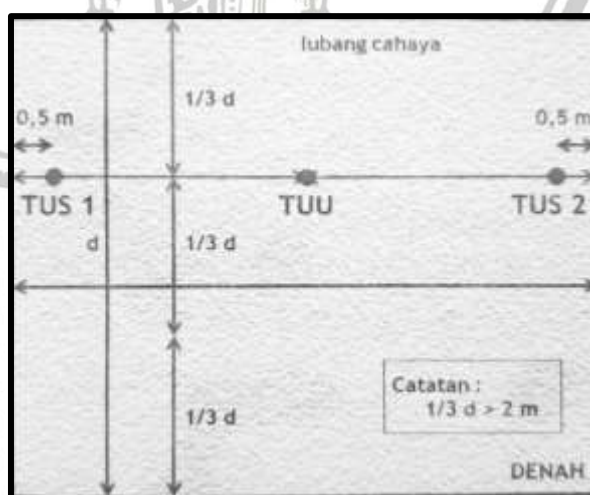
Untuk luas ruangan yang lebih dari 100 m^2 maka penentuan titik pengukuran pencahayaan dapat dilakukan pada titik potong garis vertikal dan horizontal pada jarak setiap 6 m. Berikut contoh gambar titik ukur untuk ruangan dengan luasan lebih dari 100 m^2 dengan lingkaran biru sebagai titik pengukuran



Gambar 2.3. Penentuan titik pengukuran pada luasan lebih dari 100 m^2

B. Penentuan titik ukur dengan tuu dan tus

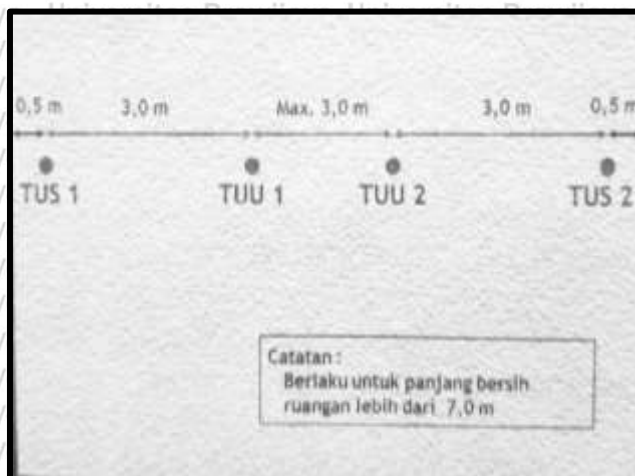
Pengukuran pencahayaan alami dalam ruangan dapat dilakukan dengan membuat titik ukur bantuan yang berupa titik ukur utama dan sementara (Latifah, 2015). titik ukur yang berada tepat di tengah antara 2 dinding yang mengapit lubang cahaya efektif disebut dengan titik ukur utama atau tuu. Titik ukur samping(tus) adalah titik ukur yang berjarak 50 cm dari dinding sebelah kanan dan kiri ruangan, dengan jarak $1/3d$ dari lubang cahaya efektif dimana d merupakan lebar ruangan. Baik tuu maupun tus dilakukan setinggi 75 cm dari bidang kerja atau lantai. Gambar 2.4 di bawah menunjukkan Posisi titik ukur pada bidang kerja.



Gambar 2.4. Penentuan tuu dan tus

Pada ruangan dengan panjang lebih dari 7 m, maka pengukuran dilakukan secara berbeda yakni adanya penambahan tuu guna pengukuran yang lebih mendetail karena jarak

tuu tidak boleh melebihi 3m. Berikut penentuan tuu untuk ruangan dengan panjang lebih dari 7m. Gambar 2.5 berikut menggambarkan penentuan titik tuu.



Gambar 2.5 Penentuan tuu dan tus untuk bangunan dengan panjang lebih dari 7m

2.3.2. Sistem Pencahayaan Alami

Secara sederhana pencahayaan alami merupakan pencahayaan dari alam, misalnya dari cahaya matahari, bulan atau bintang sebagai penerangan (Latifah, 2015). Sistem pencahayaan alami ini, utamanya sinar matahari, sangat berguna karena disamping jumlahnya yang tidak terbatas dan bisa didapat secara cuma – cuma namun juga baik dalam sisi kesehatan yakni sebagai sumber vitamin D bagi tubuh. Kendati sistem pencahayaan alami memiliki banyak dampak positif, namun tidak semua bangunan dapat mengandalkan pencahayaan alami dari sinar matahari saja. Sinar matahari dan semua pencahayaan alami sifatnya selalu berubah – ubah dengan cepat sesuai kondisi alam, contohnya pada saat mendung tentu sinar matahari sebagai sumber pencahayaan alami tidak dapat diandalkan untuk memenuhi kebutuhan cahaya dalam ruangan. Untuk dapat mengoptimalkan penggunaan pencahayaan alami ada beberapa hal yang perlu dipertimbangkan, yakni :

1. Nilai intensitas penyinaran matahari yang berubah-ubah
2. Besarnya nilai iluminasi cahaya matahari dan bagaimana distribusinya
3. Arah penyinaran matahari dan pengaruh letak jendela
4. Pengaruh dari pembiasan dan pemantulan sinar matahari
5. Peruntukan bangunan dan letaknya secara geografis

Berdasarkan SNI no. 3-6197-2000 mengenai sistem konservasi energi pencahayaan, ketentuan pencahayaan alami pada siang hari harus memenuhi beberapa

ketentuan, yakni diantaranya :

1. Pencahayaan alami siang hari yang berasal dari cahaya matahari harus digunakan dan dimanfaatkan dengan sebaik – baiknya.
2. Penyinaran langsung (*sunlight*) ke dalam ruangan perlu dibatasi serta penggunaan radiasi matahari (*daylight*) harus lebih diutamakan.
3. Bangunan harus memiliki sistem pencahayaan alami sebagaimana ditetapkan pada standar metode perancangan pencahayaan alami siang hari dalam SNI 03-2396-1991.

2.3.3. Peningkatan Pencahayaan Alami Gedung

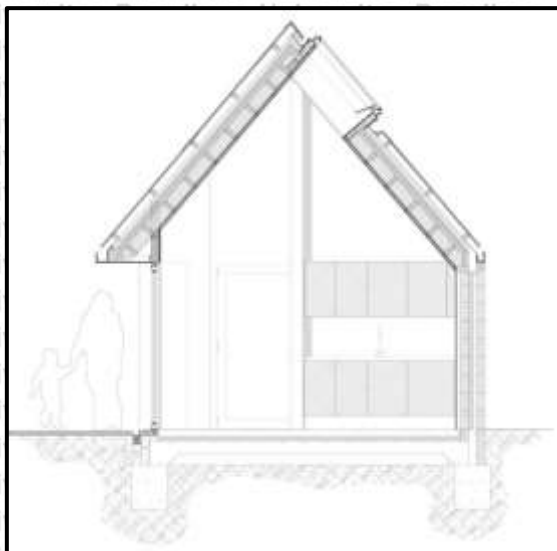
Pemanfaatan pencahayaan alami secara optimal dilakukan dengan menggunakan pencahayaan yang berasal dari sinar matahari (Karlen and Benya, 2008). Adapun aktifitas dalam desain pencahayaan alami meliputi :

1. Penempatan bangunan dengan orientasi yang paling tepat dan sesuai untuk mendapatkan posisi terbaik
2. Mengoptimalkan bagian permukaan bangunan yang mendapat pencahayaan langsung dari matahari
3. Menentukan letak dan posisi bukaan untuk mendapatkan pencahayaan yang optimal dengan mempertimbangkan pergerakan matahari dan cuaca
4. Pemilihan strategi untuk mencegah sinar matahari yang berlebihan pada fasad dan bukaan
5. Menentukan alat bantu seperti kerai, tirai maupun peralatan lainnya guna membantu pengguna bangunan untuk mengontrol pencahayaan yang berlebihan di dalam ruangan.
6. Penentuan alat kontrol pencahayaan baik secara manual atau otomatis (sensor) untuk menghemat penggunaan pencahayaan buatan dan mengoptimalkan penggunaan cahaya alami

Beberapa desain yang dapat dilakukan untuk meningkatkan penggunaan pencahayaan alami, diantara :

1. *Sky light*

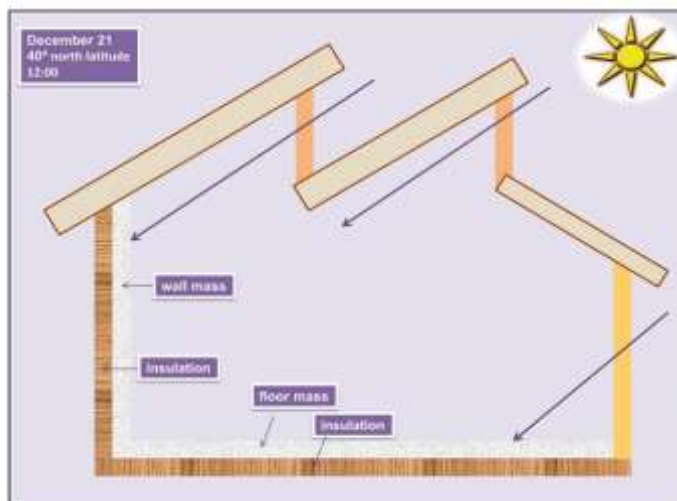
Sky light atau kaca horizontal adalah desain bukaan yang terletak pada bagian atas bangunan sehingga mampu meningkatkan jumlah pencahayaan, baik dengan cahaya langsung maupun tidak langsung (pancaran). Untuk menciptakan kenyamanan visual, luas *sky light* maksimal yang direkomendasikan adalah 6% terhadap luasan total atap bangunan.



Gambar 2.6 Ilustrasi sky light

2. Clerestory window

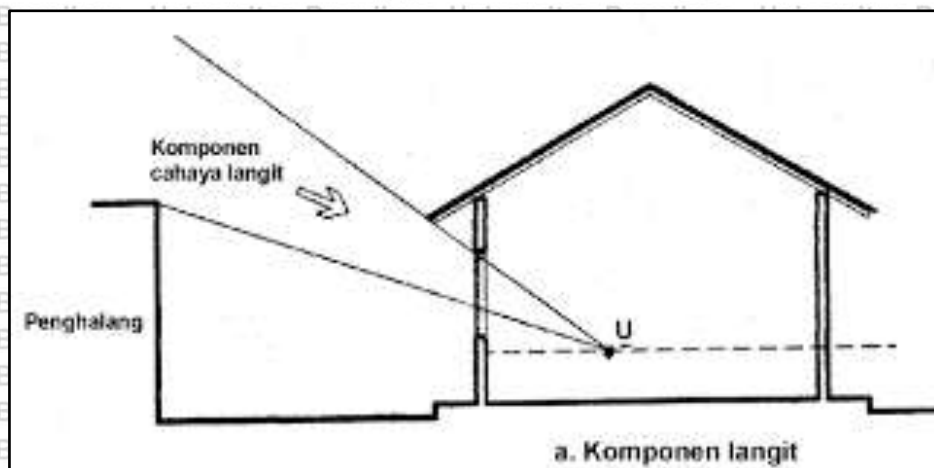
Clerestory merupakan desain jendela tinggi yang didesain dengan letak di atas level penglihatan manusia namun masih berada di bawah langit-langit. *Clerestory* terbaik diterapkan pada permukaan bangunan yang menghadap utara. Dengan mengarah ke utara *clerestory* dapat dibuat dengan ukuran cukup besar sehingga cahaya yang masuk lebih banyak.



Gambar 2.7 Ilustrasi clerestory window

3. Side lighting

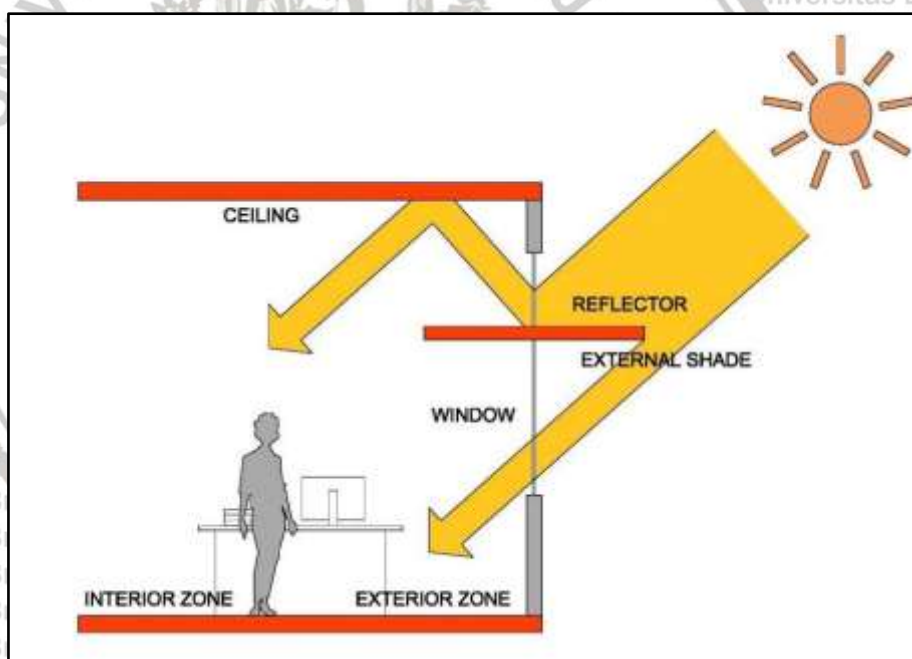
Side lighting merupakan desain bukaan vertical yang memanfaatkan pencahayaan alami. Penambahan *side lighting* pada sisi timur, selatan dan barat menungkinkan panas dan silau dari matahari masuk ke dalam bangunan sehingga diperlukan pelindung jendela untuk menahan silau dan panas yang berlebihan.



Gambar 2.8 Ilustrasi *side lighting*

4. *Shelf light*

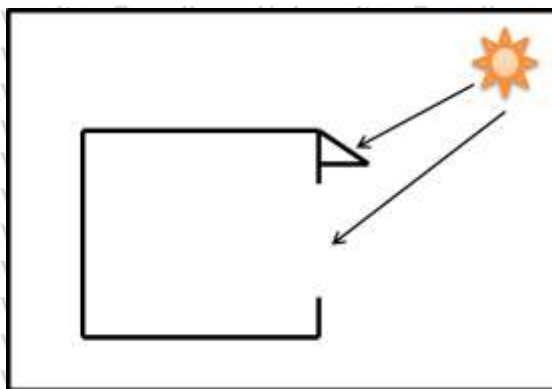
Shelf light adalah desain yang memberikan perlindungan dan pencahayaan tidak langsung ke dalam ruangan. *Shelf light* memungkinkan untuk diaplikasikan pada orientasi timur dan barat, namun orientasi yang paling baik adalah sisi selatan bangunan.



Gambar 2.9 Ilustrasi *shelf light*

5. *Awning*

Awning merupakan pelindung tambahan yang biasanya diletakkan pada sisi timur maupun barat bangunan.



Gambar 2.10 Ilustrasi awning

6. Penambahan material pelindung jendela

Guna meminimalisir pencahayaan yang mengakibatkan silau, beberapa material diletakkan pada bukaan bangunan. Material pelindung jendela dapat berbentuk pelindung horizontal, pelindung berbentuk vertikal, pelindung solid, tirai dan berbagai upaya lainnya.

2.3.4. Sistem Pencahayaan Buatan

Mengingat sistem pencahayaan alami yang sifatnya tidak menentu serta selalu berubah-ubah mengikuti kondisi alam, maka sistem pencahayaan alami tidak dapat menjadi sumber pencahayaan yang berdiri sendiri. Pada saat cuaca mendung, langit menjadi gelap sehingga sinar matahari yang diterima tidak mampu mencukupi kebutuhan cahaya untuk penerangan, untuk itulah dibutuhkan sumber cahaya buatan.

Kebutuhan manusia terus mengalami peningkatan sejalan dengan perkembangan zaman. Pada akhirnya manusia mampu mencukupi kebutuhan pencahayaan melalui kehadiran sistem pencahayaan buatan. Lechner (2001) mengemukakan bahwa pencahayaan buatan merupakan sumber cahaya yang dibuat oleh manusia untuk memenuhi kebutuhan pencahayaan yang kurang baik pada siang hari dan malam hari dan biasa disebut dengan lampu atau lumener.

Pencahayaan buatan tentu memerlukan sumber energi lain yang kemudian dikonversi menjadi energi cahaya. Disamping kualitas cahaya yang dibutuhkan oleh manusia, tentunya efisiensi energi merupakan hal yang perlu dipertimbangkan mengingat kebutuhan energi masih bergantung pada mineral alam. Efisiensi cahaya buatan seharusnya terpusat kepada pemenuhan kebutuhan cahaya pada bidang kerja. Satwiko (2004) mengungkapkan, pada sistem pencahayaan buatan, salah satu hal penting yang menjadi prioritas adalah pengarahannya terhadap titik yang membutuhkan pencahayaan.

2.4. Sistem Penghawaan

Penghawaan merupakan suatu sistem yang berkaitan dengan pertukaran udara dalam ruangan atau dengan kata lain adalah proses sirkulasi udara dalam ruangan. Melalui sistem penghawaan, bangunan dirancang agar dapat melakukan rekayasa pergerakan udara yang dapat menciptakan perubahan temperatur, baik dilakukan dengan dukungan elemen – elemen bangunan itu sendiri maupun melalui bantuan alat mekanis tertentu. Sistem penghawaan yang baik akan menciptakan kenyamanan bagi penggunaan ruangan.

Berdasarkan Satwiko (2009), penghawaan bangunan dibagi menjadi beberapa jenis, yakni:

- Penghawaan alami

Sistem penghawaan alami adalah suatu sistem pertukaran/ sirkulasi udara melalui elemen – elemen bangunan itu sendiri contohnya melalui bukaan pada bangunan, tanpa adanya bantuan peralatan mekanis tertentu seperti pendingin ruangan.

Kenyamanan termal alami bangunan dipengaruhi dipengaruhi oleh beberapa hal, salah satunya adalah penghawaan alami. Semakin banyak dan semakin besar lubang ventilasi maka semakin besar pula pemanfaatan penghawaan alami.

Disamping bukaan/ ventilasi pada bangunan, iklim setempat dan letak bangunan juga mempengaruhi sistem penghawaan alami.

- Penghawaan buatan

Penghawaan buatan adalah sistem pertukaran udara/ sirkulasi dengan bantuan yang melibatkan mesin atau peralatan mekanis lainnya untuk mengkondisikan udara untuk menciptakan kenyamanan dalam ruangan (*thermal comfort*). Penghawaan buatan dapat menggunakan beberapa peralatan seperti AC, Kipas, alat penghangat ruangan dan sebagainya yang disesuaikan dengan kebutuhan ruangan.

- Penghawaan semi-buatan

Penghawaan semi-buatan adalah sistem pertukaran udara dimana terdapat bukaan yang ditambah kipas guna meningkatkan pergerakan udara namun tidak menggunakan alat pengkondisian seperti AC untuk menurunkan suhu di dalamnya.

2.4.1. Kenyamanan Termal Bangunan

Keadaan nyaman dimana seseorang merasa puas dan cukup terhadap kondisi di sekitarnya dalam artian tidak merasa kedinginan atau kepanasan merupakan penjabaran sederhana dari kenyamanan termal menurut *American Society of Heating Refrigerating Air Conditioning Engineer (ASHRAE)*. Adapun dalam SNI 03-6572-2001 disebutkan bahwa tolok ukur kenyamanan temperatur berpengaruh besar terhadap jumlah panas yang

dilepaskan serta berdasarkan daerahnya, kenyamanan termal pada daerah beriklim tropis seperti Indonesia diklasifikasikan menjadi :

- a. temperatur 20,5°C hingga 22,8°C pada kondisi sejuk nyaman.
- b. temperatur 22,8°C hingga 25,8°C dengan kondisi nyaman optimal.
- c. temperatur 25,8°C sampai 27,1°C dengan kondisi hangat nyaman

Faktor internal dan faktor eksternal adalah 2 aspek yang mempengaruhi besarnya beban penyejukan/pendinginan dalam bangunan. Faktor dari luar atau eksternal adalah faktor yang berasal dari luar bangunan yaitu panas matahari (*solar heat*) sedangkan faktor internal adalah beban penyejukan yang berasal dari luar gedung yang terdiri atas manusia, penerangan cahaya buatan seperti lampu dan peralatan yang menghasilkan panas. Untuk meminimalkan faktor eksternal, maka pemilihan selubung bangunan menjadi sangat penting dalam sistem penghawaan. Mengacu pada SNI 03-6389-2000, selubung bangunan (fasad) dapat diartikan sebagai elemen atau bagian-bagian bangunan yang menyelimuti bangunan itu sendiri, baik selubung atau slimut yang kedap cahaya maupun selubung yang dapat ditembus cahaya, yang memungkinkan energi panas tertransfer melalui elemen selubung tersebut. Pemilihan material selubung bangunan yang tidak tepat dapat menimbulkan ketidaknyamanan termal, sehingga dalam penggunaan bangunan tersebut memerlukan energi yang lebih besar guna menciptakan kenyamanan termal dengan sistem penghawaan buatan seperti kipas angin, AC dan sebagainya.

2.5. Overall Thermal Transfer Value (OTTV)

Dalam perjalanannya, bangunan tidak hanya berfungsi sebagai tempat tinggal untuk melindungi dari panas dan hujan, namun lebih dari itu, bangunan juga menuntut edukasi dari penggunanya untuk dapat membuat bangunan yang ramah terhadap lingkungan. Melalui desain tepat, pembangunan dapat meminimalkan dampak terhadap lingkungan. Dampak lingkungan yang paling besar dipengaruhi oleh fase operasional dan fase pemeliharaan dalam siklus hidup suatu bangunan karena pada fase tersebut dibutuhkan banyak energi dalam jangka waktu lama (sesuai usia guna). Apabila bangunan tersebut tidak memiliki desain yang tepat maka sangatlah mungkin bangunan tersebut akan mengkonsumsi banyak sumber daya, salah satunya energi.

Beberapa isu dalam penghematan energi mengungkapkan bahwa desain pasif bangunan yang tepat mampu mereduksi konsumsi energi bangunan. Definisi dari desain pasif sendiri ialah desain bangunan tanpa peralatan mekanik maupun elektrik apapun. Selubung bangunan berfungsi sebagai pembatas yang membatasi kondisi antara luar dan

dalam gedung. Selubung bangunan ini harus diatur sedemikian rupa sehingga keseluruhan bagiannya mampu menciptakan kenyamanan alami tanpa bantuan penerangan buatan maupun pengkondisian termal. Setiap faktor yang berpengaruh seperti orientasi, bukaan, material dan faktor-faktor lainnya harus dinilai secara tepat supaya mampu menghasilkan pencahayaan yang optimal untuk kenyamanan visual tanpa menimbulkan panas yang berlebihan pada ruangan guna menciptakan kenyamanan termal.

Perhitungan pengaruh orientasi, luas permukaan, serta besarnya konduksi dan pengaruh radiasi pada bangunan untuk selanjutnya ditetapkan dalam sebuah nilai yang disebut *Overall Thermal Transfer Value* (OTTV). Standar maksimal OTTV dalam SNI 03-6389-2000 adalah sebesar 45 Watt/m² dan nilai perpindahan panas (OTTV) yang terjadi pada tiap-tiap bidang di selubung pada orientasi tertentu untuk dapat dihitung dengan menggunakan persamaan OTTV di bawah:

$$OTTV = \alpha[(U_w \times (1 - WWR)] \times TD_{Ek} + (SC \times WWR \times SF) + (U_f \times WWR \times \Delta T) \quad (2.4)$$

dengan :

OTTV = Besar transfer panas permukaan selubung bangunan dengan orientasi tertentu (W/m²)

α = Penyerapan panas matahari atau Absorbtansi radiasi matahari

U_w = Tranmitansi termal selubung bangunan solid (W/m².K)

WWR = *Window wall ratio* atau rasio luas jendela dengan luas seluruh dinding luar pada orientasi yang ditentukan

TD_{Ek} = Beda temperature ekuivalen (K)

SF = Faktor radiasi matahari (W/m²)

SC = Koefisien peneduh

U_f = Transmittansi termal (W/m².K)

ΔT = Perbedaan temperatur luar dan dalam (diambil 5K)

2.6. Perolehan Panas Bangunan (*Heat Gains*)

Beban termal bangunan merupakan kuantitas panas yang diterima oleh bangunan. Berdasarkan asal panas beban termal bangunan terbagi menjadi 2 yaitu beban eksternal dan beban internal.

2.6.1. *Passive Gains Breakdown*

Prosentase atau rincian beban termal pada suatu bangunan disebut pula dengan *passive gains breakdown*. Diagram *passive gains breakdown* menunjukkan besarnya pengaruh beberapa kategori terhadap termal bangunan. Beberapa faktor yang dapat mempengaruhi besarnya perolehan panas adalah *fabric gains*, *sol-air*, *direct solar gains*, *internal gains*, *ventilation gains* dan *interzonal gains*.

Fabric gains merupakan perolehan panas akibat material selubung bangunan, *sol-air* adalah perolehan maupun kehilangan panas akibat temperatur udara luar dan *direct solar gains* merupakan besarnya panas akibat radiasi melalui kaca. Adanya penghuni yang berada di dalam ruangan juga memiliki pengaruh terhadap besarnya prosentase pada *passive gains breakdown* yakni pada nilai *internal gains*, sementara *ventilation gains* adalah perolehan atau kehilangan panas melalui lubang, celah dan ventilasi. Faktor selanjutnya adalah *interzonal gains* yaitu perolehan atau kehilangan panas akibat adanya perpindahan panas antar zona.

2.6.2. *Fabric Gains*

Fabric gains merupakan jumlah dari *indirect solar gains* dan *conduction gains* yang terjadi pada selubung bangunan/ fasad. *Indirect gains* sendiri memiliki pengertian besarnya panas yang diterima selubung bangunan akibat penyinaran langsung dari matahari ke selubung bangunan sedangkan *conduction gains* adalah perolehan atau kehilangan panas akibat terjadinya aliran konduksi pada selubung bangunan. Besarnya nilai *fabric gains* bergantung pada material selubung bangunan.

2.6.3. *Indirect Solar Gains*

Penerimaan panas akibat radiasi matahari mengenai selubung bangunan yang tidak transparan (tidak tembus cahaya) disebut dengan *Indirect solar*. Mengingat besarnya *indirect solar gains* berasal dari penyinaran langsung matahari maka *indirect solar gains* tidak pernah bernilai minus. Apabila tidak terjadi penyinaran matahari maka *indirect solar gains* bernilai 0, sedangkan apabila terjadi penyinaran matahari dan panas masih bertahan pada selubung bangunan maka *indirect solar gains* bernilai positif.

2.6.4. *Direct Solar Gains*

Penerimaan panas akibat radiasi matahari yang mengenai selubung bangunan transparan seperti kaca jendela disebut pula dengan *Direct solar gains*. Besarnya nilai

indirect solar gains tergantung besarnya penyinaran matahari yang mengenai bagian kaca. Apabila tidak terjadi penyinaran matahari maka *direct solar gains* bernilai 0, sebaliknya apabila terjadi penyinaran matahari dan maka *direct solar gains* bernilai positif.

2.6.5. Ventilation Gains

Ventilation gains adalah perolehan atau kehilangan panas yang berasal dari lubang, celah, atau ventilasi pada selubung bangunan. Nilai negatif pada *ventilation gains* mengindikasikan terjadi kehilangan panas sedangkan nilai positif menunjukkan terjadinya perolehan panas. Semakin banyak celah dan lubang ventilasi pada selubung bangunan maka semakin besar pula nilai perpindahan panas yang terjadi baik *heat gains* atau perolehan panas maupun *heat losses* atau kehilangan panas.

2.6.6. Internal Gains

Internal gains merupakan beban penghuni yang berada di dalam gedung. Beban penghuni ini meliputi beban panas akibat suhu tubuh manusia, beban akibat penggunaan lampu dan peralatan listrik lainnya yang dapat menghasilkan panas. Semakin banyak penghuni dan peralatan listrik yang digunakan maka semakin besar pula nilai *internal gains*.

2.6.7. Interzonal Gains

Interzonal gains merupakan perpindahan panas antarzona yang terjadi di dalam bangunan. *Interzonal gains* bernilai negatif menunjukkan tidak terjadi perpindahan panas antarzona sedangkan *interzonal gains* bernilai positif menunjukkan terjadi perpindahan panas antar zona. Apabila tidak terjadi perpindahan panas pada zona, kondisi ini yang kemudian berpengaruh terhadap peningkatan temperatur karena panas terjebak di dalam ruangan.

2.7. Peningkatan Kenyamanan Termal Alami Gedung

Setiap iklim yang berbeda memiliki kendala dalam menciptakan kenyamanan termal yang berbeda pula karena kendala kenyamanan termal pada setiap iklim bersifat spesifik (Latifah, 2015). Untuk daerah beriklim tropis basah seperti Indonesia kendala utama peroleh kenyamanan termal berasal dari beberapa faktor, yaitu :

1. Temperatur udara yang cenderung tinggi,
2. Nilai kelembaban udara yang relatif besar
3. Nilai kecepatan udara yang cenderung rendah

Adapun beberapa hal yang dapat dilakukan sebagai bentuk antisipasi dari kendala termal baik secara aktif maupun pasif meliputi :

1. Meminimalkan penerimaan panas matahari secara langsung
2. Pengkondisian ruangan dengan pendingin udara dan
3. Penggunaan penghawaan alami secara optimum.

2.7.1. Strategi Pengendalian Termal

Dalam membuat desain bangunan perlu dilakukan beberapa strategi untuk pengendalian termal bangunan, Beberapa kunci dalam pengendalian kondisi termal pada iklim tropis, diantaranya :

1. *Shade and filter*

Shade merupakan upaya pengendalian termal melalui penggunaan komponen fasad bangunan berupa pembayang (*sun shader*). Filter merupakan upaya pengendalian termal melalui bagian bangunan yang berperan untuk menyaring sinar matahari guna mengurangi radiasi panas. Beberapa contoh aplikasi strategi kenyamanan termal dengan prinsip strategi *shade and filter* adalah :

1. *Shading device*
2. *Recessed sun space*
3. *Transitional spaces*
4. *Secondary skin*
5. *Double glass*
6. *Absorbing and reflective glass*
7. *Low-e glass*
8. Pemilihan kaca

2. *Thermal Insulation*

Insulasi termal merupakan trik dalam pengendalian kondisi termal melalui penggunaan material yang memiliki kemampuan mengurangi panas. Adapun material yang digunakan pada strategi ini merupakan material dengan tingkat konduktivitas rendah dan kemampuan memantulkan panas lebih tinggi daripada menyerap panas. Beberapa contoh aplikasi strategi kenyamanan termal dengan prinsip strategi *shade and filter* adalah :

4. *Insulative wall*
5. *Termal mass*
6. *Roof termal insulation*

3. *Zone*

Zone merupakan strategi pengendalian termal dimana mengatur zona penerima radiasi panas pada bangunan. Strategi ini meliputi 2 teknik, yaitu :

1. Pengaturan orientasi bangunan
2. Pengaturan zona inti bangunan

4. *Green*

Green merupakan strategi pengendalian termal dengan menciptakan suatu iklim mikro yang nyaman melalui penambahan vegetasi pada bangunan. Beberapa teknik *green* untuk pengendalian kenyamanan termal yaitu :

1. *Landscape*
2. *Green roof and skycourt*
3. *Green wall*
5. *Cooling effect*

Cooling effect merupakan strategi pengendalian kenyamanan termal dengan efek pendinginan. Efek pendinginan yang terjadi pada strategi ini dilakukan tanpa melalui alat mekanis tertentu seperti AC, melainkan melalui proses penguapan air. Prinsip pada *cooling effect* adalah meningkatkan kadar air yang ada di udara sehingga udara lebih sejuk. Teknik yang dilakukan pada strategi *cooling effect* adalah pembuatan kolam.

2.8. *Software Ecotect*

Ecotect adalah *software* analisis bangunan yang menggabungkan pemodelan 3 dimensi dan beberapa jenis analisis serta mampu mensimulasikan kinerja bangunan. Simulasi dalam *ecotect* memasukkan faktor kondisi iklim dimana bangunan tersebut berada sehingga mampu menunjukkan kondisi lingkungan yang mendekati keadaan riil termasuk dalam simulasi pencahayaan dan termal. Adapun beberapa jenis input data, yang diperlukan yakni :

1. Data letak geografis dan data iklim
2. Model 3D bangunan
3. Jenis properti material, dan
4. Karakteristik ruang

Apabila berbagai data yang diperlukan telah diinput, maka nantinya akan dilakukan simulasi dimana simulasi tersebut dibuat mendekati kondisi *real*. Adapun beberapa jenis simulasi yang dapat dilakukan dengan *software Ecotect* adalah:

1. Pembayang matahari

2. Pencahayaan alami dan buatan
3. Nilai OTTV
4. Suhu radiasi rerata
5. Beban termal
6. Periode kenyamanan termal
7. Beban pendinginan, dan
8. Indeks Efisiensi Energi

2.8.1. Kelebihan *Software Ecotect*

Software Ecotect 2011 merupakan *software* yang dikeluarkan oleh Autodesk dengan fitur simulasi pencahayaan dan termal yang cukup lengkap. Ada berbagai kelebihan *Ecotect*, diantaranya :

1. Simulasi cukup lengkap, mencakup :
 - a. Simulasi pencahayaan ruangan
 - b. Simulasi kondisi termal ruangan
 - c. Simulasi kenyamanan
 - d. Simulasi angin
 - e. Simulasi akustik, dan
 - f. Simulasi visual
2. *Software* simulasi dan analisis yang dapat digunakan untuk mensimulasikan model desain
3. Gambar kerja dapat diimpor dari bentuk dua dimensi CAD maupun 3 dimensi sketchup, selain itu dapat digambar langsung melalui lembar kerja *Ecotect*
4. Pengaturan waktu simulasi simulasi dapat diatur kapan saja
5. Output simulasi dan grafik hasil simulasi mudah dipahami, informative dan jelas
6. Output simulasi dihasilkan dalam bentuk nilai, grafik maupun gambar 3 dimensi sehingga visualisasi di lapangan lebih mudah dibayangkan
7. Material bangunan dapat dipilih langsung pada opsi yang tersedia, dapat pula disetting sesuai dengan keadaan lapangan untuk material baru.

2.8.2. Keterbatasan *Software Ecotect*

Disamping beberapa kelebihan dari *software Ecotect* tentunya *software* ini juga memiliki beberapa keterbatasan dalam penggunaannya. Adapun beberapa keterbatasan *software Ecotect*, diantaranya :

1. *Weather data* tidak lengkap, khususnya untuk Indonesia. Untuk memperoleh *weather data* daerah – daerah di Indonesia perlu memasukkan data iklim dan skrip secara manual.
2. Ecotect dapat diimpor dari 2D maupun 3D model namun lebih baik digambar ulang pada lembar kerja Ecotect karena vertek akan terbaca sangat banyak sehingga hasil impor dari software lain kurang presisi dan bertumpuk.
3. *Tools* pada Ecotect sangat banyak sehingga perlu waktu untuk dipahami satu persatu penggunaannya.
4. Penggambaran bentuk bangunan masih terbatas



BAB III METODE PENELITIAN

3.1. Penelitian Terdahulu

Beberapa penelitian terkait audit energi efisiensi pencahayaan dan penghawaan sudah pernah dilakukan. Berikut adalah beberapa penelitian terdahulu mengenai efisiensi pencahayaan dan penghawaan :

1. Agung Wahyudi Biantoro (2017) dalam Analisis Audit Energi untuk Pencapaian Efisiensi Energi di gedung AB, Kabupaten Tangerang, Banten mengemukakan bahwasannya data historis dari penggunaan atau konsumsi energi adalah hal yang penting guna mengetahui bagaimana pola penggunaan energi suatu bangunan disamping itu data tersebut juga dapat digunakan sebagai fungsi kontrol untuk konsumsi energi selanjutnya. Adapun berdasarkan penelitian tersebut didapat kondisi pencahayaan gedung pada tiap ruangan berkisar antara 45 lux – 146.5 lux dimana dalam kondisi ini penggunaan energi termasuk kategori hemat, namun tidak memenuhi unsur kenyamanan karena pencahayaan di bawah standar sehingga tetap harus ada perbaikan untuk pencahayaan gedung.
2. Agung Wahyudi Biantoro & Dadang S Permana (2017) dalam penelitiannya mengenai Analisis Perbandingan Efisiensi Energi pada Gedung P Kabupaten Tangerang dan Gedung Tower UMB Jakarta mengemukakan bahwa pada salah satu gedung yang sedang diteliti menghasilkan efisiensi gedung yang sangat efisien, namun ditinjau dari segi kenyamanan ternyata sistem pencahayaan dan penghawaannya tidak memenuhi standart sehingga mengganggu kenyamanan pengguna gedung (efisien seharusnya tanpa mengurangi kenyamanan pengguna gedung). Dalam penelitian ini didapat bahwa besarnya IKE gedung Tower UMB adalah sebesar 149.83 kWh/m²/tahun termasuk dalam kategori hemat dengan kondisi sebagian besar ruangan dalam gedung masih tidak dipakai secara kontinyu, berbeda dengan gedung P Kabupaten Tangerang yang diklasifikasikan sangat efisien dengan nilai IKE sebesar 50,17 kWh/m²/tahun dimana hampir sebagian besar ruangan memanfaatkan ventilasi udara (penghawaan alami).

3. Fajar Dewantara, dkk (2019) dalam Kajian Pencahayaan Alami Ruang Baca Perpustakaan Indonesia mengemukakan bahwa orientasi bangunan terhadap matahari berpengaruh terhadap pencahayaan bangunan, orientasi bangunan yang baik pada iklim tropis seperti Indonesia adalah menghadap utara atau selatan karena akan menghindarkan bangunan dari radiasi matahari langsung. Berdasarkan hasil pada penelitian tersebut diketahui bahwa keseluruhan nilai IKE pada seluruh titik ukur dalam perpustakaan kurang dari standar nilai kenyamanan visual ruang baca yaitu 250 lux sehingga perlu adanya perbaikan pada sistem pencahayaan ruangan.
4. M.R.Suprayogi (2017) dalam Analisis Audit Energi Pada Beban HVAC (*Heat, Ventilation, And Air Conditioning*) Di Rumah Sakit Umum Daerah Dr. Saiful Anwar Malang mengemukakan bahwa dengan melakukan pengecekan dan pemeliharaan teratur secara rutin terhadap sistem HVAC yang kemudian diimbangi dengan perencanaan dan perancangan penggunaan HVAC dapat mempengaruhi penghematan energi pada beban HVAC. Pada penelitian ini didapat besarnya konsumsi energi pada beban *heat* adalah 166.92 kWh/minggu dan besarnya konsumsi energi untuk beban *ventilation* adalah 249.511 kWh/bulan.
5. Ria Kurniawati (2017) dalam Efisiensi Energi Ruang Rawat Inap Bangunan Rumah Sakit Islam Yarsis Surakarta mengemukakan bahwa pencahayaan alami merupakan salah satu faktor untuk penggunaan energi yang tepat dan efisien. Penggunaan energi alam dapat dilakukan tanpa mengurangi kenyamanan pengguna gedung, tentunya dengan perencanaan yang baik. Melalui penelitian tersebut didapat besarnya nilai IKE pada RS Islam Yarsis Surakarta adalah 36.1036 kWh/m²/bulan, dan dengan adanya skenario desain melalui penambahan ventilasi, jendela dan lampu didapat besarnya pencahayaan rata – rata pada tiap ruangan sebesar 250 lux.
6. Rendy Kurnia (2010) dalam Identifikasi Kenyamanan Termal Bangunan (Studi Kasus Ruang Kuliah Kampus IPB Baranangsiang dan Darmaga Bogor) mengemukakan bahwa sistem ventilasi yang besar dan terbuka sangat memudahkan terjadinya sirkulasi udara, namun di lain sisi sistem ventilasi yang besar dan tanpa pelindung juga dapat memberikan efek panas karena radiasi matahari akan langsung masuk dan ditransmisikan ke ruangan. Pada penelitian ini diperoleh nilai temperature efektif pada ruang kuliah kampus IPB

Baranangsiang dan Dermaga Bogor adalah sebesar $26.0^{\circ}\text{C} - 27.2^{\circ}\text{C}$ sehingga termasuk dalam kategori hangat nyaman.

7. Azka Noor dan Heru Sufanto (2018) dalam Evaluasi Kenyamanan Termal pada Ruang Kelas Pondok Pesantren Daar el-Huda di Kabupaten Tangerang menyatakan bahwa berdasarkan penelitian yang telah dilakukan penggunaan *horizontal pivoted* dapat menurunkan temperatur ruangan kelas sebesar 1.10°C pada lantai 1 dan penggunaan *horizontal pivoted*, penambahan *shading* dan pelebaran dimensi jendela aktif dapat menurunkan temperature sebesar 0.6°C pada lantai 2.

3.2. Kerangka Konsep Penelitian

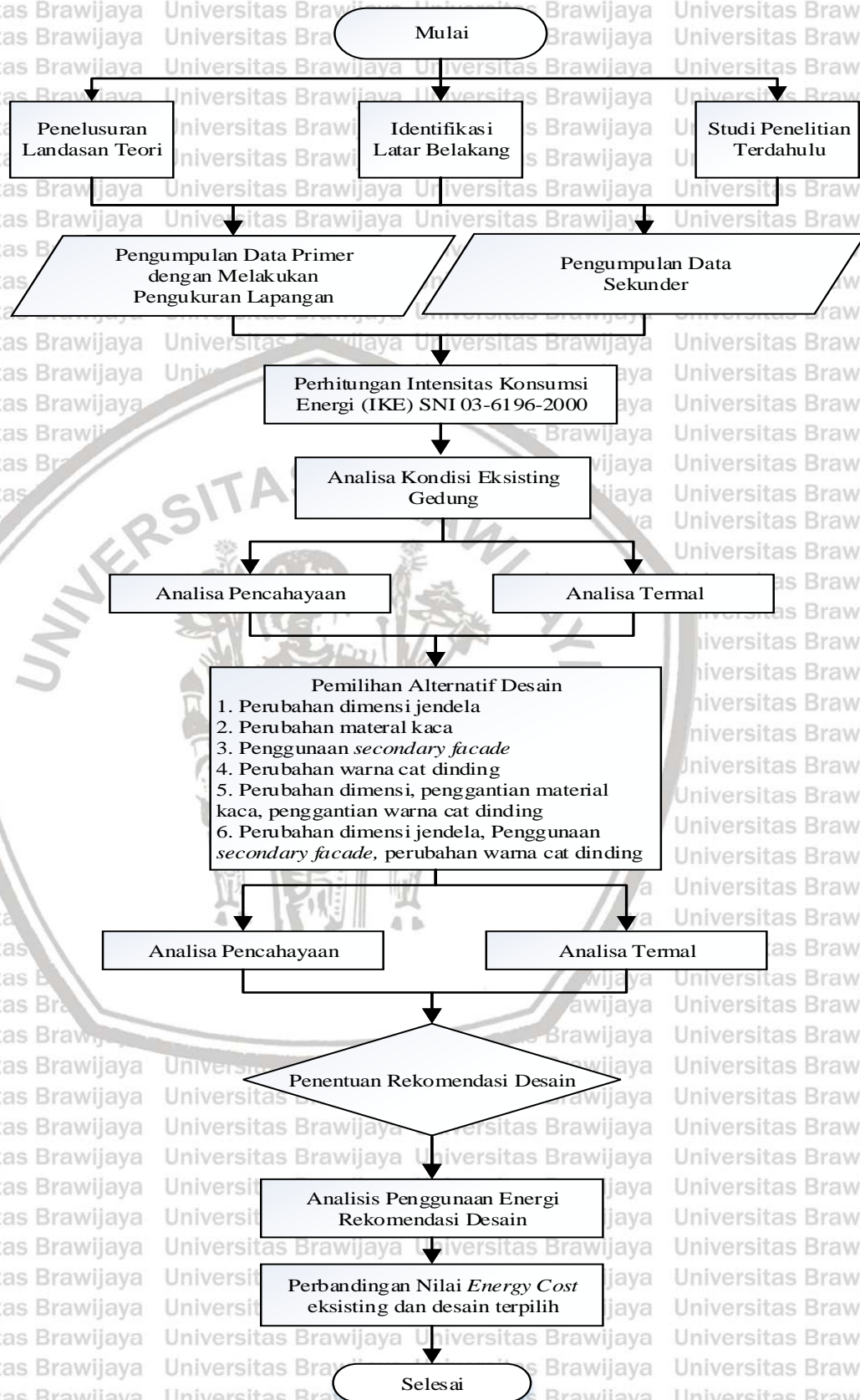
Kerangka konseptual penelitian ialah kerangka pemikiran sebagai acuan pendekatan dalam penyelesaian masalah yang disusun guna menciptakan alur penelitian yang terstruktur dan sistematis. Kerangka ini biasanya dibentuk oleh pendekatan ilmiah serta menampilkan hubungan antar variabel dan proses analisisnya.

Kerangka konsep penelitian ini nantinya akan digunakan sebagai acuan dasar dalam pelaksanaan penelitian. Dalam penelitian ini, analisis yang akan dilakukan disesuaikan pula dengan parameter dan aturan mengenai konservasi dan efisiensi yang berlaku. Adapun beberapa parameter dan aturan yang digunakan adalah SNI 03-6389-2000 terkait Konservasi Energi pada Selubung Bangunan, Permen ESDM No. 13 Tahun 2012 mengenai Penghematan Penggunaan Energi Listrik, SNI 6390-2011 yakni Konservasi Energi Sistem Tata Udara Bangunan Gedung dll, dengan studi kasus Evaluasi Konsep Green Building Dalam Hal Efisiensi dan Konservasi Energi Pada Gedung A Teknik Pengairan Universitas Brawijaya.

3.3. Tahapan Penelitian

Kerangka konsep yang telah dijelaskan sebelumnya akan digunakan sebagai penuntun dan alur berpikir, menentukan tahapan dalam penelitian sekaligus dasar dalam merumuskan hipotesis. Tahapan penelitian merupakan kegiatan yang runtut dan terorganisir guna mencapai hasil penelitian yang diharapkan. Tahapan penelitian terdiri dari beberapa langkah yang perlu dilakukan untuk mencapai tujuan penelitian. Beberapa tahapan dan langkah-langkah penyelesaian masalah yang terangkum dalam skema penelitian perlu untuk dilaksanakan, berikut skema tahapan penelitian Evaluasi Konsep

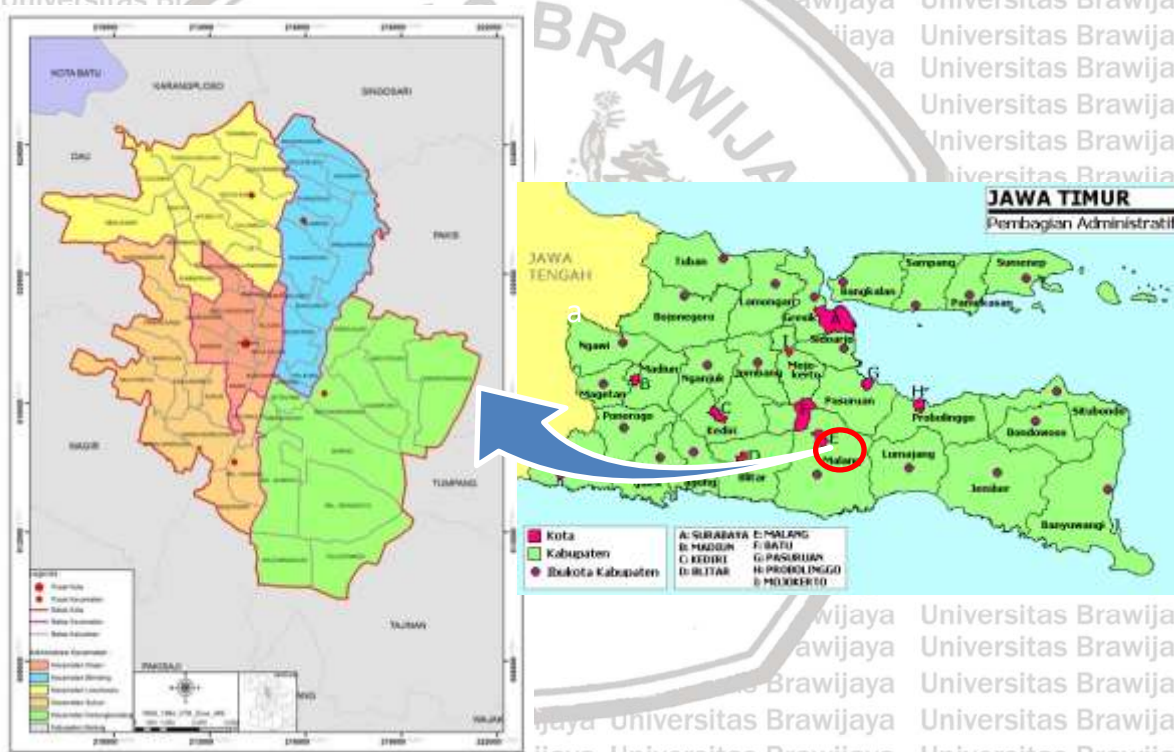
Green Building Dalam Hal Efisiensi dan Konservasi Energi Pada Gedung A Teknik Pengairan Universitas Brawijaya.



Gambar 3.1 Skema tahapan penelitian

3.4. Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian pada penelitian ini berada di Kota Malang, yakni salah satu kota di Provinsi Jawa Timur yang memiliki luasan sebesar 110,06 Km². Berdasarkan kondisi administratif, wilayah Kota Malang dibagi menjadi 5 kecamatan diantaranya Lowokwaru, Klojen, Sukun, Kedungkandang dan Blimbing, dimana dalam penelitian ini bangunan Gedung A Teknik Pengairan berada di Kecamatan Lowokwaru, tepatnya di Jalan MT. Haryono no. 167. Dengan ketinggian pada 445-526 m diatas permukaan air laut, Kota Malang memiliki suhu udara yang relatif sejuk, dimana tercatat pada tahun 2016 suhu maksimum di kota ini menyentuh angka 30,2°C dan suhu minimum berada pada suhu 16,5°C. Secara astronomis Kota Malang terletak pada 112.06°-112.07° Bujur Timur dan 7.06°-8.02° Bujur Timur dan berbatasan dengan Kabupaten Malang pada sebelah utara, timur, barat maupun selatan.



Gambar 3.2 Peta Kota Malang

3.5. Waktu Pengambilan Data Penelitian

Pengambilan data pencahayaan dan termal dilakukan dalam waktu 1 hari. Pada pukul 08.00, 12.00 dan 16.00 dilaksanakan pengambilan data pencahayaan dengan mempertimbangkan penyinaran maksimum dan minimum, sedangkan untuk pengambilan data temperatur dilakukan setiap jam dari pukul 08.00 –16.00 untuk mengetahui fluktuasi temperatur pada ruangan. Pengambilan data dilakukan pada tanggal 24 Maret 2021 pada

kondisi langit *overcast*. Waktu simulasi penyinaran akan dilakukan sepanjang tahun dan pada daerah khatulistiwa. Data hasil pengukuran langsung nantinya akan dibandingkan dengan hasil simulasi yang dilakukan dengan *software* Ecotect.

3.6. Variabel Penelitian

Variabel penelitian merupakan suatu hal yang dijadikan objek dalam suatu penelitian atau dapat disebut dengan objek penelitian. Berdasarkan penelitian terdahulu, pada tabel di bawah diuraikan beberapa aspek yang menjadi variabel dalam penelitian terdahulu.

Tabel 3.1 Variabel Penelitian

No	Variabel Penelitian	Fungsi	Jenis Data
1	Luas Bangunan	Mengetahui nilai IKE	Data Sekunder
2	Pencahayaan ruangan eksisting	Mengetahui nilai eksisting pencahayaan	Data primer
3	Bukaan bangunan	Sebagai input data untuk simulasi pencahayaan dan penghawaan	Data primer dan sekunder
4	Daya Listrik	Mengetahui nilai IKE dan <i>energy cost</i>	Data sekunder
5	Data teknis bangunan	Sebagai input data untuk simulasi pencahayaan dan penghawaan	Data sekunder
6	Data klimatologi, kecepatan angin dan penyinaran matahari	Sebagai input data untuk simulasi pencahayaan dan penghawaan	Data sekunder
7	Data peralatan listrik dan pengguna gedung	Mengetahui beban termal	Data Sekunder
8	Nilai IKE	Mengetahui nilai efisiensi bangunan	Hasil analisa
9	Simulasi ecotect	Mengetahui kondisi pencahayaan dan penghawaan	Hasil analisa
10	<i>Energy cost</i>	Mengetahui perbandingan penggunaan energi sebelum dan setelah rekomendasi	Hasil analisa

3.7. Data Penelitian

Dalam penelitian ini, untuk mengetahui besarnya konsumsi energi gedung diperlukan data – data sebagai input perhitungan dan simulasi, diantaranya yakni :

1. Data yang cara perolehannya dilakukan melalui survey atau metode lainnya dengan pengukuran langsung ke tempat pengambilan data disebut pula data primer. Data pengukuran pencahayaan dan temperatur bangunan merupakan data primer yang digunakan dalam penelitian ini.
2. Data sekunder ialah data yang didapat dari instansi yang menaungi gedung maupun instansi yang terkait dengan kebutuhan data. Adapun beberapa data sekunder yang diperlukan dalam penelitian ini yaitu :
 - a. Layout gambar proyek dimana memuat rencana kerja proyek *mechanical* dan *electrical*
 - b. Data teknis proyek dimana memuat luas total bangunan, material yang digunakan, dan ketinggian bangunan
 - c. Data iklim yang berasal dari BMKG

3.8. Teknik Pengumpulan Data

Dalam proses pengumpulan data, diperlukan teknik pengumpulan data yang tepat dan terencana sehingga mempermudah jalannya penelitian. Teknik pengumpulan data dalam penelitian ini ialah :

1. Pengukuran Lapangan

Pengukuran lapangan atau pengambilan data lapangan diperlukan untuk mengetahui kondisi bangunan dan pengukuran beberapa variabel. Adapun data yang diambil pada saat pengukuran lapangan adalah data pencahayaan dan data temperatur ruangan.

2. Pengambilan data sekunder

Data sekunder yang dibutuhkan untuk penelitian ini didapatkan melalui instansi terkait. Adapun beberapa data sekunder yang digunakan adalah data layout, denah, dan potongan gedung, data material gedung, data titik lampu dan AC, serta data inventaris peralatan gedung yang diperoleh dari Fakultas Teknik Universitas Brawijaya dan Jurusan Teknik Pengairan. Untuk data konsumsi energi diperoleh data berupa penggunaan energi selama 2019 yang didapat dari PT. PLN UP3 Malang. Untuk data temperatur, kecepatan angin, curah hujan didapat melalui situs resmi BMKG yaitu <https://dataonline.bmkg.go.id> dan untuk data radiasi matahari didapat dari BMKG Stasiun Klimatologi Malang.

3.9. Teknik Pengolahan Data dan Tahapan Penelitian

Tahapan selanjutnya setelah keseluruhan data terkumpul ialah pengolahan data. Seluruh data tersebut akan diolah melalui perhitungan dan simulasi *software* Ecotect sesuai dengan teori dan penelitian terdahulu yang telah diuraikan pada bab sebelumnya.

3.9.1. Efisiensi Energi

Untuk mengetahui efisiensi energi, dilakukan audit awal terhadap bangunan, adapun data yang dikumpulkan adalah :

1. Pengumpulan data bangunan dan data penggunaan energi listrik
2. Data titik AC dan lampu terpasang serta beban elektronik lainnya dan disesuaikan dengan denah untuk mengetahui daya listrik total bangunan.

Apabila seluruh data telah terkumpul maka selanjutnya dilakukan perhitungan Indeks Konsumsi Energi (IKE). Nilai IKE yang didapat kemudian di bandingkan dengan standar nilai IKE untuk menetapkan kategori konsumsi bangunan berdasarkan SNI 03-6196-2000.

3.9.2. Analisis Pencahayaan dan Termal Eksisting

Setelah kategori bangunan ditetapkan, untuk selanjutnya dilakukan analisis mengenai kondisi pencahayaan dan termal bangunan. Data – data yang diperoleh dari lapangan seperti denah yang telah divalidasi dengan survey, nilai kuat penyinaran dan suhu nantinya akan dimasukkan pada *software* Ecotect. Selanjutnya dengan data iklim selama 1 tahun yang berasal dari BMKG dan keseluruhan data bangunan dianalisis dengan *software* Ecotect. Langkah berikutnya yaitu hasil analisis *software* akan dibandingkan dengan hasil pengukuran lapangan.

3.9.3. Peningkatan Efisiensi Energi

Peningkatan efisiensi energi dilakukan dengan membuat beberapa alternatif desain. Alternatif desain tersebut nantinya akan dianalisis kembali dengan menggunakan *software* Ecotect sehingga akan didapat perbandingan antara kondisi pencahayaan dan termal eksisting dengan kondisi pencahayaan dan termal desain.

3.10. Perhitungan *Energy Cost* Desain Terpilih

Tahapan terakhir adalah perhitungan *energy cost* desain yang terpilih. Adapun data yang diperlukan sesuai dengan batasan masalah yang telah ditetapkan adalah :

1. Daya peralatan listrik yang digunakan
2. Besarnya harga listrik per kWh

Selanjutnya setelah semua data terkumpul dilakukan perhitungan *energy cost*. Perhitungan *energy cost* dilakukan terhadap kondisi bangunan eksisting dan kondisi dengan alternatif desain terpilih sehingga output yang dihasilkan adalah perbandingan keduanya.

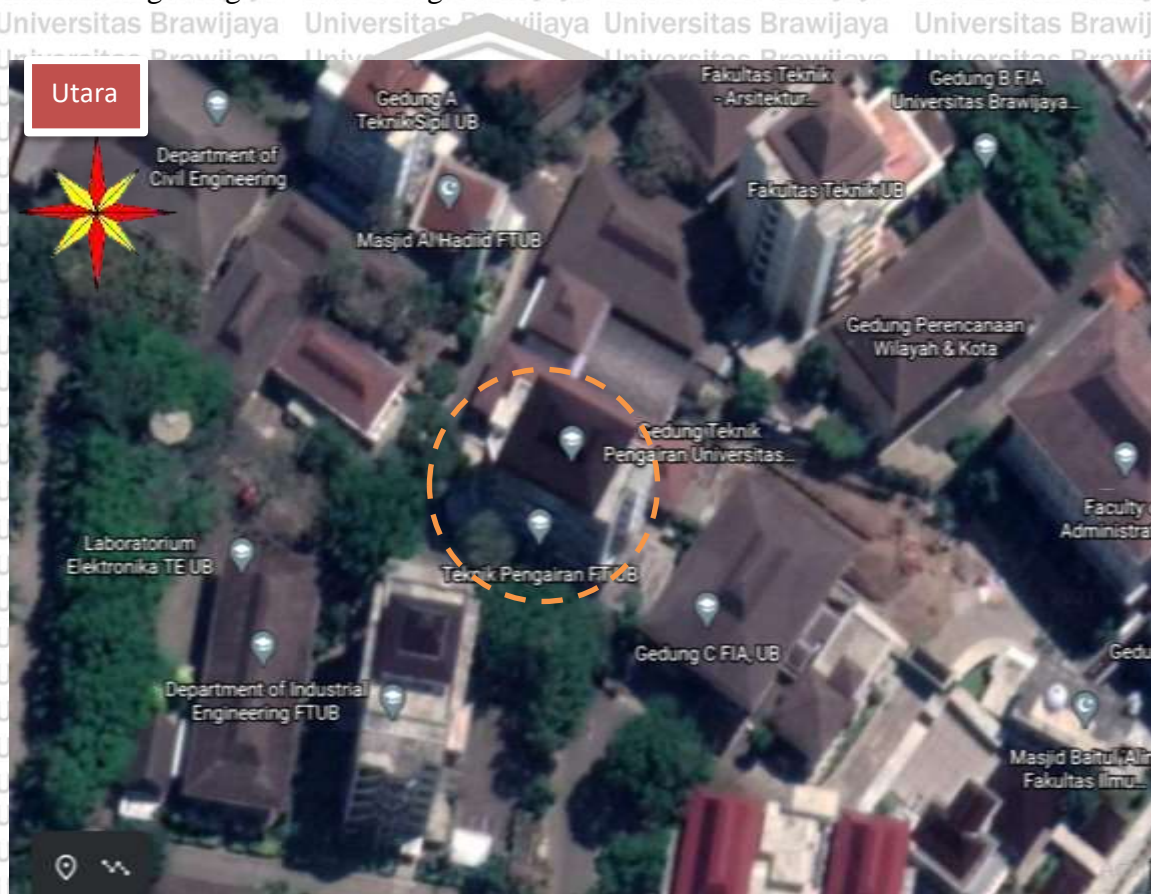
3.11. Hipotesis Penelitian

Hipotesis yang dapat diambil pada penelitian dengan mengacu pada landasan teori dan penelitian terdahulu yakni kondisi pencahayaan eksisting gedung dengan orientasi timur laut cenderung tinggi dan memiliki temperatur yang tinggi pula karena mendapat penyinaran matahari langsung. Untuk bagian gedung dengan orientasi barat daya pencahayaan dan temperatur cenderung rendah karena terdapat banyak vegetasi tinggi dan berkanopi cukup besar dan rimbun pada sisi barat daya yang dapat mengurangi pencahayaan dan membuat temperatur lebih sejuk. Dengan pencahayaan dan temperatur yang terlalu besar pada orientasi timur laut dan pencahayaan yang kurang pada orientasi barat daya maka konsumsi energi untuk memenuhi kenyamanan termal dan visual pada bangunan menjadi cukup besar karena memerlukan bantuan pengkondisian termal ruangan (AC) dan penerangan buatan.

BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

4.1. Gambaran Umum Objek Penelitian

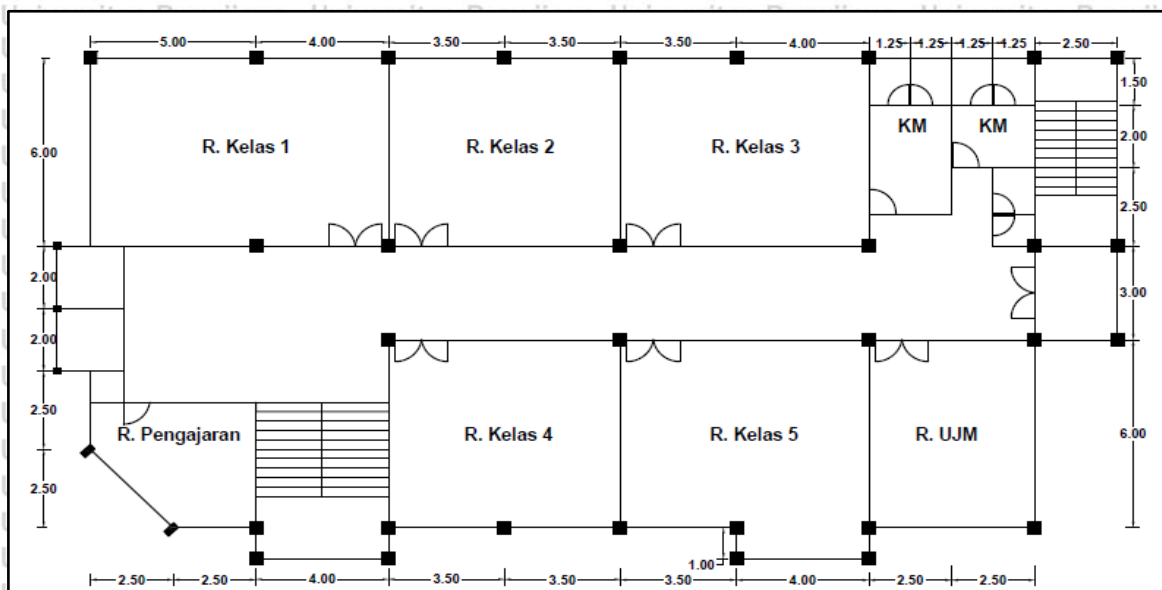
Gedung A Teknik Pengairan Universitas Brawijaya merupakan bangunan yang terdiri atas 6 lantai. Gedung ini dibangun pada elevasi 500 m di atas permukaan laut dengan orientasi menghadap ke arah barat daya. Gambar 4.1 menunjukkan tampak atas citra satelit gedung A Teknik Pengairan.



Gambar 4.1 Tampak citra satelit gedung A

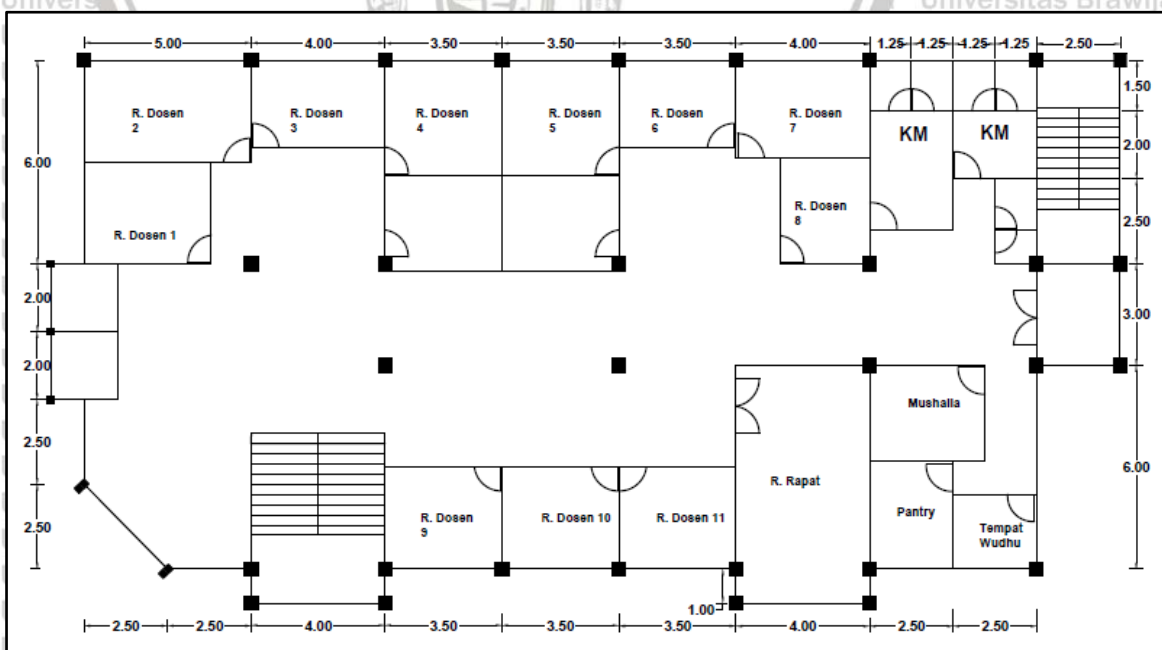
Berdasarkan data gambar bangunan, lantai dasar gedung A dibangun pada elevasi -2.8 m dari permukaan tanah yang diperuntukkan sebagai Laboratorium Sungai. Pada bagian tengah Laboratorium Sungai terdapat pilar – pilar bangunan yang cukup besar. Pada lantai dasar, selain zona terbesar yaitu Laboratorium Sungai juga terdapat beberapa zona atau ruang seperti kamar mandi dan ruang panel (ME). Gambar 4.2 menggambarkan layout lantai 1 gedung A.

kelas 1,2 dan 3 menghadap ke arah timur laut, sedangkan ruang kelas 4,5 dan UJM menghadap ke arah barat daya. Gambar 4.4 dibawah menunjukkan denah lantai 3.



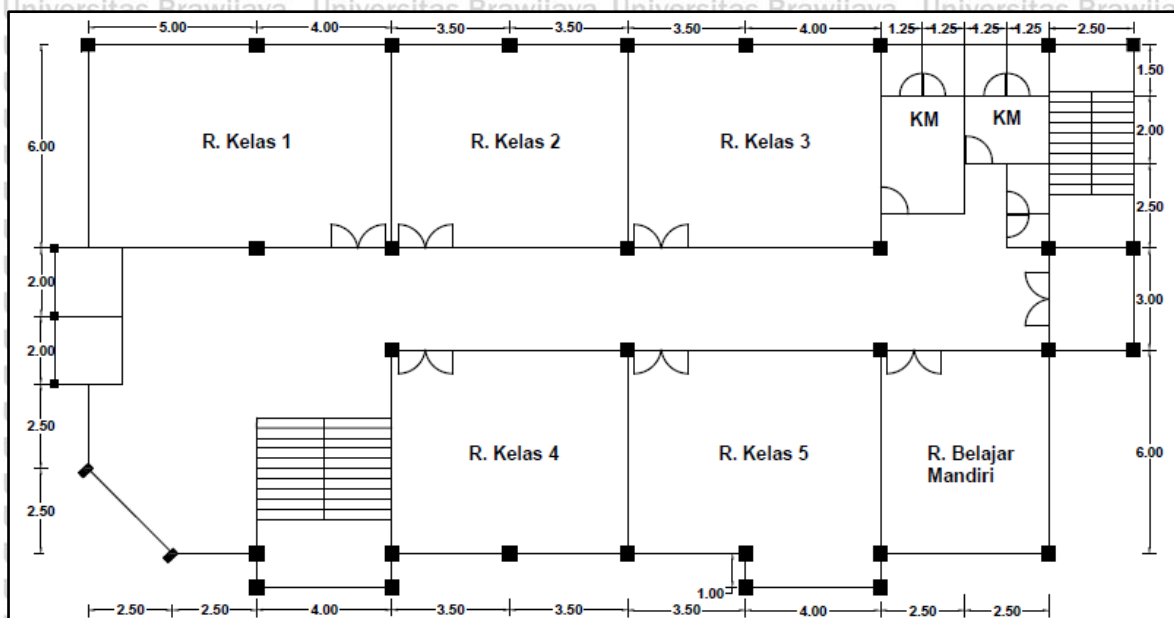
Gambar 4.4 Denah lantai 3

Lantai 4 merupakan lantai yang digunakan sebagai ruang – ruang dosen. Pada lantai 4 terdapat 13 ruang dosen, 1 ruang rapat, mushalla, pantry dan tempat wudhu. Pada bagian tengah terdapat ruang terbuka yang cukup luas yang biasanya digunakan sebagai ruang tunggu untuk menemui dosen. Sebagian besar ruang dosen berorientasi ke arah timur laut dan 3 ruang dosen berorientasi ke arah barat daya. Gambar 4.5 berikut menggambarkan denah lantai 4 gedung A.



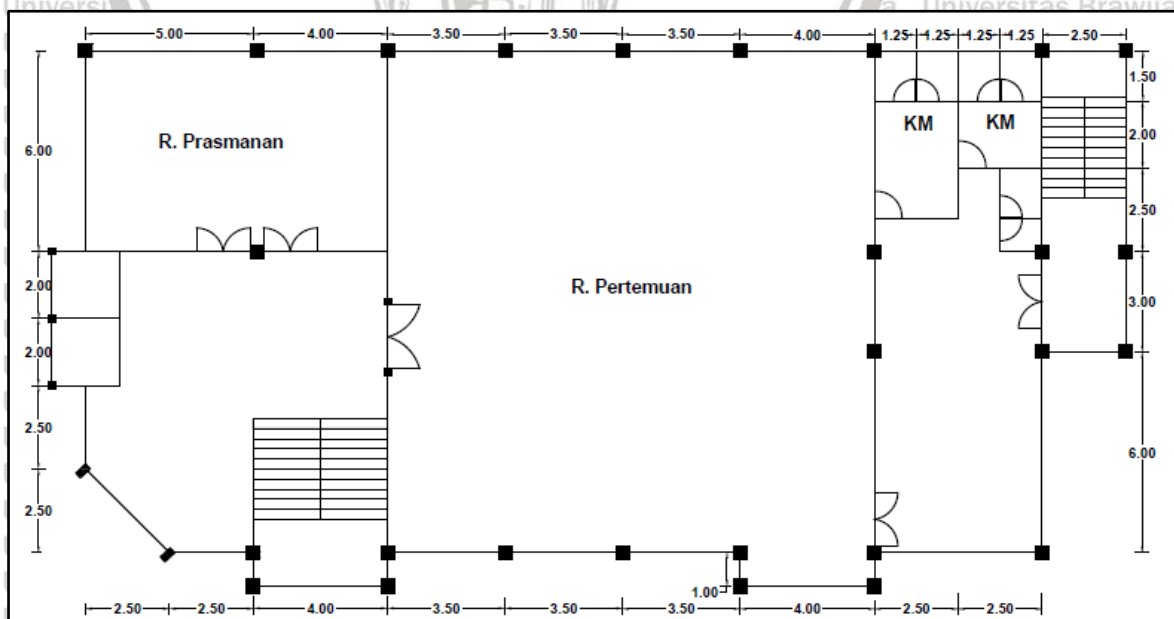
Gambar 4.5 Denah lantai 4

Lantai 5 merupakan lantai yang terdiri atas ruang kelas. Sama seperti lantai 3, lantai 5 memiliki 5 ruang kelas dengan 3 ruang kelas menghadap ke arah timur laut dan 2 ruang kelas menghadap ke arah barat daya. Ruang belajar mandiri berada di samping ruang kelas 5 dan menghadap ke arah barat daya. Gambar 4.6 menunjukkan denah lantai 5 gedung A.



Gambar 4.6 Denah lantai 5

Lantai 6 terdiri atas beberapa ruangan yang lebih difungsikan untuk kegiatan pertemuan seperti ruang pertemuan dan ruang prasmanan. Ruang pertemuan mendominasi lantai 6 karena memiliki luasan hampir separuh dari lantai 6. Denah lantai 6 digambarkan pada Gambar 4.7 berikut.



Gambar 4.7 Denah lantai 6

4.2. Kondisi Lingkungan

Gedung A berada di lingkungan Fakultas Teknik Universitas Brawijaya dan dikelilingi oleh beberapa gedung. Pada sisi timur laut berbatasan dengan gedung Teknik Pengairan, sisi tenggara berbatasan dengan gedung FIA, bagian barat laut berbatasan dengan kafetaria teknik dan pada arah barat daya berbatasan dengan gedung Teknik Mesin. Selain dikelilingi gedung, bangunan ini juga dikelilingi oleh pepohonan yang relatif rimbun pada bagian tenggara sampai barat laut sehingga mempengaruhi pencahayaan dan kondisi termal gedung.

4.3. Perhitungan Nilai IKE

Dalam menentukan besaran nilai IKE maka diperlukan data luas bangunan untuk ruangan berAC dan nonAC. Ruangan berAC terdiri atas ruangan-ruangan yang digunakan untuk belajar-menjajar dan ruang kerja seperti ruang administrasi, ruang kelas, ruang sidang, ruang-ruang dosen, mushalla, ruang pertemuan dll. Untuk ruang nonAc terdiri atas ruang terbuka yang ada di dalam gedung, lorong atau selasar, kamar mandi, ruang penyimpanan dll. Berdasarkan data, luas total keseluruhan bangunan adalah sebesar 2.766,33 m² yang terdiri atas 6 lantai, namun berdasarkan informasi pengelola gedung terdapat beberapa lantai dan ruangan dalam gedung yang tidak dioperasikan setiap hari sehingga data luas yang digunakan dalam perhitungan IKE adalah luasan efektif. Luasan efektif merupakan luasan gedung yang rutin digunakan. Tabel 4.1 di bawah menampilkan rincian luas dan luasan efektif bangunan tiap lantai.

Tabel 4.1 Rincian Luas Gedung A

Lantai	Luas		Total	Luas Efektif		Total
	AC	Non AC		AC	Non AC	
I	0,00	449,70	449,70	0,00	449,70	449,70
II	247,00	246,83	493,83	160,00	246,83	406,83
III	262,00	193,70	455,70	262,00	193,70	455,70
IV	165,10	290,60	455,70	66,04	116,24	182,28
V	262,00	193,70	455,70	262,00	193,70	455,70
VI	271,50	184,20	455,70	-	-	-
Total	1.207,60	1.558,73	2.766,33	750,04	1.087,67	1.950,21

Sumber : Layout Gedung A

Data peralatan listrik yang terpasang pada ruangan berAC dan nonAC diperlukan untuk mengetahui besarnya beban listrik (watt) pada tiap ruangan. Dengan mengetahui pola pemakaian listrik di gedung A, diasumsikan pemakaian listrik pada ruangan nonAC adalah sebesar 40% dari total beban listrik ruangan nonAC. Tabel 4.2 berikut menunjukkan

total beban listrik pada setiap lantai dan rincian beban peralatan listrik dapat dilihat pada lampiran.

Tabel 4.2 Rincian Beban Listrik

Lantai	Beban Listrik		Total	Beban Listrik Efektif	
	Ruang AC	Ruang Non AC		Ruang AC	Ruang Non AC
I	-	21.687,00	21.687,00	-	21.687,00
II	15.640,10	1.429,00	17.069,10	13.720,50	1.429,00
III	8.964,00	785,00	9.749,00	8.964,00	785,00
IV	10.075,00	1.075,00	11.150,00	5.925,00	1.075,00
V	8.054,00	827,00	8.881,00	8.054,00	827,00
VI	11.196,00	779,00	11.975,00	-	-
Total	53.929,10	26.582,00	80.511,10	36.663,50	25.803,00
				36.663,50	10.321,20
				46.984,70	

Sumber : Data Inventaris Peralatan Gedung

Pada tabel Rincian beban listrik tiap lantai di atas, ada perbedaan antara besarnya beban listrik dan beban listrik efektif. Beban listrik merupakan keseluruhan peralatan listrik yang ada pada gedung A baik yang rutin digunakan maupun tidak, sedangkan beban listrik efektif adalah beban dari peralatan listrik pada ruangan yang rutin digunakan pada gedung A. Pada lantai 6 beban listrik tidak dihitung karena berdasarkan informasi dari pengelola gedung ruang pertemuan sangat jarang sekali digunakan sehingga baik dalam luasan efektif gedung maupun beban listriknya tidak dimasukkan dalam perhitungan IKE gedung A.

Dalam upaya melakukan audit terhadap konsumsi energi diperlukan data histori penggunaan energi pada bangunan dalam 1 tahun. Histori konsumsi energi yang digunakan pada penelitian ini adalah data tahun 2019 yang didapat dari PLN. Tabel 4.3 menunjukkan data histori penggunaan energi selama 1 tahun pada gedung A.

Tabel 4.3 Histori Penggunaan Energi Listrik

Bulan	Daya	kWh	Golongan	Biaya (PerkWh Rp)	Biaya (Rp)
Januari	197.000	12.780	S2	900,00	11.502.000,00
Februari	197.000	11.160	S2	900,00	10.044.000,00
Maret	197.000	10.500	S2	900,00	9.450.000,00
April	197.000	8.520	S2	900,00	7.688.000,00
Mei	197.000	7.880	S2	900,00	7.092.000,00
Juni	197.000	7.880	S2	900,00	7.092.000,00
Juli	197.000	7.880	S2	900,00	7.092.000,00
Agustus	197.000	7.880	S2	900,00	7.092.000,00
Oktober	197.000	7.880	S2	900,00	7.092.000,00
November	197.000	7.880	S2	900,00	7.092.000,00
Desember	197.000	7.862	S2	900,00	7.075.800,00
Total		98.102			88.311.800,00

Sumber : Data PLN

Melalui histori penggunaan energi di atas dapat diketahui bahwa penggunaan energi terbesar terjadi pada bulan Januari yaitu sebesar 12.780 kWh dan mulai stabil penggunaannya pada bulan Mei hingga bulan Desember yaitu rata – rata 7.880 kWh perbulan. Fluktuasi yang menyebabkan penggunaan energi listrik berbeda – beda setiap bulan pada tahun 2019 adalah karena gedung A baru difungsikan pada Desember 2018 sehingga dalam beberapa bulan gedung masih berada dalam tahap uji coba untuk mengetahui adanya kendala – kendala dalam gedung mengingat gedung masih dalam masa pemeliharaan.

Berdasarkan tabel di atas dapat diketahui bahwa jumlah konsumsi energi selama 1 tahun adalah sebesar 98.102 kWh. Melalui data penggunaan energi dan data luas bangunan efektif maka dapat diketahui pula besarnya nilai IKE pada ruangan AC dan nonAC pada gedung A. Tabel 4.4 di bawah menunjukkan tabulasi perhitungan nilai IKE pada ruang berAC.

Tabel 4.4 Nilai IKE Ruang berAC

Bulan	kWh	Luas Bangunan berAC	Total Daya Ruang berAC	IKE Ruang berAC (kWh/m ²)	Kriteria
Januari	12.780	750,04	36.663,50	13,30	Cukup Efisien
Februari	11.160	750,04	36.663,50	11,61	Efisien
Maret	10.500	750,04	36.663,50	10,92	Efisien
April	8.520	750,04	36.663,50	8,86	Efisien
Mei	7.880	750,04	36.663,50	8,20	Efisien
Juni	7.880	750,04	36.663,50	8,20	Efisien
Juli	7.880	750,04	36.663,50	8,20	Efisien
Agustus	7.880	750,04	36.663,50	8,20	Efisien
Oktober	7.880	750,04	36.663,50	8,20	Efisien
November	7.880	750,04	36.663,50	8,20	Efisien
Desember	7.862	750,04	36.663,50	8,18	Efisien

Sumber : Perhitungan

Berdasarkan tabel di atas dapat dilihat nilai IKE ruangan berAC pada bulan Januari hingga bulan Desember. Sebelumnya pada Bab II Tabel 2.1 telah dibahas mengenai kriteria standar penetapan nilai IKE pada gedung pendidikan. Nilai IKE pada bulan Januari adalah sebesar 13,30 kWh/m² yang berarti tergolong pada kriteria cukup efisien yaitu pada rentang nilai IKE 12,08 kWh/m² – 14,58 kWh/m². Pada bulan Februari hingga Desember nilai IKE digolongkan pada kriteria efisien yaitu berada pada rentang nilai 7,92 kWh/m² –

12,08 kWh/m². Berdasarkan hasil perhitungan IKE selama tahun 2019 di atas, maka dapat diketahui rata - rata penggunaan energi perbulan pada ruang berAC di gedung A tergolong pada kategori efisien.

Perhitungan nilai IKE pada ruang nonAC juga dilakukan untuk mengetahui penggunaan konsumsi energinya. Kriteria penetapan kategori konsumsi energi pada ruang nonAC lebih rendah daripada ruang BerAC. Perhitungan Nilai IKE untuk ruang nonAC ditunjukkan oleh Tabel 4.5.

Tabel 4.5 Nilai IKE Ruang NonAC

Bulan	kWh	Luas Bangunan NonAC	Total Daya Ruang NonAC	IKE Ruang NonAC (kWh/m ²)	Kriteria
Januari	12.780	1.087,67	10.321,20	2,58	Boros
Februari	11.160	1.087,67	10.321,20	2,25	Efisien
Maret	10.500	1.087,67	10.321,20	2,12	Efisien
April	8.520	1.087,67	10.321,20	1,72	Efisien
Mei	7.880	1.087,67	10.321,20	1,59	Sangat Efisien
Juni	7.880	1.087,67	10.321,20	1,59	Sangat Efisien
Juli	7.880	1.087,67	10.321,20	1,59	Sangat Efisien
Agustus	7.880	1.087,67	10.321,20	1,59	Sangat Efisien
Oktober	7.880	1.087,67	10.321,20	1,59	Sangat Efisien
November	7.880	1.087,67	10.321,20	1,59	Sangat Efisien
Desember	7.862	1.087,67	10.321,20	1,59	Sangat Efisien

Sumber : Perhitungan

Berdasarkan tabel di atas dapat diketahui nilai IKE pada bulan Januari hingga Desember memiliki nilai dan kriteria yang berbeda - beda. Berdasarkan kriteria nilai IKE untuk ruang nonAC yang telah dijelaskan pada bab sebelumnya, maka penggunaan energi pada bulan Januari tergolong kategori Boros dimana nilai IKE berada pada rentang 2,5 kWh/m² – 3,34 kWh/m² karena gedung masih dalam tahap uji coba peralatan dalam gedung untuk mengetahui adanya permasalahan pada gedung yang masih dalam masa pemeliharaan. Pada bulan Februari sampai dengan April penggunaan konsumsi energi tergolong efisien yaitu nilai IKE berkisar antara 1,67 kWh/m² – 2,5 kWh/m² sedangkan untuk bulan Mei sampai Desember penggunaan konsumsi energi sangat efisien dengan rentang nilai IKE berkisar antara 0,84 kWh/m² – 1,67 kWh/m². Berdasarkan perhitungan nilai IKE di atas maka dapat diketahui penggunaan energi pada ruang nonAC gedung A perbulan rata – rata berada pada kategori efisien-sangat efisien.

4.4. Pemodelan Gedung

Dalam penggunaan *software* Ecotect, penggambaran dapat langsung diinput dari *software* gambar lain seperti Autocad, Revit, Sketcup, Rhino dll, namun khusus untuk pengujian kondisi termal harus digambar langsung pada *software* Ecotect. Pada penelitian ini pemodelan objek tidak diinput dari *software* lain, namun dilakukan langsung pada *software* Ecotect. Gambar 4.8 berikut menunjukkan tampak depan, belakang dan samping objek penelitian



Gambar 4.8 Pemodelan gedung A

Pada kondisi eksisting, lingkungan di sekitar gedung A cukup padat dengan bangunan dan vegetasi. Kepadatan kondisi di sekitar gedung sedikit banyak mempengaruhi pencahayaan dan penghawaan pada gedung A. Gambaran kondisi eksisting di sekitar gedung dapat diamati melalui Tabel 4.6 berikut.

Tabel 4.6 Tampak Gedung dan Lingkungan Sekitar Gedung A

Tampak Gedung dan Kondisi Sekitar

Tampak samping gedung, bangunan sekitar dan vegetasi



Tampak bagian samping gedung



Tampak bagian depan gedung berbatasan dengan vegetasi dan gedung tinggi lainnya



Tampak depan gedung



Tampak Belakang gedung berbatasan dengan bangunan lainnya



Pencahayaan pada bagian belakang gedung



Tampak Gedung dan Kondisi Sekitar

Tampak pintu masuk gedung



Tampak pintu masuk gedung



Tampak Samping berbatasan dengan bangunan



Tampak Samping berbatasan dengan bangunan



Sumber : Hasil Survey

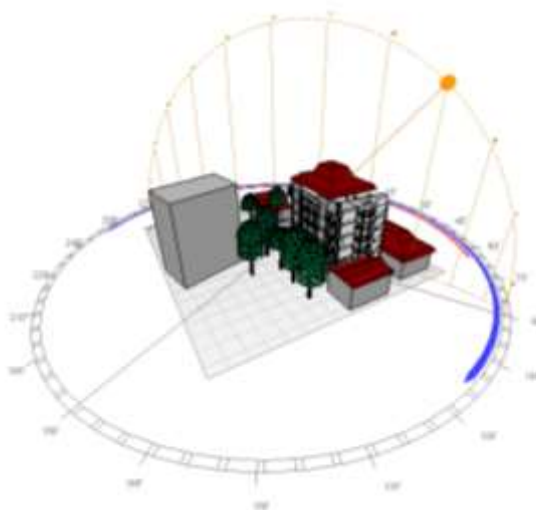
Gedung A merupakan bangunan yang dikelilingi berbagai bangunan dan vegetasi, sehingga pasti memiliki pengaruh terhadap pencahayaan maupun termal bangunan. Untuk itu pemodelan terhadap gedung A disertai dengan pemodelan sederhana terhadap beberapa bangunan dan vegetasi di sekitar gedung. Gambar 4.9 berikut menunjukkan pemodelan gedung A beserta bangunan dan vegetasi di sekitarnya.



Gambar 4.9 Pemodelan Gedung A dan sekitar

4.5. Analisis Kondisi Gedung

Pengambilan data pencahayaan dan termal gedung dilakukan pada hari yang sama yakni pada tanggal 24 Maret 2021 pukul 08.00 – 16.00. Kondisi pada saat pengukuran adalah langit berawan namun tidak terjadi hujan. Berdasarkan simulasi, lintasan matahari pada 24 Maret 2010 berada tegak lurus dengan posisi bangunan. Lintasan matahari dapat diperhatikan melalui Gambar 4.10 di bawah.



Gambar 4.10 Lintasan matahari 24 Maret 2021

Analisis kondisi gedung dilakukan pada 2 variabel yakni analisis pencahayaan dan analisis termal gedung. Pada pencahayaan gedung alat ukur yang digunakan adalah luxmeter dengan tipe AS803, sedangkan untuk mengukur temperatur digunakan termometer digital.

4.5.1. Analisis Pencahayaan Gedung

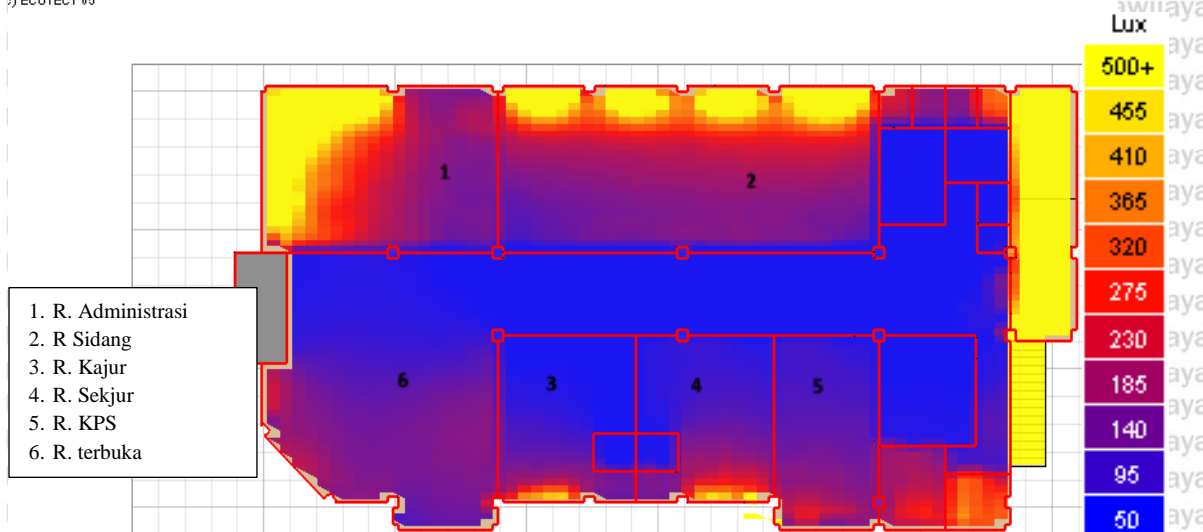
Pada pengukuran lapangan, harus dilakukan pengukuran pada beberapa ruangan untuk mengetahui pencahayaan gedung secara umum. Pengukuran lapangan untuk pencahayaan pada gedung A dilakukan pada beberapa ruangan diantaranya :

1. Ruang sidang lantai 2
2. Ruang pengajaran, kelas 2, 3, 4 dan 5 lantai 3
3. Ruang dosen 1-9 lantai 4
4. Ruang kelas 2, 3 dan 4 lantai 5

Untuk simulasi pencahayaan dilakukan pada lantai 2 sampai lantai 6 yang terdiri atas 80 zona atau ruangan. Berdasarkan hasil simulasi Ecotect pada setiap lantai, dapat diketahui bahwa sisi bangunan sebelah timur laut mendapat cahaya matahari yang jauh lebih besar dibandingkan sisi lainnya. Hasil pengukuran lapangan menunjukkan zona – zona yang berada pada sisi timur laut memiliki pencahayaan yang melebihi standar pencahayaan ruangan. Hasil simulasi pencahayaan pada lantai 2 dapat diamati melalui Gambar 4.11.

Analysis Grid

AD Illuminance
Value Range: 50 - 500 Lux
) ECOTECT v5



Gambar 4.11 Simulasi pencahayaan lantai 2

Berdasarkan hasil simulasi pada lantai 2 didapat distribusi pencahayaan ruangan seperti pada gambar di atas. Warna biru, ungu, hingga orange tua menunjukkan bahwa tingkat pencahayaan di bawah 260 lux. Melalui hasil simulasi tersebut kita dapat melihat bahwa pencahayaan secara alami pada lantai 2 kurang memadai, terutama pada ruangan – ruangan yang dipergunakan untuk beraktivitas seperti ruangan administrasi, ruang sidang, ruang kajar dll. Bagian berwarna kuning menunjukkan nilai pencahayaan di atas 350 lux

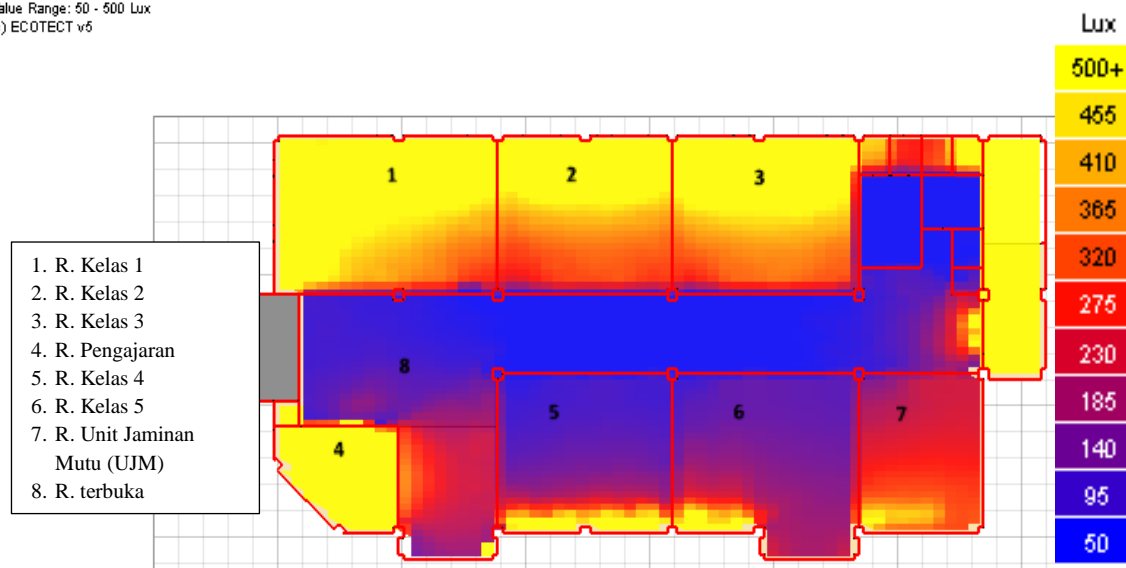
yang berpotensi menyebabkan *glare* atau silau. Kurangnya pencahayaan alami pada lantai 2 disebabkan karena banyaknya obstruksi dari sekitar yaitu bangunan dan vegetasi.

Pada lantai 3 terjadi peningkatan pencahayaan ruangan karena peningkatan ketinggian dan berkurangnya obstruksi terutama pada bagian dengan orientasi timur laut. Lantai 3 berada pada elevasi +7.00 m dari permukaan tanah. Gambar 4.12 di bawah menunjukkan hasil simulasi pencahayaan ruangan untuk lantai 3.

Analysis Grid

RAD Illuminance

Value Range: 50 - 500 Lux
 v5 ECOTECH v5



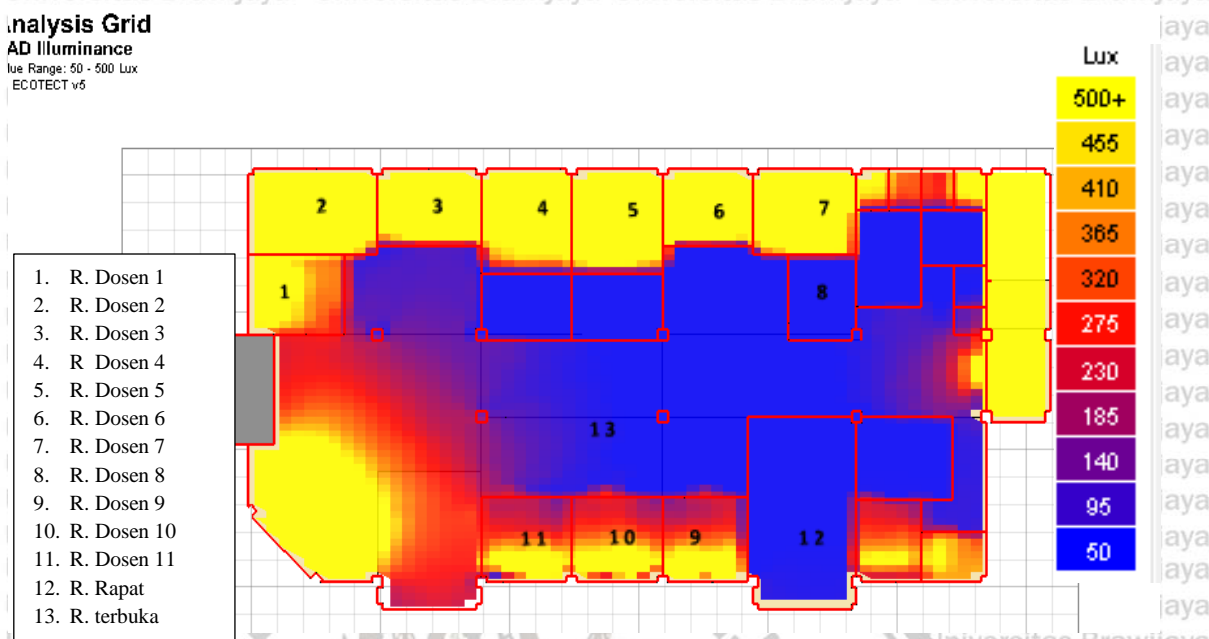
Gambar 4.12 Simulasi pencahayaan lantai 3

Berdasarkan hasil simulasi pada lantai 3 didapat bahwa ruang kelas 1, 2 dan 3 yang berorientasi ke arah timur laut memiliki pencahayaan yang lebih tinggi dari pada ruang kelas 4,5 dan ruang Unit Jaminan Mutu (UJM) yang berorientasi ke arah barat daya. Pada ruang kelas 1,2 dan 3 serta ruang pengajaran, bagian berwarna kuning menunjukkan pencahayaan di atas 500 lux sedangkan bagian berwarna orange hingga merah menunjukkan kisaran 215 – 490 lux. Pencahayaan di atas 500 lux berpotensi menyebabkan *glare* sehingga tidak memenuhi kenyamanan visual pengguna.

Pada ruang kelas 4, 5 dan UJM sebagian besar ruangan berwarna biru yang mengindikasikan pencahayaan ruangan kurang dari standar pencahayaan. Dalam penggunaan ruangan tersebut diperlukan bantuan pencahayaan buatan guna mencapai kenyamanan visual pengguna. Salah 1 penyebab kurangnya pencahayaan adalah obstruksi dari vegetasi dan gedung pada orientasi barat daya.

Lantai 4 merupakan ruang dosen, dimana memiliki zona paling banyak. Bagian tengah bangunan hanya digunakan sebagai ruang tunggu untuk menemui dosen. Lantai 4

berada pada elevasi +11.00 m di atas permukaan tanah dimana obstruksi di sekitar bangunan terutama pada orientasi timur laut. Gambar 4.13 menunjukkan hasil simulasi pencahayaan pada lantai 4.

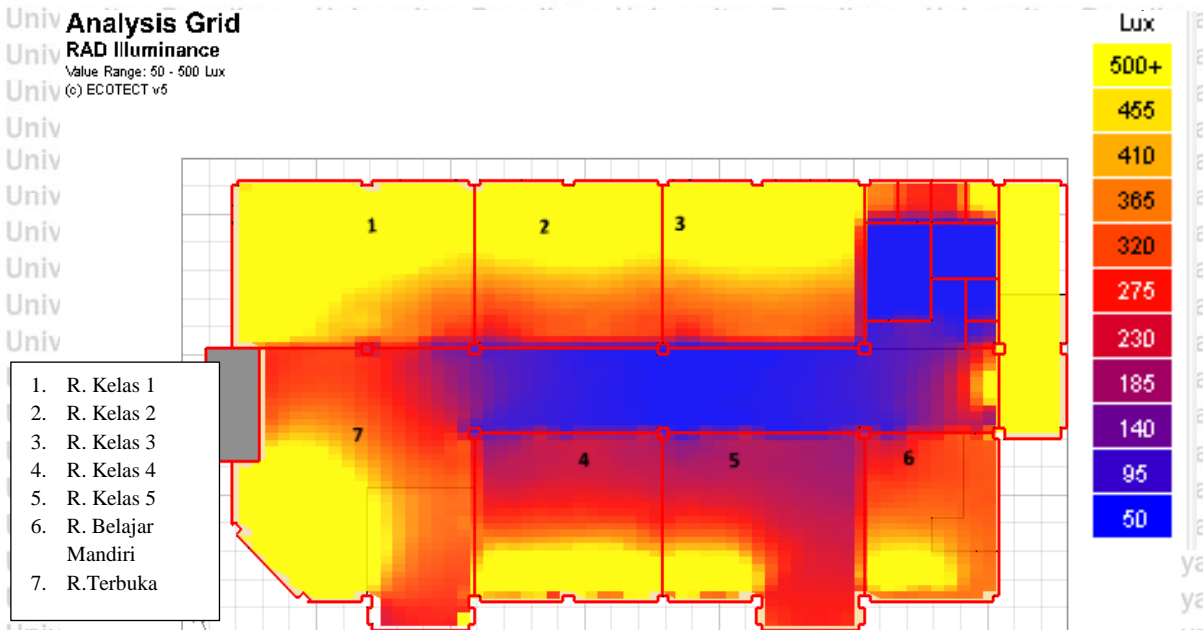


Gambar 4.13 Simulasi pencahayaan lantai 4

Hasil simulasi lantai 4 pada gambar di atas menunjukkan warna biru yang cukup merata pada bagian tengah bangunan. Warna biru mengindikasikan nilai lux berada di bawah 100 lux. Pada bagian bangunan dengan orientasi ke arah timur laut memiliki pencahayaan yang sangat besar di atas 500 lux pada seluruh zona, namun hal ini membuat kenyamanan visual pengguna terganggu karena *glare*.

Pada ruangan dengan orientasi barat daya pencahayaan lebih rendah daripada orientasi timur laut hal ini dipengaruhi obstruksi dari vegetasi di sekitar bangunan. Bagian berwarna kuning didekat jendela menunjukkan nilai lux yang besar, namun semakin menjauhi jendela nilai lux semakin berkurang hingga berada di kisaran 250 lux. Pada ruang dosen 9, 10 dan 11 peletakan meja kerja menghadap ke arah tenggara dan barat daya sehingga pada orientasi ini ruangan memiliki pencahayaan yang cukup memenuhi kenyamanan visual.

Lantai 5 berada pada elevasi +15.00 m dari permukaan tanah yang digunakan sebagai ruang kelas dan belajar mandiri. Pada lantai 5 obstruksi dari vegetasi dan bangunan lain relative kecil terutama pada ruangan yang berorientasi ke arah timur laut. Hasil simulasi lantai 5 dapat dilihat pada Gambar 4.14 berikut.



Gambar 4.14 Simulasi pencahayaan lantai 5

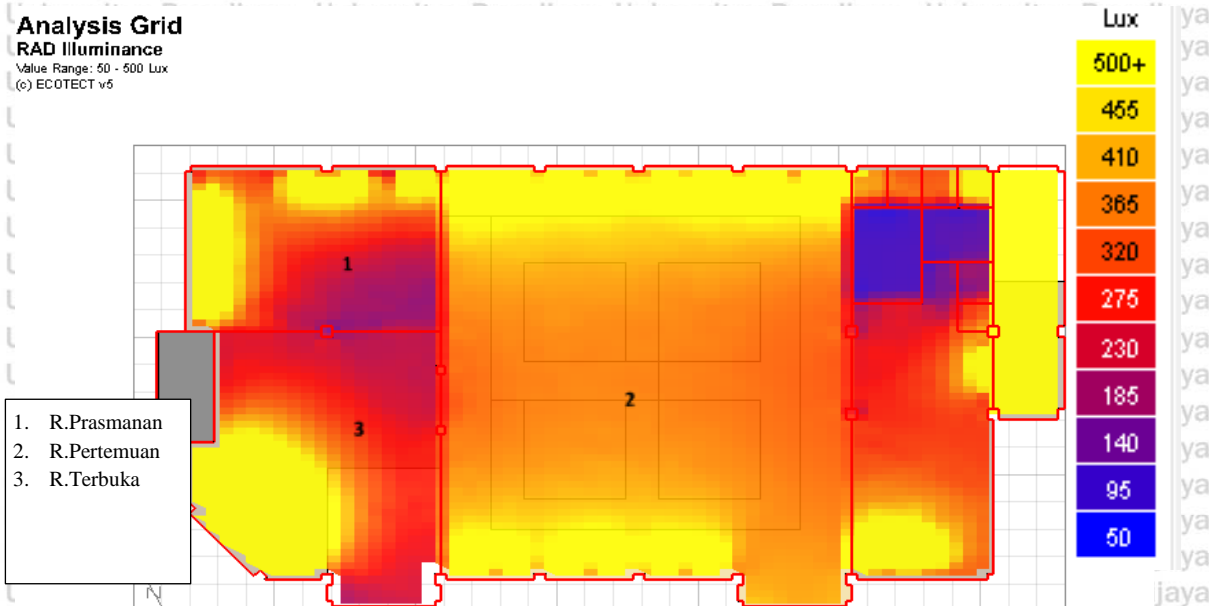
Hasil simulasi lantai 5 menunjukkan distribusi pencahayaan yang lebih besar terutama pada bagian – bagian dekat jendela. Pada ruangan dengan orientasi timur laut menunjukkan warna kuning dan orange yang dominan dimana menunjukkan kisaran pencahayaan di atas 400 lux. Nilai pencahayaan pada ruangan - ruangan tersebut tidak memenuhi kenyamanan visual karena melebihi standar pencahayaan, selain itu bagian berwarna kuning memiliki luasan yang besar sehingga berpotensi menyebabkan *glare*.

Pada bagian tengah bangunan menunjukkan warna biru yang berarti nilai pencahayaan berada di bawah 100 lux. Bagian berwarna biru tersebut merupakan lorong yang peruntukkannya hanya digunakan sebagai akses atau jalan menuju ruangan lainnya sehingga tidak memerlukan pencahayaan yang besar seperti pada ruang kelas.

Pada ruang 4, 5 dan ruang belajar mandiri warna merah tua dan ungu menunjukkan ruangan bagian dalam memiliki pencahayaan di bawah 185 lux. Bagian kuning di dekat jendela menunjukkan pencahayaan di atas 400 lux. Berdasarkan Gambar 4.14 dapat dilihat bahwa keseluruhan ruangan memiliki pencahayaan yang kurang merata sehingga ada bagian yang membutuhkan bantuan pencahayaan buatan untuk meningkatkan kenyamanan visual, terutama pada spot yang jauh dari jendela.

Lantai 6 berada pada elevasi +19.00 dari permukaan tanah dan digunakan sebagai ruang pertemuan dan prasmanan. Pada lantai 6 obstruksi dari vegetasi sudah tidak mempengaruhi pencahayaan, namun obstruksi dari bangunan tinggi lainnya sedikit banyak

masih berpengaruh terhadap pencahayaan ruangan. Gambar 4.15 menunjukkan hasil simulasi pencahayaan pada lantai 6.



Gambar 4.15 Simulasi pencahayaan lantai 6

Hasil simulasi lantai 6 menunjukkan terjadinya peningkatan pencahayaan dengan sedikit zona berwarna biru. Pada spot didepan jendela yang mengarah ke timur laut warna kuning lebih banyak daripada spot barat daya, menunjukkan kisaran cahaya di atas 450 lux. Pada bagian tepi setelah cahaya kuning indikator cahaya menunjukkan warna orange muda dengan nilai lux berkisar 365-400 lux. Pada ruang pertemuan ini rerata pencahayaan ruangan dapat mencapai di atas 400 lux sehingga tidak memenuhi kenyamanan visual pengguna.

Pada Ruang prasmanan bagian dekat jendela menunjukkan warna kuning dengan kisaran cahaya di atas 450 lux. Pada bagian dalam menunjukkan spot berwarna keunguan dimana artinya cahaya tersebar tidak merata, spot tersebut memiliki besar pencahayaan 100-150 lux.

Dalam validasi simulasi pencahayaan dibutuhkan pengukuran lapangan untuk mengetahui ketepatan pemodelan dan hasil simulasi. Pengukuran lapangan dilakukan terhadap beberapa zona, terutama zona yang berkaitan dengan proses belajar mengajar maupun ruang kerja seperti ruang kelas maupun ruang dosen. Tabel 4.7 menyajikan hasil pengukuran pencahayaan ruangan beberapa zona terpilih.

Tabel 4.7 Pencahayaan Ruang Beberapa Zona Terpilih

No	Ruang	Lantai	Orientasi bukaan ruangan	Pencahayaan Alami Ruang (Lux)			
				Pagi 08.00	Siang 12.00	Sore 16.00	Rerata
1	Sidang	2	Timur laut	238	189	165	197
2	Kelas 2	3	Timur laut	952	585	394	643
3	Kelas 3	3	Timur laut	1052	462	472	662
4	Kelas 4	3	Barat Daya	93	106	85	95
5	Kelas 5	3	Barat Daya	33	84	57	58
6	Pengajaran	3	Barat-Barat Daya	1101	2805	1243	1716
7	Ruang Dosen 1	4	Barat Laut	491	815	258	521
8	Ruang Dosen 2	4	Barat	762	1077	1060	966
9	Ruang Dosen 3	4	Timur laut	1071	1087	938	1032
10	Ruang Dosen 4	4	Timur laut	899	1020	760	893
11	Ruang Dosen 5	4	Timur laut	777	1377	946	1033
12	Ruang Dosen 6	4	Timur laut	1120	1630	960	1237
13	Ruang Dosen 7	4	Timur laut	1008	1319	958	1095
14	Ruang Dosen 9	4	Barat Daya	171	278	331	260
15	Ruang Dosen 10	4	Barat Daya	189	292	345	275
16	Kelas 2	5	Timur Laut	747	917	641	768
17	Kelas 3	5	Timur Laut	761	950	661	791
18	Kelas 4	5	Barat Daya	178	318	316	270

Sumber : Hasil survey

Berdasarkan hasil pengukuran lapangan, output dari simulasi Ecotect sesuai dengan pengukuran lapangan. Hasil pengukuran menunjukkan bahwa pencahayaan pada bangunan tidak merata. Ruang – ruangan dengan orientasi bukaan menghadap pada timur laut cenderung memiliki pencahayaan yang melebihi standar pencahayaan ruangan, sebaliknya, ruangan – ruangan yang memiliki bukaan dengan orientasi barat daya cenderung memiliki pencahayaan yang kurang dari standar.

Dalam penentuan apakah suatu ruangan telah memenuhi standar pencahayaan tentunya harus melibatkan parameter pencahayaan. Berdasarkan Tabel 2.4 yang ditunjukkan pada Bab 2 sebelumnya, nilai lux untuk ruang kelas adalah 250 lux sedangkan untuk perpustakaan adalah 300 lux. Dengan mempertimbangkan bahwa ruang kelas tidak hanya digunakan untuk proses belajar mengajar aktif dengan berkomunikasi langsung namun juga digunakan untuk membaca dan menulis maka standar pencahayaan yang digunakan pada penelitian ini adalah 250 lux-300 lux untuk seluruh ruangan. Tabel 4.8 di bawah menunjukkan perbandingan pengukuran pencahayaan lapangan, hasil simulasi dan nilai SNI.

Tabel 4.8 Perbandingan Hasil Pengukuran, Simulasi Dan SNI

No	Ruang	Lt	Pengukuran Lapangan (Lux)	Simulasi Ecotect (Lux)	Selisih (Lux)	Prosentase selisih	Standar Pencahayaan SNI (Lux)	Selisih dg Standar	Prosentase terhadap standar	Keterangan
1	Sidang	2	197	240	-43	-22%	250 - 300	-53	-21%	Kurang
2	Kelas 2	3	643	592	51	8%	250 - 300	393	131%	Melebihi
3	Kelas 3	3	662	608	54	8%	250 - 300	412	137%	Melebihi
4	Kelas 4	3	95	120	-25	-27%	250 - 300	-155	-62%	Kurang
5	Kelas 5	3	58	63	-5	-9%	250 - 300	-192	-77%	Kurang
6	Pengajaran	3	1716	1350	366	21%	250 - 300	1466	489%	Melebihi
7	Ruang Dosen 1	4	521	563	-42	-8%	250 - 300	271	90%	Melebihi
8	Ruang Dosen 2	4	966	840	126	13%	250 - 300	716	239%	Melebihi
9	Ruang Dosen 3	4	1032	922	110	11%	250 - 300	782	261%	Melebihi
10	Ruang Dosen 4	4	893	752	141	16%	250 - 300	643	214%	Melebihi
11	Ruang Dosen 5	4	1033	846	187	18%	250 - 300	783	261%	Melebihi
12	Ruang Dosen 6	4	1237	1028	209	17%	250 - 300	987	329%	Melebihi
13	Ruang Dosen 7	4	1095	924	171	16%	250 - 300	845	282%	Melebihi
14	Ruang Dosen 9	4	260	315	-55	-21%	250 - 300	-	-	Memenuhi
15	Ruang Dosen 10	4	275	321	-46	-17%	250 - 300	-	-	Memenuhi
16	Kelas 2	5	768	629	139	18%	250 - 300	468	156%	Melebihi
17	Kelas 3	5	791	659	132	17%	250 - 300	491	164%	Melebihi
18	Kelas 4	5	270	301	-31	-11%	250 - 300	-	-	Memenuhi

Sumber : Hasil survey dan simulasi

Pada Tabel 4.8 di atas memperlihatkan adanya selisih antara hasil pengukuran lapangan dan simulasi Ecotect, baik lebih tinggi maupun lebih rendah. Perbedaan nilai pencahayaan ini salah satunya disebabkan karena keterbatasan dalam memodelkan detail lingkungan di sekitar bangunan. Banyaknya vegetasi dan bangunan lainnya yang menjadi obstruksi tidak dapat digambarkan secara rinci sehingga berpengaruh pula terhadap hasil simulasi. Namun, sejalan dengan hasil pengukuran lapangan, hasil simulasi yang disajikan pada tabel di atas dapat memberikan gambaran terhadap kondisi gedung secara umum yakni pada sisi timur laut memiliki pencahayaan ruangan yang melebihi standar, kecuali pada ruangan di lantai 2 dan pada sisi barat daya memiliki nilai pencahayaan yang kurang pada lantai 2 dan 3 serta cenderung cukup pada lantai selanjutnya.

4.5.2. Analisis Termal Gedung

Analisis termal gedung dilakukan untuk mengetahui kenyamanan termal dalam gedung, dimana pada penelitian ini dikhususkan pada temperatur dalam ruangan. Untuk mendapatkan data eksisting kondisi termal gedung, dilakukan pengukuran terhadap beberapa zona. Pengukuran dilakukan setiap jam selama 8 jam yakni mulai pukul 08.00 WIB – 16.00 WIB. Adapun yang menjadi zona pengukuran termal adalah :

1. Ruang sidang lantai 2
2. Ruang kelas 2 dan 4 lantai 3

3. Ruang kelas 2 dan 4 lantai 5

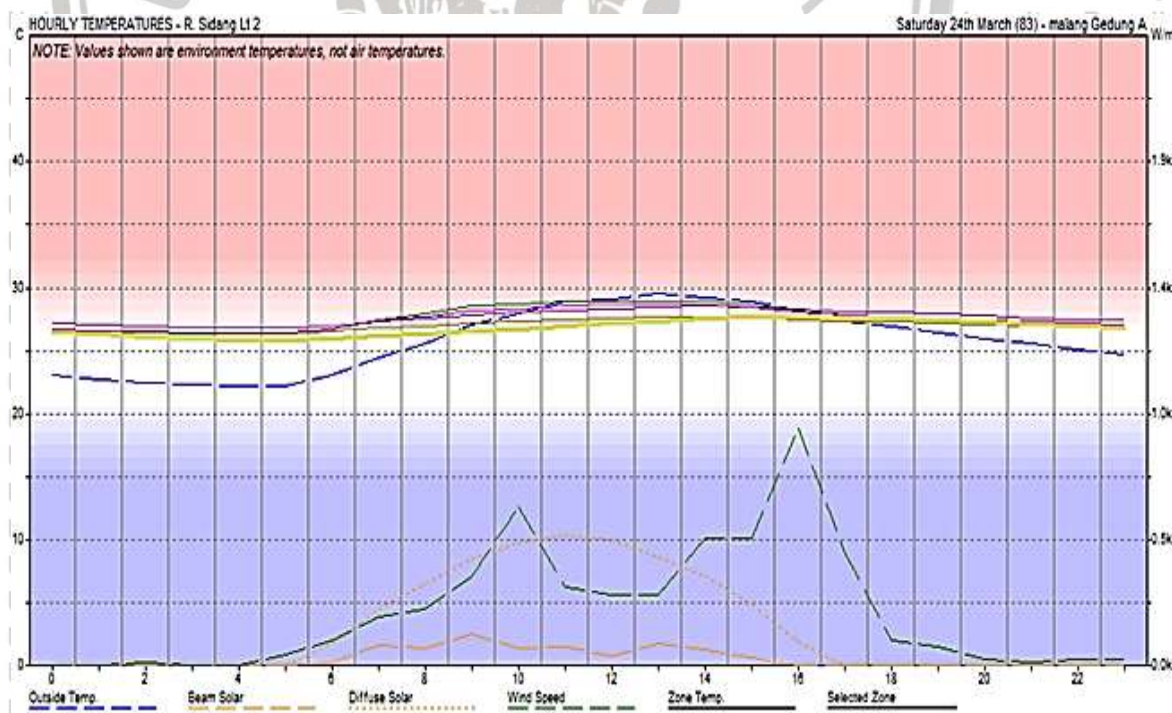
Pada penelitian ini selain dilakukan simulasi terhadap profil temperatur pada beberapa zona terpilih, juga dilakukan simulasi terhadap profil energi termal pada selubung bangunan (fasad). Adapun beberapa profil energi termal yang menjadi output penelitian adalah *hourly temperature profil*, *fabric gains*, *indirect solar gains*, *passive gains breakdown*, *internal gains* dan *interzonal gains*.

4.5.2.1. Profil Temperatur Perjam Zona Terpilih

Profil temperatur perjam (*Hourly Temperatur Profile*) ialah hasil simulasi Ecotect yang berupa gambaran temperatur ruangan dalam 24 jam. Profil temperatur yang didapat dari simulasi ini adalah profil udara di dalam dan diluar ruangan. Profil temperatur ini dapat digunakan sebagai parameter untuk mengetahui tingkat kenyamanan termal pada zona-zona di dalam gedung dengan membandingkannya terhadap SNI.

1. Ruang Sidang Lantai 2

Pada penelitian ini simulasi *hourly temperature* dilakukan terhadap beberapa zona terpilih, salah satunya adalah ruang sidang pada lantai 2 yang berorientasi ke arah timur laut. Gambar 4.16 berikut merupakan grafik temperatur pada ruang sidang.



Gambar 4.16 Grafik temperatur ruang sidang lantai 2

Pada grafik di atas zona berwarna putih merupakan zona nyaman yakni pada temperatur udara berkisar antara $20,5^{\circ}\text{C}$ – $27,1^{\circ}\text{C}$. Berdasarkan grafik terlihat bahwa

temperatur tertinggi terjadi pada siang hari dan mulai memasuki zona tidak nyaman setelah pukul 12.00. Tabel 4.9 di bawah menyajikan profil temperatur perjam selama 24 jam pada ruang sidang.

Tabel 4.9 Profil Temperatur Ruang Sidang

HOUR	INSIDE (C)	OUTSIDE (C)	TEMP.DIF (C)
0:00	26.4	23.1	3.3
1:00	26.3	22.7	3.6
2:00	26.1	22.5	3.6
3:00	26.0	22.3	3.7
4:00	25.9	22.2	3.7
5:00	25.8	22.2	3.6
6:00	25.9	23.1	2.8
7:00	26.2	24.5	1.7
8:00	26.4	25.6	0.8
9:00	26.6	27.1	-0.5
10:00	26.7	28.0	-1.3
11:00	26.9	28.9	-2.0
12:00	27.2	29.1	-1.9
13:00	27.4	29.6	-2.2
14:00	27.6	29.2	-1.6
15:00	27.7	28.9	-1.2
16:00	27.7	28.2	-0.5
17:00	27.6	27.3	0.3
18:00	27.6	26.9	0.7
19:00	27.5	26.5	1.0
20:00	27.3	26.0	1.3
21:00	27.1	25.6	1.5
22:00	26.9	25.1	1.8
23:00	26.8	24.7	2.1

Sumber : Hasil simulasi Ecotect

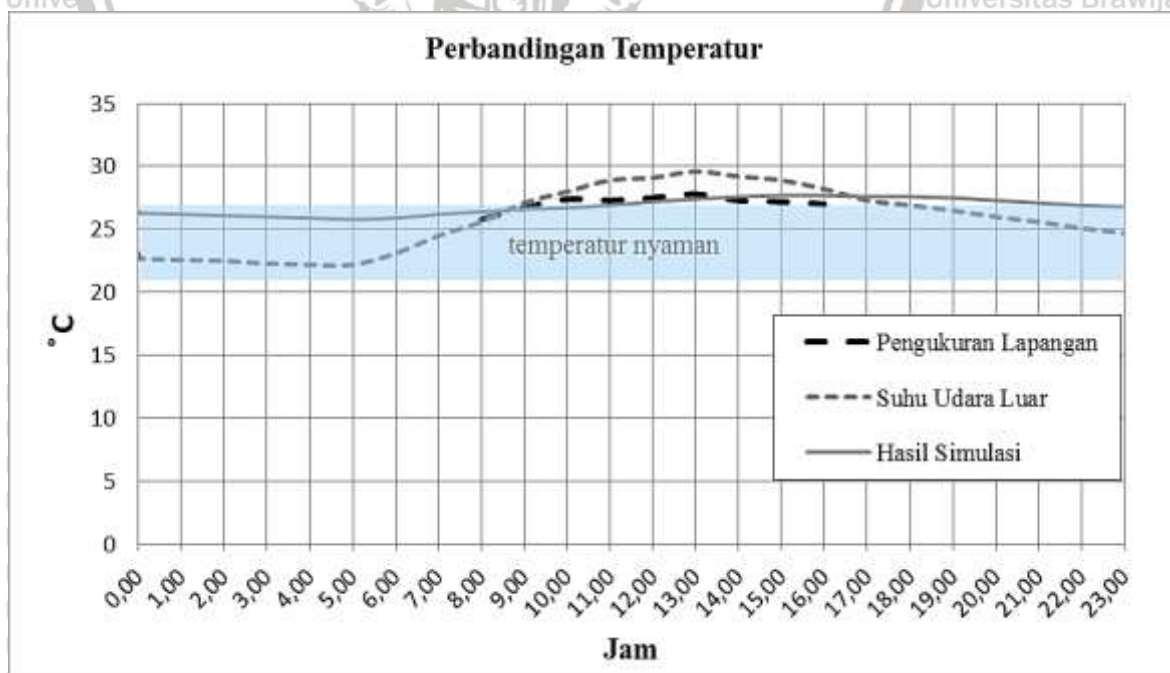
Pada profil simulasi temperatur ruang sidang di atas dapat diketahui bahwa pada pukul 12.00 temperatur mulai naik hingga melebihi standar kenyamanan termal dan terus meningkat hingga pukul 16.00. Pada pukul 17.00 temperatur kembali turun hingga pukul 05.00. Sama halnya dengan hasil simulasi, pengukuran lapangan menunjukkan bahwa pada siang hari kondisi termal di ruangan tidak memenuhi kenyamanan termal karena temperatur yang terlalu tinggi. Perbandingan profil temperatur simulasi dan pengukuran lapangan perjam pada ruang sidang dapat diamati melalui Tabel 4.10.

Tabel 4.10 Perbandingan Temperatur Standar, Pengukuran dan Simulasi Ruang Sidang

Jam	Orientasi	Temperatur Pengukuran °C	Temperatur Simulasi °C	Selisih °C	Temperatur Standar °C	Selisih dg standar °C	Prosentase %	Ket
8:00		25,8	26,4	-0,6	20,5 - 27,1	-	-	Memenuhi
9:00		26,7	26,6	0,1	20,5 - 27,1	-	-	Memenuhi
10:00		27,4	26,7	0,7	20,5 - 27,1	0,30	1,11	Melebihi
11:00	Timur Laut	27,3	26,9	0,4	20,5 - 27,1	0,20	0,74	Melebihi
12:00		27,5	27,2	0,3	20,5 - 27,1	0,40	1,48	Melebihi
13:00		27,8	27,4	0,4	20,5 - 27,1	0,70	2,58	Melebihi
14:00		27,3	27,6	-0,3	20,5 - 27,1	0,20	0,74	Melebihi
15:00		27,2	27,7	-0,5	20,5 - 27,1	0,10	0,37	Melebihi
16:00		27,0	27,7	-0,7	20,5 - 27,1	-	-	Memenuhi

Sumber : Hasil pengukuran dan simulasi

Mengacu pada Tabel 4.10 di atas menunjukkan bahwa pada jam 10.00 ruangan mulai tidak nyaman karena temperatur melebihi standar kenyamanan yaitu lebih dari 27,1°C. Profil temperatur yang dihasilkan dalam simulasi Ecotect cenderung lebih rendah dari pada profil pengukuran di lapangan. Pada hasil simulasi, temperatur tertinggi adalah 27,7°C yang berlangsung pukul 15.00 sampai 16.00 sedangkan pada hasil pengukuran lapangan temperatur tertinggi adalah 27,8°C yang terjadi pukul 13.00. Kendati demikian, hasil simulasi menunjukkan nilai yang tidak jauh berbeda. Perbedaan nilai simulasi dan hasil pengukuran untuk keseluruhan temperatur perjam kurang dari 1°C. Perbandingan hasil pengukuran dan simulasi dapat diperhatikan pada Gambar 4.17 di bawah.

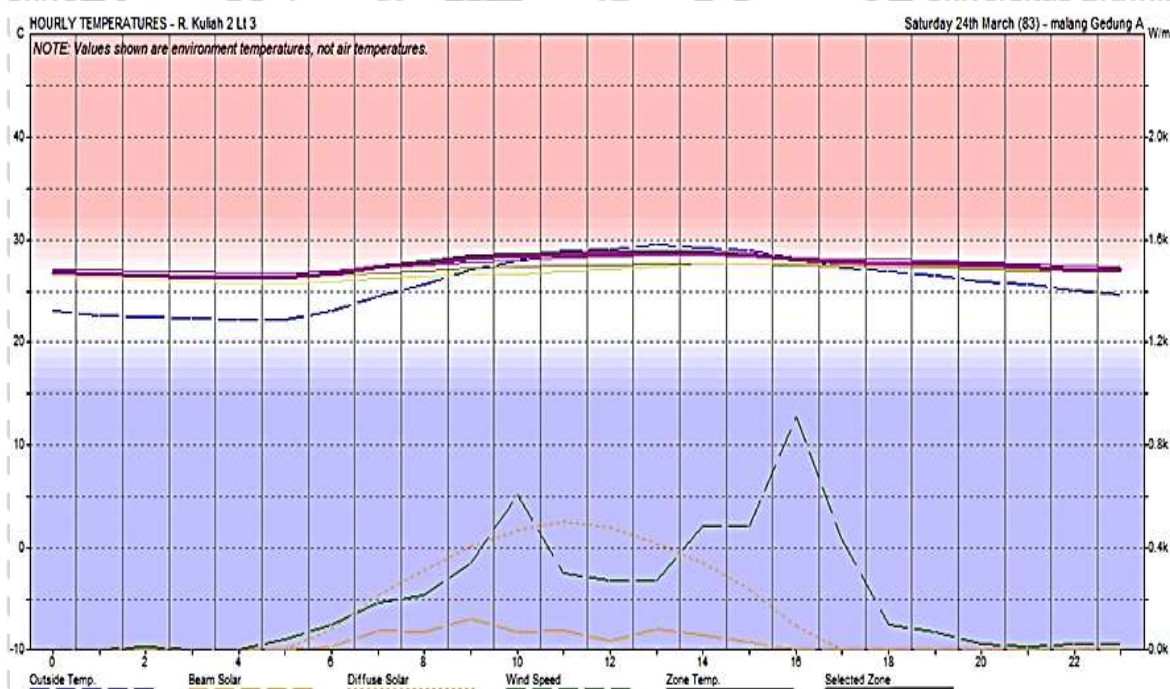


Gambar 4.17. Perbandingan hasil pengukuran dan simulasi ruang sidang

Berdasarkan Gambar 4.17 di atas terlihat grafik temperatur simulasi dan pengukuran lapangan yang berhimpit, dimana menandakan terdapat perbedaan nilai diantara keduanya namun perbedaannya tidak terlalu besar. Suhu udara luar menunjukkan perbedaan yang cukup besar pada siang ataupun malam hari, dimana pada malam hari suhu udara luar lebih rendah dan saat siang hari suhu udara di luar lebih tinggi dibandingkan dengan kondisi di dalam bangunan.

2. Ruang Kelas 2 Lantai 3

Simulasi temperatur dilakukan pada ruang kelas 2 lantai 3 karena ruang kelas ini berorientasi ke arah timur laut dan letaknya diantara 2 kelas lainnya, sehingga 2 kelas lain dengan orientasi yang sama dapat diasumsikan memiliki temperatur yang tidak jauh berbeda. Dengan kondisi pencahayaan yang cukup besar dan melebihi standar pada bahasan sebelumnya, ternyata berbanding lurus terhadap besarnya temperatur pada ruangan ini. Hasil simulasi kondisi termal ruang kelas 2 lantai 3 dapat diamati melalui Gambar 4.18 berikut.



Gambar 4.18 Profil temperatur ruang kelas 2 lantai 3

Berdasarkan grafik di atas temperatur mulai mengalami peningkatan pada pukul 05.00 dan mencapai puncak pukul 13.00 hingga 15.00 serta mengalami penurunan sekitar pukul 16.00. Pada sekitar pukul 07.00 hingga pukul 21.00 temperatur berada pada zona merah artinya melebihi batas kenyamanan termal. Tabel 4.11 menunjukkan Profil temperatur perjam ruang kelas 2 lantai 3.

Tabel 4.11 Profil Temperatur Ruang Kelas 2 Lantai 3

HOUR	INSIDE (C)	OUTSIDE (C)	TEMP.DIF (C)
0:00	26.7	23.1	3.6
1:00	26.6	22.7	3.9
2:00	26.5	22.5	4.0
3:00	26.4	22.3	4.1
4:00	26.4	22.2	4.2
5:00	26.4	22.2	4.2
6:00	26.7	23.1	3.6
7:00	27.4	24.5	2.9
8:00	27.7	25.6	2.1
9:00	28.3	27.1	1.2
10:00	28.3	28.0	0.3
11:00	28.6	28.9	-0.3
12:00	28.6	29.1	-0.5
13:00	28.7	29.6	-0.9
14:00	28.7	29.2	-0.5
15:00	28.5	28.9	-0.4
16:00	28.1	28.2	-0.1
17:00	27.8	27.3	0.5
18:00	27.8	26.9	0.9
19:00	27.6	26.5	1.1
20:00	27.5	26.0	1.5
21:00	27.3	25.6	1.7
22:00	27.2	25.1	2.1
23:00	27.1	24.7	2.4

Sumber : Hasil simulasi

Merujuk pada Tabel 4.11 terlihat pada pagi hari pukul 07.00 temperatur ruangan menunjukkan nilai 27,4°C dan terus meningkat hingga pukul 16.00. Temperatur tertinggi pada ruangan adalah 28,7°C yang terjadi sepanjang pukul 13.00 hingga 14.00. Temperatur ruangan mulai mengalami penurunan pada jam 16.00 hingga malam hari.

Pengukuran temperatur lapangan memiliki nilai yang bervariasi, baik lebih rendah maupun lebih tinggi dari hasil simulasi temperatur pada Ecotect. Pada pengukuran lapangan, temperatur tertinggi sebesar 28,8°C yang terjadi pada jam 12.00. Perbandingan hasil pengukuran dan simulasi temperatur ruang kelas 2 lantai 3 ditunjukkan oleh Tabel 4.12 berikut.

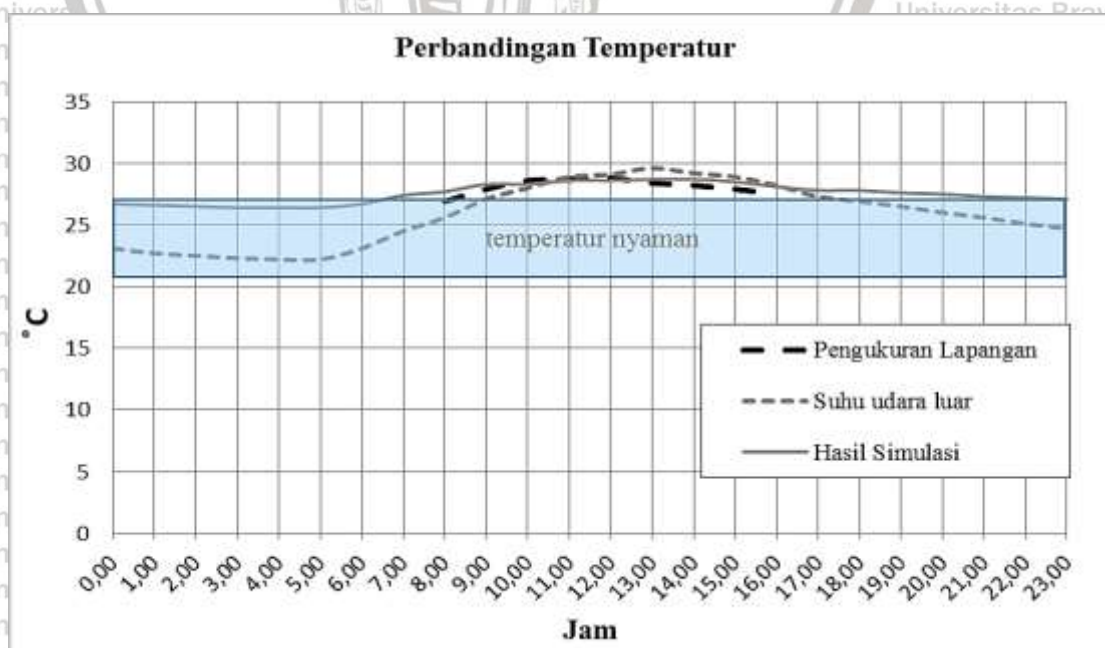
Tabel 4.12 Perbandingan Temperatur Standar, Pengukuran dan Simulasi Kelas 2 Lantai 3

Jam	Orientalasi	Temperatur Pengukuran °C	Temperatur Simulasi °C	Selisih °C	Temperatur Standar °C	Selisih dg standar °C	Prosentase %	Ket
8:00		26,9	27,7	-0,8	20,5 - 27,1	-	-	Memenuhi
9:00		27,9	28,3	-0,4	20,5 - 27,1	0,80	2,95	Melebihi
10:00		28,6	28,3	0,3	20,5 - 27,1	1,50	5,54	Melebihi
11:00	Timur Laut	28,7	28,6	0,1	20,5 - 27,1	1,60	5,90	Melebihi
12:00		28,8	28,6	0,2	20,5 - 27,1	1,70	6,27	Melebihi
13:00		28,4	28,7	-0,3	20,5 - 27,1	1,30	4,80	Melebihi
14:00		28,2	28,7	-0,5	20,5 - 27,1	1,10	4,06	Melebihi
15:00		27,9	28,5	-0,6	20,5 - 27,1	0,80	2,95	Melebihi
16:00		27,5	28,1	-0,6	20,5 - 27,1	0,40	1,48	Melebihi

Sumber : Hasil pengukuran

Tabel 4.12 menunjukkan bahwa pada jam 09.00 hingga sore hari ruangan mulai tidak nyaman karena temperatur melebihi standar kenyamanan yaitu lebih dari 27,1°C. Pada pukul 14.00 temperatur udara dalam ruangan mengalami penurunan, namun masih melebihi standar kenyamanan termal.

Profil yang dihasilkan dalam simulasi Ecotect lebih tinggi pada pagi dan sore hari dibandingkan dengan hasil pengukuran lapangan. Temperatur tertinggi pada hasil simulasi adalah 28,8°C yang terjadi pukul 12.00 atau lebih tinggi 0,1°C dibandingkan nilai Ecotect yaitu 28,7°C yang terjadi pukul 13.00-14.00, kendati demikian hasil simulasi menunjukkan nilai yang tidak jauh berbeda. Grafik perbandingan hasil pengukuran dan simulasi dapat dicermati melalui Gambar 4.19.

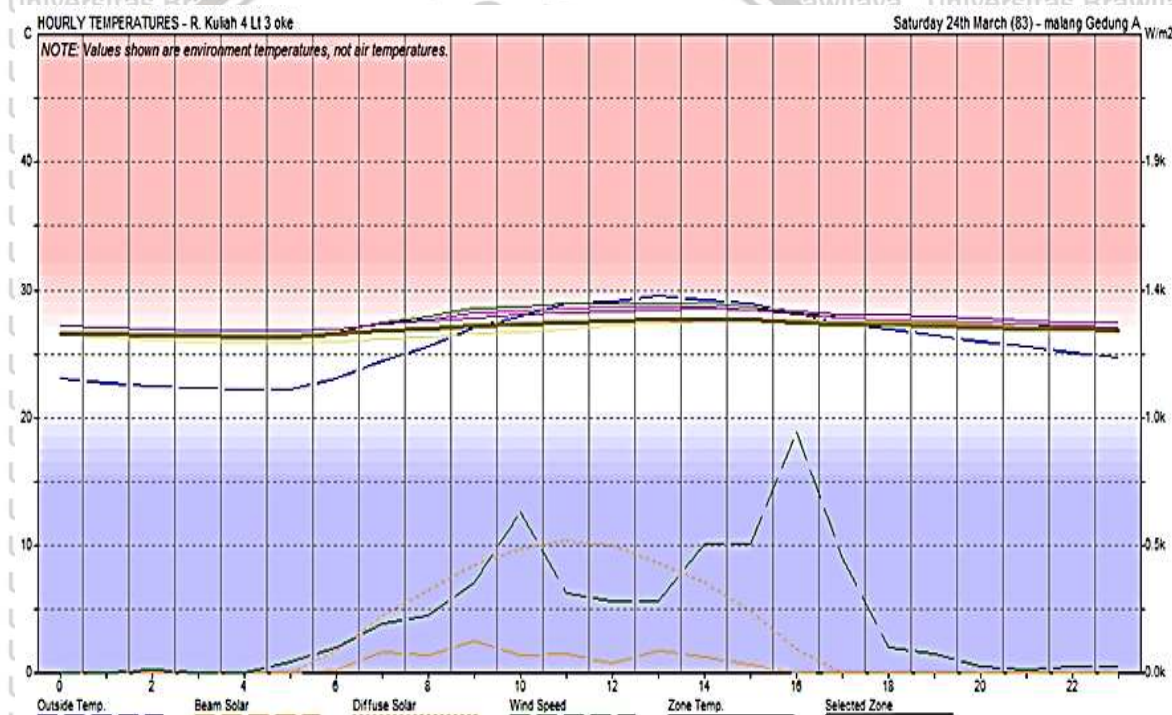


Gambar 4.19 Perbandingan hasil pengukuran dan simulasi ruang kelas 2 lantai 3

Berdasarkan Gambar 4.19 di atas terlihat grafik hasil pengukuran lapangan dan hasil simulasi Ecotect yang berhimpit menandakan memiliki nilai temperatur dengan perbedaan yang tidak terlalu besar. Grafik suhu udara luar menunjukkan perbedaan yang cukup besar pada malam hari dengan kondisi temperatur dalam ruangan lebih hangat, sedangkan pada siang hari kondisi udara di dalam dan di luar ruangan mengalami perbedaan suhu yang tidak terlalu besar.

3. Ruang Kelas 4 Lantai 3

Simulasi temperatur dilakukan pada ruang kelas 4 lantai 3, dimana ruangan ini berorientasi ke arah barat daya dan terletak pada posisi berhadapan dengan ruang kelas 2 lantai 3. Pemilihan zona ini untuk mengetahui perbedaan temperatur antar zona yang berlawanan arah orientasinya. Hasil simulasi ruang kelas 4 lantai 3 ditunjukkan oleh Gambar 4.20.



Gambar 4.20 Profil temperatur Ruang Kelas 4 Lantai 3

Berdasarkan hasil simulasi di atas terlihat kenaikan temperatur terjadi pada pagi hari dan terus meningkat hingga siang hari. Sebagian grafik temperatur berada pada zona merah pada siang hari yang mengindikasikan temperatur melebihi standar kenyamanan termal ruangan. Untuk mengetahui nilai temperatur simulasi perjam dapat mengamati Tabel 4.13.

Tabel 4.13 Profil Temperatur Ruang Kelas 4 Lantai 3

HOUR	INSIDE (C)	OUTSID (C)	TEMP.DIF (C)
-----	-----	-----	-----
0:00	26.6	23.1	3.5
1:00	26.6	22.7	3.9
2:00	26.5	22.5	4.0
3:00	26.4	22.3	4.1
4:00	26.4	22.2	4.2
5:00	26.4	22.2	4.2
6:00	26.5	23.1	3.4
7:00	26.8	24.5	2.3
8:00	27.0	25.6	1.4
9:00	27.2	27.1	0.1
10:00	27.3	28.0	-0.7
11:00	27.5	28.9	-1.4
12:00	27.6	29.1	-1.5
13:00	27.7	29.6	-1.9
14:00	27.7	29.2	-1.5
15:00	27.7	28.9	-1.2
16:00	27.5	28.2	-0.7
17:00	27.3	27.3	0.0
18:00	27.3	26.9	0.4
19:00	27.2	26.5	0.7
20:00	27.1	26.0	1.1
21:00	27.0	25.6	1.4
22:00	26.9	25.1	1.8
23:00	26.9	24.7	2.2

Sumber : Hasil simulasi Ecotect

Berdasarkan hasil pengukuran lapangan pada pukul 08.00 – 16.00 temperatur ruangan pada ruang kelas 4 lantai 3 lebih tinggi dari hasil simulasi. Pada hasil simulasi temperatur tertinggi adalah $27,7^{\circ}\text{C}$ yang terjadi pada pukul 13.00 – 15.00 sedangkan pada pengukuran lapangan temperatur puncak terjadi pada jam 13.00 yakni pada suhu $27,1^{\circ}\text{C}$.

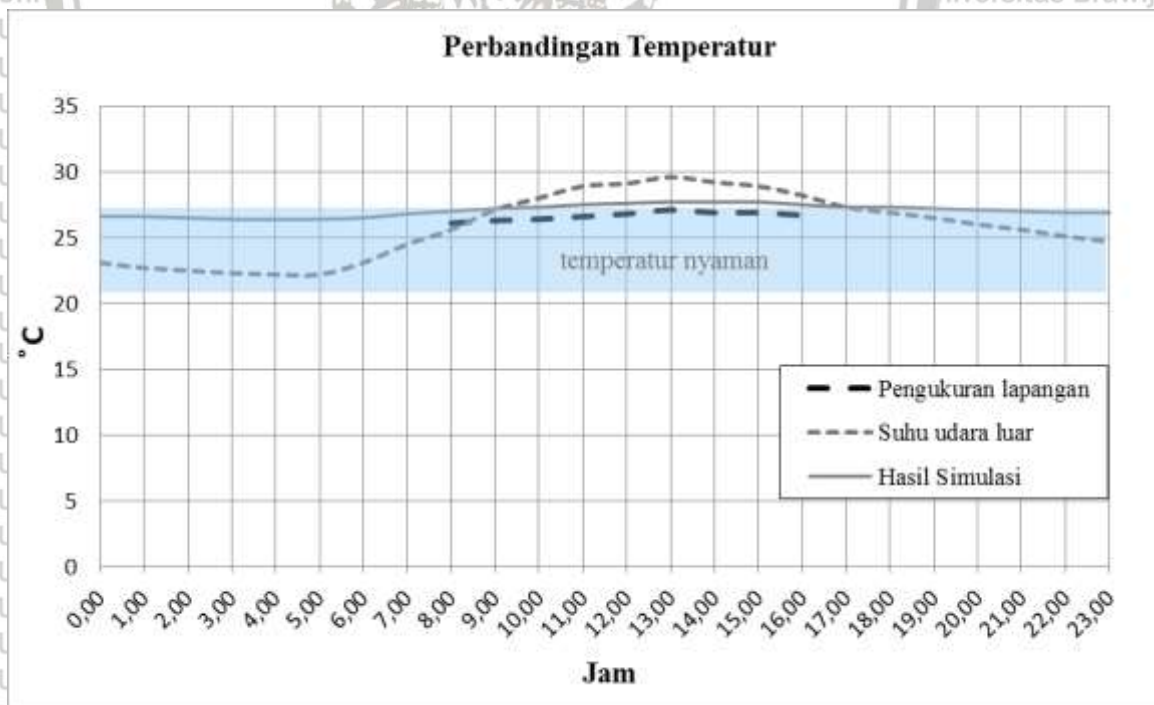
Untuk mengetahui kondisi termal dalam ruangan maka perlu dilakukan pula perbandingan kondisi temperatur ruangan dengan standar temperatur nyaman ruangan. Tabel 4.14 berikut menunjukkan perbandingan anatar standar temperatur, temperatur hasil pengukuran lapangan dan temperatur hasil simulasi ruang kelas 4 lantai 3.

Tabel 4.14 Perbandingan Temperatur Standar, Pengukuran dan Simulasi Kelas 4 Lantai 3

Jam	Orientasi	Temperatur Pengukuran °C	Temperatur Simulasi °C	Selisih °C	Temperatur Standar °C	Selisih dg standar °C	Prosentase %	Ket
8:00	Barat Daya	26,1	27,0	-0,9	20,5 - 27,1	-	-	Memenuhi
9:00		26,3	27,2	-0,9	20,5 - 27,1	-	-	Memenuhi
10:00		26,4	27,3	-0,9	20,5 - 27,1	-	-	Memenuhi
11:00		26,6	27,5	-0,9	20,5 - 27,1	-	-	Memenuhi
12:00		26,8	27,6	-0,8	20,5 - 27,1	-	-	Memenuhi
13:00		27,1	27,7	-0,6	20,5 - 27,1	-	-	Memenuhi
14:00		26,9	27,7	-0,8	20,5 - 27,1	-	-	Memenuhi
15:00		26,9	27,7	-0,8	20,5 - 27,1	-	-	Memenuhi
16:00		26,7	27,5	-0,8	20,5 - 27,1	-	-	Memenuhi

Sumber : Hasil Pengukuran

Profil temperatur yang diperoleh dari simulasi Ecotect pada ruang kelas 4 memiliki nilai yang lebih tinggi daripada hasil pengukuran. Kendati perbedaan nilai simulasi dan temperatur lapangan tidak lebih dari 1°C namun karena nilainya berada pada ambang batas standar sehingga terjadi perbedaan kondisi. Pada kondisi riil ruang kelas 4 lantai 3 memiliki kondisi termal yang nyaman karena temperatur masih dalam batas kenyamanan sedangkan pada hasil simulasi menunjukkan hal yang sebaliknya. Gambar 4.21 menunjukkan perbandingan temperatur simulasi dan pengukuran.



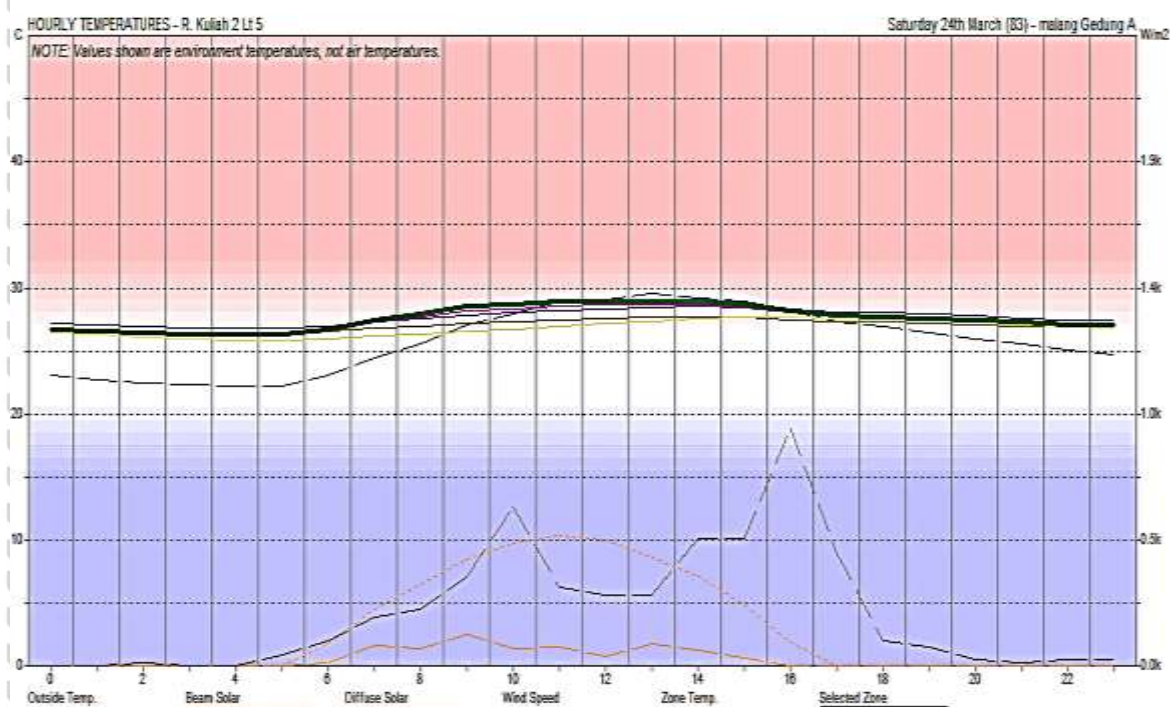
Gambar 4.21 Perbandingan hasil pengukuran dan simulasi kelas 4 lantai 3

Berdasarkan Gambar 4.21 di atas terlihat perbedaan antara pengukuran lapangan dan hasil simulasi dimana nilai temperatur pengukuran lapangan lebih kecil daripada hasil

simulasi. Hal ini terjadi karena pada bagian barat daya gedung berbatasan dengan cukup banyak vegetasi dengan kanopi yang rimbun yang dapat berpengaruh pula terhadap temperatur di sekitarnya, sementara untuk material pohon tidak bisa dimodelkan secara tepat pada *software* Ecotect sehingga terjadi perbedaan hasil pengukuran dan hasil simulasi.

4. Ruang Kelas 2 Lantai 5

Simulasi temperatur dilakukan pada ruang kelas 2 lantai 5 yang tipikal dengan ruang kelas 2 lantai 3 dengan tujuan untuk mengetahui perbedaan temperatur apabila zona yang berada pada posisi yang lebih tinggi dengan menghadap orientasi yang sama. Pada bahasan sebelumnya diketahui ruang kelas 2 lantai 5 memiliki pencahayaan yang sangat besar dan melebihi standar kenyamanan, ternyata hal ini berbanding lurus dengan kondisi termalnya. Ruang kelas 2 lantai 5 memiliki temperatur termal yang melebihi standar kenyamanan. Gambar 4.22 menggambarkan hasil simulasi termal ruang kelas 2 lantai 5.



Gambar 4.22 Profil temperatur ruang kelas 2 lantai 5

Berdasarkan grafik temperatur, kenaikan suhu ruang kelas 2 terjadi pada pagi hingga siang hari, sementara sore temperatur ruangan mulai menurun. Grafik temperatur ruangan pada siang hari sebagian besar berada pada zona merah yang mengindikasikan kenyamanan termal tidak terpenuhi. Profil temperatur ruang kelas 2 perjam ditunjukkan pada Tabel 4.15 berikut.

Tabel 4.15 Profil Temperatur Ruang Kelas 2 Lantai 5

HOUR	INSIDE (C)	OUTSIDE (C)	TEMP.DIF (C)
0	26.7	23.1	3.6
1	26.6	22.7	3.9
2	26.5	22.5	4
3	26.4	22.3	4.1
4	26.4	22.2	4.2
5	26.4	22.2	4.2
6	26.7	23.1	3.6
7	27.5	24.5	3
8	27.9	25.6	2.3
9	28.5	27.1	1.4
10	28.6	28	0.6
11	28.9	28.9	0
12	29	29.1	-0.1
13	29	29.6	-0.6
14	29	29.2	-0.3
15	28.7	28.9	-0.2
16	28.3	28.2	0.1
17	27.9	27.3	0.6
18	27.8	26.9	0.9
19	27.6	26.5	1.1
20	27.5	26	1.5
21	27.3	25.6	1.7
22	27.1	25.1	2
23	27.1	24.7	2.4

Sumber : Hasil simulasi

Berdasarkan tabel simulasi profil temperatur perjam terlihat ruang kelas 2 lantai 5 memiliki temperatur rata-rata yang lebih tinggi dari standar. Pada pukul 07.00 temperatur pada ruangan ini menunjukkan nilai $27,9^{\circ}\text{C}$ dimana artinya sudah melebihi standar kenyamanan termal. Semakin siang temperatur terus mengalami peningkatan mencapai temperatur puncak yaitu 29°C pada pukul 12.00 hingga pukul 14.00. Selepas pukul 14.00 temperatur ruangan mulai turun hingga pada temperatur $26,7^{\circ}\text{C}$ pada pukul 24.00.

Hasil pengukuran lapangan pada ruang kelas 2 lantai 5 menunjukkan rata-rata temperatur pada pukul 08.00-16.00 memiliki nilai yang lebih tinggi dari standar kenyamanan ruang. Peningkatan temperatur pada ruangan ini terbilang cukup cepat karena pengaruh radiasi matahari secara langsung. Tabel 4.16 menunjukkan perbandingan antara standar temperatur, temperatur hasil pengukuran dan temperatur hasil simulasi ruang kelas 2 lantai 5.

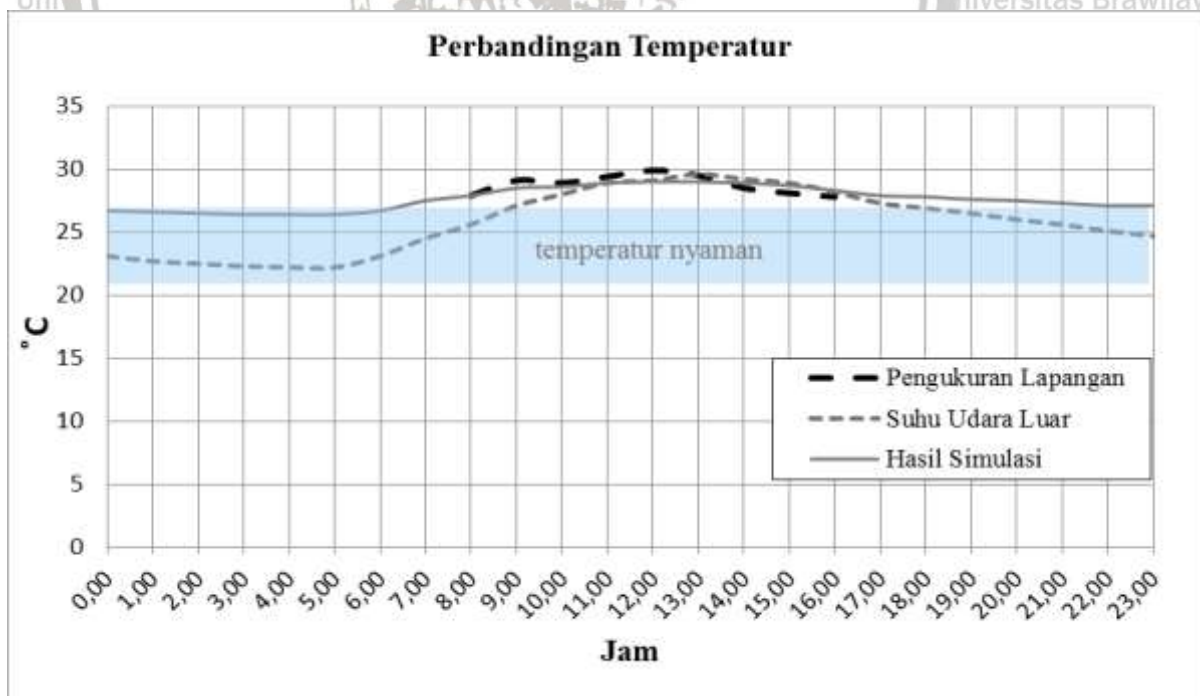
Tabel 4.16 Perbandingan Temperatur Standar, Pengukuran dan Simulasi Kelas 2 Lantai 5

Jam	Orientasi	Temperatur Pengukuran °C	Temperatur Simulasi °C	Selisih °C	Temperatur Standar °C	Selisih dg standar °C	Prosentase %	Ket
8:00		27,9	27,9	0,0	20,5 - 27,1	0,80	2,95	Melebihi
9:00		29,1	28,5	0,6	20,5 - 27,1	2,00	7,38	Melebihi
10:00		28,9	28,6	0,3	20,5 - 27,1	1,80	6,64	Melebihi
11:00	Timur Laut	29,4	28,9	0,5	20,5 - 27,1	2,30	8,49	Melebihi
12:00		29,9	29,0	0,9	20,5 - 27,1	2,80	10,33	Melebihi
13:00		29,5	29,0	0,5	20,5 - 27,1	2,40	8,86	Melebihi
14:00		28,5	28,9	-0,4	20,5 - 27,1	1,40	5,17	Melebihi
15:00		28,1	28,7	-0,6	20,5 - 27,1	1,00	3,69	Melebihi
16:00		27,8	28,3	-0,5	20,5 - 27,1	0,70	2,58	Melebihi

Sumber : Hasil Pengukuran

Tabel 4.16 di atas menunjukkan bahwa pada pukul 08.00 pagi kondisi termal pada ruang kelas 2 lantai 5 sudah menunjukkan ketidaknyamanan karena lebih dari 27,1°C.

Pengukuran lapangan memiliki nilai temperatur yang lebih besar dibandingkan dengan hasil simulasi. Pada hasil simulasi temperatur tertinggi dalam ruangan adalah 29°C sedangkan pada hasil pengukuran langsung temperatur tertinggi ruangan mencapai 29,9°C. Pada Gambar 4.23 menunjukkan perbandingan nilai pengukuran dan hasil simulasi ruang kelas 2 lantai 5.



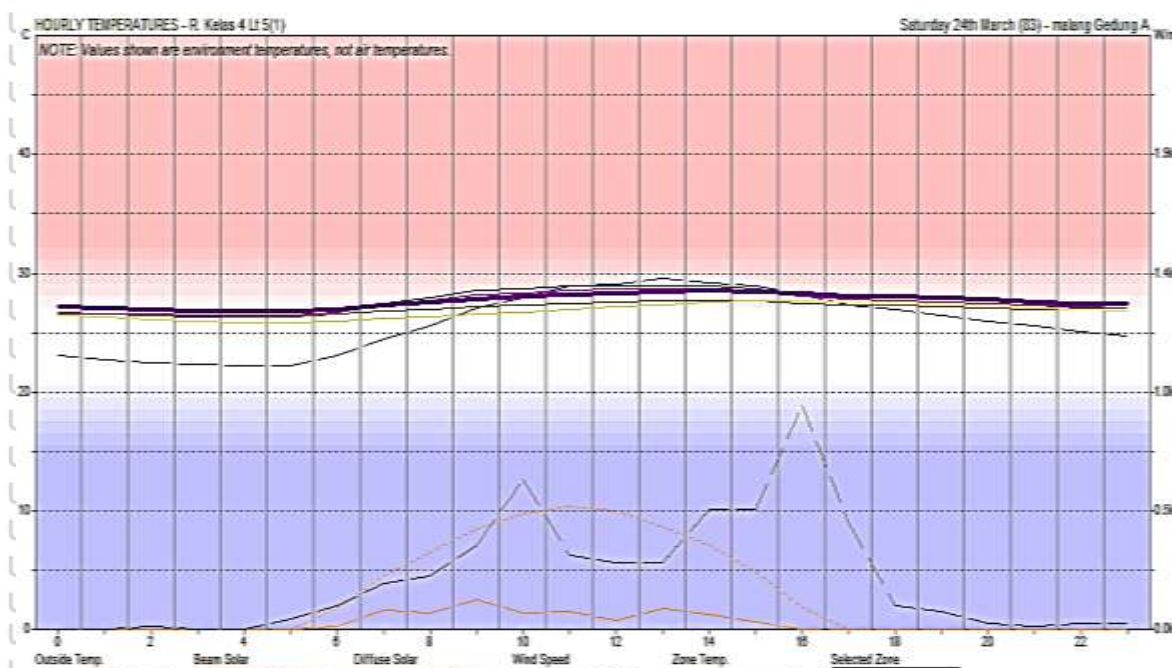
Gambar 4.23 Perbandingan Hasil Pengukuran dan simulasi kelas 2 lantai 5

Berdasarkan Gambar 4.23 di atas terlihat grafik hasil pengukuran lapangan dan hasil simulasi berhimpit yang berarti nilai keduanya tidak jauh berbeda. Pada pukul 11.00

– 16.00 terlihat grafik suhu udara luar, hasil pengukuran dan simulasi hampir memiliki nilai yang sama yaitu mendekati 30°C yang mengindikasikan ruangan sangat panas dan tidak nyaman karena jauh melebihi standar kenyamanan termal ruangan. Untuk kondisi temperatur udara luar pada siang hari tidak jauh berbeda dengan kondisi dalam ruangan sedangkan pada malam hari kondisi temperatur udara luar dan dalam ruangan memiliki perbedaan yang cukup besar.

5. Ruang Kelas 4 Lantai 5

Simulasi termal dilakukan pada ruang kelas 4 lantai 5 dengan tujuan mengetahui perbedaan temperatur berdasarkan ketinggian lantai dan orientasi arah ruangan. Berdasarkan hasil simulasi, ruang kelas 4 lantai 5 temperaturnya lebih besar daripada ruang kelas 4 lantai 3 dimana keduanya tipikal. Hasil simulasi temperatur pada ruang 4 lantai 5 dapat dicermati pada Gambar 4.24 berikut.



Gambar 4.24 Profil temperatur Ruang Kelas 4 Lantai 5

Berdasarkan grafik temperatur ruang kelas 4 di atas pada pagi hari terlihat grafik temperatur berhimpit pada zona merah dimana artinya temperatur ruangan cukup tinggi namun masih dalam batas kenyamanan. Semakin siang terlihat grafik mulai memasuki zona merah yang berarti temperatur melebihi standar kenyamanan termal ruangan sehingga menyebabkan kondisi yang tidak nyaman. Tabel 4.17 memperlihatkan profil temperatur ruangan perjam pada ruang kelas 4.

Tabel 4.17 Profil Temperatur Ruang Kelas 4 Lantai 5

HOUR	INSIDE (C)	OUTSIDE (C)	TEMP.DIF (C)
0:00	27.2	23.1	4.1
1:00	27.2	22.7	4.5
2:00	27.1	22.5	4.6
3:00	27.0	22.3	4.7
4:00	27.0	22.2	4.8
5:00	27.0	22.2	4.8
6:00	27.1	23.1	4.0
7:00	27.4	24.5	2.9
8:00	27.6	25.6	2.0
9:00	27.8	27.1	0.7
10:00	27.9	28.0	-0.1
11:00	28.1	28.9	-0.8
12:00	28.2	29.1	-0.9
13:00	28.4	29.6	-1.2
14:00	28.4	29.2	-0.8
15:00	28.4	28.9	-0.5
16:00	28.2	28.2	0.0
17:00	28.1	27.3	0.8
18:00	28.0	26.9	1.1
19:00	27.9	26.5	1.4
20:00	27.8	26.0	1.8
21:00	27.7	25.6	2.1
22:00	27.6	25.1	2.5
23:00	27.5	24.7	2.8

Sumber : Hasil simulasi

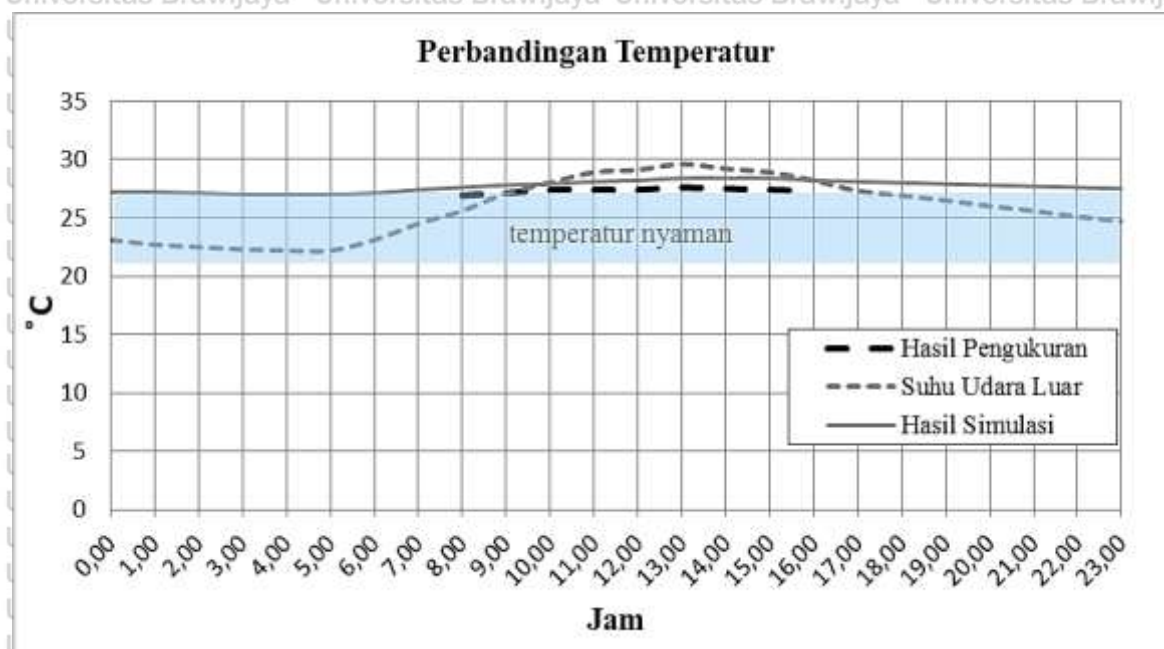
Berdasarkan hasil pengukuran, pada pagi hari menunjukkan ruangan masih memenuhi kenyamanan termal yaitu pada temperatur 27,1°C. Memasuki pukul 10.00 temperatur mulai meningkat dan melebihi batas kenyamanan termal. Hingga pukul 16.00 ruangan masih berada pada temperatur di atas standar namun sudah mengalami penurunan selepas pukul 13.00. Tabel 4.18 di bawah menunjukkan perbandingan hasil pengukuran dan simulasi ruang kelas 2.

Tabel 4.18 Perbandingan Temperatur Standar, Pengukuran dan Simulasi Kelas 4 Lantai 5

Jam	Orien tasi	Temperatur Pengukuran °C	Temperatur Simulasi °C	Selisih °C	Temperatur Standar °C	Selisih dg standar °C	Prosentase %	Ket
8:00		26,9	27,6	-0,7	20,5 - 27,1	-		Memenuhi
9:00		27,1	27,8	-0,7	20,5 - 27,1	-		Memenuhi
10:00		27,4	27,9	-0,5	20,5 - 27,1	0,30	1,11	Melebihi
11:00	Barat Daya	27,4	28,1	-0,7	20,5 - 27,1	0,30	1,11	Melebihi
12:00		27,4	28,2	-0,8	20,5 - 27,1	0,30	1,11	Melebihi
13:00		27,6	28,4	-0,8	20,5 - 27,1	0,50	1,85	Melebihi
14:00		27,5	28,4	-0,9	20,5 - 27,1	0,40	1,48	Melebihi
15:00		27,4	28,4	-1,0	20,5 - 27,1	0,30	1,11	Melebihi
16:00		27,3	28,2	-0,9	20,5 - 27,1	0,20	0,74	Melebihi

Sumber : Hasil Pengukuran

Hasil pengukuran dan simulasi menunjukkan nilai yang cukup berbeda, kendati perbedaan temperatur masih di bawah 1°C , namun karena berada di ambang batas maka pada pagi hari menunjukkan kondisi yang berbeda. Hasil pengukuran lapangan menunjukkan temperatur yang lebih rendah daripada simulasi Ecotect. Gambar 4.25 menunjukkan perbandingan hasil pengukuran dan simulasi pada ruang kelas 4 lantai 5.

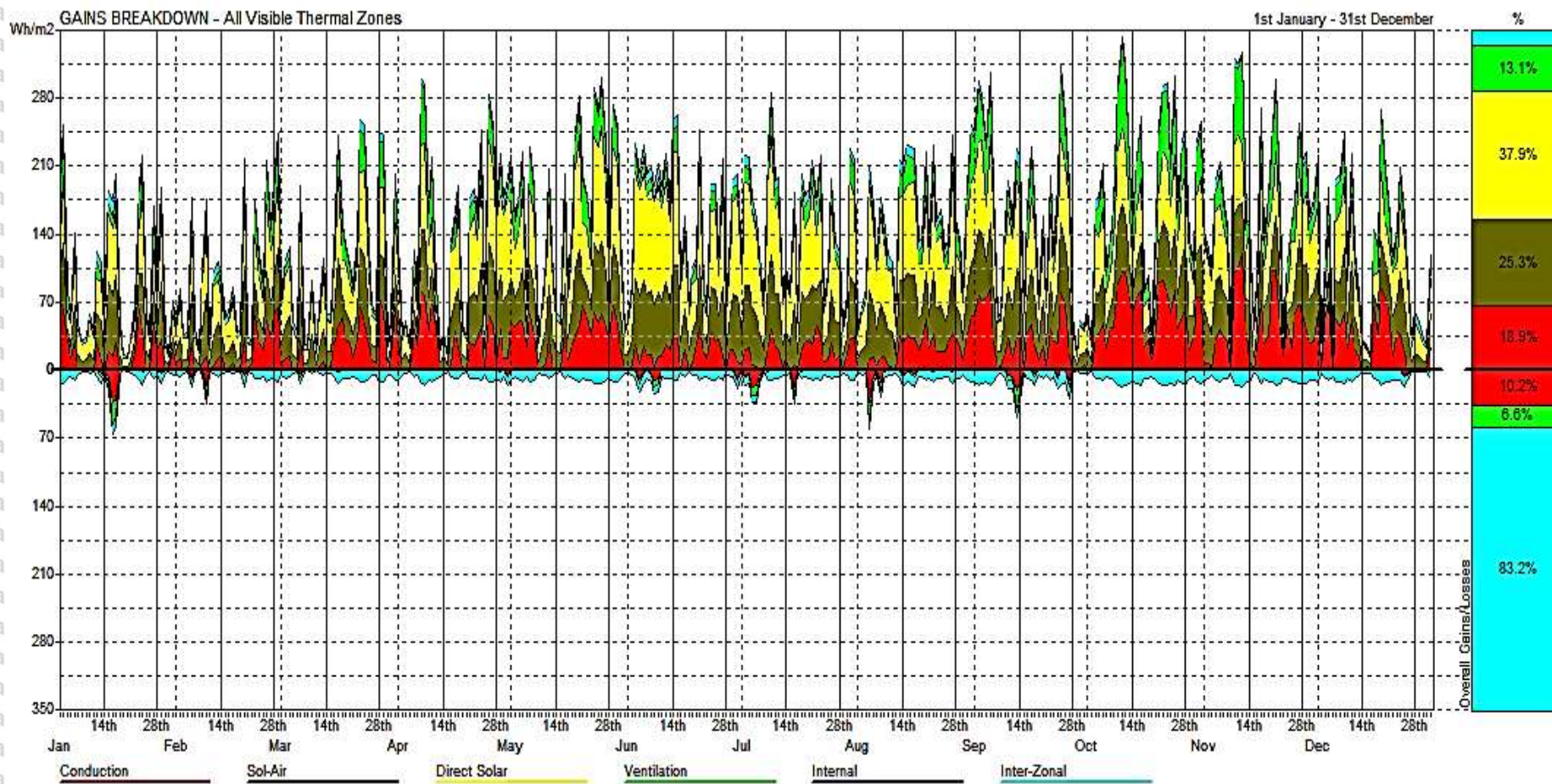


Gambar 4.25 Perbandingan Hasil Pengukuran dan simulasi kelas 4 lantai 5

Berdasarkan Gambar 4.21 terlihat perbedaan pengukuran lapangan dan simulasi dimana nilai temperatur pengukuran lebih kecil, hal ini terjadi karena pada barat daya gedung berbatasan dengan banyak vegetasi dengan kanopi rimbun yang dapat berpengaruh terhadap temperatur di sekitarnya, sementara untuk material pohon tidak bisa dimodelkan secara tepat pada Ecotect sehingga terjadi perbedaan hasil pengukuran dan hasil simulasi.

4.5.2.2. *Passive Gains Breakdowns*

Passive gains breakdowns merupakan keseluruhan beban termal yang diperoleh dan dilepaskan oleh bangunan atau dengan kata lain sirkulasi termal bangunan. Output yang dihasilkan Ecotect untuk simulasi *passive gains breakdowns* adalah berupa diagram dan prosentase penerimaan panas (*gains*) dan pelepasan panas (*losses*) yang terjadi pada kurun waktu setahun. Pada perhitungan penerimaan maupun kehilangan panas terdapat beberapa faktor yang mempengaruhi keduanya, diantaranya *fabric gains*, *indirect solar gains*, *direct solar gains*, *internal gains*, *ventilation gains* dan *interzonal gains*. Gambar 4.26 menunjukkan diagram dan prosentase *passive gains breakdowns* pada gedung A



Gambar 4.26 Diagram passive gains breakdowns

Melalui diagram *passive gains breakdowns* pada Gambar 4.26 di atas dapat dilihat fluktuasi sirkulasi termal dari Januari sampai dengan Desember. Salah satu faktor yang mempengaruhi perbedaan sirkulasi panas adalah pengaruh penyinaran matahari pada orientasi yang berbeda – beda. Prosentase *passive gains breakdowns* menunjukkan kategori *heat gains* dan *heat losses* yang terjadi dalam bangunan. Besarnya *heat gains* dan *heat losses* tergantung pada besarnya perolehan dan pelepasan panas yang terjadi. Tabel 4.19 menunjukkan tabulasi prosentasi *passive gains breakdowns*.

Tabel 4.19 Prosentase *passive gains breakdowns*

Kategori	Losses	Gains
<i>Fabric</i>	10,20%	18,90%
<i>Sol-Air</i>	0,00%	25,30%
<i>Solar</i>	0,00%	37,90%
<i>Ventilation</i>	6,60%	13,10%
<i>Internal</i>	0,00%	0,00%
<i>Inter-Zonal</i>	83,20%	4,80%

Sumber : Hasil simulasi

Melalui diagram dan prosentase *passive gains breakdowns* di atas, dapat dilihat besarnya perolehan dan pelepasan panas. Perolehan panas terbesar berasal dari *direct solar* atau penyinaran langsung pada kaca yaitu sebesar 37,90% dan *sol-air* atau perolehan panas akibat temperatur udara luar yaitu sebesar 25,30%. Perolehan panas melalui konduksi bahan selubung bangunan atau *fabric gains* menyumbang panas sebesar 18,90% sementara perolehan panas melalui lubang dan celah atau *ventilation gains* memperoleh panas hingga 13,10%. Perolehan panas dengan nilai terkecil adalah melalui *interzonal gains* atau zona antara ruang dan *internal gains* atau panas yang diakibatkan karena beban internal berturut – turut 4,80% dan 0%. Nilai 0 pada termal gains dikarenakan pada penelitian ini diasumsikan gedung dalam keadaan tanpa penghuni sehingga beban internal seperti panas beban penghuni, panas akibat beban penerangan dan panas akibat penggunaan peralatan listrik lainnya diabaikan.

Heat losses atau pelepasan panas terbesar berasal dari perpindahan panas antar ruang yaitu sebesar 83,20%, sementara beban konduksi selubung bangunan dan ventilasi melepaskan panas masing – masing sebesar 10,20% dan 4,80%.

4.5.2.3. *Fabric Gains*

Fabric gains merupakan besarnya nilai konduksi panas yang merambat ke dalam bangunan melalui material selubung bangunan dimana besarnya tergantung pada material

selubung bangunan yang digunakan. Panas yang berada di luar bangunan merambat melalui dinding maupun atap bangunan dan diteruskan ke dalam bangunan. Adapun besarnya nilai *fabric gains* pada gedung A disajikan dalam Gambar 4.27 berikut.



Gambar 4.27 Diagram *fabric gains*

Berdasarkan diagram *fabric gains* di atas, bagian berwarna merah menunjukkan nilai *fabric gains* kecil bahkan negatif. Nilai *fabric gains* negatif rata – rata terjadi pukul 00.00-08.00 dimana hal ini menunjukkan bahwa material selubung bangunan melepaskan panas ke lingkungan. Untuk bagian berwarna orange dan kuning merupakan bagian yang memiliki nilai *fabric gains* yang bernilai besar, dimana rata-rata terjadi pada siang hingga malam hari yakni pada 12.00-21.00. Material batu bata memiliki kapasitas termal besar sehingga menyerap dan menyimpan panas pada siang hari dan melepaskan ke lingkungan secara perlahan pada saat temperatur di lingkungan mulai turun itulah mengapa pada malam hari nilai *fabric gains* masih cukup besar pada selubung bangunan.

Nilai *fabric gains* selalu berubah – ubah dan menyesuaikan dengan kondisi lingkungan. Pada saat temperatur lingkungan lebih rendah dari temperatur bangunan, maka bangunan secara perlahan akan melepaskan panas dan sebaliknya. Berdasarkan diagram, nilai rata – rata *fabric gains* terbesar terjadi pada bulan Oktober dengan nilai tertinggi 26.137 watt. Tabel 4.20 menyajikan tabulasi nilai *fabric gains* perbulan selama satu tahun pada bangunan.

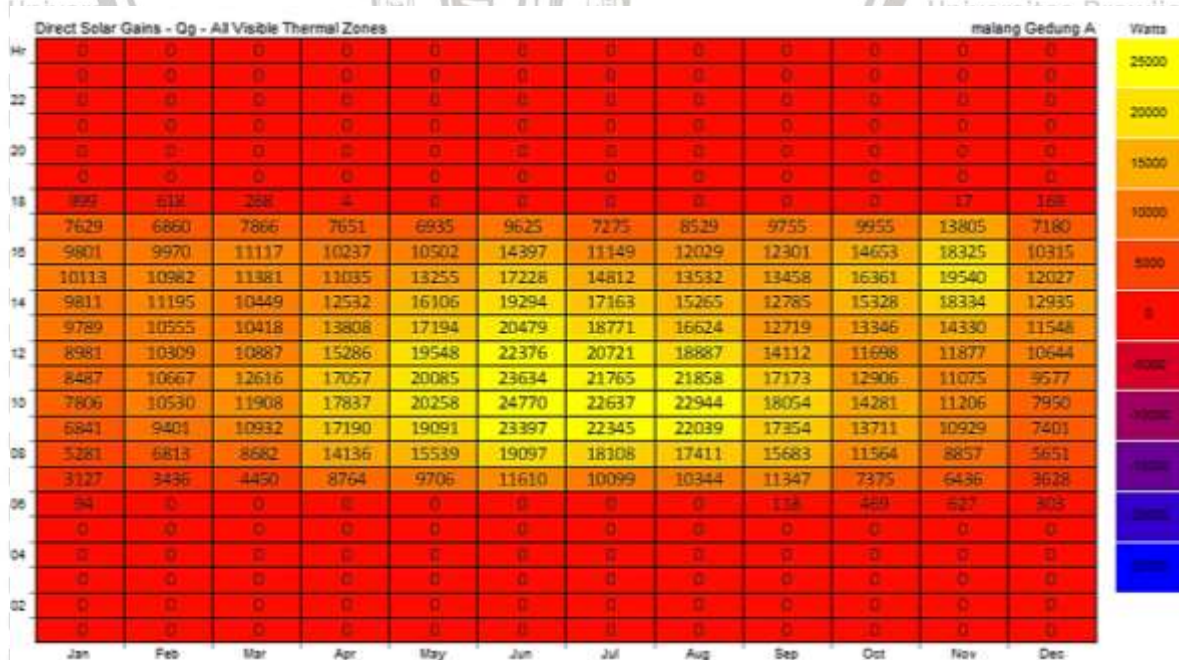
Tabel 4.20 Rerata Nilai *Fabric Gains*

No	Bulan	<i>Fabric Gains</i> kWh
1	Januari	104,560
2	Februari	109,309
3	Maret	131,181
4	April	164,200
5	Mei	186,796
6	Juni	167,757
7	Juli	150,384
8	Agustus	170,684
9	Septembe	179,356
10	Oktober	244,378
11	Novembe	225,603
12	Desember	144,876
Rerata		164,924

Sumber : Hasil simulasi

4.5.2.4. *Direct Solar Gains*

Penerimaan panas radiasi matahari langsung melalui kaca atau selubung bangunan transparan disebut pula *direct solar gains*. Semakin besar luasan kaca maka semakin besar pula nilai *direct solar gains* dan sebaliknya, disamping itu *direct solar gains* juga tergantung pada jenis kaca yang digunakan. Nilai *direct solar gains* pada bangunan gedung A ditampilkan pada Gambar 4.28 berikut.



Gambar 4.28 Diagram *direct solar gains*

Berdasarkan diagram *direct solar gains* di atas terlihat bagian berwarna merah bernilai 0 yang rata – rata terjadi pada pukul 17.00-06.00, hal ini menunjukkan bahwa pada jam tersebut tidak ada sinar matahari yang masuk melewati kaca. Bagian berwarna orange-kuning memiliki nilai panas dan terjadi pada pukul 07.00-17.00 yang menandakan adanya panas yang mengenai kaca pada bangunan.

Besarnya nilai *direct solar gains* atau penyinaran langsung melalui kaca berbeda pada setiap bulan. Berdasarkan diagram, bagian dengan warna kuning terang atau memiliki nilai panas yang besar terjadi pada bulan April hingga Agustus yang berarti terjadi pada musim kemarau, sedangkan pada bulan – bulan lainnya nilai *direct solar gains* masih berada pada rentang warna orange. Tabulasi rerata nilai *direct solar gains* dalam satu tahun ditunjukkan oleh Tabel 4.21.

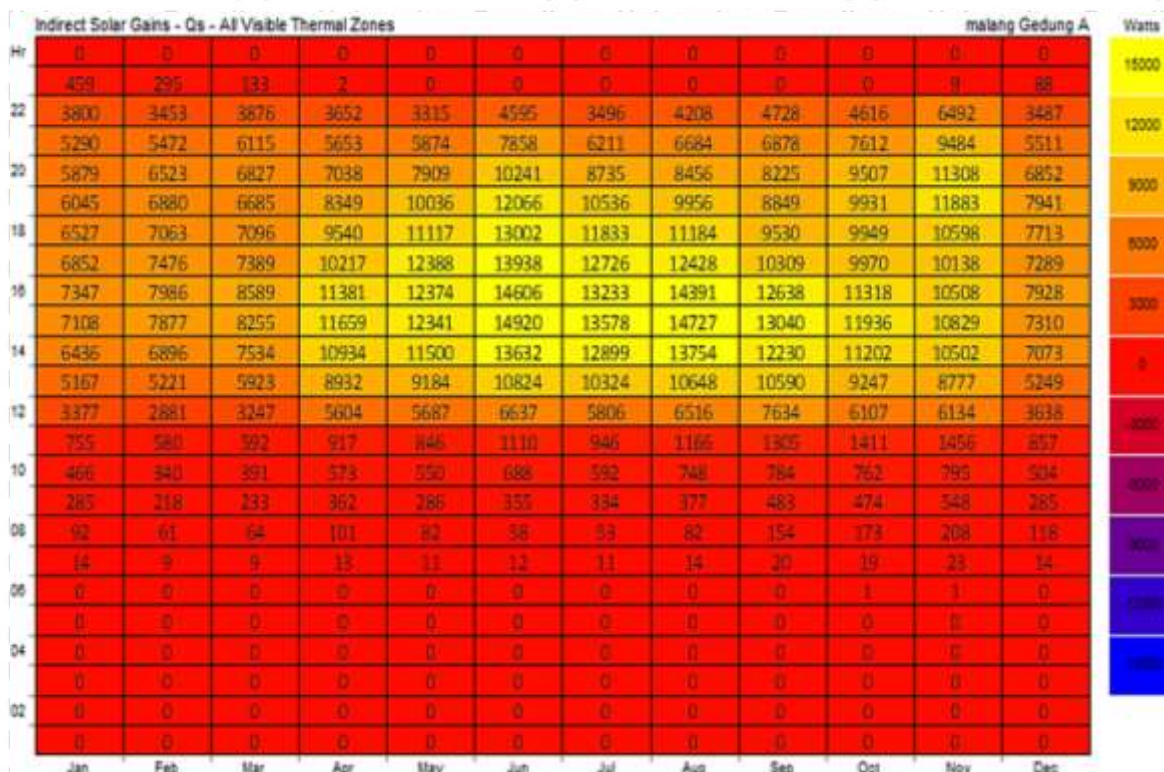
Tabel 4.21 Rerata Nilai *Direct Solar Gains*

No	Bulan	<i>Direct Solar Gains</i> kWh
1	Januari	88,759
2	Februari	101,336
3	Maret	110,974
4	April	145,537
5	Mei	168,219
6	Juni	205,907
7	Juli	184,845
8	Agustus	179,462
9	Septembe	154,859
10	Oktober	141,647
11	Novembe	145,358
12	Desember	99,328
Rerata		143,853

Sumber : Hasil simulasi

4.5.2.5. *Indirect Solar Gains*

Indirect solar gains merupakan perolehan panas bangunan secara tidak langsung. Panas diperoleh secara tidak langsung disebabkan panas tersebut merambat melalui dinding selubung bangunan, tidak masuk secara langsung seperti pada radiasi kaca, dan selanjutnya mengakibatkan kenaikan temperatur dalam bangunan karena peningkatan suhu selubung bangunan akibat perambatan panas tadi. Gambar 4.29 memberikan gambaran nilai *Indirect solar gains* pada gedung A.



Gambar 4.29 Diagram *indirect solar gains*

Berdasarkan diagram di atas terlihat bahwa adanya nilai *indirect solar* dimulai pada pukul 07.00 yang berarti selubung bangunan mulai mendapatkan cahaya matahari pada waktu tersebut sedangkan nilai 0 dapat diartikan bahwa panas dari cahaya matahari belum mengenai selubung bangunan. Panas pada bangunan terjadi pada pukul 07.00-22.00 sementara rata – rata pencahayaan matahari terjadi hanya sampai pukul 17.00, hal ini berkaitan dengan nilai konduktivitas termal atau kemampuan selubung bangunan yang berupa dinding batu bata menyimpan panas dan membutuhkan waktu untuk melepaskan panas tersebut. Panas yang berada pada selubung bangunan atau fasad tersebut dilepaskan oleh selubung bangunan pada saat temperatur di sekitar bangunan sudah turun yaitu pada malam hari.

Besarnya nilai *indirect solar gains* berbeda dalam setiap bulan. Nilai *indirect solar gains* pada bulan April sampai Agustus lebih besar dari bulan-bulan lainnya, hal ini menunjukkan besarnya radiasi matahari yang mengenai selubung bangunan yang besar pada bulan tersebut. Tabel 4.22 berikut menampilkan nilai rerata *indirect solar gains* perbulan.

Tabel 4.22 Rerata Nilai *Indirect Solar Gains*
Indirect

No	Bulan	Solar Gains kWh
1	Januari	65,899
2	Februari	69,231
3	Maret	72,958
4	April	94,927
5	Mei	103,5
6	Juni	124,542
7	Juli	111,313
8	Agustus	115,339
9	Septembe	107,397
10	Oktober	104,235
11	Novembe	109,693
12	Desember	71,857
Rerata		95,908

Sumber : Hasil simulasi

4.5.2.6. *Ventilation Gains*

Ventilation gains merupakan perolehan panas bangunan yang berasal dari lubang – lubang ventilasi maupun celah – celah yang ada pada selubung bangunan. Adanya perbedaan temperatur antara di dalam dan luar bangunan membuat udara bergerak kedalam atau keluar bangunan. Semakin besar dan banyak lubang dan celah keluar masuknya udara, semakin besar panas yang didapatkan oleh bangunan. Diagram *ventilation gains* pada gedung A dapat digambarkan pada Gambar 4.30 berikut.



Gambar 4.30 Diagram *ventilation gains*

Berdasarkan diagram *ventilation gains* di atas, terlihat adanya nilai positif dan negatif pada bagian – bagian dengan warna yang berbeda. Warna kuning menunjukkan nilai perolehan panas yang besar, nilai 0 menunjukkan tidak ada perolehan maupun pelepasan panas, sedangkan nilai negatif menunjukkan adanya pelepasan panas melalui ventilasi. Rata - rata perolehan panas terjadi dari pukul 08.00-20.00, hal ini karena pada waktu tersebut ada perbedaan suhu diluar bangunan akibat penyinaran matahari sehingga mengakibatkan pergerakan udara panas ke dalam bangunan melalui celah, lubang maupun ventilasi.

Berdasarkan diagram nilai *ventilation gains* dalam satu tahun, bulan Oktober memiliki nilai panas tertinggi sedangkan panas terendah berada di bulan Januari. Perbedaan nilai *ventilation gains* terjadi karena perbedaan keadaan lingkungan seperti temperatur di luar ruangan, besarnya radiasi matahari, kecepatan angin dll. Rerata nilai *ventilation gains* perbulan ditampilkan dalam Tabel 4.23.

Tabel 4.23 Rerata Nilai *Ventilation Gains*

No	Bulan	<i>Ventilation Gains</i> kWh
1	Januari	26,069
2	Februari	27,174
3	Maret	39,38
4	April	48,513
5	Mei	57,307
6	Juni	29,88
7	Juli	29,821
8	Agustus	40,427
9	Septembe	49,994
10	Oktober	100,551
11	Novembe	79,392
12	Desember	47,477
Rerata		47,999

Sumber : Hasil simulasi

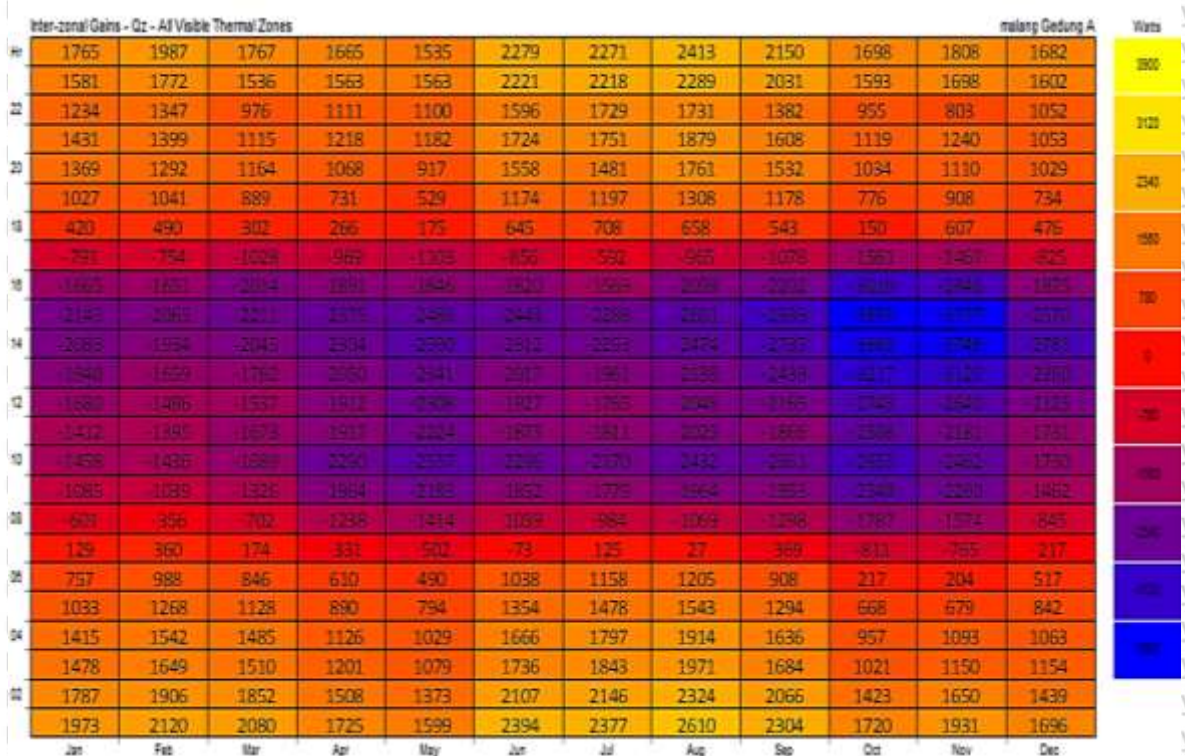
4.5.2.7. *Internal Gains*

Internal gains merupakan perolehan panas dalam bangunan yang berasal dari dalam bangunan itu sendiri. Perolehan panas ini disebabkan oleh adanya beban penghuni dan peralatan listrik yang digunakan oleh penghuni gedung seperti lampu, komputer, televisi dll dimana semuanya menghasilkan panas yang terjebak di dalam bangunan. Pada penelitian ini *internal gains* bernilai 0 karena pada penelitian ini beban internal pada

bangunan tidak diperhitungkan dan bangunan masih dalam kondisi alami atau keadaan tanpa pendinginan, pemanasan, maupun beban – beban internal yang berasal dari pengguna gedung.

4.5.2.8. *Interzonal Gains*

Interzonal gains merupakan perolehan atau pelepasan panas antar ruang yang terjadi pada internal bangunan itu sendiri. Seperti diketahui bahwa nilai temperatur udara dan tekanan udara adalah berbanding terbalik, semakin tinggi temperatur udara maka tekanan udara semakin rendah. Ruang – ruangan dengan temperatur udara yang lebih tinggi memiliki tekanan udara yang lebih rendah dari pada ruangan dengan temperatur udara yang rendah. Perbedaan tekanan udara tersebut mengakibatkan terjadinya aliran udara pada zona – zona dalam gedung. Adapun kondisi *internal gains* dapat dicermati melalui Gambar 4.31.



Gambar 4.31 Diagram *interzonal gains*

Mengacu pada digram *interzonal gains* di atas terdapat variasi warna yang mengindikasikan nilai perpindahan panas. Nilai positif dapat diartikan terjadi perpindahan panas antar ruang atau zona sedangkan nilai negatif dapat diartikan tidak ada perpindahan panas, sehingga panas terperangkap dalam ruangan. Setelah pukul 18.00-06.00 terjadi

perpindahan panas antar ruang sementara pada pukul 07.00-17.00 panas terperangkap dalam zonanya masing – masing sehingga meningkatkan temperatur ruangan.

Besarnya nilai *interzonal gains* selalu berubah dari waktu ke waktu. Nilai *interzonal gains* terbesar terjadi pada bulan Agustus sedangkan nilai terendah terjadi pada bulan Oktober. Tabel 4.24 menyajikan nilai rerata *interzonal gains* perbulan pada bangunan.

Tabel 4.24 Rerata Nilai *Interzonal Gains*

No	Bulan	<i>Interzonal Gains</i> kWh
1	Januari	2,541
2	Februari	5,378
3	Maret	0,837
4	April	-4,559
5	Mei	-8,189
6	Juni	2,962
7	Juli	5,107
8	Agustus	3,858
9	Septembe	-1,083
10	Oktober	-15,228
11	Novembe	-11,962
12	Desember	-4,182
	Rerata	-2,043

Sumber : Hasil simulasi

Berdasarkan prosentase *passive gains breakdown* pada Tabel 4.19 didapat bahwa faktor terbesar yang menyebabkan kenaikan temperatur pada bangunan berasal dari panas akibat radiasi langsung melalui kaca atau *direct solar gains*. Merujuku Tabel 4.20 nilai *fabric gains* dan Tabel 4.21 nilai *direct solar gains* diketahui beban panas yang bekerja pada bangunan secara berturut-turut nilainya adalah 164,924 kWh dan 143,853 kWh atau dengan kata lain beban panas yang terjadi pada kaca lebih kecil dari pada yang terjadi pada selubung bangunan. Hal tersebut dapat terjadi karena pada selubung bangunan hanya sebagian panas yang berpindah ke udara dalam ruangan dan mengakibatkan peningkatan temperatur sedangkan sebagian lainnya panas diserap oleh struktur bangunan, permukaan dalam ruangan dan benda-benda lain di dalamnya seperti lantai, dinding, langit-langit dan *furniture* dll melalui konduksi. Pada panas yang masuk ke dalam ruangan melalui kaca, perpindahan panas terjadi secara radiasi sehingga energi panas langsung terpancar yang kemudian meningkatkan temperatur ruangan secara langsung tanpa perantara.

4.6. Nilai OTTV

Pada penelitian ini dilakukan pula perhitungan OTTV yang merupakan salah satu kriteria untuk mengevaluasi kinerja selubung bangunan. Nilai ambang batas OTTV yang ditetapkan pada SNI 03-6389-2000 adalah sebesar 45 watt/m². Bangunan yang memiliki OTTV lebih dari standar berarti tidak memenuhi kriteria bangunan hijau karena memiliki beban termal yang besar.

Perhitungan OTTV dilakukan dengan menghitung luasan selubung bangunan yang berupa dinding dan kaca, memasukkan faktor – faktor selubung bangunan seperti material, warna, peneduh bangunan dll. Perhitungan OTTV dilakukan terhadap lantai 2 sampai lantai 6 karena pada lantai tersebut terdapat ruangan-ruangan yang dikondisikan dengan pendingin ruangan/ AC. Tabulasi perhitungan OTTV diuraikan dalam Tabel 4.25.

Tabel 4.25 Rekapitulasi Perhitungan OTTV

No	Orientasi	Konduksi	Konduksi	Radiasi	Total	Luas Fasad	OTTV
		Dinding	Bukaan				
		Watt	Watt	Watt	Watt	m ²	Watt/m ²
1	Timur laut	11.692,82	2.633,72	9.533,10	23.859,64	570,00	41,86
2	Tenggara	9.286,05	185,83	410,18	9.882,05	384,00	25,73
3	Barat daya	12.317,86	2.023,83	10.714,54	25.056,23	560,00	44,74
4	Barat	535,30	1.286,97	11.654,67	13.476,94	68,80	195,89
5	Barat Laut	5.070,91	926,62	6.477,28	12.474,80	233,50	53,43
		Total			84.749,66	1.816,30	46,66

Sumber : Hasil Perhitungan

Berdasarkan hasil perhitungan di atas, nilai OTTV gedung A adalah sebesar 46,66 watt/m² sehingga melebihi standar OTTV bangunan gedung hijau. Nilai OTTV fasad terbesar terdapat pada orientasi barat karena pada fasad sebelah barat hampir seluruhnya adalah kaca sehingga nilai *window wall ratio* atau perbandingan antara dinding dan jendela menjadi besar dan mempengaruhi keseluruhan nilai OTTV.

4.7. Alternatif Desain Gedung

Pada kondisi normal sebelum pandemi, ruangan – ruangan yang ada di gedung A terutama ruang kelas merupakan ruangan yang aktif digunakan setiap hari. Berdasarkan informasi lapangan, ruangan – ruangan di gedung ini memanfaatkan energi listrik untuk meningkatkan kenyamanan, baik berupa penerangan buatan dengan lampu maupun pendingin ruangan dengan AC.

Penggunaan penerangan buatan, terutama untuk ruangan yang memiliki nilai pencahayaan tinggi dimaksudkan untuk menciptakan kenyamanan visual. Penerangan buatan cenderung selalu digunakan setiap waktu baik pada saat cuaca cerah maupun kondisi langit gelap. Pada kondisi langit gelap, cahaya yang masuk ke ruangan kecil sehingga membutuhkan alat bantu penerangan. Pada saat kondisi langit cerah, cahaya yang masuk terlampau tinggi sehingga menimbulkan ketidaknyamanan visual. Untuk menciptakan kenyamanan visual maka pengguna ruangan menggunakan tirai pada saat cuaca cerah, dengan penggunaan tirai maka harus ditambah bantuan dari pencahayaan buatan untuk alat bantu penerangan.

Berdasarkan hasil analisis terhadap kondisi eksisting gedung maka ada beberapa hal yang perlu diperhatikan, yakni :

1. Fasad gedung dengan orientasi arah timur laut mendapatkan pencahayaan alami yang sangat berlebihan yaitu diatas 250 lux sehingga menyebabkan *glare* dan kenyamanan visual tidak terpenuhi.
2. Pada ruangan dengan orientasi arah barat daya pencahayaan kurang merata akibat penetrasi cahaya yang terbatas sehingga bagian ruangan yang jauh dari jendela memiliki pencahayaan yang lebih kecil dan pada bagian di dekat jendela dapat mencapai 400 lux. Daerah dekat jendela memiliki pencahayaan yang terlalu besar sehingga berakibat *glare* karena perbedaan pencahayaan yang terlalu besar.
3. Fasad gedung dengan orientasi barat daya mendapatkan pencahayaan alami dengan nilai yang lebih kecil dari timur laut. Ruangan pada lantai 4,5 dan 6 mendapat pencahayaan yang cukup yaitu berkisar 250-300 lux sedangkan untuk ruangan pada lantai di bawahnya dengan orientasi yang sama mendapat pencahayaan yang kurang dari standar.
4. Berdasarkan hasil pengukuran lapangan dan simulasi, ruangan yang berorientasi ke arah timur laut memiliki temperatur yang lebih tinggi bahkan dapat mencapai $29,9^{\circ}\text{C}$ pada temperatur puncak sehingga melebihi standar kenyamanan ruangan daripada ruangan dengan orientasi barat daya.
5. Temperatur ruangan yang berorientasi ke barat daya lebih rendah dan cenderung dalam kondisi nyaman yaitu dibawah $27,1^{\circ}\text{C}$ kecuali pada ruangan lantai 5 dan 6 yang memiliki temperatur melebihi standar pada jam-jam tertentu yaitu sekitar $27,6^{\circ}\text{C}$ pada lantai 5.

Berdasarkan pertimbangan-pertimbangan tersebut di atas, maka dipilih beberapa alternatif desain guna mereduksi penggunaan energi pada bangunan. Mengacu pada kondisi eksisting bangunan gedung A, alternatif desain yang dipilih diharapkan mampu mereduksi penggunaan energi akibat beban termal yakni penggunaan pendingin ruangan maupun energi untuk meningkatkan kenyamanan visual atau beban penerangan buatan.

Pada gedung yang sudah terbangun, alternatif strategi untuk penurunan energi cenderung terbatas jika dibandingkan dengan desain untuk gedung yang masih dalam tahap perencanaan. Faktor – faktor yang berpengaruh besar terhadap kenyamanan termal dan visual gedung seperti orientasi bangunan dan material selubung bangunan adalah hal yang sulit untuk dirubah karena bangunan telah dalam kondisi terbangun. Untuk itu dilakukan pemilihan alternatif desain yang cukup sederhana dan tidak berpengaruh besar terhadap kekuatan dan stabilitas bangunan. Beberapa alternatif yang dapat dilakukan untuk mereduksi penggunaan energi pada gedung A yakni :

1. Alternatif Desain 1

Pengurangan dimensi jendela dan penambahan bukaan atas (*clerestory*) pada ruangan dengan orientasi timur dan timur laut, penambahan jendela, pengurangan dimensi jendela dan penambahan *clerestory* pada ruangan dengan orientasi barat daya. Strategi ini bertujuan untuk menambah pencahayaan pada ruangan yang minim pencahayaan serta mengurangi pencahayaan pada ruangan yang memiliki nilai pencahayaan terlalu besar serta menurunkan beban termal bangunan.

2. Alternatif Desain 2

Mengganti kaca jendela dengan kaca yang memiliki spesifikasi *solar heat reflective* pada ruangan dengan pencahayaan yang terlalu besar dengan tujuan untuk mereduksi nilai pencahayaannya. Kaca *solar heat reflective* juga bersifat merefleksikan energi panas yang berasal dari radiasi matahari sehingga mampu menurunkan beban termal bangunan untuk memenuhi kenyamanan.

3. Alternatif Desain 3

Penggunaan *secondary skin* dengan strategi *double skin facade*. *Secondary skin* digunakan sebagai fasad tambahan yang diletakkan pada eksterior bangunan atau jendela dengan jarak tertentu. Strategi ini dilakukan untuk mereduksi pencahayaan pada ruangan dengan pencahayaan berlebih serta menurunkan beban termal bangunan.

4. Alternatif 4

Penggantian warna cat dinding. Strategi ini bertujuan untuk mengurangi beban termal bangunan melalui perubahan warna cat dinding. Melalui pemilihan beberapa warna cat dan membandingkan beban termal antar warna dengan kondisi eksisting maka akan didapatkan warna yang paling sesuai untuk menurunkan beban termal bangunan.

5. Alternatif Desain 5

Alternatif 5 merupakan gabungan antara alternatif 1,2 dan 4 yaitu merubah dimensi bukaan, mengganti kaca *clear glass* dengan kaca reflektif dan merubah warna cat dinding menjadi warna putih. Skenario ini bertujuan memaksimalkan alternatif sebelumnya yang masih kurang optimal dalam hal pencahayaan serta mereduksi beban termal bangunan.

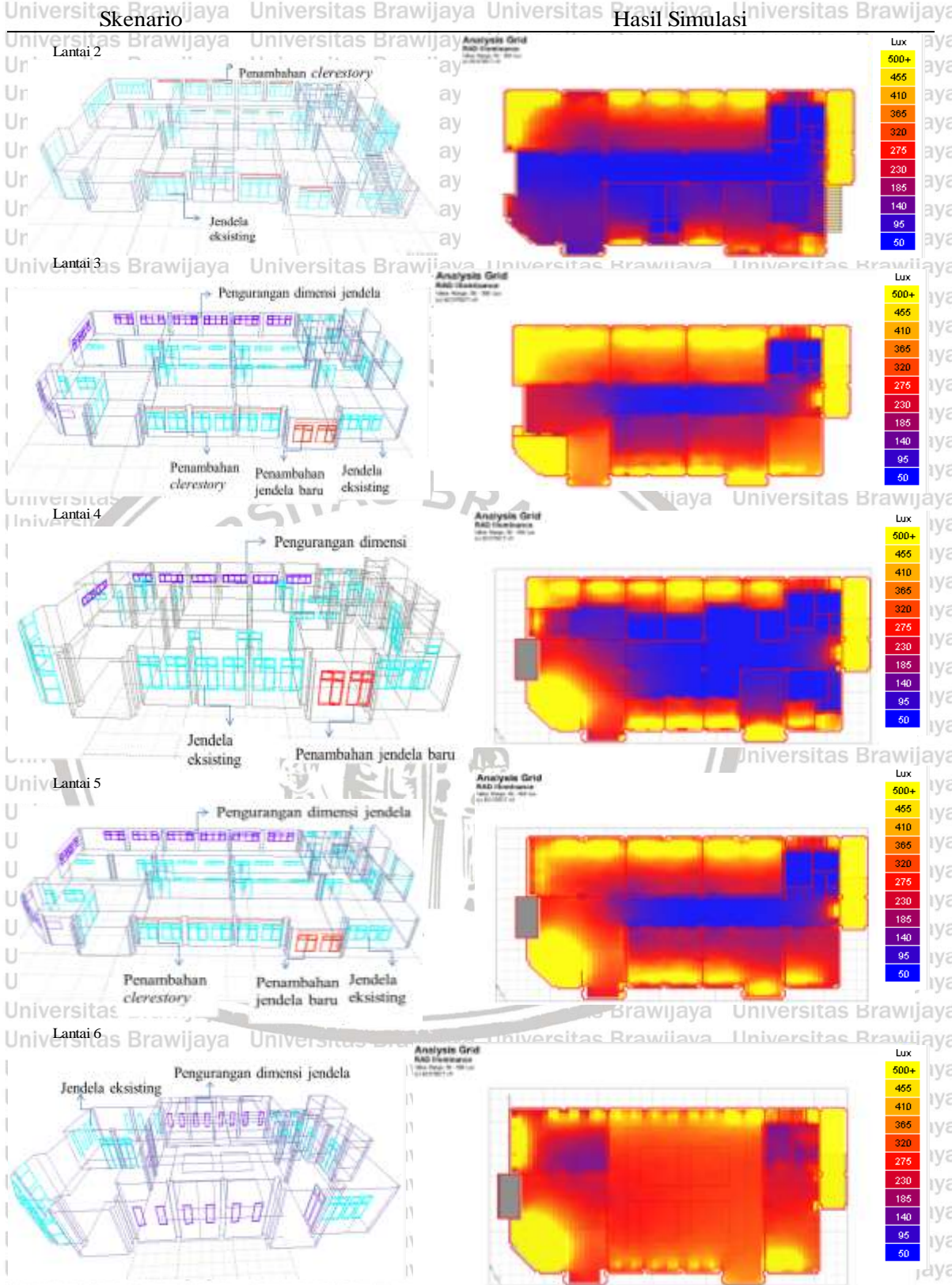
6. Alternatif Desain 6

Alternatif 6 merupakan gabungan antara alternatif 1,3 dan 4 yaitu merubah dimensi bukaan, pengaplikasian *secondary skin* berupa *cutting laser façade* dengan model vertikal dan merubah warna cat dinding menjadi warna putih. Sama seperti alternatif sebelumnya, tujuan alternatif ini adalah untuk memaksimalkan alternatif sebelumnya yang masih memiliki masalah dalam hal pencahayaan serta mereduksi beban termal bangunan.

4.7.1. Alternatif Desain 1

Secara umum alternatif 1 merupakan strategi dengan melakukan perubahan terhadap dimensi jendela atau *wwr* (*window wall ratio*) baik mengurangi maupun meningkatkan dimensi jendela dengan menambah jendela baru. Pada alternatif ini dilakukan skenario berupa penambahan dimensi jendela pada ruangan dengan nilai pencahayaan yang kurang dari standar dan mengurangi dimensi pada ruangan dengan pencahayaan di atas standar. *Clerestory* juga didesain pada beberapa ruangan guna meningkatkan nilai pencahayaan ruangan sekaligus sebagai upaya untuk meningkatkan penetrasi pencahayaan agar distribusi cahaya pada bagian dalam ruangan lebih merata. Adapun hasil simulasi pencahayaan pada alternatif 1 ditampilkan dalam Tabel 4.26 berikut.

Tabel 4.26 Hasil Simulasi Alternatif Desain 1
Alternatif 1



Sumber : Hasil simulasi

Berdasarkan Tabel 4.26 di atas terlihat garis berwarna – warni pada sket bangunan. Garis berwarna merah merupakan tambahan jendela, baik berupa bukaan samping maupun berupa *clerestory* atau bukaan atas. Garis berwarna toska merupakan jendela eksisting, dan garis berwarna ungu merupakan jendela dengan pengurangan dimensi. Penambahan *clerestory* bertujuan untuk menambahkan jumlah cahaya masuk tanpa menyebabkan silau karena posisi jendela berada di atas.

Hasil simulasi alternatif 1 menunjukkan adanya perubahan pencahayaan ruangan. Secara garis besar nilai pencahayaan pada ruangan menurun pada orientasi timur laut dan meningkat pada orientasi barat daya. Berdasarkan hasil simulasi di atas pada beberapa ruangan dengan pencahayaan yang minim, walaupun telah ditambah dimensi bukaan atau dengan kata lain nilai *wwr* telah meningkat, namun jumlah pencahayaan masih berada di bawah standar. Hal ini terjadi karena pada orientasi tersebut terdapat obstruksi yang berasal dari vegetasi maupun bangunan lainnya sehingga dengan penambahan bukaan jumlah cahaya yang masuk tetap tidak memenuhi standar pencahayaan.

Simulasi termal untuk mengetahui beban termal yang bekerja pada bangunan juga dilakukan pada alternatif 1. Melalui simulasi ini dapat diketahui nilai *fabric gains* hingga *interzonal gains* pada skenario yang diaplikasikan. Untuk mengetahui hasil simulasi termal pada skenario pada alternatif 1 dapat mencermati Tabel 4.7 berikut.

Tabel 4.27 Hasil Simulasi Termal Alternatif Desain 1

Bulan	<i>Fabric Gains</i> kWh	<i>Direct Solar Gains</i> kWh	<i>Indirect Solar Gains</i> kWh	<i>Ventilation Gains</i> kWh	<i>Internal Gains</i> kWh	<i>Interzonal Gains</i> kWh
Januari	100,08	73,01	63,74	26,07	0,00	2,51
Februari	104,44	80,61	66,77	27,17	0,00	5,43
Maret	125,06	87,14	70,34	39,38	0,00	0,93
April	156,63	112,35	91,51	48,51	0,00	-4,38
Mei	177,83	128,76	99,53	57,31	0,00	-7,93
Juni	160,36	157,42	119,73	29,88	0,00	3,29
Juli	143,61	141,20	106,88	29,82	0,00	5,41
Agustus	163,10	138,03	111,06	40,43	0,00	4,10
September	171,44	121,35	103,80	49,99	0,00	-0,96
Oktober	232,68	115,21	100,95	100,55	0,00	-15,23
November	215,24	122,81	106,29	79,39	0,00	-12,07
Desember	138,07	82,17	69,42	47,48	0,00	-4,22
Rerata	157,377	113,338	92,501	47,999	0,000	-1,926

Sumber : Hasil simulasi


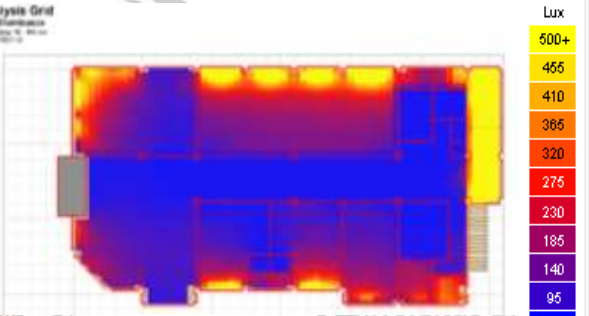

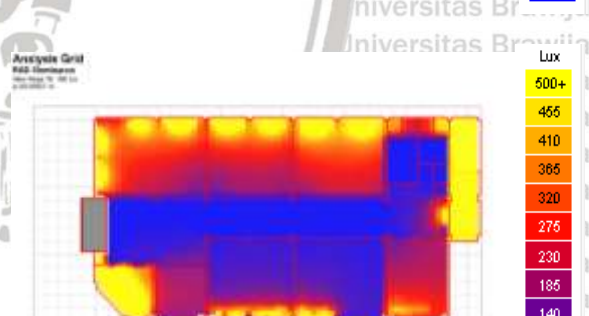
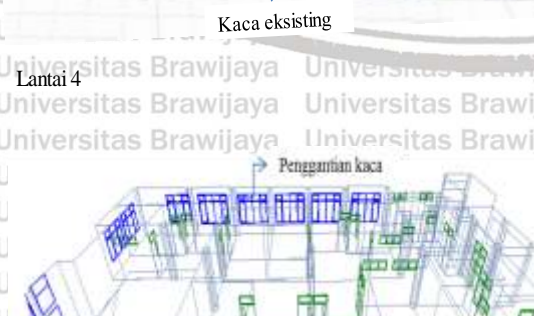
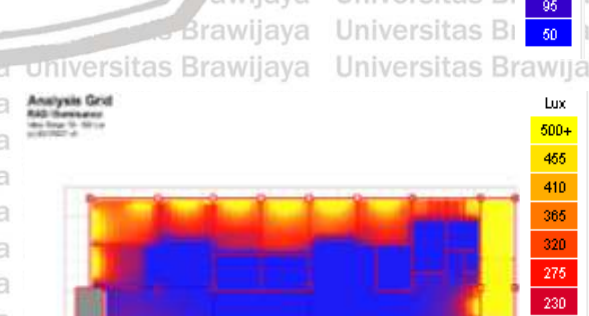
4.7.2. Alternatif Desain 2

Skenario dalam alternatif 2 adalah mengganti kaca – kaca jendela pada ruangan yang memiliki pencahayaan berlebih dengan *solar heat reflektif glass* atau kaca reflektif.

Kaca reflektif merupakan kaca tunggal yang berlapis logam tipis sehingga mampu memantulkan energi radiasi matahari. Hal yang harus diperhatikan dalam pemilihan kaca reflektif adalah nilai reflektansi dan transmitansi kaca, dengan nilai yang sesuai maka akan didapat kondisi pencahayaan sesuai yang diharapkan.

Pada skenario ini kaca reflektif hanya ditempatkan pada ruangan dengan orientasi timur laut dan barat karena pencahayaan yang berlebih. Disamping mereduksi pencahayaan, kaca reflektif juga mereduksi energi panas dari radiasi matahari sehingga mampu menurunkan beban termal pada bangunan. Tabel 4.28 di bawah menampilkan hasil simulasi penggunaan kaca reflektif pada gedung A.

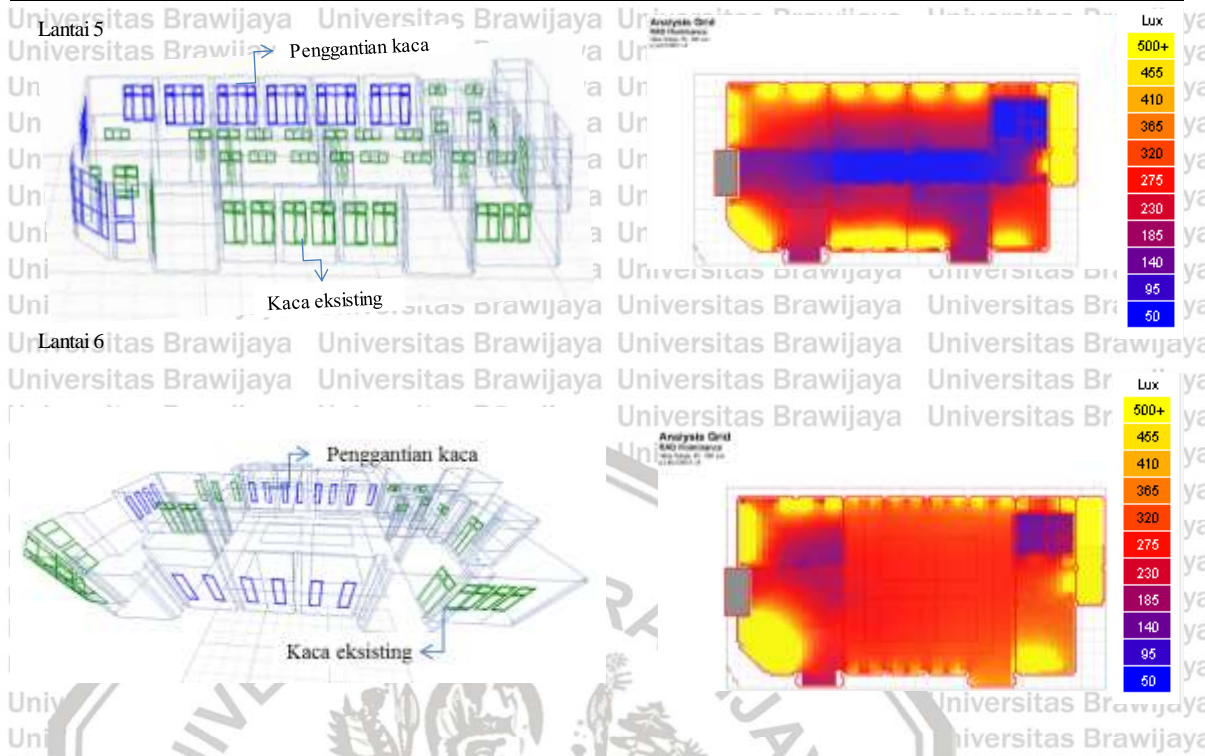
Tabel 4.28 Hasil Simulasi Alternatif Desain 2

Alternatif 2	
Skenario	Hasil Simulasi
<p>Lantai 2</p> 	
<p>Lantai 3</p> 	
<p>Lantai 4</p> 	

Alternatif 2

Skenario

Hasil Simulasi



Sumber : Hasil simulasi

Pada Tabel 4.28 di atas terlihat bagian-bagian ruangan pada setiap lantai. Garis berwarna biru menunjukkan bagian kaca yang diganti dengan kaca reflektansi sedangkan garis berwarna hijau menunjukkan jendela eksisting pada gedung.

Pada lantai 2 sampai dengan lantai 6 dilakukan penggantian kaca pada beberapa ruangan. Pada lantai 2 ruang administrasi dilakukan penggantian kaca karena meskipun pada bagian dalam ruangan terlihat gelap, namun pada daerah dekat jendela pencahayaan sangat berlebihan sehingga berpotensi *glare*. Berdasarkan hasil simulasi terlihat bahwa pasca penggantian kaca pencahayaan di daerah dekat kaca sudah berkurang.

Pada lantai 3 dan lantai 5 penggantian kaca dilakukan pada ruang kelas yang berorientasi ke timur laut dan pada ruang pengajaran yang berorientasi ke arah barat. Berdasarkan hasil simulasi yang didapat, pencahayaan pada ruang kelas 1,2,3 lantai 3 dan 5 mengalami penurunan sehingga pencahayaan yang besar hanya berda di daerah sekitar jendela.

Pada lantai 4 penggantian kaca dilakukan pada semua ruang dosen pada orientasi timur laut. Berdasarkan hasil simulasi, pencahayaan pada ruang dosen sangat berkurang dan pencahayaan yang besar terjadi pada daerah sekitar jendela. Untuk ruang dosen dengan

orientasi barat daya tidak dilakukan penggantian kaca karena rata – rata pencahayaan pada ruangan tersebut sudah cukup memenuhi standar pencahayaan.

Pada lantai 6 penggantian kaca dilakukan pada ruang pertemuan pada orientasi timur laut dan barat daya. Berdasarkan hasil simulasi penggantian kaca pada ruang pertemuan efektif menurunkan tingkat pencahayaan ruangan.

Pada alternatif ini dilakukan pula pemeriksaan terhadap beban termal bangunan dengan skenario penggantian kaca. Berdasarkan simulasi beban termal terdapat penurunan nilai *direct solar gains* yang cukup besar dimana hal ini berkaitan pula dengan sifat kaca reflektif yang mampu memantulkan energi panas matahari. Tabel 4.29 menampilkan hasil simulasi termal alternatif 2 dalam satu tahun.

Tabel 4.29 Hasil Simulasi Termal Alternatif Desain 2

Bulan	Fabric Gains kWh	Direct Solar Gains kWh	Indirect Solar Gains kWh	Ventilation Gains kWh	Internal Gains kWh	Interzonal Gains kWh
Januari	100,36	44,55	62,26	26,07	0,00	2,33
Februari	104,62	48,30	65,13	27,17	0,00	5,02
Maret	126,29	51,95	68,91	39,38	0,00	0,80
April	159,32	69,08	91,05	48,51	0,00	-4,18
Mei	181,46	79,62	99,37	57,31	0,00	-7,54
Juni	163,17	98,98	120,58	29,88	0,00	3,00
Juli	145,69	88,71	107,18	29,82	0,00	4,98
Agustus	165,36	85,79	110,81	40,43	0,00	3,76
September	173,95	74,46	103,02	49,99	0,00	-0,96
Oktober	237,46	69,93	99,34	100,55	0,00	-14,32
November	218,81	75,93	104,57	79,39	0,00	-11,31
Desember	139,78	50,38	67,81	47,48	0,00	-3,99
Rerata	159,688	69,807	91,667	47,999	0,000	-1,868

Sumber : Hasil simulasi

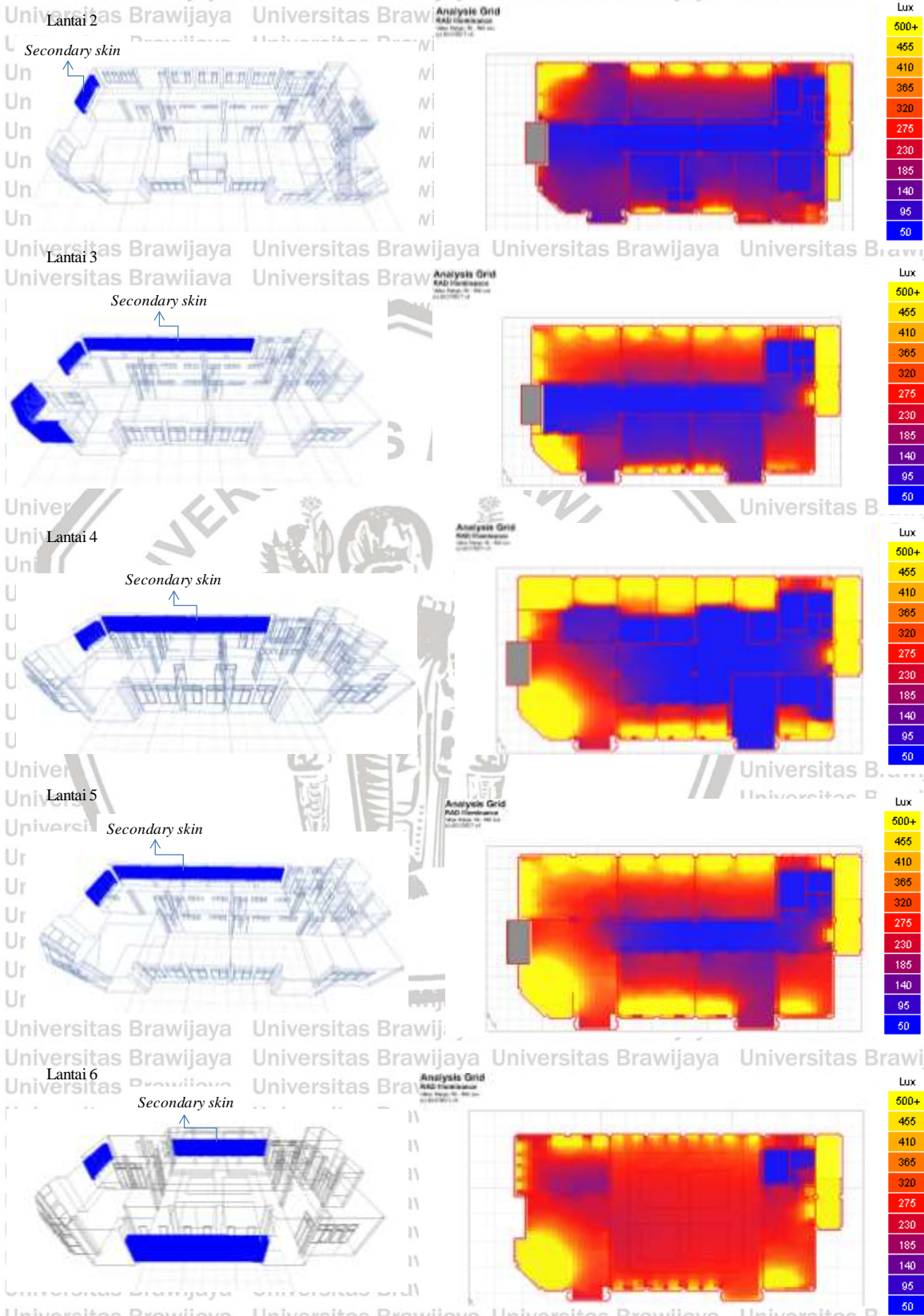
4.7.3. Alternatif Desain 3

Pada alternatif 3 skenario yang digunakan adalah skenario *double skin facade* dengan pengaplikasian *secondary skin*. Pada saat ini *secondary skin* yang berupa *laser cutting facade* sangat sering diaplikasikan pada bangunan guna meningkatkan kenyamanan bangunan, terutama kenyamanan visual. Disamping untuk kenyamanan, berbagai model *laser cutting facade* digunakan pula untuk menambah estetika bangunan sehingga bangunan tampak lebih indah.

Pada skenario ini model *secondary skin* yang digunakan adalah model sederhana, yakni *secondary skin* dengan penghalang berbentuk vertikal dengan jarak 2,5 cm. *Secondary skin* ditempatkan pada fasad yang memiliki bukaan atau jendela dengan pencahayaan yang berlebihan. Hasil simulasi alternatif 3 dapat dicermati pada Tabel 4.30 berikut.

Tabel 4.30 Hasil Simulasi Alternatif Desain 3
Alternatif 3

Skenario Hasil Simulasi



Sumber : Hasil simulasi

Berdasarkan tabel di atas, terlihat bagian berwarna biru merupakan skenario penggunaan *secondary skin*. Melalui hasil simulasi ecotect terlihat adanya reduksi pencahayaan pada zona-zona yang mengaplikasikan *secondary skin*. Pada lantai 2 *secondary skin* hanya dipasang pada satu sisi exterior ruang administrasi dengan mempertimbangkan bahwa pencahayaan bagian dalam ruangan kurang dari standar sedangkan pada bagian dekat jendela pencahayaan terlalu besar.

Pada alternatif 3 simulasi beban termal dilakukan untuk mengetahui sejauh mana penggunaan *secondary skin* berpengaruh terhadap kondisi termal bangunan. Berdasarkan hasil simulasi terjadi penurunan beban termal bangunan pada *fabric gains*, *direct solar gains*, *indirect solar gains* dan *interzonal gains*. Hasil simulasi beban termal alternatif 3 dapat diamati melalui Tabel 4.31 berikut.

Tabel 4.31 Hasil Simulasi Termal Alternatif Desain 3

Bulan	<i>Fabric Gains</i> kWh	<i>Direct Solar Gains</i> kWh	<i>Indirect Solar Gains</i> kWh	<i>Ventilation Gains</i> kWh	<i>Internal Gains</i> kWh	<i>Interzonal Gains</i> kWh
Januari	95,52	71,28	58,77	26,07	0,00	2,25
Februari	99,23	81,57	61,13	27,17	0,00	4,92
Maret	120,25	91,47	64,91	39,38	0,00	0,70
April	152,81	127,49	86,96	48,51	0,00	-4,27
Mei	174,12	149,21	94,93	57,31	0,00	-7,64
Juni	157,12	188,09	116,04	29,88	0,00	2,90
Juli	139,71	166,01	102,57	29,82	0,00	4,86
Agustus	158,55	158,57	105,94	40,43	0,00	3,65
September	166,90	134,32	98,49	49,99	0,00	-1,05
Oktober	227,70	117,48	94,47	100,55	0,00	-14,43
November	209,68	119,31	99,49	79,39	0,00	-11,42
Desember	133,31	79,50	63,89	47,48	0,00	-4,08
Rerata	152,909	123,691	87,297	47,999	0,000	-1,968


Sumber : Hasil simulasi

4.7.4. Alternatif Desain 4

Seperti yang telah diketahui bahwa setiap warna memiliki kemampuan yang berbeda dalam menyerap maupun memantulkan energi. Mengacu pada hal tersebut maka dilakukan skenario untuk mengetahui warna yang paling baik diaplikasikan terhadap gedung guna mereduksi beban termalnya.

Pada skenario ini dipilih 4 warna, dimana keempatnya memiliki nilai absorpsi dan reflektansi yang berbeda – beda. Keempat warna tersebut adalah biru, hijau, kuning dan putih yang kemudian dibandingkan dengan kondisi eksisting gedung. Tabel 4.32 berikut menampilkan hasil simulasi alternatif 4.

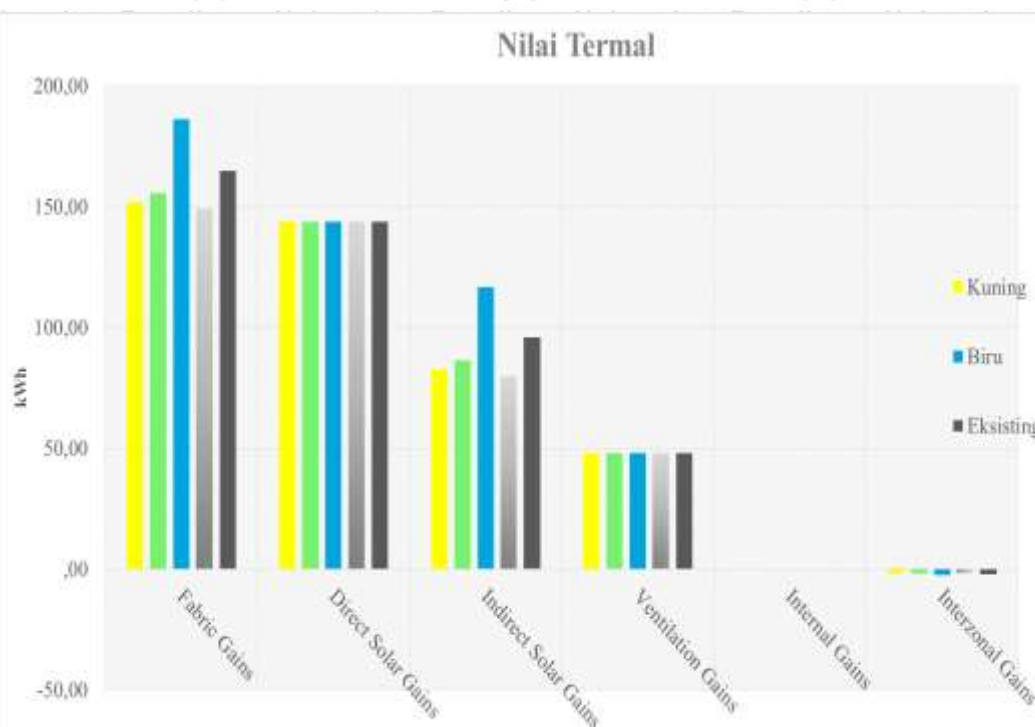
Tabel 4.32 Hasil Simulasi Termal Alternatif 4

Alternatif Penggantian Warna Cat					
	Kuning	Hijau	Biru	Putih	Eksisting
<i>Fabric Gains</i> (kWh)	151,907	155,673	186,113	149,012	164,924
<i>Direct Solar Gains</i> (kWh)	143,853	143,853	143,853	143,853	143,853
<i>Indirect Solar Gains</i> (kWh)	82,509	86,275	116,715	79,615	95,908
<i>Ventilation Gains</i> (kWh)	47,999	47,999	47,999	47,999	47,999
<i>Internal Gains</i> (kWh)	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
<i>Interzonal Gains</i> (kWh)	-1,761	-1,833	-2,471	-1,519	-2,043
Total	341,997	345,691	375,493	339,345	354,732

Sumber : Hasil simulasi

Berdasarkan hasil simulasi di atas dapat terlihat bahwa *direct solar gains*, *ventilation gains* dan *internal gains* memiliki nilai yang sama pada seluruh warna. Nilai-nilai tersebut tetap karena perubahan cat pada selubung bangunan tidak berpengaruh terhadap jumlah radiasi cahaya yang masuk melalui kaca dan tidak berpengaruh pula terhadap beban termal akibat ventilasi. Untuk itu pengukuran pencahayaan tidak dilakukan terhadap alternatif 4 karena *direct solar gains* atau cahaya radiasi langsung dari matahari bernilai sama dan tidak bergantung pada warna selubung bangunan.

Dari hasil simulasi diketahui bahwa warna putih memiliki nilai beban termal terendah jika dibandingkan dengan warna lainnya yaitu dengan total sebesar 339,345 kWh. Warna kuning dan hijau masing-masing menempati urutan kedua dan ketiga yaitu dengan nilai beban termal 341,997 kWh untuk warna kuning dan 345,691 kWh untuk warna hijau. Warna biru memiliki beban termal terbesar yang lebih besar daripada beban termal pada kondisi eksisting yaitu 375,493 kWh. Grafik perbandingan berbagai warna terhadap beban termal yang dihasilkan disajikan dalam Gambar 4.32 berikut.



Gambar 4.32 Diagram perbandingan beban termal

4.7.5. Alternatif Desain 5

Pada alternatif 5 skenario yang digunakan adalah perubahan dimensi bukaan, penggantian kaca reflektif dan perubahan warna cat dinding. Pengurangan dimensi dan penggantian kaca reflektif dilakukan pada zona-zona yang memiliki pencahayaan berlebih sedangkan penambahan dimensi berupa penambahan *clerestory* atau pembuatan jendela baru dilakukan pada zona-zona dengan pencahayaan yang kurang. Perubahan warna cat dinding menjadi warna putih adalah untuk menurunkan beban termal bangunan sesuai hasil simulasi pada alternatif 4.

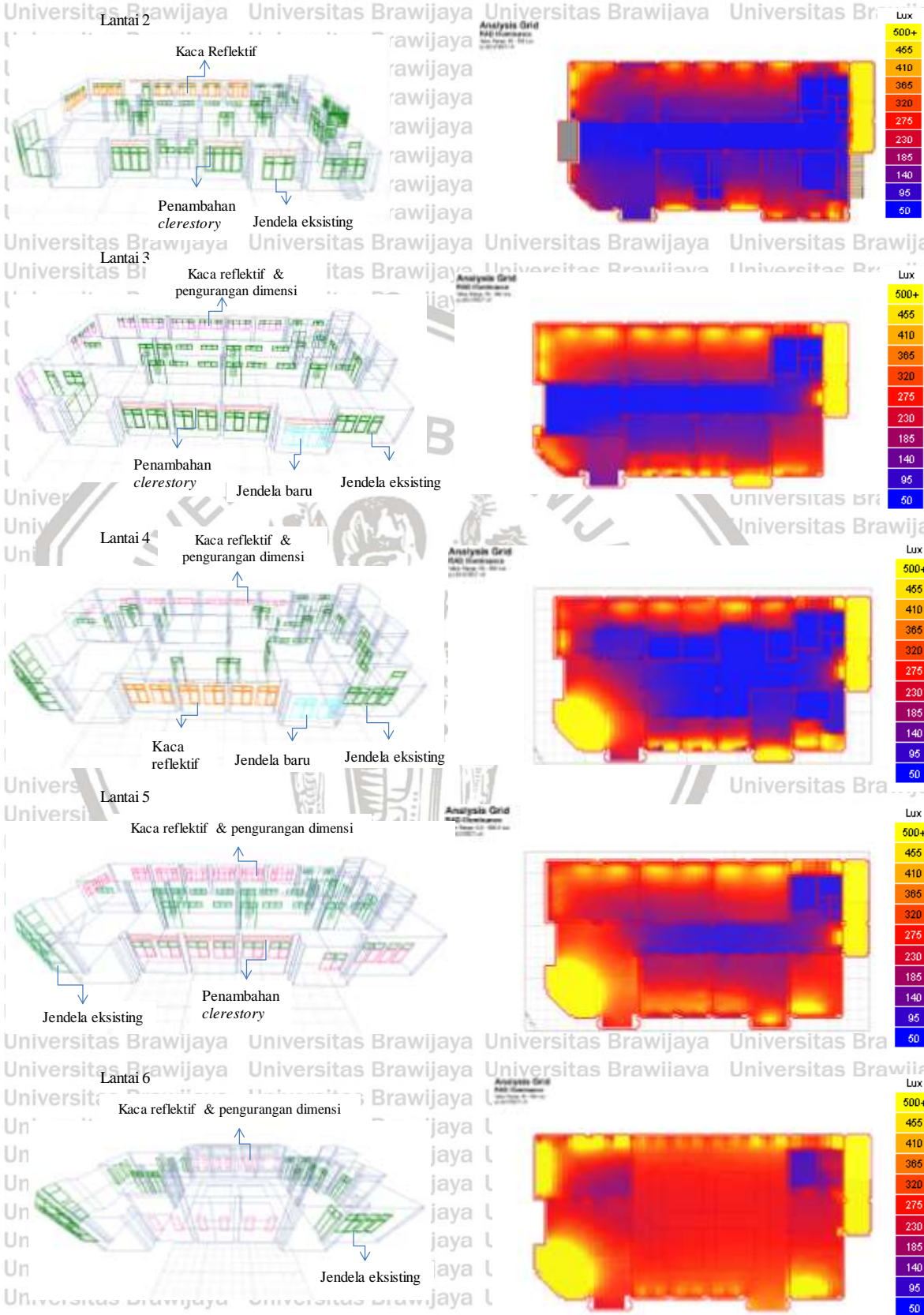
Pada beberapa zona yang memiliki penetrasi cahaya yang kurang baik dimana mengakibatkan pencahayaan dalam ruangan kurang namun pada area dekat jendela sangat besar dilakukan penggantian kaca reflektif dan penambahan *clerestory*. Penggunaan kaca reflektif bertujuan untuk mengurangi pencahayaan dekat jendela sedangkan penambahan *clerestory* bertujuan untuk menambah pencahayaan bagian ruangan. Tabel 4.33 berikut menyajikan hasil simulasi pencahayaan untuk alternatif 5.

Tabel 4.33 Hasil Simulasi Alternatif Desain 5

Alternatif 5

Skenario

Hasil Simulasi



Sumber : Hasil simulasi

Berdasarkan Tabel 4.33 di atas terlihat beberapa warna bukaan/jendela yang berbeda. Warna orange adalah jendela dengan dimensi tetap seperti eksisting namun kaca jendel diganti dengan kaca reflektif sedangkan warna pink menunjukkan dimensi jendela berubah dan kaca diganti dengan kaca reflektif. Warna merah menunjukkan penambahan *clerestory* dan warna toska menunjukkan penambahan jendela baru. Untuk jendela eksisting ditunjukkan oleh warna hijau.

Berdasarkan hasil simulasi terlihat bahwa sebagian zona – zona yang menerima cahaya matahari langsung atau memiliki jendela yang menghadap keluar bangunan berwarna merah. Warna merah mengindikasikan pencahayaan yang sesuai standar yaitu berkisar antara 250-300 lux. Pada bagian dalam bangunan rata – rata masih berwarna biru, warna biru dapat mengindikasikan pencahayaan di bawah 100 lux.

Pada alternatif 5 dilakukan pula simulasi termal untuk mengetahui beban termal bangunan. Penggunaan kaca reflektif dapat mengurangi beban termal bangunan karena kaca reflektif bersifat memantulkan sebagian energi panas. Tabel 4.34 menyajikan hasil simulasi termal pada alternatif 5.

Tabel 4.34 Hasil Simulasi Termal Alternatif Desain 5

Bulan	<i>Fabric Gains</i> kWh	<i>Direct Solar Gains</i> kWh	<i>Indirect Solar Gains</i> kWh	<i>Ventilation Gains</i> kWh	<i>Internal Gains</i> kWh	<i>Interzonal Gains</i> kWh
Januari	88,96	59,99	52,55	26,07	0,00	2,76
Februari	92,92	65,61	55,16	27,17	0,00	5,63
Maret	112,91	70,69	58,07	39,38	0,00	1,13
April	140,69	90,25	75,43	48,51	0,00	-4,13
Mei	160,30	102,93	81,82	57,31	0,00	-7,69
Juni	138,83	125,52	98,12	29,88	0,00	3,60
Juli	124,50	112,52	87,69	29,82	0,00	5,67
Agustus	143,62	110,54	91,47	40,43	0,00	4,40
September	153,44	98,11	85,66	49,99	0,00	-0,64
Oktober	215,32	94,41	83,30	100,55	0,00	-14,88
November	196,49	101,58	87,31	79,39	0,00	-11,62
Desember	125,93	67,52	57,14	47,48	0,00	-3,95
Rerata	141,159	91,639	76,142	47,999	0,000	-1,645

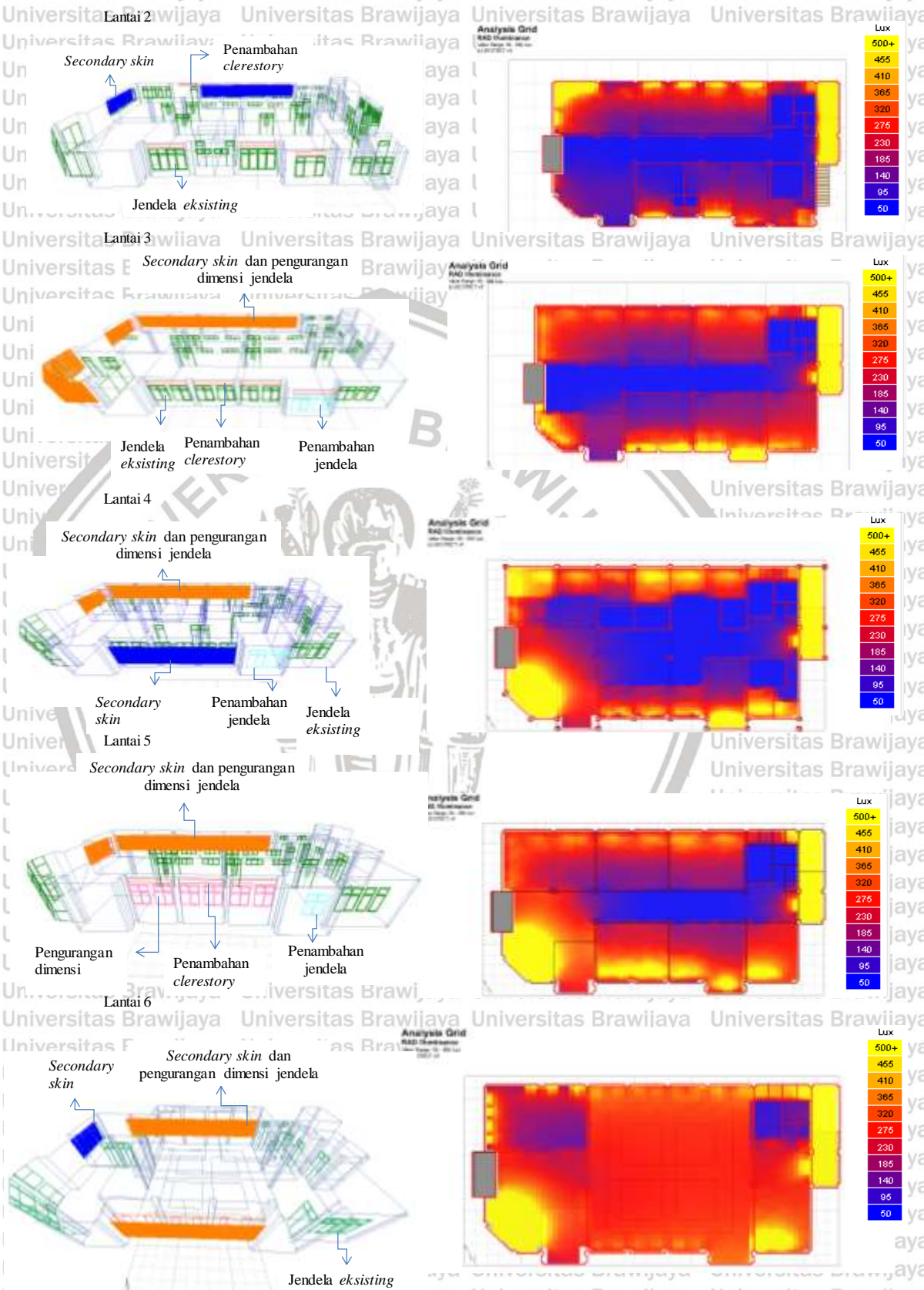
Sumber : Hasil simulasi

4.7.6. Alternatif Desain 6

Alternatif 6 merupakan gabungan dari alternatif 1,3 dan 4 yaitu merubah dimensi bangunan, mengaplikasikan *secondary skin* dan merubah warna cat menjadi warna putih. Strategi ini bertujuan untuk mengurangi pencahayaan berlebih dengan fasad tambahan dan menambah pencahayaan yang kurang dengan perubahan dimensi serta menurunkan beban termal bangunan. Tabel 4.35 menampilkan hasil simulasi alternatif 6

Tabel 4.35 Hasil Simulasi Alternatif Desain 6
Alternatif 6

Skenario Hasil Simulasi



Sumber : Hasil simulasi

Pada Tabel 4.35 di atas terlihat beberapa warna yang berbeda pada beberapa zona dan lantai. Warna orange menunjukkan penggunaan *secondary skin* pada jendela dengan dimensi diperkecil sedangkan *secondary skin* warna biru menunjukkan penggunaan *secondary skin* pada jendela yang dimesinya tetap. Warna pink menunjukkan pengurangan dimensi jendela, warna merah menunjukkan penambahan *clerestory* dan warna toska menunjukkan penambahan jendela. Untuk jendela eksisting ditunjukkan oleh warna hijau.

Berdasarkan hasil simulasi, beberapa zona memiliki pencahayaan yang cenderung lebih gelap dari sebelumnya bahkan yang awalnya berwarna atau sesuai standar menjadi berwarna ungu yang berarti kurang dari standar seperti beberapa zona pada lantai 3 dan 5. Pada beberapa zona lainnya terlihat bagian berwarna kuning yang menandakan pencahayaan berlebih berkurang dan bagian dalam tetap berwarna merah yang mengindikasikan distribusi pencahayaan semakin merata seperti pada lantai 6.

Simulasi termal pada alternatif 6 dilakukan guna mengetahui perubahan beban termal pada skenario ini. Umumnya penggunaan *secondary skin* dapat menurunkan beban termal bangunan karena radiasi matahari langsung pada kaca dan fasad bangunan berkurang. Hasil simulasi beban termal alternatif 6 diuraikan dalam Tabel 4.36.

Tabel 4.36 Hasil Simulasi Termal alternatif Desain 6

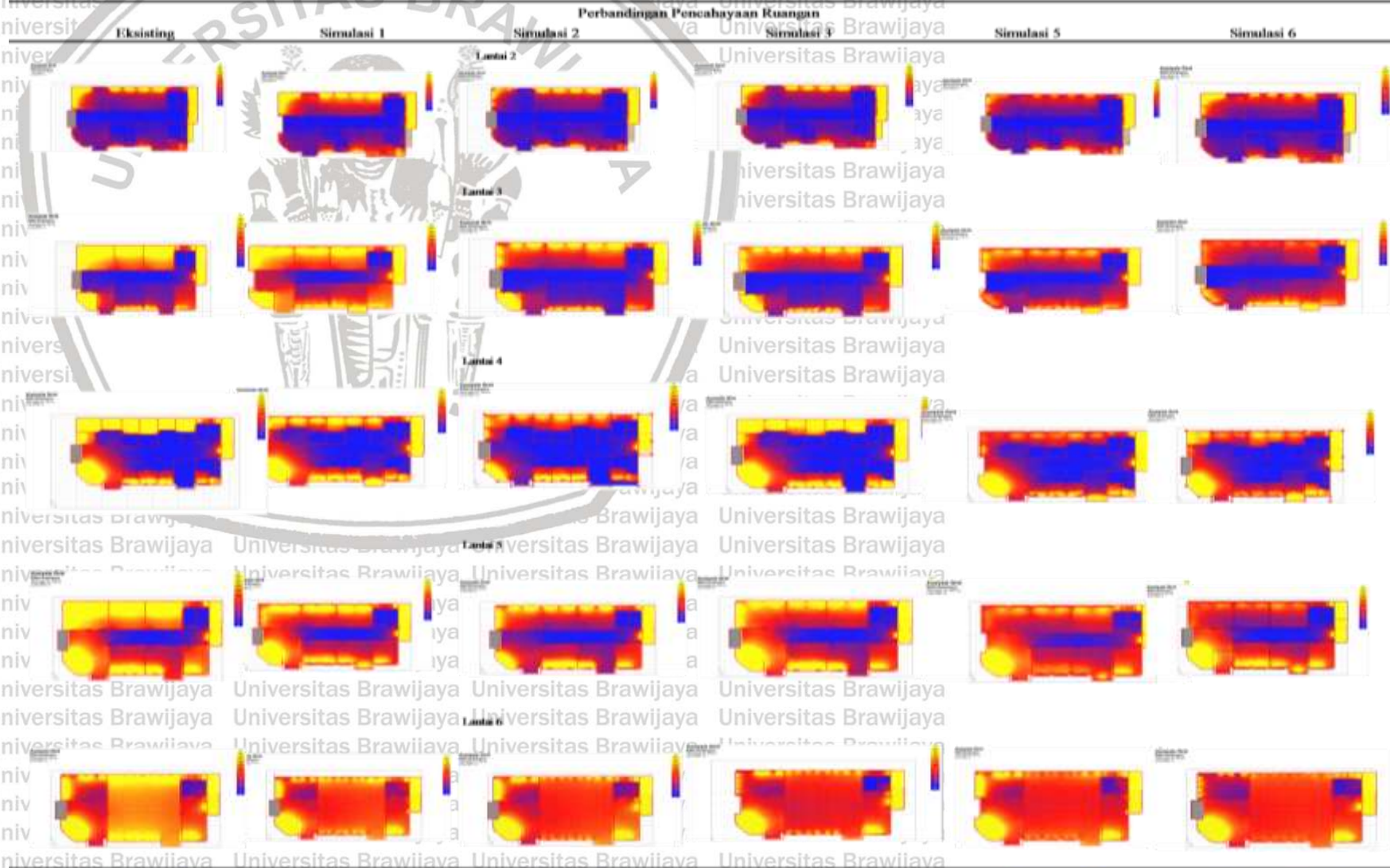
Bulan	<i>Fabric</i>	<i>Direct Solar</i>	<i>Indirect Solar</i>	<i>Ventilation</i>	<i>Internal</i>	<i>Interzonal</i>
	<i>Gains</i> kWh	<i>Gains</i> kWh	<i>Gains</i> kWh	<i>Gains</i> kWh	<i>Gains</i> kWh	<i>Gains</i> kWh
Januari	82,08	62,62	46,85	26,07	0,00	2,47
Februari	85,29	69,58	48,76	27,17	0,00	5,13
Maret	104,88	77,10	51,82	39,38	0,00	0,91
April	132,81	105,60	69,68	48,51	0,00	-3,99
Mei	151,71	122,76	75,79	57,31	0,00	-7,35
Juni	131,95	154,49	92,56	29,88	0,00	3,27
Juli	117,32	136,23	81,71	29,82	0,00	5,18
Agustus	135,24	130,86	84,79	40,43	0,00	3,99
September	144,68	112,64	79,09	49,99	0,00	-0,71
Oktober	203,43	101,97	75,70	100,55	0,00	-14,10
November	184,88	107,09	79,25	79,39	0,00	-11,03
Desember	117,33	70,19	50,77	47,48	0,00	-3,84
Rerata	132,633	104,262	69,730	47,999	0,000	-1,673

Sumber : Hasil simulasi

4.8. Rekomendasi Desain

Pada penelitian ini telah dilakukan 6 skenario sebagai alternatif desain. Pada berbagai skenario telah dihasilkan nilai pencahayaan dan beban termal yang berbeda-beda. Untuk menentukan rekomendasi desain akan dipilih skenario yang memiliki nilai pencahayaan paling mendekati standar dan nilai beban termal terendah. Perbandingan hasil simulasi pencahayaan berbagai alternatif dapat diamati melalui Tabel 4.37.

Tabel 4.37 Perbandingan Simulasi Pencahayaan



Sumber : Hasil simulasi

Melalui Tabel 4.37 dapat dikatakan bahwa seluruh alternatif skenario dapat mereduksi pencahayaan ruangan yang berlebih. Untuk masalah peningkatan pencahayaan pada ruangan dengan pencahayaan minimum hanya dapat dilakukan dengan skenario 1, 5 dan 6. Pada skenario 1 terlihat pencahayaan pada lantai 3,4 dan 5 berkurang, namun daerah berwarna kuning yang menandakan tingkat pencahayaan tinggi masih cukup luas. Melalui gambar lantai 3 dan 5 pada skenario 1 terlihat adanya penambahan pencahayaan pada ruangan dengan orientasi barat daya namun terjadi pula pengurangan daerah bagian kuning yang berarti penetrasi dan distribusi pencahayaan menjadi lebih merata.

Pada alternatif 2 dan 3 terlihat hasil simulasi pada lantai 2 sampai dengan lantai 6 mengalami penurunan. Hal tersebut mengindikasikan bahwa skenario pada alternatif 2 dan 3 cukup efektif dalam mengurangi pencahayaan dan potensi *glare*, namun meski daerah yang memiliki pencahayaan tinggi (daerah berwarna kuning) berkurang, perlu dilakukan skenario lanjutan untuk mendapatkan hasil yang lebih optimal. Disisi lain, dalam hal peningkatan pencahayaan, kedua alternatif ini tidak mampu meningkatkan pencahayaan pada ruangan dengan pencahayaan yang kurang karena skenario penggantian kaca dan *secondary skin* kurang sesuai untuk permasalahan tersebut.

Pada hasil simulasi alternatif 3 menunjukkan penurunan tingkat pencahayaan, kecuali pada lantai 4. Pada lantai 4 tingkat pencahayaan berkurang, namun daerah berwarna kuning masih cukup luas, dimana artinya skenario 4 yaitu penggunaan *secondary skin* dengan model vertikal kurang sesuai diterapkan pada ruangan sempit yang memiliki rasio jendela cukup besar.

Pada alternatif 5 dan 6 sebagian besar area berwarna kuning yang menunjukkan pencahayaan berlebih sudah sangat berkurang, namun pada beberapa zona menjadi gelap bahkan berwarna ungu yang berarti di bawah standar. Pada alternatif 6 beberapa ruang kelas seperti kelas 2 lantai 3 dan lantai 5 cenderung gelap pada bagian dalam. Pada alternatif 6 lantai 4 beberapa ruangan masih memiliki warna kuning-oranye yang berarti pencahayaan masih cukup tinggi sedangkan pada alternatif 5 pencahayaan cenderung berwarna merah atau memenuhi standar pencahayaan.

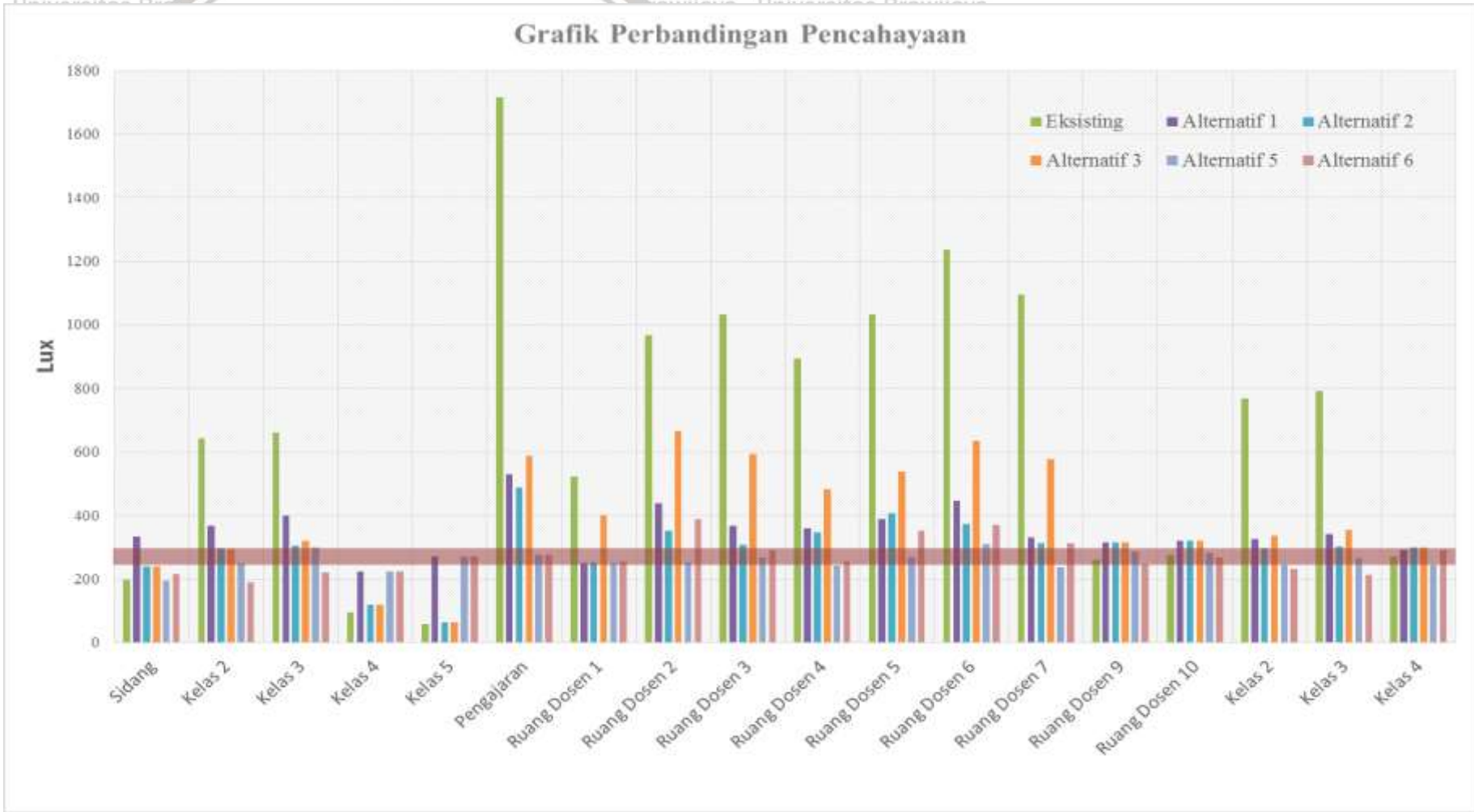
Pada seluruh simulasi pencahayaan didapat pula nilai pencahayaan pada zona terpilih. Pada dasarnya semua alternatif mampu menurunkan nilai pencahayaan yang berlebih pada setiap zona namun dengan tingkatan yang berbeda. Perbandingan pencahayaan pada zona terpilih dapat dicermati melalui Tabel 4.38 berikut.

Tabel 4.38 Perbandingan Pencahayaan Zona terpilih

No	Ruang	Eksisting (Lux)	Alternatif 1 (Lux)	Alternatif 2 (Lux)	Alternatif 3 (Lux)	Alternatif 5 (Lux)	Alternatif 6 (Lux)	Standar Pencahaya (Lux)	Selisih dengan SNI									
									Alternatif 1 (Lux) (%)	Alternatif 2 (Lux) (%)	Alternatif 3 (Lux) (%)	Alternatif 5 (Lux) (%)	Alternatif 6 (Lux) (%)					
1	Sidang	197	334	240	240	195	217	250 - 300	34	11%	-10	-3%	-10	-3%	-55	-22%	-33	-13%
2	Kelas 2	643	368	298	294	250	190	250 - 300	68	23%	-	-	-	-	-	-	-60	-24%
3	Kelas 3	662	398	305	320	300	220	250 - 300	98	33%	5	2%	20	7%	-	-	-30	-12%
4	Kelas 4	95	225	120	120	225	225	250 - 300	-25	-10%	-130	-43%	-130	-43%	-25	-10%	-25	-10%
5	Kelas 5	58	270	63	63	270	270	250 - 300	-187	-62%	-187	-62%	-	-	-	-	-	-
6	Pengajaran	1716	530	489	589	276	275	250 - 300	230	77%	189	63%	289	96%	-	-	-	-
7	Ruang Dosen 1	521	250	252	402	250	255	250 - 300	-	-	102	34%	-	-	-	-	-	-
8	Ruang Dosen 2	966	438	352	665	252	390	250 - 300	138	46%	52	17%	365	122%	-	-	90	30%
9	Ruang Dosen 3	1032	369	307	594	268	292	250 - 300	69	23%	7	2%	294	98%	-	-	-	-
10	Ruang Dosen 4	893	359	346	484	243	254	250 - 300	59	20%	46	15%	184	61%	-7	-3%	-	-
11	Ruang Dosen 5	1033	389	406	537	269	352	250 - 300	89	30%	106	35%	237	79%	-	-	52	17%
12	Ruang Dosen 6	1237	446	374	634	311	371	250 - 300	146	49%	74	25%	334	111%	11	4%	71	24%
13	Ruang Dosen 7	1095	332	314	577	238	314	250 - 300	32	11%	14	5%	277	92%	-12	-5%	14	5%
14	Ruang Dosen 9	260	315	315	315	286	248	250 - 300	-	-	-	-	-	-	-	-	-2	-1%
15	Ruang Dosen 10	275	321	321	321	282	267	250 - 300	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
16	Kelas 2	768	327	296	336	246	231	250 - 300	27	9%	-	-	36	12%	-4	-2%	-19	-8%
17	Kelas 3	791	342	302	355	265	214	250 - 300	42	14%	2	1%	55	18%	-	-	-36	-14%
18	Kelas 4	270	292	301	301	244	292	250 - 300	-	-	1	0,3%	1	0,3%	-6	-2%	-	-

Sumber : Hasil simulasi

Melalui Tabel 4.37 di atas dapat diketahui perbedaan tingkat reduksi pencahayaan maupun peningkatan pencahayaan pada berbagai alternatif. Tanda (-) pada kolom selisih dengan SNI menunjukkan bahwa pencahayaan pada zona tersebut sudah sesuai dengan standar pencahayaan. Gambar 4.33 menampilkan grafik perbandingan pencahayaan untuk mengetahui penurunan maupun peningkatan secara lebih jelas.



Gambar 4.33 Grafik perbandingan pencahayaan

Pada Gambar 4.33 dapat dilihat adanya zona horizontal berwarna pink. Zona tersebut merupakan nilai standar pencahayaan yang sesuai dengan SNI yaitu 250-300 lux. Berdasarkan grafik pencahayaan tersebut terlihat bahwa seluruh alternatif mampu menurunkan tingkat pencahayaan yang berlebih, namun alternatif 4 dengan grafik batang berwarna orange terlihat masih memiliki pencahayaan yang tinggi terutama pada zona ruang dosen. Seperti telah dijelaskan sebelumnya bahwa hal tersebut terjadi karena penggunaan *secondary skin* dengan tipe vertikal kurang sesuai untuk zona dengan luasan yang kecil namun memiliki rasio jendela cukup besar.

Pada alternatif 1 dan 2 masih banyak zona yang memiliki pencahayaan diluar standar pencahayaan baik kurang dari standar maupun melebihi standar. Pada alternatif 5 dan 6 sebagian besar zona berada pada standar kecuali pada beberapa zona seperti ruang sidang dan ruang kelas 5. Adanya zona yang masih berada di bawah standar mengindikasikan bahwa penggunaan penerangan buatan tetap dibutuhkan untuk meningkatkan pencahayaan.

Dalam pemilihan alternatif terbaik, beban termal juga turut diperhitungkan guna mereduksi penggunaan energi untuk mencapai kenyamanan termal. Beban termal pada berbagai alternatif desain dapat dibandingkan dengan merujuk Tabel 4.39.

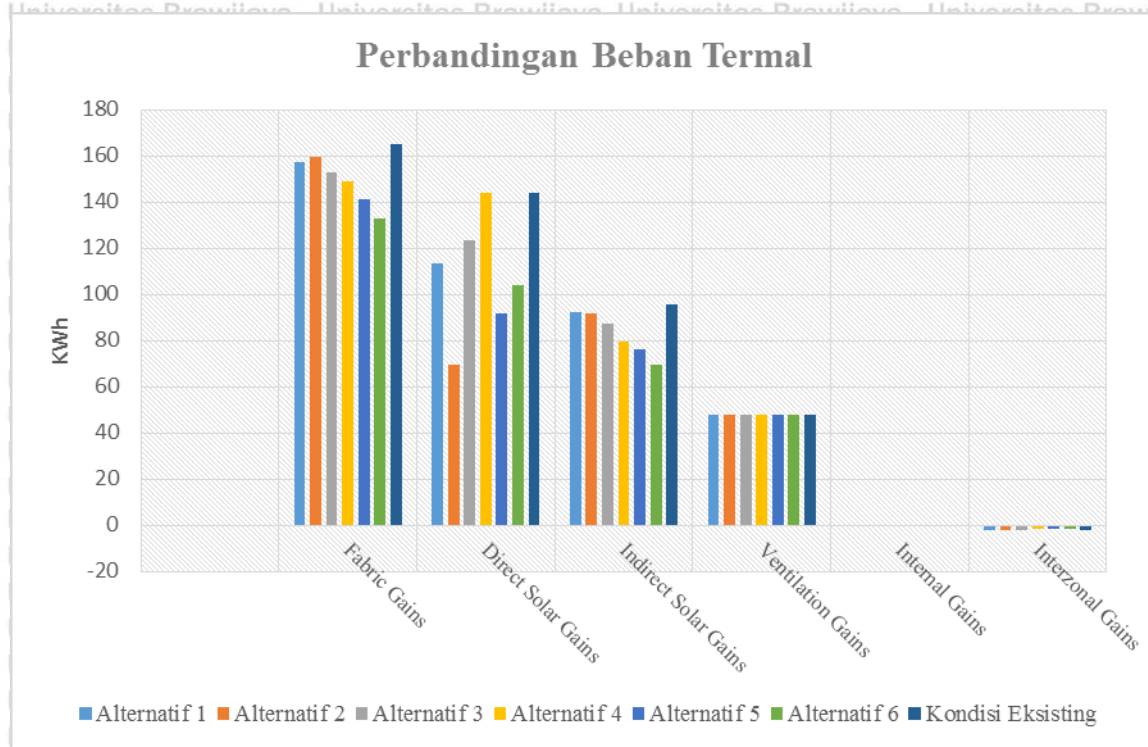
Tabel 4.39 Perbandingan Beban Termal

Beban Termal	Alternatif 1	Alternatif 2	Alternatif 3	Alternatif 4	Alternatif 5	Alternatif 6	Kondisi Eksisting	
<i>Fabric Gains</i>	kWh	157,377	159,688	152,909	149,012	141,159	132,633	164,924
<i>Direct Solar Gains</i>	kWh	113,338	69,807	123,691	143,853	91,639	104,262	143,853
<i>Indirect Solar Gains</i>	kWh	92,501	91,667	87,297	79,615	76,142	69,730	95,908
<i>Ventilation Gains</i>	kWh	47,999	47,999	47,999	47,999	47,999	47,999	47,999
<i>Internal Gains</i>	kWh	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
<i>Interzonal Gains</i>	kWh	-1,926	-1,868	-1,968	-1,519	-1,645	-1,673	-2,043
Total	kWh	316,789	275,626	322,631	339,345	279,152	283,220	354,732

Sumber : Hasil simulasi

Berdasarkan hasil simulasi termal terlihat bahwa seluruh alternatif memiliki beban termal yang lebih rendah dari kondisi eksisting bangunan. Beban termal terendah adalah pada alternatif 2 dan alternatif 5 dengan nilai beban termal berturut – turut 272,626 kWh dan 279,152 kWh. Kedua alternatif tersebut memiliki kesamaan yakni penggunaan kaca reflektif sebagai alternatif. Pada alternatif 5 dan 6 dilakukan skenario pencahayaan serta

perubahan warna cat dinding dengan nilai termal terendah yang dihasilkan pada simulasi alternatif 4. Beban termal tertinggi adalah pada skenario 4 yaitu perubahan warna cat dinding dengan nilai beban termal 339,345 kWh hal ini terjadi karena pada alternatif ini tidak dilakukan skenario pencahayaan apapun dan hanya



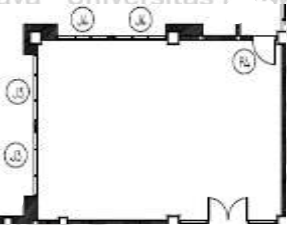
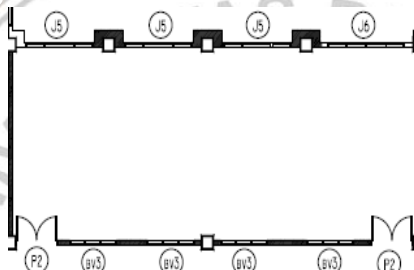
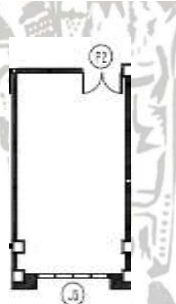
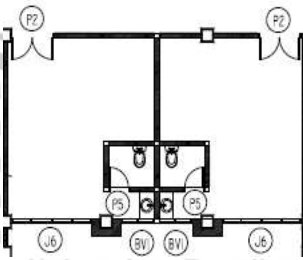
Gambar 4.34 Grafik perbandingan beban termal

Berdasarkan perbandingan beban termal di atas terlihat bahwa alternatif 2 dan 5 cenderung mengalami banyak penurunan termal dibanding alternatif lainnya terutama pada nilai *direct solar gains* dan *indirect solar gains*. Pada alternatif 2 terjadi penurunan pada nilai beban termal yang lebih rendah daripada alternatif lainnya.

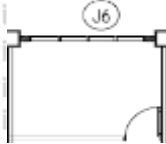

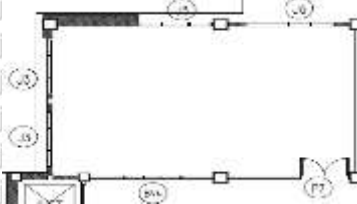
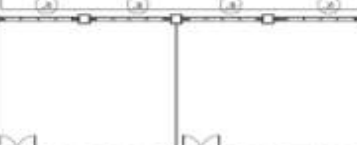
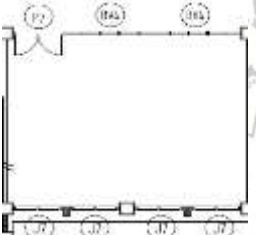
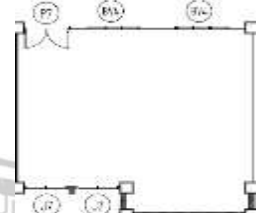

Berdasarkan keseluruhan hasil analisis pencahayaan dan beban termal maka dipilih alternatif yang mampu menciptakan kondisi paling mendekati kenyamanan termal dan visual. Pada alternatif 1-3 kenyamanan visual kurang optimal karena masih banyak zona dengan pencahayaan besar. Pada alternatif 5 dan 6 kenyamanan sebagian besar zona telah memenuhi standar pencahayaan, namun pada alternatif 6 beberapa zona justru menjadi lebih gelap dan pencahayaannya menjadi kurang dari standar. Pada simulasi beban termal alternatif 2 dan 5 adalah alternatif dengan beban termal terendah. Untuk itu alternatif terpilih adalah alternatif 5 karena alternatif ini dinilai paling sesuai karena memiliki hasil simulasi pencahayaan dan beban termal yang paling optimal yaitu memenuhi standar kenyamanan visual dan mampu menurunkan beban termal bangunan.

Pada alternatif 5 terdapat beberapa skenario yang dilakukan untuk mengoptimalkan pencahayaan dan menurunkan beban termal bangunan. Skenario tersebut telah dijelaskan pada subbab sebelumnya, namun perlu dilakukan perbandingan dengan kondisi eksisting untuk mengetahui perubahan dari kondisi eksisting. Beberapa skenario perubahan yang dilakukan pada alternatif 5 diuraikan dalam Tabel 4.40 berikut.

Tabel 4.40 Skenario Perubahan Alternatif Terpilih

Ruang	Lt	Layout	Simbol Perubahan	Eksisting	Desain
Administrasi	2		1. Penambahan clerestory J3 J4	- clear glass	3,00 m x 2,40 m Reflectif glass Reflectif glass
Sidang	2		1. Penambahan clerestory J5 J6	- clear glass	3,00 mx 2,40 m Reflectif glass Reflectif glass
KPS	2		1. Penambahan clerestory	-	3,00 mx 2,20 m
Kajur dan Sekjur	2		1. Penambahan clerestory	-	3,00 m x 2,75 m

Ruang	Lt	Layout	Simbol	Perubahan	Eksisting	Desain
Kelas 1	3		J3	1. Perubahan Dimensi 2. Perubahan material kaca bawah	1,80 m x 2,10m clear glass	1,40 m x 2,10 m Reflectif glass
Kelas 2 dan 3	3		J6	1. Perubahan Dimensi 2. Perubahan material kaca bawah	2,00 m x 2,750m clear glass	1,40 m x 2,75 m Reflectif glass
Kelas 4	3		J3	1. Penambahan clerestory	-	3,00 m x 2,90 m
Kelas 5	3		J3	1. Penambahan jendela baru 2. Penambahan clerestory	- -	1,80 m x 1,30 m 3,00 m x 2,90 m
Pengajaran	3		J3	1. Pengurangan jendela 2. Perubahan material kaca	- clear glass	Reflectif glass
R. Dosen	4		J3	1. Perubahan Dimensi 2. Perubahan material kaca	1,80 m x 2,10m clear glass	0,75 m x 2,10 m Reflectif glass

Ruang	Lt	Layout	Simbol	Perubahan	Eksisting	Desain
R. Dosen 3,4,5,6,7	4		J3	1. Perubahan Dimensi 2. Perubahan material kaca	2,00 m x 2,75m <i>clear glass</i>	0,75 m x 2,75m <i>Reflectif glass</i>
R. Dosen 9,10,11	4		J7	1. Perubahan material kaca	<i>clear glass</i>	<i>Reflectif glass</i>
Kelas 1	5		J3	1. Perubahan Dimensi 2. Perubahan material kaca	1,80 m x 2,10m <i>clear glass</i>	1,40 m x 2,10 m <i>Reflectif glass</i>
Kelas 2 dan 3	5		J6	1. Perubahan Dimensi 2. Perubahan material kaca	2,00 m x 2,750m <i>clear glass</i>	1,40 m x 2,75 m <i>Reflectif glass</i>
Kelas 4	5		J7	1. Penambahan clerestory 2. Perubahan Dimensi 3. Perubahan material kaca bawah	- 1,80 m x 1,30m <i>clear glass</i>	3,00 m x 2,90 m 1,40 m x 1,30 m <i>Reflectif glass</i>
Kelas 5	5		J7	1. Penambahan jendela baru 2. Penambahan clerestory 2. Perubahan Dimensi 3. Perubahan material kaca bawah	- - 1,80 m x 1,30m <i>clear glass</i>	1,80 m x 1,30 m 3,00 m x 2,90 m 1,40 m x 1,30 m <i>Reflectif glass</i>
R. Pertemuan				1. Perubahan Dimensi 2. Perubahan material kaca bawah	1,80 m x 0,60m <i>clear glass</i>	1,35 m x 0,60 m <i>Reflectif glass</i>

Sumber : Hasil simulasi

Melalui tabulasi skenario perubahan di atas, kita dapat mengetahui item apa saja yang mengalami perubahan. Disamping skenario tersebut, perubahan warna cat juga akan membuat perubahan yang sedikit berbeda dengan tampilan gedung pada kondisi eksisting. Perbandingan tampak gedung pada kondisi eksisting dan pada saat rekomendasi desain dapat diamati melalui Tabel 4.41 berikut

Tabel 4.41 Perbandingan Tampak Gedung Eksisting dan Rekomendasi Desain



Sumber : Hasil simulasi

4.9. Energy Cost

Energi cost atau biaya energi merupakan besaran biaya yang dikeluarkan untuk konsumsi energi listrik. Pada perhitungan *energy cost* nilai yang dihitung merupakan biaya energi tanpa memasukkan biaya penggantian atau pengadaan material untuk rekomendasi desain terpilih.

Melalui hasil simulasi pencahayaan, didapat zona – zona dengan pencahayaan yang kurang, memenuhi hingga melebihi standar. Dengan asumsi bahwa pada saat pencahayaan kurang maka digunakan bantuan penerangan buatan, pada saat pencahayaan memenuhi standar maka pencahayaan buatan tidak digunakan dan pada saat pencahayaan jauh melebihi standar dilakukan penutupan tirai dan pencahayaan buatan digunakan untuk membantu pemenuhan kenyamanan visual maka didapatkan hasil sebagaimana ditampilkan dalam Tabel 4.42.

Tabel 4.42 Penggunaan Titik Lampu

Ruang	E (Lux)	Panjang (m)	Lebar (m)	Daya (watt)	Jml Lampu Unit	Φ (lumen)	LLF	Cu	Eksisting (Unit)	Terpakai (Unit)
Lt 2										
Administrasi	250	6,00	9,00	18	2	2700	0,8	0,65	6	2
Sidang	250	6,00	14,50	18	2	2700	0,8	0,65	10	5
KPS	250	4,00	7,00	18	2	2700	0,8	0,65	2	1
Kajur	250		23,30	18	2	2700	0,8	0,65	3	2
Sekjur	250		23,30	18	2	2700	0,8	0,65	3	2
Lorong	100		141,30	20	1	1500	0,8	0,65	20	8
Mushalla	250	3,50	3,00	18	2	2700	0,8	0,65	1	1
Pantry	250	2,50	2,80	20	1	1500	0,8	0,65	1	0
Tempat wudhu	250	2,50	1,50	20	1	1500	0,8	0,65	1	0
Lt 3										
Kelas 1	250	9,00	6,00	18	2	2700	0,8	0,65	6	0
Kelas 2	250	7,00	6,00	18	2	2700	0,8	0,65	6	1
Kelas 3	250	7,50	6,00	18	2	2700	0,8	0,65	7	0
Kelas 4	250	7,00	6,00	18	2	2700	0,8	0,65	6	3
Kelas 5	250		49,00	18	2	2700	0,8	0,65	6	3
				20	1	1500	0,8	0,65	1	
UJM	250	5,00	6,00	18	2	2700	0,8	0,65	4	0
Pengajaran	250		17,13	20	1	1500	0,8	0,65	6	0
Lorong	100		97,63	20	1	1500	0,8	0,65	12	8
Lt 4										
R. Dosen 1	250	3,00	3,50	18	2	2700	0,8	0,65	1	0
R. Dosen 2	250	3,00	5,00	18	2	2700	0,8	0,65	2	0
R. Dosen 3	250	4,00	2,80	18	2	2700	0,8	0,65	1	0
R. Dosen 4	250	3,50	3,20	18	2	2700	0,8	0,65	2	0
R. Dosen 5	250	3,50	3,20	18	2	2700	0,8	0,65	2	0
R. Dosen 6	250	3,50	2,80	18	2	2700	0,8	0,65	1	0
R. Dosen 7	250	4,00	3,00	18	2	2700	0,8	0,65	2	0
R. Dosen 12	250	3,50	3,00	18	2	2700	0,8	0,65	1	1
R. Dosen 13	250	3,50	3,00	18	2	2700	0,8	0,65	1	1
R. Dosen 8	250	2,50	3,00	18	2	2700	0,8	0,65	1	1

Ruang	E (Lux)	Panjang (m)	Lebar (m)	Daya (watt)	Jml Lampu Unit	ϕ (lumen)	LLF	Cu	Eksisting (Unit)	Terpakai (Unit)
R. Dosen 9	250	3,00	3,50	18	2	2700	0,8	0,65	1	0
R. Dosen 10	250	3,00	3,50	18	2	2700	0,8	0,65	1	0
R. Dosen 11	250	3,00	3,50	18	2	2700	0,8	0,65	1	0
R. Rapat	250	4,00	7,00	18	2	2700	0,8	0,65	3	3
Lorong	100	205,73		18	2	2700	0,8	0,63	5	5
				20	1	1500			18	9
Mushalla	250	3,50	3,00	18	2	2700	0,8	0,65	1	1
Pantry	250	2,50	2,80	20	1	1500	0,8	0,65	1	0
Tempat wudhu	250	2,50	1,50	20	1	1500	0,8	0,65	1	0
Lt 5										
Kelas 1	250	9,00	6,00	18	2	2700	0,8	0,65	6	0
Kelas 2	40	7,00	6,00	18	2	2700	0,8	0,65	6	1
Kelas 3	250	7,50	6,00	18	2	2700	0,8	0,65	7	0
Kelas 4	250	7,00	6,00	18	2	2700	0,8	0,65	6	1
Kelas 5	250	49,00		18	2	2700	0,8	0,65	6	1
				20	1	1500	0,8	0,65	1	1
Belajar mandiri	250	5,00	6,00	18	2	2700	0,8	0,65	4	0
Lorong	100	119,50		20	1	1500	0,8	0,65	18	8
Lt 6										
R. Pertemuan	250	221,50		18	2	2700	0,8	0,65	4	0
				20	1	1500			29	0
R. Prasmanan	250	54,00		18	2	2700	0,8	0,65	2	2
				20	1	1500			6	6

Sumber : Hasil simulasi

Dengan data konsumsi energi bulanan eksisting dari gedung, dilakukan perbandingan antara konsumsi energi eksisting dengan konsumsi energi setelah desain khususnya penggunaan energi untuk penerangan buatan. Dengan asumsi bahwa seluruh peralatan listrik digunakan pada saat konsumsi energi eksisting, maka didapat perbandingan energi sebagaimana ditampilkan melalui Tabel 4.43 berikut.

Tabel 4.43 Perbandingan *Energy Cost*

Bulan	kWh eksisting	kWh setelah rekomendasi	Daya eksisting	Daya setelah rekomendasi	Biaya (PerkWh) Rp	Biaya (Eksisting) Rp	Biaya (rekomendasi desain) Rp
Januari	12.780	10.982	80.511,10	69.181,50	900,00	11.502.000,00	9.883.427,42
Februari	11.160	9.590	80.511,10	69.181,50	900,00	10.044.000,00	8.630.598,59
Maret	10.500	9.022	80.511,10	69.181,50	900,00	9.450.000,00	8.120.186,84
April	8.520	7.321	80.511,10	69.181,50	900,00	7.668.000,00	6.588.951,61
Mei	7.880	6.771	80.511,10	69.181,50	900,00	7.092.000,00	6.094.006,89
Juni	7.880	6.771	80.511,10	69.181,50	900,00	7.092.000,00	6.094.006,89
Juli	7.880	6.771	80.511,10	69.181,50	900,00	7.092.000,00	6.094.006,89
Agustus	7.880	6.771	80.511,10	69.181,50	900,00	7.092.000,00	6.094.006,89
Oktober	7.880	6.771	80.511,10	69.181,50	900,00	7.092.000,00	6.094.006,89
November	7.880	6.771	80.511,10	69.181,50	900,00	7.092.000,00	6.094.006,89
Desember	7.862	6.756	80.511,10	69.181,50	900,00	7.075.800,00	6.080.086,57
Total	98.102	84.297				88.291.800,00	75.867.292,36

Sumber : Hasil perhitungan

Berdasarkan hasil perhitungan didapat perbandingan penggunaan energi pada kondisi eksisting dan penggunaan energi pada rekomendasi desain. Pada kondisi eksisting total energi yang digunakan selama 1 tahun adalah 98.102 kWh sedangkan setelah rekomendasi desain penggunaan energi turun 14% menjadi 84.297 kWh pertahun atau berkurang sebesar 13.805 kWh. *Energy cost* pada rekomendasi desain tentunya mengalami penurunan sesuai dengan turunnya penggunaan energi. Pada kondisi eksisting *energy cost* adalah sebesar Rp 88.291.800,00 dan pada saat rekomendasi desain *energy cost* mejadi Rp 75.867.292,36 atau terjadi penurunan sebesar Rp 12.424.507,64.



BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Mengacu pada keseluruhan hasil analisis dalam penelitian terhadap Gedung A Teknik Pengairan Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, maka didapat beberapa kesimpulan, yakni :

1. Berdasarkan perhitungan nilai IKE didapat bahwa tingkat konsumsi energi pada Gedung A berada pada kategori efisien-sangat efisien pada ruang nonAC yaitu dengan nilai IKE di bawah $2,25 \text{ kWh/m}^2$ perbulan dan kategori efisien pada ruang berAC dengan nilai IKE dibawah $11,61 \text{ kWh/m}^2$ perbulan.
2. Kondisi kenyamanan visual gedung A dengan pencahayaan alami belum memenuhi standar SNI. Pada ruangan dengan orientasi timur laut terutama pada lantai 3 sampai lantai 6 rata - rata pencahayaan melebihi 500 lux dan ruangan dengan orientasi barat daya memiliki rata – rata 250-300 lux namun dengan pencahayaan yang kurang merata dan gelap pada bagian dalam ruangan. Kondisi termal pada Gedung A dengan penghawaan alami belum memenuhi standar SNI pada ruangan dengan orientasi timur laut, barat-barat daya serta barat daya lantai pada lantai 5 dan 6. Ruangannya tersebut mempunyai temperatur yang lebih tinggi dari standar kenyamanan yaitu diatas $27,1^\circ\text{C}$ bahkan pada temperatur tertinggi suhu dalam ruangan dapat mencapai $29,9^\circ\text{C}$.
3. Berdasarkan hasil analisis, alternatif yang direkomendasikan untuk peningkatan kenyamanan visual dan termal pada penelitian ini adalah penggantian kaca dengan kaca reflektif, perubahan dimensi jendela, penambahan *celesretory* maupun jendela baru dan perubahan warna cat dinding menjadi warna putih.
4. Terjadi penurunan penggunaan energi sebelum dan setelah rekomendasi desain. Pada kondisi eksisting besar energi yang digunakan selama 1 tahun adalah 98.102 kWh dan setelah rekomendasi terjadi penurunan sebesar 14% menjadi 84.297 kWh. Besarnya *energy cost* pada kondisi eksisting adalah

Rp 88.291.800,00 dan setelah rekomendasi menjadi 75.867.292,36 atau terjadi penurunan sebesar Rp 12.424.507,64.

5.2.Saran

Guna meningkatkan kualitas penelitian kedepannya, maka diberikan beberapa saran yang relevan dengan penelitian ini, yakni :

1. Untuk pemilihan rekomendasi desain dapat dilakukan studi terlebih dahulu mengenai strategi – strategi yang biasa digunakan dalam bidang arsitektur sehingga memiliki lebih banyak pandangan mengenai strategi eksterior bangunan.
2. Untuk pengembangan penelitian lebih lanjut dapat membahas mengenai rekayasa sirkulasi udara di dalam dan diluar gedung untuk meningkatkan kenyamanan serta untuk membahas permasalahan yang sedang marak terkait peran sirkulasi udara dalam ruangan dengan penyebaran virus Covid19.
3. Pemilihan alternatif yang lebih mudah dan ekonomis salah satunya dengan aplikasi stiker kaca film untuk meningkatkan kenyamanan termal dan visual dapat dijadikan pengembangan untuk penelitian lebih lanjut.
4. Penggunaan *software* tambahan disamping *software* Ecotect dalam proses simulasi untuk mengetahui perbandingan hasil simulasi yang didapat.

Daftar Pustaka

- Badan Standardisasi Nasional. 2000. *Konservasi Energi Selubung Bangunan pada Bangunan Gedung*. Jakarta: BSN
- Badan Standardisasi Nasional. 2011. *Konservasi Energi Sistem Tata Udara Bangunan Gedung*. Jakarta: BSN.
- Badan Standardisasi Nasional. 2010. *Konservasi Energi Pada Sistem Pencahayaan*. Jakarta: BSN.
- Biantoro, Agung Wahyu. 2017. *Analisis Perbandingan Efisiensi Energi pada Gedung P Kabupaten Tangerang dan Gedung Tower UMB Jakarta*. Jurnal Teknik Mesin Vol. 06 No. 03: 85-93.
- Biantoro, Agung Wahyu & Dadang S.P. 2017. *Analisis Audit Energi untuk Pencapaian Efisiensi Energi di gedung AB, Kabupaten Tangerang, Banten*. Jurnal Teknik Mesin Vol. 06 164-173.
- Dewantoro, Fajar dkk. 2019. *Kajian Pencahayaan Alami Ruang Baca Perpustakaan Indonesia*. Arcade Jurnal Arsitektur Vol 01. Nol. 03: 94-99
- Egan, M. David dan Victor W. Olgyay. 2002. *Architectural Lighting*. McGraw-Hill: New York.
- Evans, Benjamin H, AIA. 1981. *Daylight in Architecture*. McGraw-Hill Inc: New York
- Hidayanto, N. 2012. *Analisis Statistik Terhadap Potensi Penghematan Energi Pada Bangunan Gedung Dengan Metode Benchmarking*. Universitas Indonesia. Jakarta.
- Karlen, Mark dan James Benya. 2008. *Dasar-Dasar Desain Pencahayaan*. Jakarta: Erlangga.
- Kementerian ESDM. 2012. *Penghematan Pemakaian Tenaga Listrik*. Jakarta: Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral.
- Kurnia, Rendy dkk. 2010. *Identifikasi Kenyamanan Termal Bangunan (Studi Kasus Ruang Kuliah Kampus IPB Baranangsiang dan Darmaga Bogor)*. Jurnal Agromet 24: 14-22.
- Kurniawati, Ria. 2017. *Efisiensi Energi Ruang Rawat Inap Bangunan Rumah Sakit Islam Yarsis Surakarta*. Jurnal Muara Vol 01. No. 01: 157-163.
- Latifah, Nur Laela. 2015. *Fisika Bangunan I*. Griya Kreasi: Jakarta.

- Lechner, Nobert. 2001. *Heating, Cooling Lighting Fourth Edition*. John Wiley & Sons Inc: New York.
- Moore, F. 1993. *Environmental Control Systems: Heating Cooling Lighting*. McGraw-Hill: New York .
- Peraturan Pemerintah. 2009. *Konservasi Energi*. Jakarta: Peraturan Pemerintah Republik Indonesia.
- Pujawan, I Nyoman. 2004. *Ekonomi Teknik edisi pertama*, cetakan ketiga. AMP YKPN : Yogyakarta.
- Satwiko, Prasasto. 2004. *Fisika Bangunan 1*. Andi: Yogyakarta.
- Satwiko, Prasasto. 2009. *Pengertian Kenyamanan Dalam Suatu Bangunan*. Wignjosubroto: Yogyakarta,
- Steffy, Gary. 2002. *Architectural Lighting Design*. John Wiley & Sins Inc: New York.
- Suprayogi, Muhammad R dkk . 201. *Analisis Audit Energi Pada Beban HVAC (Heat, Ventilation, And Air Conditioning) Di Rumah Sakit Umum Daerah Dr. Saiful Anwar Malang*.Jurnal Mahasiswa Teknik Elektro: 1-6.
- Yahdi, Umar. 1996. *Pengantar Fisika Mekanika*. Gunadarma: Depok.

DATA INVENTARIS GEDUNG A

NO	PERALATAN	SPEKIFIKASI	JUMLAH	RUANG	LANTAI
1	Lift		2		
1	Panel Listrik		2	Ruang Genset	Lantai 1
2	Panel Pompa		1	Ruang Genset	Lantai 1
3	Panel Listrik		3	Ruang Panel	Lantai 1
4	Lampu merkuri		6		Lantai 1
5	Lampu TL		6		Lantai 1
6	Lampu SL		1		Lantai 1
7	Lampu SL		2		Lantai 1
8	Exhaust fan		3		Lantai 1
9	Pompa utama		1		Lantai 1
10	Pompa dorong		1		Lantai 1
11	Pompa penguras		1		Lantai 1
12	A10 Dell Komputer	DELL	5	Recording	Lantai 2
13	A10 Accer Veriton	Acer	1	Recording	Lantai 2
14	Printer	Epson M200	3	Recording	Lantai 2
15	Printer	Epson L 210	3	Recording	Lantai 2
16	PC Komputer	Core I3	4	Recording	Lantai 2
17	Monitor	Samsung	4	Recording	Lantai 2
18	Lemari Es	Polytron	1	Recording	Lantai 2
19	TV 32 Inch	Sony	3	Recording	Lantai 2
20	Finger Print	Finger spot	1	Recording	Lantai 2
21	Laptop i7	Asus	2	Recording	Lantai 2
22	Laptop i7	Lenovo	1	Recording	Lantai 2
23	Laptop i7	DELL	1	Recording	Lantai 2
24	UPS	Keneka	2	Recording	Lantai 2
25	Stavolt	Matsugawa	2	Recording	Lantai 2
26	Pesawat telepon	Panasonic	1	Recording	Lantai 2
27	Pesawat telopon dan Fax		1	Recording	Lantai 2
28	Sound System	3G audio	2	Tirta Amarnya	Lantai 2
29	Monitor CCTV	LG	1	Tirta Amarnya	Lantai 2
30	Monitor CCTV	Samsung	2	Tirta Amarnya	Lantai 2
31	DVR CCTV		1		Lantai 2
31	Portable AC	Denpoo	1	Tirta Amarnya	Lantai 2
32	LCD	Epson	1	Tirta Amarnya	Lantai 2
33	Amplifier Sound system	3G audio	1	Tirta Amarnya	Lantai 2
34	Monitor	Accer	1	Tirta Amarnya	Lantai 2
35	Komputer 3 in 1		1	R. Kajur	Lantai 2
36	Dispenser	Electrolux	1	R. Kajur	Lantai 2
37	Printer	Epson	1	R. Kajur	Lantai 2
38	Printer	Brother	1	R. Sekjur	Lantai 2
39	Printer	Epson	1	R. Sekjur	Lantai 2
40	Dispenser	Sharp	1	R. Sekjur	Lantai 2
41	Komputer 3 in 1	Dell	1	R. Sekjur	Lantai 2
42	Pesawat Telephon	Panasonic	1	R. Sekjur	Lantai 2
43	Printer	Epson	1	KPS S1	Lantai 2
44	Pesawat Telephone	Panasonic	1	KPS S2	Lantai 2
45	Dispenser	Polytron	1	KPS S4	Lantai 2
46	Komputer 3 in 1	Dell	1	KPS S5	Lantai 2
47	LCD	Epson	1	KPS S6	Lantai 2

48	Rice Cooker		1	Dapur	Lantai 2
49	CCTV		2	R. Tunggu	Lantai 2
50	Panel Listrik		2	Janitor dan Panel	Lantai 2
51	Panel Wifi		1	Janitor dan Panel	Lantai 2
52	Lampu TL		50		Lantai 2
53	Lampu SL		35		Lantai 2
54	Lampu SL		12		Lantai 2
55	Lampu SL		2		Lantai 2
56	Lampu SL		7		Lantai 2
57	Lampu SL		3		Lantai 2
58	Lampu SL		7		Lantai 2
59	Lampu SL		2		Lantai 2
60	Lampu LED		2		Lantai 2
61	Exhaust fan		7		Lantai 2
62	AC 0.5 PK	Panasonic	1		Lantai 2
63	AC 1 PK	Panasonic	3		Lantai 2
64	AC 1.5 PK	Panasonic	2		Lantai 2
65	AC 2 PK	Panasonic	1		Lantai 2
66	Dispenser	Sharp	1	R. Pengajaran	Lantai 3
67	Printer	Epson M200	1	R. Pengajaran	Lantai 3
68	Monitor	LG	1	R. Pengajaran	Lantai 3
69	Monitor	Dell	1	R. Pengajaran	Lantai 3
70	PC Komputer		1	R. Pengajaran	Lantai 3
71	UPS Prolink		1	R. Pengajaran	Lantai 3
72	Stavolt	Matsugawa	1	R. Pengajaran	Lantai 3
73	LCD	Epson	5		Lantai 3
74	CCTV		7		Lantai 3
77	Sound System	Dixon	1		Lantai 3
84	Komputer	Accer	1	R. UJM	Lantai 3
85	Komputer	Dell	1	R. UJM	Lantai 3
86	Printer dan Scan	Epson	2	R. UJM	Lantai 3
87	Dispenser	Polytron	1	R. UJM	Lantai 3
89	Panel Listrik		1	Janitor dan Panel	Lantai 3
90	Panel Wifi		1	Janitor dan Panel	Lantai 3
91	Lampu TL		68		Lantai 3
91	Lampu SL		1		Lantai 4
92	Lampu SL		21		Lantai 3
93	Lampu SL		2		Lantai 3
94	Lampu SL		5		Lantai 3
95	Lampu SL		1		Lantai 3
96	Lampu SL		3		Lantai 3
97	Exhaust fan		5		Lantai 3
98	AC 1.5 PK	Panasonic	1		Lantai 3
99	AC 1 PK	Panasonic	5		Lantai 3
100	PC + Monitor	Dell	1	P. Wid	Lantai 4
101	Printer M200	Epson	1	P. Wid	Lantai 4
102	PC + Monitor	Dell	1	Prof. Bisri	Lantai 4
103	Printer M200	Epson	1	Prof. Bisri	Lantai 4
104	PC + Monitor	Dell	1	P. Heri	Lantai 4
105	Printer M200	Epson	1	P. Heri	Lantai 4
106	PC + Monitor	Dell	1	Prof. Hardjono	Lantai 4
107	Printer M200	Epson	1	Prof. Hardjono	Lantai 4
108	PC + Monitor	Dell	1	Ruang Dosen	Lantai 4

109	Printer M200	Epson	1	Ruang Dosen	Lantai 4
110	TV LED	Samsung	1	Prof. Pitojo	Lantai 4
111	PC + Monitor	Dell	1	Prof. Pitojo	Lantai 4
112	Printer M200	Epson	1	Prof. Pitojo	Lantai 4
113	PC + Monitor	Dell	1	P. Janu	Lantai 4
114	Printer M200	Epson	1	P. Janu	Lantai 4
115	PC + Monitor	Dell	1	B. Rini	Lantai 4
116	Printer M200	Epson	1	B. Rini	Lantai 4
117	PC + Monitor	Dell	1	B. Rispiningtati	Lantai 4
118	Printer M200	Epson	1	B. Rispiningtati	Lantai 4
119	Kulkas 2 Pintu	Panasonic	1	Tirta Aksata	Lantai 4
120	Dispenser	Polytron	1	Tirta Aksata	Lantai 4
121	LCD	Epson	1	Tirta Aksata	Lantai 4
122	PC + Monitor	Dell	1	B. Emma	Lantai 4
123	PC + Monitor	Sotec	1	B. Emma	Lantai 4
124	Printer M200	Epson	1	B. Emma	Lantai 4
125	PC + Monitor	Dell	1	P. Shol	Lantai 4
126	Printer	Epson	1	P. Shol	Lantai 4
127	PC + Monitor	Dell	1	P. Tri Budi	Lantai 4
128	Printer M200	Epson	1	P. Tri Budi	Lantai 4
129	CCTV		2	R. Tunggu	Lantai 4
130	Panel Listrik		2	Janitor dan Panel	Lantai 4
131	Panel Wifi		1	Janitor dan Panel	Lantai 4
131	Lampu TL		38		Lantai 4
132	Lampu TL		14		Lantai 4
133	Lampu SL		23		Lantai 4
134	Lampu SL		2		Lantai 4
135	Lampu SL		5		Lantai 4
136	Lampu SL		3		Lantai 4
137	Lampu SL		3		Lantai 4
138	Exhaust fan		5		Lantai 4
139	AC 1 PK	Panasonic	1		Lantai 4
140	AC 0.5 PK	Panasonic	4		Lantai 4
141	LCD	Epson	6		Lantai 5
142	CCTV		7		Lantai 5
145	Sound system	3G Audio	2	R. 4.2	Lantai 5
154	Panel Listrik		2	Janitor dan Panel	Lantai 5
155	Panel Wifi		1	Janitor dan Panel	Lantai 5
156	Lampu TL		68		Lantai 5
156	Lampu SL		1		Lantai 6
157	Lampu SL		21		Lantai 5
158	Lampu SL		2		Lantai 5
159	Lampu SL		5		Lantai 5
160	Lampu SL		1		Lantai 5
161	Lampu SL		3		Lantai 5
162	Exhaust fan		5		Lantai 5
163	AC 1.5 PK	Panasonic	1		Lantai 5
164	AC 1 PK	Panasonic	5		Lantai 5
165	LCD	Epson	2	Tirta Utama	Lantai 6
166	Mixing Amplifier		4	R. Sound System	Lantai 6
167	Panel Listrik		2	Janitor dan Panel	Lantai 6
168	Panel Wifi		1	Janitor dan Panel	Lantai 6
169	Lampu TL		12		Lantai 6

169	Lampu SL		35	Lantai 5
170	Lampu SL		27	Lantai 6
171	Lampu SL		5	Lantai 6
172	Lampu SL		1	Lantai 6
173	Exhaust fan		5	Lantai 6
174	AC 2 PK	Panasonic	5	Lantai 6



Hasil Pengukuran Temperatur

Lokasi pengukuran: Gedung A Pengairan
 Hari/ tanggal : Rabu/ 24 Maret 2021

No	Ruang	Orientasi ruangan	Lt	Temperatur/jam								
				8	9	10	11	12	13	14	15	16
1	R. Sidang	Timur Laut	2	25,8	26,7	27,4	27,3	27,5	27,8	27,3	27,2	27,0
2	R. Kuliah 2	Timur Laut	3	26,9	27,9	28,6	28,7	28,8	28,4	28,2	27,9	27,5
3	R. Kuliah 4	Barat Daya	3	26,1	26,3	26,4	26,6	26,8	27,1	26,9	26,9	26,7
4	R. Kuliah 2	Timur Laut	5	27,9	29,1	28,9	29,4	29,9	29,5	28,5	28,1	27,8
5	R. Kuliah 4	Barat Daya	5	26,9	27,1	27,4	27,4	27,4	27,6	27,5	27,4	27,3



FAKULTAS TEKNIK PENGAIRAN
JL.MT. HARYONO UNIVERSITAS BRAWIJAYA

NO	IDPEL	BLTH REK	TRF	DAYA	GOL	KDIN	RPTAG	RPBK	TGLBAYAR	WKTBYR	SLALWBP	SAHLWBP	PEMKWH	RPBEBAN	RPLWBP
1	'513111066844	Des-19	S2	197000	2	REK_BARU	11.502.000	0	20191217	13:39:57	1367	1580	12.780	0	11.502.000
2	'513111066844	Nop-19	S2	197000	2	REK_BARU	10.044.000	0	20191114	16:17:15	1181	1367	11.160	0	10.044.000
3	'513111066844	Okt-19	S2	197000	2	REK_BARU	9.450.000	0	20191016	16:19:23	1006	1181	10.500	0	9.450.000
4	'513111066844	Sep-19	S2	197000	2	REK_BARU	7.668.000	0	20190918	16:41:06	864	1006	8.520	0	7.668.000
5	'513111066844	Agust-19	S2	197000	2	REK_BARU	7.092.000	0	20190814	16:01:34	761.62	864	7.880	0	7.092.000
6	'513111066844	Jul-19	S2	197000	2	REK_BARU	7.092.000	0	20190710	16:04:49	672.68	761.62	7.880	0	7.092.000
7	'513111066844	Jun-19	S2	197000	2	REK_BARU	7.092.000	0	20190619	16:31:37	544	672.68	7.880	0	7.092.000
8	'513111066844	Mai-19	S2	197000	2	REK_BARU	7.092.000	0	20190515	16:10:43	434.73	544	7.880	0	7.092.000
9	'513111066844	Apr-19	S2	197000	2	REK_BARU	7.092.000	0	20190418	14:51:09	323.49	434.73	7.880	0	7.092.000
10	'513111066844	Mar-19	S2	197000	2	REK_BARU	7.092.000	0	20190319	17:25:28	215.06	323.49	7.880	0	7.092.000
11	'513111066844	Feb-19	S2	197000	2	REK_BARU	7.092.000	0	20190218	17:52:05	93.96	215.06	7.880	0	7.092.000
12	'513111066844	Jan-19	S2	197000	2	REK_BARU	7.075.800	0	20190118	15:12:51	3219.32	93.96	7.862	0	7.075.800