SIMULASI SISTEM ENERGI PADA RANCANGAN GEDUNG L4 PERPUSTAKAAN PUSAT UNIVERSITAS GADJAH MADA DENGAN ENERGYPLUS
YULIA PUSPASARI H, Dr.Eng. M.Kholid Ridwan, S.T., M.Sc.
Universitas Gadjah Mada, 2016 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

SIMULASI SISTEM ENERGI PADA RANCANGAN GEDUNG L4 PERPUSTAKAAN PUSAT UNIVERSITAS GADJAH MADA DENGAN *ENERGYPLUS*

SKRIPSI

untuk memenuhi sebagian persyaratan

untuk memperoleh derajat Sarjana S-1

Program Studi Teknik Fisika



diajukan oleh

YULIA PUSPASARI HANDAYANI
11/319714/TK/38832

kepada

DEPARTEMEN TEKNIK NUKLIR DAN TEKNIK FISIKA

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS GADJAH MADA

YOGYAKARTA

2016

PERNYATAAN BEBAS PLAGIARISME

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama	:	Yulia Puspasari Handayani
NIM	:	11/319714/TK/38832
Judul Skripsi	:	Simulasi Sistem Energi Pada Rancangan Gedung L4 Perpustakaan Pusat Universitas Gadjah Mada dengan *Energyplus*

menyatakan bahwa skripsi dengan judul tersebut di atas saya susun dengan sejujurnya berdasarkan norma akademik dan bukan merupakan hasil plagiat. Adapun semua kutipan di dalam skripsi ini telah saya sertakan nama pembuatnya/penulisnya dan telah saya cantumkan ke dalam Daftar Pustaka.

Pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya dan apabila ternyata di kemudian hari saya terbukti melanggar pernyataan saya tersebut di atas, saya bersedia menerima sanksi sesuai aturan yang berlaku.

Yogyakarta, 6 April 2016

Yang menyatakan,

Yulia Puspasari Handayani

NIM. 11/319714/TK/38832

SIMULASI SISTEM ENERGI PADA RANCANGAN GEDUNG L4 PERPUSTAKAAN PUSAT UNIVERSITAS GADJAH MADA DENGAN ENERGYPLUS
YULIA PUSPASARI H, Dr.Eng. M.Kholid Ridwan, S.T., M.Sc.
Universitas Gadjah Mada, 2016 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

HALAMAN PENGESAHAN

SKRIPSI

SIMULASI SISTEM ENERGI PADA RANCANGAN GEDUNG L4 PERPUSTAKAAN PUSAT UNIVERSITAS GADJAH MADA DENGAN *ENERGYPLUS*

Oleh:

Yulia Puspasari Handayani
11/319714/TK/38832

telah dipertahankan di depan Tim Penguji
pada tanggal 8 April 2016

Susunan Tim Penguji

Ketua

Dr. Eng. M. Kholid Ridwan, ST., M.Sc.

NIP. 197407111999031002

Penguji Utama

Anggota Penguji

Ir. Kutut Suryopratomo, MT.,M.Sc.

NIP. 196706201993031003

Nazrul Effendy, ST., MT., Ph.D.

NIP. 197406141999031002

Diterima dan dinyatakan memenuhi syarat kelulusan
pada tanggal 8 April 2016

Ketua Departemen Teknik Nuklir dan Teknik Fisika
Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada

Nopriadi, ST., M.Sc., Ph.D

NIP. 197311192002121002

SIMULASI SISTEM ENERGI PADA RANCANGAN GEDUNG L4 PERPUSTAKAAN PUSAT UNIVERSITAS GADJAH MADA DENGAN ENERGYPLUS
YULIA PUSPASARI H, Dr.Eng. M.Kholid Ridwan, S.T., M.Sc.
Universitas Gadjah Mada, 2019 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

KEMENTERIAN RISET, TEKNOLOGI DAN PENDIDIKAN TINGGI
UNIVERSITAS GADJAH MADA
FAKULTAS TEKNIK
DEPARTEMEN TEKNIK NUKLIR DAN TEKNIK FISIKA

HALAMAN TUGAS

Nama	:	Yulia Puspasari Handayani
Nomor Mahasiswa	:	11/319714/TK/38832
Pembimbing I	:	Dr. Eng. M. Kholid Ridwan, ST., M.Sc.
Pembimbing II	:	Sentagi Sesotya Utami, ST., M.Sc., Ph.D.
Judul	:	Simulasi Sistem Energi Pada Rancangan Gedung L4 Perpustakaan Pusat Universitas Gadjah Mada dengan *EnergyPlus*
Permasalahan	:	Mengidentifikasi nilai konsumsi energi listrik per sistem bangunan berdasarkan simulasi energi bangunan disertai dengan analisis ekonomi sistem tata udara dan pencahayaan. Hasil simulasi energi konsumsi energi listrik yang terdapat di Gedung L4 Perpustakaan Pusat Universitas Gadjah Mada merupakan konsumsi energi listrik keseluruhan bangunan.

Pembimbing I

Dr. Eng. M. Kholid Ridwan, ST., M.Sc.
NIP. 197407111999031002

Pembimbing II

Sentagi Sesotya U., ST., M.Sc., Ph.D.
NIP. 197502262002122002

Mengetahui,
Ketua Departemen Teknik Nuklir dan Teknik Fisika
Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada

Nopriadi, ST., M.Sc., Ph.D
NIP. 197311192002121002

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
SIMULASI SISTEM ENERGI PADA RANCANGAN GEDUNG L4 PERPUSTAKAAN PUSAT UNIVERSITAS GADJAH MADA DENGAN ENERGYPLUS
YULIA PUSPASARI H, Dr.Eng. M.Kholid Ridwan, S.T., M.Sc.
Universitas Gadjah Mada, 2016 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Karya ini kupersembahkan kepada :

Ibuku yang tiada henti memberikan doa dan semangat, Ayahku yang dengan keras mendidikku sampai aku bisa menjadi pribadi yang mandiri seperti sekarang. Tidak lupa kepada keempat kakakku yang selalu memberikan dorongan dan motivasi.

SIMULASI SISTEM ENERGI PADA RANCANGAN GEDUNG L4 PERPUSTAKAAN PUSAT UNIVERSITAS GADJAH MADA DENGAN ENERGYPLUS
YULIA PUSPASARI H, Dr.Eng. M.Kholid Ridwan, S.T., M.Sc.
Universitas Gadjah Mada, 2016 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

KATA PENGANTAR

Segala puji dan kata syukur penulis panjatkan yang tiada tara kepada Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan karunia-Nya kepada penulis sehingga penulis dapat menyelesaikan penelitian dan penulisan skripsi ini dengan judul "***Simulasi Sistem Energi Pada Rancangan Gedung L4 Perpustakaan Pusat Universitas Gadjah Mada dengan EnergyPlus***" dengan lancar dan penuh sentosa. Shalawat dan salam semoga selalu tercurahkan kepada Nabi Muhammad SAW yang selalu menjadi tauladan bagi umatnya.

Semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat berupa pengetahuan dan gambaran bagaimana simulasi EnergyPlus dapat digunakan untuk mengetahui konsumsi energi bangunan dan dapat digunakan untuk penelitian lebih lanjut.

Penulis menyadari kajian yang dihadirkan ini belum dapat mencapai kata sempurna sehingga penulis membutuhkan saran maupun kritik yang bersifat membangun demi kesempurnaan kajian terkait skripsi ini. Penulis juga menyadari bahwa keberhasilan penyusunan skripsi ini tidak terlepas dari bantuan maupun bimbingan banyak pihak yang senantiasa diberikan kepada penulis. Oleh sebab itu, penulis ingin menyampaikan ucapan terima kasih sebesar-besarnya kepada semua yang telah memberikan bantuan serta dukungan khususnya kepada:

1. Bapak, Ibu, Kakak, serta seluruh keluarga penulis atas kasih sayang, doa, dan motivasi yang selalu diberikan kepada penulis sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini.
2. Bapak M. Kholid Ridwan selaku pembimbing yang selalu memberikan waktu dan saran kepada penulis dalam menyelesaikan tugas akhir ini. Terima kasih sebesar-besarnya atas motivasi dan semangat yang selalu Bapak berikan kepada penulis.
3. Ibu Sentagi Sesotya Utami selaku pembimbing yang selalu memberikan saran dan masukan kepada penulis demi kesempurnaan skripsi ini.
4. Bapak Kutut Suryopratomo dan Bapak Nazrul Effendy selaku dosen penguji yang bersedia memberikan waktu serta saran dan kritik yang membangun untuk skripsi ini.

SIMULASI SISTEM ENERGI PADA RANCANGAN GEDUNG L4 PERPUSTAKAAN PUSAT UNIVERSITAS GADJAH MADA DENGAN ENERGYPLUS
YULIA PUSPASARI H, Dr.Eng. M.Kholid Ridwan, S.T., M.Sc.
Universitas Gadjah Mada, 2016 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

5. Bapak Nazrul Effendy selaku dosen pembimbing akademik yang selalu memberikan nasihat setiap kali bertemu maupun pada saat konsultasi akademik.
6. Belladona, aditya, diki, astrid , intan, helena, aulia , risma, putri, yena,audrey, oxa, ayu, ulya dan agita yang selalu memberikan semangat dalam mengerjakan skripsi ini.
7. Awaludin dan Aryo selaku teman tim pada skripsi ini yang saling membantu demi kesuksesan dan kelancaran skripsi ini.
8. Kelas B TF 2011 dan teman-teman penulis lainnya. Penulis pasti tidak akan lupa tentang bagaimana kita berkumpul dan bersenda gurau bersama-sama.
9. Dan seluruh pihak yang tidak dapat disebutkan seluruhnya oleh penulis, semoga Tuhan memberikan balasan yang baik

Penulis berharap semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat kepada siapapun yang membacanya. Penulis menyadari atas ketidaksempurnaan dari skripsi ini, sehingga penulis meminta maaf atas hal tersebut dan juga membuka hati untuk menerima kritik serta saran dari berbagai pihak.

Yogyakarta, 6 April 2016

Penulis

SIMULASI SISTEM ENERGI PADA RANCANGAN GEDUNG L4 PERPUSTAKAAN PUSAT UNIVERSITAS GADJAH MADA DENGAN ENERGYPLUS
YULIA PUSPASARI H, Dr.Eng. M.Kholid Ridwan, S.T., M.Sc.
Universitas Gadjah Mada, 2016 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

DAFTAR ISI

PERNYATAAN BEBAS PLAGIARISME ii
HALAMAN PENGESAHAN iii
HALAMAN TUGAS iv
KATA PENGANTAR vi
DAFTAR ISI viii
DAFTAR GAMBAR xi
DAFTAR TABEL xii
DAFTAR LAMBANG DAN SINGKATAN xiii
INTISARI xvi
ABSTRACT xvii
BAB I 1
PENDAHULUAN 1
I.1. Latar Belakang 1
I.2. Batasan Masalah 2
I.3. Tujuan Penelitian 3
I.4. Manfaat Penelitian 3
BAB II 4
TINJAUAN PUSTAKA 4
II.1. Audit Energi Bangunan 4
II.2. Simulasi Energi Bangunan 4
II.2.1. Tujuan Penggunaan Simulasi Energi Bangunan 5
II.2.2. Pemodelan Bangunan 5
II.2.3. *EnergyPlus* 6
II.2.4. *Google SketchUp* 7
II.2.5. *OpenStudio* 7
BAB III 8
DASAR TEORI 8
III.1. *Green Building* 8
III.2. Beban Pendinginan Selubung Bangunan 8
III.2.1. Metode Kesetimbangan Panas 8
III.2.2. *Overall Thermal Transfer Value* (OTTV) 16
III.2.3. Beban Pendinginan Kaca Jendela 18
III.3. Beban Pendinginan Internal 22

SIMULASI SISTEM ENERGI PADA RANCANGAN GEDUNG L4 PERPUSTAKAAN PUSAT UNIVERSITAS GADJAH MADA DENGAN ENERGYPLUS
YULIA PUSPASARI H, Dr.Eng. M.Kholid Ridwan, S.T., M.Sc.
Universitas Gadjah Mada, 2016 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

III.3.1. Beban Pendinginan Penghuni (*occupant*) 22
III.3.2. Beban Pendinginan Sistem Tata Cahaya 22
III.3.3. Beban Pendinginan Peralatan Listrik 26
III.4. Sistem Tata Udara 26
III.4.1. Sistem *Constant Air Volume* (CAV) 29
III.4.2. Sistem *Variable Air Volume* (VAV) 30
III.4.3. Refrigeran 30
III.4.4. Instalasi Saluran Udara (*Ducting*) 32
BAB IV 34
PELAKSANAAN PENELITIAN 34
IV.1. Alat dan Data Penelitian 34
IV.1.1. Alat 34
IV.1.2. Data Penelitian 35
IV.2. Tata Laksana Penelitian 36
IV.2.1. Studi Pustaka 37
IV.2.2. Pengumpulan Data 37
IV.2.3. Pemodelan Bangunan dengan *Google SketchUp + Plug in Open Studio* 38
IV.2.4. Input Data ke *EnergyPlus* 38
IV.2.5. Simulasi *EnergyPlus* 40
IV.2.6. Analisis dan Pembahasan Hasil 40
BAB V 41
HASIL DAN PEMBAHASAN 41
V.1. Proses Konversi Data 41
V.1.1. Deskripsi Bangunan 41
V.1.2. Pemodelan Geometri Bangunan 42
V.1.3. Estimasi Beban Pendinginan Penghuni 47
V.1.4. Perhitungan Konsumsi Energi dan Beban Pendinginan Sistem Tata Cahaya 56
V.1.5. Perhitungan Konsumsi Energi dan Beban Pendinginan Peralatan Listrik 59
V.1.6. Pemodelan Sistem Tata Udara 59
V.2. Validasi Perangkat Lunak *EnergyPlus* 60
V.3. Hasil Simulasi EnergyPlus 61
V.3.1. Konsumsi Energi Listrik Sistem Tata Cahaya 61

SIMULASI SISTEM ENERGI PADA RANCANGAN GEDUNG L4 PERPUSTAKAAN PUSAT UNIVERSITAS GADJAH MADA DENGAN ENERGYPLUS
YULIA PUSPASARI H, Dr.Eng. M.Kholid Ridwan, S.T., M.Sc.
Universitas Gadjah Mada, 2016 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

V.3.2. Konsumsi Energi Listrik Sistem Tata Udara 62
V.3.3. Konsumsi Energi Listrik Peralatan Listrik..... 63
V.3.4. Konsumsi Energi Listrik Keseluruhan Bangunan..... 63
V.3.5. Intensitas Konsumsi Energi Bangunan 64
V.4. Skenario Konservasi Energi 64
V.5. Analisis Pergantian Sistem *Constant Air Volume (*CAV) dengan sistem *Variable Air Volume* (VAV) dan *Luminaire* Jenis *Fluorescent* dengan LED Phillips Tube T8-18 Watt. 66
V.6. Analisis Perhitungan *Overall Thermal Transfer Value* (OTTV) 66
V.7. Validasi Hasil Simulasi *EnergyPlus* 72
V.8. Analisis Perhitungan Biaya Pembelian Komponen Refrigeran dan *Ducting* 71
V.9. Analisis Perhitungan Ekonomi Sistem Tata Cahaya menggunakan Lampu LEDtube T8..... 72
V.9.1. Biaya Pembelian Komponen..... 72
V.9.2. Biaya Pemasangan dan Instalasi 72
V.9.3. Biaya Operasional 73
BAB VI 74
KESIMPULAN DAN SARAN..... 74
VI.1 Kesimpulan 74
VI.2 Saran 74
DAFTAR PUSTAKA 75
LAMPIRAN A 79
LAMPIRAN B 84
LAMPIRAN C 88
LAMPIRAN D 90

SIMULASI SISTEM ENERGI PADA RANCANGAN GEDUNG L4 PERPUSTAKAAN PUSAT UNIVERSITAS GADJAH MADA DENGAN ENERGYPLUS
YULIA PUSPASARI H, Dr.Eng. M.Kholid Ridwan, S.T., M.Sc.
Universitas Gadjah Mada, 2016 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

DAFTAR GAMBAR

Gambar 3.1. Skema Kesetimbangan panas sisi luar 10
Gambar 3.2. Proses perpindahan panas konduksi pada dinding..... 10
Gambar 3.3. Skema kesetimbangan panas sisi dalam 14
Gambar 3.4. Skema kesetimbangan panas udara di dalam zona 15
Gambar 3.5. Sifat kaca jendela yang mempengaruhi transfer energi 19
Gambar 3.6. Jendela glasir ganda, lapisan rendah emisi dan panas matahari 21
Gambar 3.7. Kaca berglasir ganda dengan lapisan gelap warna perunggu 21
Gambar 3.8. *Recessed luminaire* 23
Gambar 3.9. *Downlight luminaire* 24
Gambar 3.10. Konstruksi dari LED kekuatan rendah (kiri) dan tinggi (kanan).. 25
Gambar 3.11. Sistem Pengkondisian Udara Terpusat 28
Gambar 3.12. Skema AHU 28
Gambar 3.13. Sistem *Variable Air Volume* 30
Gambar 4.1. Diagram Alir Penelitian 36
Gambar 4.2. Proses Input data ke *EnergyPlus* 39
Gambar 5.1. Tampak utara model bangunan Perpustakaan Pusat UGM L4..... 43
Gambar 5.2. Tampak selatan model bangunan Perpustakaan Pusat UGM L4.... 43
Gambar 5.3. Tampak samping model bangunan Perpustakaan Pusat UGM L4 . 43
Gambar 5.4. Zona LOBI 44
Gambar 5.5. Zona RB1 45
Gambar 5.6. Zona RB2 45
Gambar 5.7. Zona RBL2 45
Gambar 5.8. Zona RBL3 46
Gambar 5.9. Zona BASEMENT 46
Gambar 5.10. Zona Plenum 47
Gambar 5.11. Konsumsi Energi Listrik Sistem Tata Cahaya Tiap Zona 62
Gambar 5.12. Konsumsi Energi Listrik Sistem Tata Udara 62
Gambar 5.13. Konsumsi Energi Listrik Peralatan Listrik 63
Gambar 5.14. Konsumsi Energi Keseluruhan tiap Sistem 64
Gambar 5.15. Konsumsi energi listrik keseluruhan bangunan dengan sistem VAV dan LED 65

SIMULASI SISTEM ENERGI PADA RANCANGAN GEDUNG L4 PERPUSTAKAAN PUSAT UNIVERSITAS GADJAH MADA DENGAN ENERGYPLUS
YULIA PUSPASARI H, Dr.Eng. M.Kholid Ridwan, S.T., M.Sc.
Universitas Gadjah Mada, 2016 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1. Nilai Absorptansi Radiasi Matahari (α) untuk cat permukaan 17
Tabel 3.2. Nilai Densitas Bahan Bangunan 18
Tabel 3.3. Atribut Kerja Refrigeran 31
Tabel 3.4. Nilai GWP, ODP dan tahun atmosferik refrigeran primer 32
Tabel 4.1. Alat-alat yang digunakan 34
Tabel 4.2. Bahan Penelitian 35
Tabel 5.1. Konversi Data 41
Tabel 5.2. Daftar Zona Termal 44
Tabel 5.3. Zona Plenum 46
Tabel 5.4. Estimasi Pengunjung Zona Lobi 48
Tabel 5.5. Estimasi Pengunjung Zona Ruang Baca 1 Lantai 1 49
Tabel 5.6. Estimasi Pembaca Zona Ruang Baca 2 Lantai 1 50
Tabel 5.7. Estimasi Pembaca Zona Ruang Baca Lantai 2 51
Tabel 5.8. Estimasi Pembaca Zona Ruang Baca Lantai 3 52
Tabel 5.9. Estimasi Pengunjung Zona Parkir Sepeda Basement 53
Tabel 5.10. Rekapitulasi Okupansi tiap zona 54
Tabel 5.11. Nilai laju metabolisme penghuni zona 55
Tabel 5.12. Estimasi beban pendinginan okupansi tiap zona (W/orang) 56
Tabel 5.13. Jenis, Jumlah dan daya maksimum komponen sistem tata cahaya ... 57
Table 5.14. Nilai *fret, flw* dan *fconv* untuk berbagai jenis *luminaire* 57
Tabel 5.15. Nilai *fret, flw, fsw* dan *fconv* untuk berbagai jenis *luminaire* yang dipasang 58
Tabel 5.16. Fraksi panas yang dihasilkan setiap zona 58
Tabel 5.17. Spesifikasi Peralatan Listrik untuk tiap zona 59
Tabel 5.18. Pemodelan Sistem Tata Udara 60
Tabel 5.19. Variabel input simulasi dan sumber data 60
Tabel 5.20. Perbandingan Konsumsi Energi Listrik dan IKE Sebelum dan Sesudah Skenario Konservasi Energi 66
Tabel 5.21. Nilai 1-WWR di Gedung L4 Berdasarkan Orientasi Tertentu 67
Tabel 5.22. Nilai *R* pada Lapisan Batu Bata dan Lapisan Plester 67
Tabel 5.23. Nilai Q_W Berdasarkan Orientasi Tertentu 68
Tabel 5.24. Nilai *WWR* di Gedung L4 Berdasarkan Orientasi Tertentu 68

SIMULASI SISTEM ENERGI PADA RANCANGAN GEDUNG L4 PERPUSTAKAAN PUSAT UNIVERSITAS GADJAH MADA DENGAN ENERGYPLUS
YULIA PUSPASARI H, Dr.Eng. M.Kholid Ridwan, S.T., M.Sc.
Universitas Gadjah Mada, 2016 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Tabel 5.25. Nilai *R* pada Lapisan Kaca 69
Tabel 5.26. Nilai Q_f Berdasarkan Orientasi Tertentu 69
Tabel 5.27. Nilai *SF* untuk Berbagai Orientasi 69
Tabel 5.28. Nilai Q_g Berdasarkan Orientasi Tertentu..... 70
Tabel 5.29. Nilai *OTTV* pada Gedung L4 Berdasarkan Orientasi Tertentu 70
Tabel 5.30. Perbandingan Nilai *OTTV* Hasil Simulasi dan Perhitungan Manual.72
Tabel 5.31. Perhitungan Biaya Komponen Refrigeran dan *Ducting*..... 71
Tabel 5.32. Harga Lampu LEDtube 18W 72
Tabel 5.33. Biaya Instalasi Pencahayaan Gedung L4 72
Tabel 5.34. Biaya Operasional sistem tata cahaya 73
Tabel 5.35. Total Biaya Keseluruhan..... 73

SIMULASI SISTEM ENERGI PADA RANCANGAN GEDUNG L4 PERPUSTAKAAN PUSAT UNIVERSITAS GADJAH MADA DENGAN ENERGYPLUS
YULIA PUSPASARI H, Dr.Eng. M.Kholid Ridwan, S.T., M.Sc.
Universitas Gadjah Mada, 2016 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

DAFTAR LAMBANG DAN SINGKATAN

Lambang

Huruf Latin	Arti	Satuan
$q''_{\alpha sol}$	fluks radiasi matahari langsung dan difus yang diserap	W/m^2
q''_{LWR}	pertukaran netto fluks radiasi gelombang panjang dengan udara dan lingkungan sekitar	W/m^2
q''_{conv}	fluks pertukaran konveksi dengan udara luar	W/m^2
q''_{ko}	fluks konduksi (q/A) menuju dinding	W/m^2
X_j	FTK sisi luar, j=0,1,...,nz,...	-
Y_j	FTK di dalam selubung bangunan, j=0,1,...,nz,...,	-
Z_j	FTK sisi dalam, j=0,1,...,nz,...,	-
q''_{ki}	fluks perpindahan panas konduksi pada sisi dalam	W/m^2
q''_{ko}	fluks perpindahan konduksi pada sisi luar	W/m^2
q''_{LWX}	netto pertukaran fluks radiasi gelombang panjang antar permukaan selubung zona	W/m^2
q''_{SW}	fluks radiasi gelombang pendek dari cahaya ke permukaan	W/m^2
q''_{LWS}	fluks radiasi gelombang panjang dari peralatan yang ada di dalam ruangan	W/m^2
q''_{sol}	fluks transmisi radiasi matahari yang diserap pada permukaan	W/m^2
q''_{conv}	fluks perpindahan panas koveksi menuju udara ruangan	W/m^2
q_{conv}	laju panas konveksi dari permukaan	W
q_{CE}	komponen laju panas konveksi dari beban internal	W
q_{IV}	beban sensibel yang disebabkan oleh infiltrasi dan ventilasi	W
q_{sys}	perpindahan panas dari atau ke sistem tata udara	W
T_o	temperatur sisi luar	°C
T_i	temperatur sisi dalam	°C
f_{conv}	fraksi panas yang didistribusikan secara konveksi	-
f_{ret}	fraksi panas yang diserap oleh udara balik	-

SIMULASI SISTEM ENERGI PADA RANCANGAN GEDUNG L4 PERPUSTAKAAN PUSAT UNIVERSITAS GADJAH MADA DENGAN ENERGYPLUS
YULIA PUSPASARI H, Dr.Eng. M.Kholid Ridwan, S.T., M.Sc.
Universitas Gadjah Mada, 2016 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

f_{lw}	fraksi radiasi gelombang panjang	-
f_{sw}	fraksi radiasi gelombang pendek	-

Huruf Yunani

Lambang	*Arti*
δ	langkah waktu (*time step*)
Φj	FTK fluks, j=1,2,…nq

Singkatan

FTK	Fungsi Transfer Konduksi
CTF	*Conduction Transfer Function*
SHGC	*Solat Heat Gain Coeficient*
VT	*Visible Transmittance*
HVAC	*Heating, Ventilating and Air Conditioning*
AHU	*Air Handling Unit*
VAV	*Variable Air Volume*
IKE	Intensitas Konsumsi Energi
VAV	*Variable Air Volume*

SIMULASI SISTEM ENERGI PADA RANCANGAN GEDUNG L4 PERPUSTAKAAN PUSAT UNIVERSITAS GADJAH MADA DENGAN ENERGYPLUS
YULIA PUSPASARI H, Dr.Eng. M.Kholid Ridwan, S.T., M.Sc.
Universitas Gadjah Mada, 2016 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

SIMULASI SISTEM ENERGI PADA RANCANGAN GEDUNG L4 PERPUSTAKAAN PUSAT UNIVERSITAS GADJAH MADA DENGAN *ENERGYPLUS*

Oleh
Yulia Puspasari Handayani
11/319714/TK/38832

Diajukan kepada Departemen Teknik Fisika Fakultas Teknik
Universitas Gadjah Mada pada tanggal 8 April 2016
untuk memenuhi sebagian persyaratan untuk memperoleh derajat
Sarjana S-1 Program Studi Teknik Fisika

INTISARI

Green building adalah suatu konsep dalam mendesain, membangun, mengelola, dan memelihara bangunan dengan tujuan untuk menjaga kesehatan penghuni, meningkatkan produktivitas penghuni bangunan dan mengurangi dampak buruk bangunan terhadap lingkungan. Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji konsumsi energi bangunan perpustakaan dalam penghematan energi tetapi tetap mengutamakan kenyamanan untuk penggunanya. Penelitian ini menggunakan *EnergyPlus* versi *8.1.0.009 64-bit* untuk melakukan proses simulasi konsumsi energi Perpustakaan Pusat Universitas Gadjah Mada Gedung L4.

Data yang dibutuhkan antara lain data geometri, data cuaca, dan data beban pendinginan (*cooling load*). Data geometri disajikan dalam model tiga dimensi menggunakan perangkat lunak *Google SketchUp 8* yang dilengkapi *OpenStudio*. Data cuaca yang digunakan adalah data cuaca untuk wilayah Surakarta. Data beban pendinginan meliputi data beban penghuni, sistem tata cahaya dan sistem peralatan listrik.

Hasil simulasi menunjukkan jumlah konsumsi keluruhan bangunan Perpustakaan Pusat UGM Gedung L4 adalah sebesar 941,19 GJ per tahun. Nilai Intensitas Konsumsi Energi (IKE) bangunan Perpustakaan Pusat UGM Gedung L1 sebesar 264,47 kWh/m^2/tahun. Skenario yang dilakukan untuk penghematan konsumsi energi bangunan Perpustakaan Pusat UGM Gedung L4 adalah dengan mengganti sistem *Constant Air Volume (CAV)* menjadi *Variable Air Volume (VAV)* dan mengganti jenis luminaire dari fluorescent ke LED. Penghematan yang didapatkan sebesar 23,67 %. Total biaya penggunaan refrigeran dan *ducting* selama 1 tahun adalah Rp 78.356.000,-

Kata kunci: *green building*, simulasi konsumsi energi, *EnergyPlus*, beban pendinginan, Intensitas Konsumsi Energi (IKE), CAV, VAV

Pembimbing Utama : Dr.Eng. M.Kholid Ridwan, S.T., M.Sc.
Pembimbing Pendamping : Sentagi Sesotya Utami, S.T., M.Sc., Ph.D.

SIMULASI SISTEM ENERGI PADA RANCANGAN GEDUNG L4 PERPUSTAKAAN PUSAT UNIVERSITAS GADJAH MADA DENGAN ENERGYPLUS
YULIA PUSPASARI H, Dr.Eng. M.Kholid Ridwan, S.T., M.Sc.
Universitas Gadjah Mada, 2016 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

ENERGY SYSTEM SIMULATION IN THE DESIGN OF CENTRAL LIBRARY UNIVERSITAS GADJAH MADA BUILDING L4 USING ENERGYPLUS

By
Yulia Puspasari Handayani
11/319714/TK/38832

Submitted to the Department of Engineering Physics
Faculty of Engineering Gadjah Mada University on April 8, 2016
in partial fulfillment of
Degree of Bachelor of Engineering in Engineering Physics

ABSTRACT

Green building is a concept in designing , building , managing, and maintaining a building for the purpose of maintaining the health of residents, improve the productivity of building occupants and reduce the negative impact of buildings on the environment. This research aims to study the library building energy consumption in energy saving but still gives priority to convenience for its users. This research uses EnergyPlus version 8.1.0.009 for 64-bit to simulate Central Library Universitas Gadjah Mada Building L4 energy consumption. Data required by the simulation are building geometry, weather data and cooling load data. Geometry Data presented in three-dimensional models using Google SketchUp 8 software that includes OpenStudio.

Weather data that is utilized in this research is weather data for the Surakarta area. Cooling load data includes demands data of occupants, lighting systems and electric equipment systems.

Results of the simulation showed the amount of consumption of Central Library Universitas Gadjah Mada Building L4 is 941,19 GJ per year. The value of energy consumption intensity of Central Library Universitas Gadjah Mada Building L4 is 264,47 kWh/m^2/year. The scenario to reduce building energy consumption in the Central Library Universitas Gadjah Mada Building L4 is by replacing the system of Constant Air Volume (CAV) into a Variable Air Volume (VAV) and replace the type of luminaire from fluorescent to LED. The savings obtained by 23,67%. Total cost of the use refrigerant and ducting for 1 year is IDR 78,356,000.

Keywoards: green building, energy consumption simulation, EnergyPlus, cooling load , Energy Consumption Intensity, CAV, VAV

Supervisor : Dr.Eng. M.Kholid Ridwan, S.T., M.Sc.
Co- Supervisor : Sentagi Sesotya Utami, S.T., M.Sc., Ph.D.

SIMULASI SISTEM ENERGI PADA RANCANGAN GEDUNG L4 PERPUSTAKAAN PUSAT UNIVERSITAS GADJAH MADA DENGAN ENERGYPLUS
YULIA PUSPASARI H, Dr.Eng. M.Kholid Ridwan, S.T., M.Sc.
Universitas Gadjah Mada, 2016 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

BAB I

PENDAHULUAN

I.1. Latar Belakang

Bangunan berkontribusi lebih dari sepertiga emisi gas rumah kaca per tahunnya dan mengkonsumsi energi lebih dari 40% dari konsumsi energi dunia. Hal ini terjadi baik di negara maju maupun negara berkembang. Pada Laporan Penilaian Keempat, IPCC memperkirakan emisi gas rumah kaca pada bangunan adalah sekitar 8,6 juta metrik ton CO^2 tahun 2004.

Green building atau bisa disebut dengan bangunan hijau adalah suatu konsep dalam mendesain, membangun, mengelola, dan memelihara bangunan dengan tujuan untuk menjaga kesehatan penghuni, meningkatkan produktivitas penghuni bangunan, menggunakan bahan-bahan alam dengan baik, dan mengurangi dampak buruk bangunan terhadap lingkungan. *Green building* berfokus kepada desain, konstruksi, operasional, dan perawatan bangunan yang mengedepankan efisiensi tata letak dan pembangunan, efisiensi energi dan air, efisiensi sumber daya, kualitas udara di dalam ruangan, perawatan pemilik bangunan, dan dampak keseluruhan gedung terhadap lingkungan [8].

Perpustakaan merupakan sarana bagi mahasiswa ataupun pelajar untuk mendukung kegiatan belajar. Semakin tinggi aktivitas akademik mahasiswa ataupun pelajar maka semakin tinggi tuntutan akan fasilitas pada perpustakaan. Kenyamanan pengguna perpustakaan harus terpenuhi untuk mendukung semua aktivitas di dalamnya. Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji konsumsi energi bangunan perpustakaan dalam penghematan energi tetapi tetap mengutamakan kenyamanan untuk penggunanya.

Audit energi bangunan dengan menggunakan simulasi perangkat lunak adalah salah satu cara untuk mengetahui bagaimana konsumsi energi bangunan dan mencari alternatif untuk mengurangi konsumsi energi agar memenuhi kriteria sebagai *green building*. Penelitian ini menggunakan perangkat lunak *EnergyPlus* yang memiliki keunggulan dibandingkan perangkat lunak simulasi energi lainnya.

Perangkat lunak simulasi energi akan memberikan keadaan termal bangunan berupa tempertaur udara, humiditas relatif ruangan dan akan memberikan profil

SIMULASI SISTEM ENERGI PADA RANCANGAN GEDUNG L4 PERPUSTAKAAN PUSAT UNIVERSITAS GADJAH MADA DENGAN ENERGYPLUS
YULIA PUSPASARI H, Dr.Eng. M.Kholid Ridwan, S.T., M.Sc.
Universitas Gadjah Mada, 2016 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

konsumsi energi dalam jangka waktu tertentu sekaligus memberikan perincian berdasarkan peralatan, seperti sistem tata udara, sistem tata cahaya dan peralatan listrik. Penggunaan simulasi juga dapat memberikan data dalam waktu dan kondisi tertentu pada kondisi maksimal ataupun minimal. Data keadaan termal yang disertai dengan data konsumsi energi sistem bangunan dapat digunakan untuk mengetahui kinerja bangunan dalam memberikan kenyamanan termal kepada penggunanya. Adanya data keadaan termal dan data konsumsi energi juga akan memudahkan identifikasi peluang-peluang penghematan energi.

Perpustakaan Pusat Universitas Gadjah Mada Gedung L4 merupakan bangunan yang dirancang sebagai salah satu bangunan hemat energi di Universitas Gadjah Mada. Bangunan ini dirancang menggunakan banyak kaca untuk memaksimalkan pencahayaan alami. Untuk itu dilakukan simulasi untuk mengetahui perkiraan konsumsi energi dan tingkat kenyamanan pada Perpustakaan Pusat Universitas Gadjah Mada, sehingga dapat dilakukan analisis peluang penghematan konsumsi energi pada bangunan tersebut.

I.2. Batasan Masalah

1. Objek yang diteliti adalah rancangan Gedung L4 Perpustakaan Pusat Universitas Gadjah Mada.
2. Perangkat lunak yang digunakan untuk membuat model bangunan dalam penelitian ini adalah *Google SketchUp 8.*
3. Perangkat lunak yang digunakan untuk simulasi sistem energi dalam penelitian ini adalah *EnergyPlus* 8.1.0.007 64-bit.
4. Perangkat lunak yang digunakan sebagai antarmuka grafis pengguna (*graphical user interface)* bagi perangkat lunak *EnergyPlus* dalam penelitian ini adalah *OpenStudio* 1.1.10.
5. Analisis dan pembahasan hasil simulasi energi pada rancangan Gedung L4 Perpustakaan pusat Universitas Gadjah Mada hanya berdasarkan asumsi-asumsi yang diberikan dan berdasarkan keadaan operasional perpustakaan pusat Universitas Gadjah Mada pada saat penelitian.

SIMULASI SISTEM ENERGI PADA RANCANGAN GEDUNG L4 PERPUSTAKAAN PUSAT UNIVERSITAS GADJAH MADA DENGAN ENERGYPLUS
YULIA PUSPASARI H, Dr.Eng. M.Kholid Ridwan, S.T., M.Sc.
Universitas Gadjah Mada, 2016 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

I.3. Tujuan Penelitian

1. Memperoleh perkiraan nilai konsumsi energi pada rancangan Gedung L4 Perpustakaan pusat Universitas Gadjah Mada dengan menggunakan *EnergyPlus* berdasarkan asumsi-asumsi yang diberikan.
2. Mengidentifikasi peluang penghematan energi berdasarkan parameter *Energy Efficiency and Conservation* pada *Rating Tool* GBCI.
3. Mengetahui penghematan energi yang dihasilkan dari penerapan skenario penghematan.
4. Memperoleh analisis biaya penggunaan komponen sistem tata udara dan tata cahaya.

I.4. Manfaat Penelitian

1. Pengelola gedung yang dijadikan objek penelitian mendapatkan perkiraan data-data konsumsi energi.
2. Pengelola gedung mendapatkan gambaran awal penghematan energi.
3. Hasil penelitian dapat digunakan sebagai bahan acuan untuk penghematan energi.

SIMULASI SISTEM ENERGI PADA RANCANGAN GEDUNG L4 PERPUSTAKAAN PUSAT UNIVERSITAS GADJAH MADA DENGAN ENERGYPLUS
YULIA PUSPASARI H, Dr.Eng. M.Kholid Ridwan, S.T., M.Sc.
Universitas Gadjah Mada, 2016 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

BAB II
TINJAUAN PUSTAKA

II.1. Audit Energi Bangunan

Audit energi adalah proses evaluasi dan identifikasi peluang penghematan energi serta rekomendasi peningkatan efisiensi pada pengguna energi dan sumber energi dalam rangka konservasi energi. Tujuan dilakukan audit energi bangunan adalah untuk mengidentifikasi peluang-peluang penghematan energi dan menghasilkan rekomendasi langkah-langkah penghematan energi yang dapat ditindaklanjuti oleh pihak pengelola gedung yang akan dibangun [1]. Feni Wijiastuti (2014) melakukan penelitian pada Perpustakaan Pusat UGM sayap selatan (L1) dengan tujuan untuk mengetahui profil penggunaan energi dan tingkat kenyamanan dengan parameter suhu, kelembaban relatif dan tingkat pencahayaan berdasarkan standar yang telah ditetapkan [2].

II.2. Simulasi Energi Bangunan

Penggunaan perangkat lunak simulasi untuk mengetahui konsumsi energi bangunan telah dilakukan oleh sejumlah peneliti dari berbagai negara. Adanya berbagai perangkat lunak simulasi energi yang beredar di pasaran dengan kelebihan dan kekurangan masing-masing mengakibatkan adanya variasi perangkat lunak yang digunakan untuk simulasi energi bangunan. Agra Arie Munanda (2014) melakukan simulasi energi bangunan menggunakan *EnergyPlus* dengan studi kasus Gedung L1 Perpustakaan Pusat Universitas Gadjah Mada [3]. Laksana Gema Perdamaian (2012) melakukan simulasi bangunan menggunakan *EnergyPlus* dengan studi kasus Terminal 3 Bandara Soekarno-Hatta Jakarta [4]. Nanda Kania Pradita (2013) melakukan simulasi energi bangunan pada Ruang Rawat Inap Rumah Sakit Yadika Pondok Bambu, juga dengan *EnergyPlus* [5]. Dewati Widitama (2013) melakukan simulasi energi bangunan dengan menggunakan *EnergyPlus* pada bangunan Hotel Novotel Yogyakarta [6].

SIMULASI SISTEM ENERGI PADA RANCANGAN GEDUNG L4 PERPUSTAKAAN PUSAT UNIVERSITAS GADJAH MADA DENGAN ENERGYPLUS
YULIA PUSPASARI H, Dr.Eng. M.Kholid Ridwan, S.T., M.Sc.
Universitas Gadjah Mada, 2016 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

II.2.1. Tujuan Penggunaan Simulasi Energi Bangunan

Simulasi energi bangunan merupakan sarana untuk mendapatkan profil konsumsi energi bangunan dalam rentang waktu tertentu. Data konsumsi energi bangunan dapat digunakan untuk berbagai tujuan. Agra Arie Munanda (2014) menggunakan simulasi energi bangunan untuk memperoleh nilai konsumsi energi, mengidentifikasi peluang penghematan energi dan mengetahui penghematan energi yang dihasilkan dari penerapan skenario penghematan pada Perpustakaan Pusat Universitas Gadjah Mada Gedung L1. Sementara itu, Laksana Gema Perdamaian (2012) menggunakan simulasi energi bangunan untuk mengetahui dinamika konsumsi energi bangunan serta melakukan audit energi berupa evaluasi berbagai macam alternatif konservasi energi dan dampaknya terhadap konsumsi energi keseluruhan bangunan. Nanda Kania Pradita (2013) menggunakan simulasi energi bangunan untuk memperoleh perkiraan nilai konsumsi energi dan informasi mengenai kenyamana termal pada ruang rawat inap RS Yadika Pondok Bambu. Dewati Widitama (2013) melakukan simulasi energi bangunan untuk menganalisis nilai Intensitas Konsumsi Energi (IKE) pada lantai 1 bangunan dengan standar *Greenship Rating Tools* dan mengevaluasi penerapan sistem *Variable Air Volume* pada bangunan eksisting.

II.2.2. Pemodelan Bangunan

Penelitian yang melibatkan simulasi energi bangunan diawali dengan mendefinisikan bangunan yang dijadikan objek penelitian dari sisi keadaan lingkungan (direpresentasikan oleh data cuaca dan keadaan iklim), geometri dan sifat-sifat termal selubung bangunan, beban pendinginan internal dan sistem-sistem yang ada di dalam bangunan seperti sistem tata udara dan sistem tata cahaya.

Laksana Gema Perdamaian (2012) menggunakan data cuaca wilayah Jakarta. Model geometri bangunan dibuat dengan perangkat lunak *OpenStudio*. Beban pendinginan internal bangunan terdiri dari beban pendinginan dari penghuni, peralatan listrik, sistem tata cahaya dan sistem transportasi bangunan. Beban pendinginan bergantung kepada okupansi bangunan dan aktivitas yang dilakukan oleh penghuni. Beban pendinginan peralatan listrik, perangkat pencahayaan dan

SIMULASI SISTEM ENERGI PADA RANCANGAN GEDUNG L4 PERPUSTAKAAN PUSAT UNIVERSITAS GADJAH MADA DENGAN ENERGYPLUS
YULIA PUSPASARI H, Dr.Eng. M.Kholid Ridwan, S.T., M.Sc.
Universitas Gadjah Mada, 2016 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

sistem transportasi bangunan ditetapkan pada satu nilai tertentu. Deskripsi sistem tata udara memberikan informasi mengenai sistem HVAC yang digunakan.

Agra Arie Munanda (2014) menggunakan data cuaca wilayah Jakarta. Model geometri bangunan dibuat oleh perangkat lunak *OpenStudio*, meliputi selubung bangunan dan pembagian zona. Beban pendinginan internal terdiri dari beban pendinginan dari penghuni, sistem tata cahaya dan peralatan listrik. Sistem tata udara dideskripsikan secara rinci, antara lain dengan memberikan jenis sistem tata udara, jenis kipas, nilai COP, temperatur udara suplai dan penjadwalan operasi.

Nanda Kania Pradita (2013) menggunakan data cuaca wilayah Jakarta. Model geometri bangunan dibuat oleh perangkat lunak *OpenStudio*, meliputi selubung bangunan dan pembagian zona. Beban pendinginan internal terdiri dari beban pendinginan dari penghuni, sistem tata cahaya dan peralatan listrik. Sistem tata udara dideskripsikan secara rinci, antara lain dengan memberikan jenis sistem tata udara, jenis kipas, nilai COP, temperatur udara suplai, kelembaban relatif udara suplai dan penjadwalan operasi.

Dewati Widitama (2013) menggunakan data cuaca wilayah Jakarta. Model geometri bangunan dibuat oleh perangkat lunak *OpenStudio*, meliputi selubung bangunan dan pembagian zona. Beban pendinginan internal terdiri dari beban pendinginan dari penghuni, sistem tata cahaya dan peralatan listrik. Sistem tata udara dideskripsikan secara rinci, antara lain dengan memberikan jenis sistem tata udara, jenis kipas, nilai COP, temperatur udara suplai dan penjadwalan operasi.

II.2.3. *EnergyPlus*

EnergyPlus merupakan suatu program yang berakar dari program BLAST (*Building Loads Analysis and System Thermodynamics*) dan DOE-2 yang telah dikembangkan dan dirilis sejak 1980-an sebagai alat simulasi energi dan beban. Program simulasi ini bertujuan untuk menyesuaikan peralatan HVAC, mengembangkan analisis biaya operasi, dan mengoptimalkan kinerja energi pada bangunan. Konsumsi energi pada bangunan merupakan komponen utama penggunaan energi di Amerika, oleh karena itu *Department Energy of America* mengembangkan program tersebut guna memecahkan masalah penggunaan energi.

SIMULASI SISTEM ENERGI PADA RANCANGAN GEDUNG L4 PERPUSTAKAAN PUSAT UNIVERSITAS GADJAH MADA DENGAN ENERGYPLUS
YULIA PUSPASARI H, Dr.Eng. M.Kholid Ridwan, S.T., M.Sc.
Universitas Gadjah Mada, 2016 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

EneryPlus adalah suatu program yang melakukan simulasi beban termal serta analisis energi berdasarkan deskripsi penggunaan bangunan, serta sistem mekanik-elektrik yang digunakan untuk pengkondisian udara dalam bangunan [7].

EnergyPlus mampu membuat perhitungan mengenai beban pemanasan dan pendinginan, kondisi HVAC, dan juga konsumsi energi dari peralatan-peralatan yang digunakan pada bangunan. Dapat dikatakan bahwa *EnergyPlus* ini merupakan program simulasi untuk merancang pemodelan suatu bangunan beserta penggunaan energi di dalamnya. Secara umum, *EnergyPlus* merupakan program integrasi dari BLAST dan DOE-2 dimana kedua program tersebut memiliki keunggulan dan kelemahan masing-masing, sehingga dengan dikembangkannya *EnergyPlus* ini menjadi program simulasi yang lengkap dan kompeten untuk melakukan simulasi energi pada bangunan dengan fitur-fitur yang modern. Selain itu, *EnergyPlus* juga dapat diintegrasikan dengan program-program lainnya, program integrasi ini dapat digunakan untuk melakukan deskripsi bangunan dan juga memvisualisasikan hasil perhitungan. EnergyPlus merupakan perangkat lunak yang tidak *user interface* sehingga untuk memudahkan dalam simulasi, dapat menggunakan perangkat lunak lain yang sudah direkomendasikan oleh tim pengembang *EnergyPlus* itu sendiri, seperti *Google SketchUp*, dengan plugin *OpenStudio* [7].

II.2.4. *Google SketchUp*

Google SketchUp merupakan salah satu program integrasi *EnergyPlus* yang digunakan untuk membuat bentuk geometri suatu bangunan. Dengan perangkat lunak ini, pembentukan zona-zona pada suatu bangunan beserta permukaan (*surfaces*) dan juga penetrasi (jendela, pintu) dapat dibuat dengan mudah.

II.2.5. *OpenStudio*

OpenStudio merupakan seluruh perangkat lunak yang mendukung pemodelan energi seluruh bangunan menggunakan *EnergyPlus*. Perangkat lunak ini memudahkan penggunanya dalam membentuk zona-zona pada suatu bangunan beserta permukaannya dan juga penetrasinya pada saat pemodelan bangunan menggunakan *Google SketchUp*.

SIMULASI SISTEM ENERGI PADA RANCANGAN GEDUNG L4 PERPUSTAKAAN PUSAT UNIVERSITAS GADJAH MADA DENGAN ENERGYPLUS
YULIA PUSPASARI H, Dr.Eng. M.Kholid Ridwan, S.T., M.Sc.
Universitas Gadjah Mada, 2016 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

BAB III
DASAR TEORI

III.1. *Green Building*

Green building atau bisa disebut dengan bangunan hijau adalah suatu konsep dalam mendesain, membangun, mengelola, dan memelihara bangunan dengan tujuan untuk menjaga kesehatan penghuni, meningkatkan produktivitas penghuni bangunan, menggunakan bahan-bahan alam dengan baik, dan mengurangi dampak buruk bangunan terhadap lingkungan. *Green building* berfokus kepada desain, konstruksi, operasional, dan perawatan bangunan yang mengedepankan efisiensi tata letak dan pembangunan, efisiensi energi dan air, efisiensi sumber daya, kualitas udara di dalam ruangan, perawatan pemilik bangunan, dan dampak keseluruhan gedung terhadap lingkungan [8]. Konsep ini diperluas dengan tetap memperhatikan aspek-aspek ekonomi, utilitas daya tahan dan juga kenyamanan.

Tujuan umum dari konsep *Green Building* adalah merancang bangunan yang dapat mengurangi dampak keseluruhan dari lingkungan yang dibangun pada kesehatan manusia dan lingkungan alam meliputi :

1. Efisiensi energi,air dan sumber daya lain
2. Kesehatan penghuni
3. Pengurangan limbah, polusi dan degradasi lingkungan

III.2. Beban Pendinginan Selubung Bangunan

Beban pendinginan eksternal atau beban pendinginan selubung bangunan adalah komponen beban pendinginan bangunan yang dipengaruhi oleh proses perpindahan panas dari atau ke lingkungan melalui selubung bangunan [3].

III.2.1. Metode Kesetimbangan Panas

Metode kesetimbangan panas adalah metode perhitungan beban panas sensibel yang mengaplikasikan hukum pertama termodinamika yaitu hukum kekekalan energi dan prinsip-prinsip aljabar matriks [9]. Hal yang paling mendasar

SIMULASI SISTEM ENERGI PADA RANCANGAN GEDUNG L4 PERPUSTAKAAN PUSAT UNIVERSITAS GADJAH MADA DENGAN ENERGYPLUS
YULIA PUSPASARI H, Dr.Eng. M.Kholid Ridwan, S.T., M.Sc.
Universitas Gadjah Mada, 2016 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

dari metode kesetimbangan panas adalah udara dalam zona termal dimodelkan tercampur merata (*well-stirred*) yang artinya udara dalam zona tersebut memiliki keseragaman temperatur. Asumsi berikutnya adalah bahwa permukaan ruangan (dinding, jendela, lantai dll) dapat diperlakukan sebagai entitas yang memiliki :

1. Suhu permukaan yang seragam
2. Keseragaman radiasi gelombang panjang dan gelombang pendek
3. Permukaan radiasi difus
4. Perpindahan panas secara konduksi satu dimensi

Perhitungan beban panas sensibel ruangan dengan metode kesetimbangan panas terdiri dari empat unsur yaitu : [7]

1. Kesetimbangan panas sisi luar (*outside-face heat balance*)
2. Proses konduksi panas pada dinding
3. Kesetimbangan panas sisi dalam (*inside-face heat balance*)
4. Kesetimbangan panas udara di dalam zona

III.2.1.1. Kesetimbangan Panas Sisi Luar (*Outside-face Heat Balance*)

Kesetimbangan panas sisi luar terdiri dari empat gaya termal yang bekerja pada kontrol volume permukaan luar setiap dinding. Empat gaya tersebut harus menghasilkan gaya netto nol sesuai dengan prinsip kekekalan energi, dengan asumsi kontrol volume tidak memiliki massa sehingga tidak memiliki kemampuan untuk menyimpan energi [10]. Kesetimbangan panas sisi luar dapat dirumuskan secara matematis dengan persamaan 3.1 [9] :

$$q''_{asol} + q''_{LWR} + q''_{conv} + q''_{ko} = 0 \qquad (3.1)$$

dengan

q''_{asol} = fluks radiasi matahari langsung dan difusi yang diserap (q/A) (W/m^2),

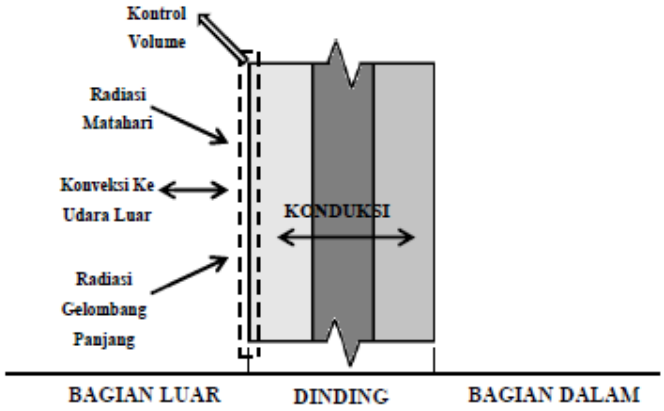
q''_{LWR} = pertukaran netto fluks radiasi gelombang panjang dengan udara dan lingkungan sekitar (W/m^2),

q''_{conv} = fluks pertukaran konveksi dengan udara luar (W/m^2),

q''_{ko} = fluks konduksi (q/A) menuju dinding (W/m^2).

SIMULASI SISTEM ENERGI PADA RANCANGAN GEDUNG L4 PERPUSTAKAAN PUSAT UNIVERSITAS GADJAH MADA DENGAN ENERGYPLUS
YULIA PUSPASARI H, Dr.Eng. M.Kholid Ridwan, S.T., M.Sc.
Universitas Gadjah Mada, 2016 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

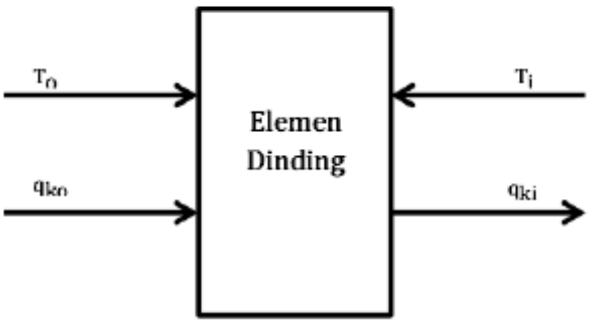
Semua variabel *q''* bernilai positif apabila fluks netto besaran yang bersangkutan menuju ke sisi luar selubung bangunan kecuali variabel fluks konduksi (q''_{ko}). Fluks konduksi dianggap positif apabila fluks nettonya dari luar menuju ke dalam dinding. Skema kesetimbangan panas sisi luar dapat dilihat pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1. Skema Kesetimbangan panas sisi luar

III.2.1.2. Konduksi pada Dinding

Perpindahan panas konduksi pada dinding memasukkan sebagian dari unsur ketergantungan terhadap waktu *(time dependence)* yang inheren dalam perhitungan beban. Pada Gambar 3.2 memperlihatkan proses perpindahan panas konduksi pada dinding. Empat variabel yang terlibat adalah fungsi waktu. Proses konduksi menggunakan fungsi temperatur sebagai *input* dan fluks panas sebagai *output* [9].



Gambar 3.2 Proses perpindahan panas konduksi pada dinding.

SIMULASI SISTEM ENERGI PADA RANCANGAN GEDUNG L4 PERPUSTAKAAN PUSAT UNIVERSITAS GADJAH MADA DENGAN ENERGYPLUS
YULIA PUSPASARI H, Dr.Eng. M.Kholid Ridwan, S.T., M.Sc.
Universitas Gadjah Mada, 2016 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Perpindahan panas konduksi pada dinding atau selubung bangunan menghubungkan kesetimbangan panas sisi luar dan sisi dalam sehingga perpindahan panas konduksi mengatur beban pendinginan ruangan terhadap waktu. Perpindahan panas konduksi pada selubung bangunan dalam perangkat lunak simulasi energi bangunan menggunakan persamaan yang disebut dengan fungsi transfer konduksi (FTK) atau *conduction transfer function* (CTF).

FTK adalah fungsi deret waktu yang menghubungkan fluks perpindahan panas konduksi suatu lapisan dengan temperatur permukaan dan fluks panas yang sebelumnya. FTK pada lapisan dalam selubung bangunan menggunakan persamaan 3.2 [9].

$$q''_{ki}(t) = -Z_o T_{i,t} - \sum_{j=1}^{nz} Z_j T_{i,t-j\delta} + Y_o T_{o,t} + \sum_{j=1}^{nz} Y_j T_{o,t-j\delta} + \sum_{j=1}^{nq} \emptyset_j q''_{ki,t-j\delta} \quad (3.2)$$

Sedangkan FTK untuk lapisan luar selubung bangunan menggunakan persamaan 3.3 [9].

$$q''_{ko}(t) = -Y_o T_{i,t} - \sum_{j=1}^{nz} Y_j T_{i,t-j\delta} + X_o T_{o,t} + \sum_{j=1}^{nz} X_j T_{o,t-j\delta} + \sum_{j=1}^{nq} \emptyset_j q''_{ko,t-j\delta} \quad (3.3)$$

dengan

X_j = FTK sisi luar, j= 0,1,…nz,

Y_j = FTK di dalam selubung bangunan, j = 0,1,…nz,

Z_j = FTK sisi dalam, j = 0,1,…nz,

Φ_j = FTK fluks, j = 1,2,…nq,

δ = langkah waktu (*time step*),

T_i = temperatur sisi dalam (°C),

T_o = temperatur sisi luar (°C),

q''_{ki} = fluks perpindahan panas konduksi pada sisi dalam (W/m^2),

q''_{ko} = fluks perpindahan konduksi pada sisi luar (W/m^2).

SIMULASI SISTEM ENERGI PADA RANCANGAN GEDUNG L4 PERPUSTAKAAN PUSAT UNIVERSITAS GADJAH MADA DENGAN ENERGYPLUS
YULIA PUSPASARI H, Dr.Eng. M.Kholid Ridwan, S.T., M.Sc.
Universitas Gadjah Mada, 2016 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Subskrip yang diikuti dengan koma menunjukkan jangka waktu untuk besaran yang diungkapkan dengan langkah waktu *(time step)* δ. Suku pertama pada deret telah dipisahkan dari suku-suku lainnya untuk memudahkan memecahkan temperatur saat ini (*current temperature*) pada skema penyelesaian. Batas penjumlahan nz dan nq bergantung pada konstruksi dinding dan skema yang digunakan untuk perhitungan FTK. Jika nq = 0 , maka secara umum FTK berlaku sebagai faktor tanggapan tetapi secara teori nilai nz tak terhingga. Pada umumnya nilai nz dan nq ditetapkan untuk meminimalkan jumlah komputasi [9].

III.2.1.3. Kesetimbangan Panas Sisi Dalam *(Inside-face Heat Balance)*

Metode kesetimbangan panas adalah kesetimbangan panas internal yang melibatkan permukaan dalam dari selubung zona termal bangunan [9]. Kesetimbangan panas sisi dalam memiliki enam gaya termal yang bekerja pada kontrol volume yang ada di permukaan tiap dinding zona. Enam komponen perpindahan panas ini saling terkait satu sama lain. Radiasi gelombang panjang maupun geleombang pendek sama pentingnya begitu pula konduksi dan konveksi ke udara luar. Kesetimbangan panas sisi dalam menggunakan persamaan 3.4 [9].

$$q''_{LWX} + q''_{SW} + q''_{LWS} + q''_{ki} + q''_{sol} + q''_{conv} = 0 \qquad (3.4)$$

dengan

q''_{LWX} = netto pertukaran fluks radiasi gelombang panjang antar permukaan selubung zona (W/m^2),

q''_{SW} = fluks radiasi gelombang pendek dari cahaya ke permukaan (W/m^2),

q''_{LWS} = fluks radiasi gelombang panjang dari peralatan yang ada di dalam ruangan (W/m^2),

q''_{ki} = fluks perpindahan panas konduksi melalui dinding (W/m^2),

q''_{sol} = fluks transmisi radiasi matahari yang diserap pada permukaan (W/m^2),

q''_{conv} = fluks perpindahan panas konveksi menuju udara ruangan (W/m^2).

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
SIMULASI SISTEM ENERGI PADA RANCANGAN GEDUNG L4 PERPUSTAKAAN PUSAT UNIVERSITAS GADJAH MADA DENGAN ENERGYPLUS
YULIA PUSPASARI H, Dr.Eng. M.Kholid Ridwan, S.T., M.Sc.
Universitas Gadjah Mada, 2016 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

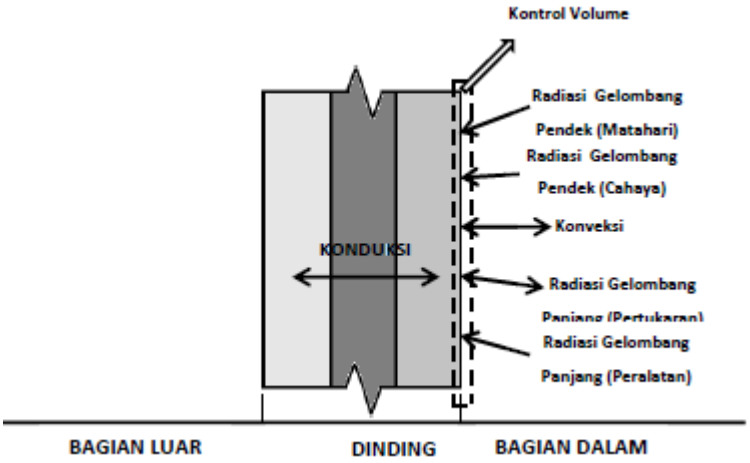
Perhitungan pertukaran radiasi gelombang panjang antara permukaan zona termal (q''_{LWX}) dapat dilakukan dengan memodelkan udara ruangan dengan dua keadaan,yaitu udara ruangan dimodelkan transparan sempurna melewatkan radiasi gelombang panjang dan udara ruangan dimodelkan menyerap radiasi gelombang panjang secara sempurna. Perangkat lunak *EnergyPlus* memodelkan komponen udara dalam kesetimbangan panas sisi dalam sebagai udara transparan [12]. Udara ruang yang dimodelkan transparan sempurna dianggap tidak berperan dalam pertukaran radiasi gelombang panjang antara permukaan yang ada di zona termal.

Radiasi gelombang pendek dari cahaya (q''_{SW}) diasumsikan terdistribusi di permukaan dengan beberapa cara. Prosedur metode kesetimbangan panas menahan pendekatan ini tetapi memperbolehkan perubahan fungsi distribusi. Radiasi gelombang panjang dari sumber-sumber internal (q''_{LWS}) pada umumnya dimodelkan dengan memisahkan panas radiasi dan konveksi yang dihasilkan oleh peralatan. Bagian panas radiasi terdistribusi di seluruh permukaan zona dengan beberapa cara.

Transmisi radiasi matahari yang diserap pada permukaan (q''_{sol}) terdistribusi dengan cara yang ditentukan (*prescribed manner*). Perhitungan posisi aktual berkas cahaya matahari dapat dilakukan, namun hal ini melibatkan iradiasi parsial permukaan yang tidak konsisten dengan model zona yang lainnya, yang mengasumsikan keadaan seragam di semua permukaannya.

Perhitungan komponen perpindahan panas konveksi menuju udara ruangan (q''_{conv}) yang banyak digunakan pada metode penentuan beban pendinginan atau pemanasan berbasis pada eksperimen ventilasi alami, sehingga ketika digunakan pada sistem yang memakai ventilasi mekanik, hasilnya tidak akurat. Skema kesetimbangan panas sisi dalam dapat dilihat pada Gambar 3.3.

SIMULASI SISTEM ENERGI PADA RANCANGAN GEDUNG L4 PERPUSTAKAAN PUSAT UNIVERSITAS GADJAH MADA DENGAN ENERGYPLUS
YULIA PUSPASARI H, Dr.Eng. M.Kholid Ridwan, S.T., M.Sc.
Universitas Gadjah Mada, 2016 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/



Gambar 3.3. Skema kesetimbangan panas sisi dalam

III.2.1.4. Kesetimbangan Panas Udara Di Dalam Zona

Persamaan kesetimbangan panas yang ditujukan untuk menentukan beban pendinginan, kemampuan penyimpanan udara di dalam zona diabaikan sehingga perhitungan kesetimbangan panas diselesaikan dalam keadaan setimbang setiap periode waktu. Persamaan kesetimbangan panas di dalam zona ditunjukkan oleh persamaan 3.5 [9].

$$q"_{conv} + q"_{CE} + q"_{IV} + q"_{sys} = 0 \qquad (3.5)$$

dengan

q_{conv} = laju panas konveksi dari permukaan (W),

q_{CE} = komponen laju panas konveksi dari beban internal (W),

q_{IV} = beban sensibel yang disebabkan oleh udara infiltrasi dan ventilasi (W),

q_{sys} = perpindahan panas dari atau ke sistem tata udara (W).

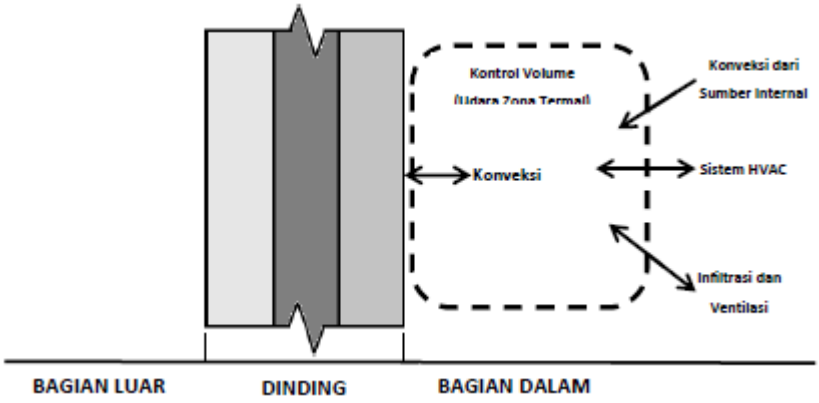
Konveksi panas dari permukaan (q_{conv}) adalah jumlah seluruh variabel perpindahan panas konveksi yang terdapat dalam persamaan kesetimbangan panas sisi-dalam. Variabel ini berasal dari koefisien perpindahan panas konveksi pada permukaan. Komponen laju panas konveksi dari beban internal (q_{CE}) berpasangan

SIMULASI SISTEM ENERGI PADA RANCANGAN GEDUNG L4 PERPUSTAKAAN PUSAT UNIVERSITAS GADJAH MADA DENGAN ENERGYPLUS
YULIA PUSPASARI H, Dr.Eng. M.Kholid Ridwan, S.T., M.Sc.
Universitas Gadjah Mada, 2016 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

dengan (q''_{LWS}) pada persamaan (3.4). Komponen ini ditambahkan secara langsung pada perhitungan kesetimbangan panas udara zona. Hal ini melanggar prinsip pendekatan kesetimbangan panas karena permukaan yang menghasilkan panas mengalami pertukaran panas dengan udara di dalam zona melalui proses perpindahan panas konveksi. Namun hal ini secara umum tidak diperhatikan dalam perhitungan kesetimbangan panas sehingga q_{CE} ditambahkan secara langsung pada persamaan kesetimbangan panas udara zona.

Untuk menyesuaikan dengan model udara yang tercampur sempurna *(well-mixed),* udara yang memasuki zona secara langsung melalui infiltrasi atau ventilasi (q_{IV}) akan secara langsung tercampur dengan udara zona. Udara yang masuk melalui infiltrasi atau ventilasi tidak tentu, dipengaruhi dengan perbedaan temperatur antara sisi luar atau dalam dan kecepatan angin. Namun komponen ini dapat ditetapkan pada nilai tertentu sehingga dapat ditambahkan secara langsung ke dalam persamaan.

Udara terkondisi yang masuk ke dalam zona dari sistem tata udara q_{sys} juga tercampur secara langsung dengan udara zona. Sistem tata udara komersial pada umumnya memberikan ventilasi dengan cara menyalurkan udara luar ke dalam zona sehingga udara ventilasi dianggap sebagai beban sistem bukan merupakan beban yang berkaitan langsung dengan ruangan. Skema kesetimbangan panas udara di dalam zona dapat dilihat pada Gambar 3.4.



Gambar 3.4. Skema kesetimbangan panas udara di dalam zona

SIMULASI SISTEM ENERGI PADA RANCANGAN GEDUNG L4 PERPUSTAKAAN PUSAT UNIVERSITAS GADJAH MADA DENGAN ENERGYPLUS
YULIA PUSPASARI H, Dr.Eng. M.Kholid Ridwan, S.T., M.Sc.
Universitas Gadjah Mada, 2016 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

III.2.2. *Overall Thermal Transfer Value* (OTTV)

Overall Thermal Transfer Value (OTTV) adalah angka yang ditetapkan sebagai kriteria perancangan untuk selubung bangunan yang dikondisikan [24]. Selubung bangunan yang dimaksud adalah elemen bangunan yang menyelubungi bangunan gedung, diantaranya dinding luar termasuk kaca jendela serta atap tembus cahaya atau atap yang tidak tembus cahaya dimana sebagian besar energi termal berpindah melalui elemen-elemen tersebut. Untuk membatasi perolehan panas akibat radiasi matahari lewat selubung bangunan, maka ditentukan nilai perpindahan termal menyeluruh (OTTV) untuk selubung bangunan tidak melebihi 45 watt/m^2. Berdasarkan SNI 03-6389-2000, Persamaan 3.6 berikut merupakan persamaan untuk menentukan nilai dari OTTV untuk setiap bidang dinding luar bangunan dengan orientasi tertentu. Sedangkan untuk setiap bidang dinding luar bangunan dengan orientasi tertentu dengan lebih dari satu jenis material penyusun dinding dapat dirumuskan pada Persamaan 3.7 [25].

$$OTTV = \alpha[U_W \times (1 - WWR) \times TD_{EK}] + (U_f \times WWR \times \Delta T) + (SC \times WWR \times SF) \quad (3.6)$$

$$OTTV = \left\{\alpha_1 \left[U_W \times {}^{A_1}/_{\sum A} (1 - WWR) \times TD_{EK}\right]\right\} + \left\{\alpha_2 \left[U_W \times {}^{A_2}/_{\sum A} (1 - WWR) \times TD_{EK}\right]\right\} + \cdots \left\{\alpha_n \left[U_W \times {}^{A_n}/_{\sum A} (1 - WWR) \times TD_{EK}\right]\right\} + (U_f \times WWR \times \Delta T) + (SC \times WWR \times SF) \quad (3.7)$$

dimana:

OTTV = nilai perpindahan termal menyeluruh pada dinding luar yang memiliki arah atau orientasi tertentu (W/m^2)
α = absorptansi radiasi matahari
U_w = transmitansi termal dinding tidak tembus cahaya (W/m^2.K)
A_1 = area dinding dengan material 1 (m^2)
A_2 = area dinding dengan material 2 (m^2)
A_n = area dinding dengan material n (m^2)
$\sum A$ = luas total area dinding luar bangunan pada orientasi tertentu (m^2)
WWR = perbandingan luas jendela dengan luas total dinding luar bangunan pada orientasi tertentu

SIMULASI SISTEM ENERGI PADA RANCANGAN GEDUNG L4 PERPUSTAKAAN PUSAT UNIVERSITAS GADJAH MADA DENGAN ENERGYPLUS
YULIA PUSPASARI H, Dr.Eng. M.Kholid Ridwan, S.T., M.Sc.
Universitas Gadjah Mada, 2016 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

TD_{EK} = beda temperatur ekuivalen (K)

SF = faktor radiasi matahari (W/m^2)

SC = koefisien peneduh dari sistem fenestrasi

U_f = transmitansi termal fenestrasi ($W/m^2.K$)

ΔT = beda temperatur perencanaan antara bagian luar bangunan dan bagian dalam bangunan ($\Delta T = 5$ K)

Tabel 3.1 dan Tabel 3.2 berturut-turut berikut ini menyajikan nilai absorptansi radiasi matahari (α) untuk beberapa jenis cat permukaan dinding tak tembus cahaya dan nilai densitas bahan bangunan serta nilai konduktifitas termal bahan bangunan (K).

Tabel 3.1. Nilai Absorptansi Radiasi Matahari (α) untuk cat permukaan dinding luar [25]

Cat permukaan dinding luar	**α**
Hitam merata	0,95
Pernis hitam	0,92
Abu-abu tua	0,91
Pernis biru tua	0,91
Cat minyak hitam	0,90
Coklat tua	0,88
Abu-abu / biru tua	0,88
Biru/hijau tua	0,88
Coklat medium	0,84
Pernis hijau	0,79
Hijau medium	0,59
Kuning medium	0,58
Hijau/biru medium	0,57
Hijau muda	0,47
Putih semi kilap	0,30
Putih kilap	0,25
Perak	0,25
Pernis putih	0,21

SIMULASI SISTEM ENERGI PADA RANCANGAN GEDUNG L4 PERPUSTAKAAN PUSAT UNIVERSITAS GADJAH MADA DENGAN ENERGYPLUS
YULIA PUSPASARI H, Dr.Eng. M.Kholid Ridwan, S.T., M.Sc.
Universitas Gadjah Mada, 2016 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Tabel 3.2. Nilai Densitas Bahan Bangunan dan Konduktifitas Termal Bahan Bangunan (K) [25]

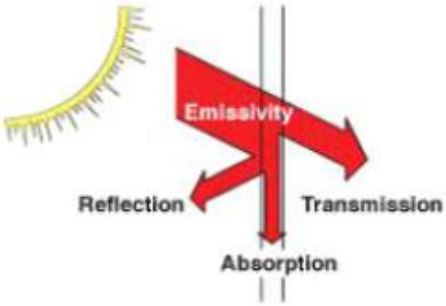
Bahan Bangunan	Densitas (kg/m^3)	K (W/m.K)
Beton	2400	1,448
Beton ringan	960	0,303
Bata dengan lapisan plester	1760	0,807
Plesteran pasir-semen	1568	0,533
Kaca Lembaran	2512	1,053
Papan gypsum	880	0,170
Papan gypsum	880	0,170
Kayu lunak	608	0,125
Kayu keras	702	0,138
Kayu lapis	528	0,148
Glasswool	32	0,035
Fiberglass	32	0,035
Paduan aluminium	2672	211
Tembaga	8784	285
Baja	7840	47,6
Granit	2640	2,927
Marmer/terazo/keramik/mozaik	2640	1,298

III.2.3. Beban Pendinginan Kaca Jendela

Gelombang elektromagnetik dalam radiasi matahari memiliki panjang gelombang yang berbeda-beda. Berdasarkan panjang gelombangnya, radiasi matahari dikelompokkan menjadi dua , yaitu radiasi gelombang panjang dan radiasi gelombang pendek. Radiasi gelombang panjang adalah gelombang inframerah sedangkan radiasi gelombang pendek adalah cahaya tampak dan gelombang ultraviolet.

Kaca jendela adalah bagian dari selubung bangunan yang menjadi pembatas antara ruang di dalam bangunan dan menjadi tempat perpindahan panas (energi) antara ruangan dengan lingkungan. Transfer energi radiasi pada kaca jendela dipengaruhi oleh empat hal, yaitu transmitansi (*transmittance*), reflektansi (*reflectance*), absorptansi (*absorptance*) dan emitansi (*emittance*) [14].

SIMULASI SISTEM ENERGI PADA RANCANGAN GEDUNG L4 PERPUSTAKAAN PUSAT UNIVERSITAS GADJAH MADA DENGAN ENERGYPLUS
YULIA PUSPASARI H, Dr.Eng. M.Kholid Ridwan, S.T., M.Sc.
Universitas Gadjah Mada, 2016 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/



Gambar 3.5. Sifat kaca jendela yang mempengaruhi transfer energi [11].

Transmitansi adalah persentase radiasi yang dilewatkan oleh kaca jendela. Transmitansi didefinisikan untuk berbagai jenis gelombang cahaya atau energi . yaitu transmitansi cahaya tampak , transmitansi sinar UV atau transmitansi radiasi matahari keseluruhan. Reflektansi adalah kemampuan untuk memantulkan atau merefleksikan sebagian dari radiasi matahari yang diterima. Reflektivitas kaca dipengaruhi oleh material kaca, kualitas permukaan kaca, pelapis (*coating*) dan sudut datang cahaya. Reflektivitas kaca terlihat ketika kondisi mendekati gelap (*low light condition*). Emisivitas adalah kemampuan material untuk meradiasikan energi yang telah diserap. Pada umumnya kaca jendela mengemisikan atau meradiasikan panas dalam bentuk energi inframerah-jauh gelombang-panjang. Panjang gelombang inframerah-jauh bervariasi berdasarkan temperatur. Emisi panas radiasi adalah salah satu dari jalan perpindahan panas yang penting dari kaca. Untuk meningkatkan kemampuan insulasi kaca adalah dengan mengurangi kemampuan kaca dalam mengemisikan panas [11].

Terdapat empat sifat yang dapat dijadikan sebagai dasar mengkuantifikasi kinerja energi sebuah kaca , yaitu faktor-U, Koefisien Perolehan Panas Matahari atau *Solar Heat Gain Coefficient* (SHGC) , transmitansi cahaya tampak atau *Visible Transmittance* (VT) dan kebocoran udara. Faktor-U adalah laju perpindahan panas keseluruhan atau nilai insulasi susunan kaca. SHGC adalah kemampuan susunan kaca untuk mengendalikan radiasi matahari langsung atau tidak langsung yang mengenai susunan kaca. Transmitansi cahaya tampak adalah sifat optis yang mengindikasikan jumlah cahaya tampak yang ditransmisikan oleh sebuah kaca.

SIMULASI SISTEM ENERGI PADA RANCANGAN GEDUNG L4 PERPUSTAKAAN PUSAT UNIVERSITAS GADJAH MADA DENGAN ENERGYPLUS
YULIA PUSPASARI H, Dr.Eng. M.Kholid Ridwan, S.T., M.Sc.
Universitas Gadjah Mada, 2016 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

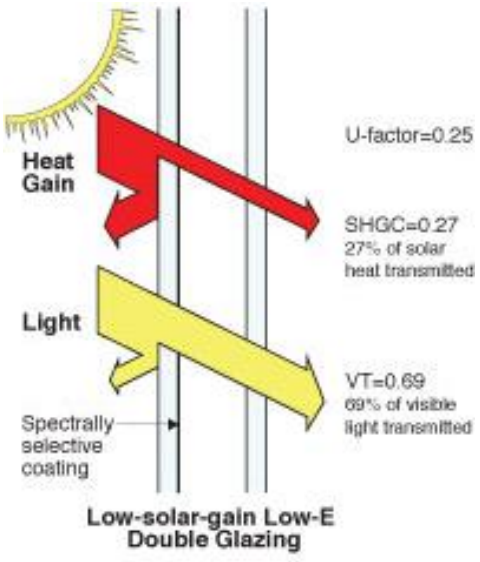
Kebocoran udara pada umumnya terjadi pada kusen dan sambungan di sekitar kaca jendela [11].

Untuk memperbaiki nilai SHGC dan VT dengan cara memasang lapisan tambahan berupa film pada kaca. Film yang dipasang pada kaca disebut dengan *solar control window film. Solar control window film* dapat mengurangi perolehan panas dari radiasi matahari dengan refleksi dan absorpsi. Film kaca dapat digelapkan yang berguna untuk mengendalikan panas dan kesilauan dari radiasi matahari, namun film-film kaca dengan teknologi terbaru mampu memantulkan radiasi panas dengan tetap menjaga kebeningan kaca [11]

Nilai SHGC dan VT dapat diperbaiki supaya sesuai dengan kualifikasi bangunan dan keadaan lingungan dengan cara menambahkan tiga hal pada kaca , yaitu lapiasn rendah emisi (*low e-coating*), lapisan reflektif dan lapisan gelap (*tints*). Lapisan rendah emisi berfungsi untuk mengurangi emisivitas kaca sehingga meningkatkan kemampuan insulasi kaca. Reflektansi lapisan rendah emisi dapat dimanipulasi sehingga mengikutsertakan bagian dari spektrum cahaya tampak dan inframerah. Lapisan yang memiliki kemampuan ini disebut lapisan selektif spektral (*spectrally selected coating*). Lapisan ini dapat menyeleksi bagian tertentu dari spektrum energi sehingga panjang gelombang yang diinginkan akan ditransmisikan dan panjang gelombang yang tidak diinginkan akan dipantulkan. Lapisan gelap pada kaca (*tint*) berfungsi untuk mengurangi kesilauan dari lingkungan dan mengurangi jumlah energi matahari yang ditransmisikan melalui kaca sekaligus meningkatkan privasi. Kaca gelap tetap mempertahankan transparansi dari dalam ruangan sedangkan kecerahan pemandangan luar akan berkurang dan warna kaca berubah. Pada umumnya warna kaca gelap adalah warna abu-abu netral, perunggu dan biru-kehijauan.

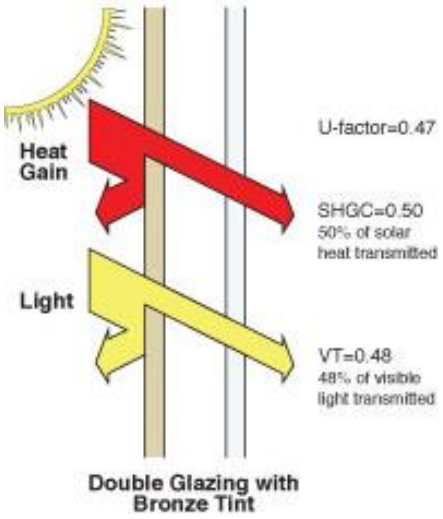
Desain kaca gelap dibuatt secara khusus untuk memaksimalkan absorpsi sebagian atau keseluruhan spektrum matahari, sehingga sering disebut sebagai penyerap panas. Energi matahari yang diserap akan berubah menjadi panas sehingga meningkatkan temperatur. Kaca yang berglasir tunggal ,panas yang diserap akan berpindah ke dalam ruangan melalui radiasi dan konveksi , sehingga hanya akan terjadi sedikit pengurangan panas matahari [11].

SIMULASI SISTEM ENERGI PADA RANCANGAN GEDUNG L4 PERPUSTAKAAN PUSAT UNIVERSITAS GADJAH MADA DENGAN ENERGYPLUS
YULIA PUSPASARI H, Dr.Eng. M.Kholid Ridwan, S.T., M.Sc.
Universitas Gadjah Mada, 2016 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/



Gambar 3.6. Jendela glasir ganda, lapisan rendah emisi dan rendah panas matahari

Solusi yang dapat diberikan dalam penggunaan kaca gelap adalah dengan menggunakan kaca ganda (*double glazing*). Kaca gelap diposisikan di bagian luar sehingga panas yang terserap harus melewati jeda antara kaca luar dan kaca dalam. Jeda ini pada umumnya diisi oleh gas yang memiliki nilai transfer panas yang rendah atau hampa udara sehingga akan menghambat perpindahan panas dari kaca luar.



Gambar 3.7. Kaca berglasir ganda dengan lapisan gelap warna perunggu

SIMULASI SISTEM ENERGI PADA RANCANGAN GEDUNG L4 PERPUSTAKAAN PUSAT UNIVERSITAS GADJAH MADA DENGAN ENERGYPLUS
YULIA PUSPASARI H, Dr.Eng. M.Kholid Ridwan, S.T., M.Sc.
Universitas Gadjah Mada, 2016 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

III.3. Beban Pendinginan Internal

Beban pendinginan internal adalah beban pendinginan yang dipengaruhi oleh sumber-sumber panas yang ada di dalam bangunan. Beban pendinginan internal bangunan meliputi beban pendinginan penghuni (*occupant*), beban pendinginan sistem tata cahaya dan beban pendinginan peralatan listrik.

III.3.1. Beban Pendinginan Penghuni (*occupant*)

Beban pendinginan penghuni adalah beban pendinginan internal bangunan yang memiliki karakteristik tersendiri dibandingkan beban pendinginan internal yang lain. Beban pendinginan penghuni dipengaruhi oleh dua faktor yaitu, tingkat hunian (okupansi) dan aktivitas yang dilakukan oleh penghuni.

Bangunan berfungsi untuk memberikan kenyamanan bagi manusia yang berada di dalamnya. Faktor kenyamanan yang harus dipenuhi oleh bangunan adalah kenyamanan termal. Definisi kenyamanan termal adalah kondisi pikiran yang menyatakan kepuasan terhadap lingkungan termal *(thermal environment)* [9].

Aktivitas metabolisme manusia akan menghasilkan panas yang didisipasikan dan diatur untuk menjaga temperatur tubuh. Pembuangan panas yang kurang akan menyebabkan tubuh mengalami hipertermia, tetapi pembuangan panas dari tubuh yang berlebihan akan menyebabkan hipotermia. Panas yang dihasilkan dari aktivitas metabolisme menyebabkan keberadaan manusia di dalam bangunan mempengaruhi konsumsi energi bangunan secara keseluruhan. Laju panas yang dihasilkan oleh aktivitas metabolisme bergantung pada kegiatan yang dilakukan.

III.3.2. Beban Pendinginan Sistem Tata Cahaya

Salah satu faktor yang perlu mendapat perhatian dalam simulasi energi bangunan adalah sistem tata cahaya. Ketika beroperasi sistem tata cahaya tidak hanya mengonsumsi energi , tetapi juga menghasilkan panas yang akan menambah konsumsi energi listrik bangunan secara keseluruhan. Bagian sistem tata cahaya yang menghasilkan panas adalah yang menghasilkan cahaya yaitu lampu.

Konsumsi energi sistem cahaya berubah menjadi energi panas dalam tiga bagian , yaitu radiasi gelombang pendek, radiasi gelombang panjang dan konveksi.

SIMULASI SISTEM ENERGI PADA RANCANGAN GEDUNG L4 PERPUSTAKAAN PUSAT UNIVERSITAS GADJAH MADA DENGAN ENERGYPLUS
YULIA PUSPASARI H, Dr.Eng. M.Kholid Ridwan, S.T., M.Sc.
Universitas Gadjah Mada, 2016 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Ketiga fraksi tersebut ada yang didistribusikan ke dalam ruangan (*space fraction*) dan ada pula yang didistribusikan ke dalam langit-langit sehingga berinteraksi dengan udara balik sistem tata udara (*plenum/return air fraction*). Pembagian fraksi panas yang dihasilkan oleh sistem tata cahaya dapat dihitung menggunakan persamaan 3.8 berikut, [12]

$$fconv = 1{,}0 - (fret + flw + fsw) \tag{3.8}$$

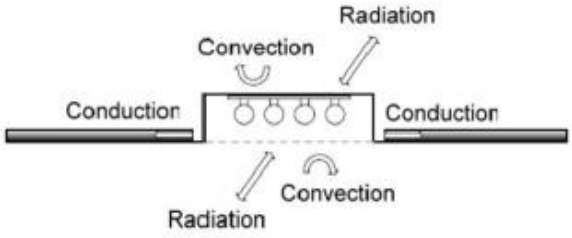
dengan

fconv = fraksi panas yang didistribusikan secara konveksi
fret = fraksi panas yang diserap oleh udara balik
flw = fraksi radiasi gelombang panjang
fsw = fraksi radiasi gelombang pendek

Nilai *fret, flw* dan *fsw* bervariasi bergantung pada jenis lampu atau *luminaire.*

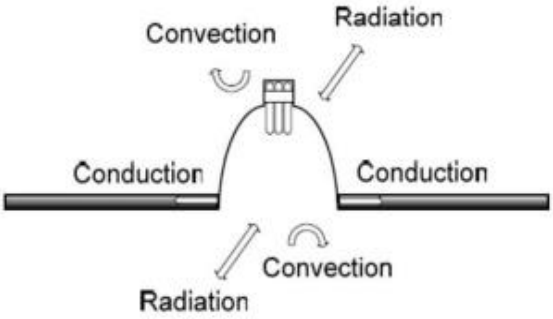
III.3.2.1. Luminaire

Luminaire adalah unit lengkap pencahayaan, yang terdiri dari satu atau lebih lampu bersamaan dengan soket dan bagian lain yang memegang lampu dan melindunginya, kabel yang menghubungkan lampu ke sumber listrik, dan reflektor yang membantu langsung dan mendistribusikan cahaya. Jenis- jenis *luminaire* dalam penelitian Fisher dan Chantrasrisalai dikelompokkan menjadi tiga kategori, yaitu *recessed luminaire, downlight luminaire* dan *non-in-ceiling luminaire* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.8 dan 3.9. [17]



Gambar 3.8. *Recessed luminaire*

SIMULASI SISTEM ENERGI PADA RANCANGAN GEDUNG L4 PERPUSTAKAAN PUSAT UNIVERSITAS GADJAH MADA DENGAN ENERGYPLUS
YULIA PUSPASARI H, Dr.Eng. M.Kholid Ridwan, S.T., M.Sc.
Universitas Gadjah Mada, 2016 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/



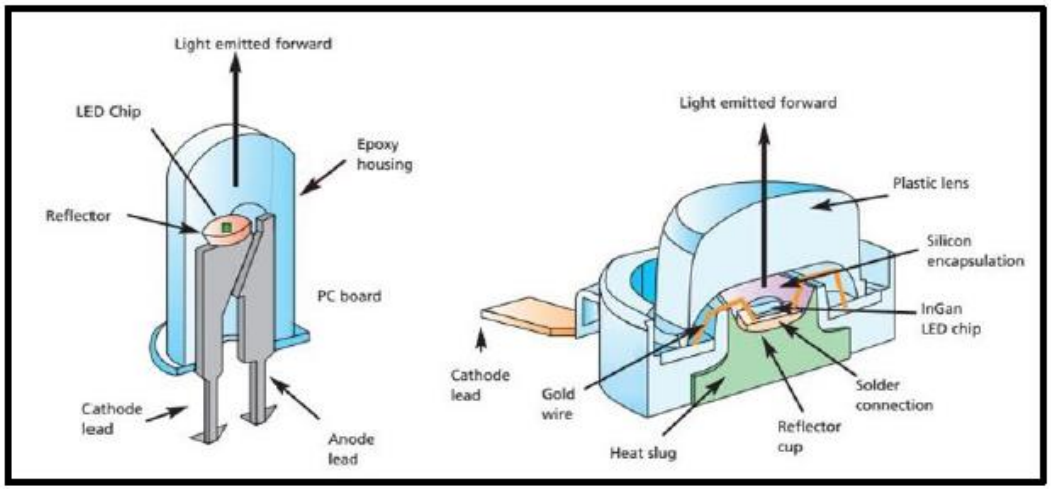
Gambar 3.9. *Downlight luminaire*

Non-in-ceiling adalah jenis *luminaire* yang tidak menempel pada langit-langit ruangan.

III.3.2.2. Lampu LED (*Light Emitting Diode*)

Lampu LED menghasilkan cahaya melalui *electroluminescence* ketika tegangan rendah dengan arus searah diberikan ke kristal *solid-state*. Lampu LED dapat dibagi menjadi dua tipe berdasarkan kekuatan dan ukurannya, yaitu: LED berkekuatan rendah dan LED berkekuatan tinggi. Gambar 3.10 menunjukkan konstruksi dari kedua jenis LED [18]. LED umumnya memiliki umur yang panjang dan dapat bertahan sampai 100.000 jam dengan efisiensi yang lebih tinggi dibanding lampu neon. Lampu LED yang akan diterapkan dalam skenario penghematan energi pada Perpustakaan Pusat UGM Gedung L4 adalah jenis lampu LED Phillips Tube T8-18 Watt.

SIMULASI SISTEM ENERGI PADA RANCANGAN GEDUNG L4 PERPUSTAKAAN PUSAT UNIVERSITAS GADJAH MADA DENGAN ENERGYPLUS
YULIA PUSPASARI H, Dr.Eng. M.Kholid Ridwan, S.T., M.Sc.
Universitas Gadjah Mada, 2016 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/



Gambar 3.10. Konstruksi dari LED kekuatan rendah (kiri) dan kekuatan tinggi (kanan)

III.3.2.3. Kalkulasi Jumlah Lampu Untuk Suatu Ruangan

Dalam merencanakan instalasi pencahayaan suatu ruangan, kita membuat kalkulasi untuk menghitung atau memperkirakan berapa banyak lampu yang dibutuhkan supaya tingkat penerangan rata-rata dapat dicapai, atau apakah jumlah dan tata letak lampu dapat menghasilkan tingkat penerangan rata-rata yang memadai.. Untuk mengetahui jumlah unit lampu (N) yang dibutuhkan suatu ruangan sesuai dengan intensitas cahaya yang telah ditetapkan, dengan menggunakan persamaan 3.9 berikut : [19]

$$\text{N (unit)} = \frac{E \,.A}{n \times \emptyset \times kp \times kd} \qquad (3.9)$$

dengan:

E = Tingkat penerangan yang dikehendaki (lux),

A = Luas ruangan (m^2),

N = Jumlah *armature* yang diperlukan,

n = Jumlah lampu per *armature* ,

$\emptyset$ = Total lumen lampu (lm) ,

kp = koefisien penggunaan,

kd = koefisien depresiasi (penyusutan) ,

SIMULASI SISTEM ENERGI PADA RANCANGAN GEDUNG L4 PERPUSTAKAAN PUSAT UNIVERSITAS GADJAH MADA DENGAN ENERGYPLUS
YULIA PUSPASARI H, Dr.Eng. M.Kholid Ridwan, S.T., M.Sc.
Universitas Gadjah Mada, 2016 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

III.3.3. Beban Pendinginan Peralatan Listrik

Konsumsi energi dari peralatan listrik berubah menjadi energi panas dan kerja. Energi yang berubah menjadi energi panas terbagi dalam tiga bagian, yaitu dalam bentuk panas laten, radiasi gelombang dan konveksi. Pembagian energi yang dikonsumsi oleh peralatan listrik dapat dihitung menggunakan persamaan 3.10 berikut, [12]

$$fcv = 1{,}0 - (fl + fr + fw) \tag{3.10}$$

dengan

fcv = fraksi panas yang didistribusikan secara konveksi
fl = fraksi panas laten
fr = fraksi panas radiasi
fw = fraksi energi yang berubah menjadi kerja

III.4. Sistem Tata Udara

Sistem tata udara atau yang sering disebut dengan HVAC merupakan singkatan dari *Heating, Ventilating and Air Conditioning*. HVAC adalah proses pengkondisian udara yang meliputi pemanasan *(heating)*, pendinginan *(cooling)*, humidifikasi *(humidifying)*, dehumidifikasi *(dehumidifying)*, pembersihan *(cleaning)*, ventilasi *(ventilating)* dan pergerakan udara *(air movement)* [13]. Sistem pengkondisian ini bertujuan untuk mengontrol dan mempertahankan suhu, kelembaban udara, gerakan udara, kebersihan udara, tingkat suara dan tekanan diferensial di dalam ruang sesuai dengan batas-batas yang telah ditentukan untuk kenyamanan dan kesehatan penghuni ruang yang dikondisikan dalam beraktivitas produktif. Kenyamanan termal bagi penghuni didasari oleh dua hal, yaitu suhu dan kelembaban. Ada rentang nilai tertentu yang harus dipenuhi agar kenyamanan termal bagi penghuni dapat terpenuhi. Manusia akan merasakan kenyamanan secara termal jika suhu ruangan antara 20°C – 26°C, dengan kelembaban 45% - 55% dan kecepatan udara 0,25m/s.

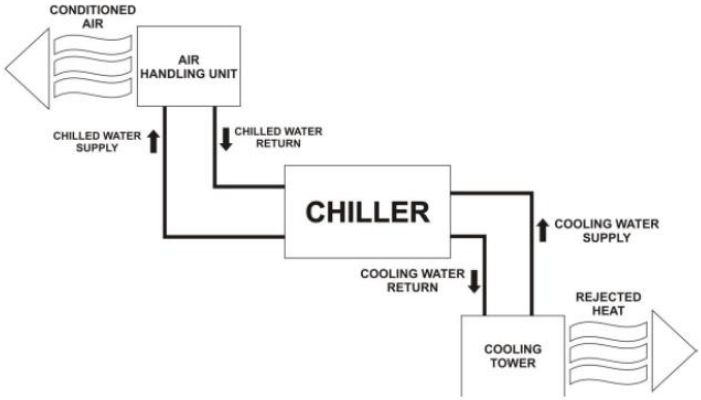
UNIVERSITAS
GADJAH MADA
SIMULASI SISTEM ENERGI PADA RANCANGAN GEDUNG L4 PERPUSTAKAAN PUSAT UNIVERSITAS GADJAH MADA DENGAN ENERGYPLUS
YULIA PUSPASARI H, Dr.Eng. M.Kholid Ridwan, S.T., M.Sc.
Universitas Gadjah Mada, 2016 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Menurut penggunaannya, pengkondisian udara dikelompokkan menjadi dua macam, yaitu pengkondisian udara proses (*process air conditioning*) dan pengkondisian udara kenyamanan (*comfort air conditioning*) [14]. Pengkondisian udara proses meliputi pengkondisian udara yang diaplikasikan di industri , seperti industri elektronik dan pangan, sedangkan pengkondisian udara kenyamanan meliputi pengkondisian udara yang diaplikasikan di bangunan atau transportasi untuk memperoleh kenyamanan termal bagi penghuni. Sistem pengkondisian udara industri dirancang untuk memperoleh suhu, kelembaban dan distribusi udara yang sesuai dengan proses serta penggunaan peralatan di dalam ruangan.

Ditinjau dari konstruksinya, sistem pengkondisian udara dibagi menjadi dua kelompok, yaitu sistem pengkondisian udara lokal dan sistem pengkondisian udara terpusat. Pada sistem pengkondisian udara lokal, pendinginan secara langsung dilakukan oleh refrigerant yang diekspansikan melalui koil pendingin, sedangkan udara disirkulasikan dengan cara menghembuskan menggunakan blower/fan meliputi koil pendinginan tersebut. Sistem ini biasanyan dipergunakan untuk beban pendinginan udara yang tidak terlalu besar dan banyak digunakan di sektor residensial sedangkan sistem pengkondisian udara terpusat banyak digunakan di bangunan-bangunan besar seperti pusat perbelanjaan, gedung perkantoran dan bandara.

Sistem pengkondisian terpusat pada umumnya berupa sistem pengkondisian udara hidronik terpusat (*central hydronic air conditioning system*). Sistem ini memanfaatkan air untuk mendistribusikan panas dari atau ke dalam ruangan. Sistem pengkondisian udara terpusat terdiri atas tiga komponen utama, yaitu sistem udara (*air system*), sistem air (*water system*) dan mesin pusat (*central plant*). Sistem pengkondisian udara terpusat ditunjukkan oleh Gambar 3.11.

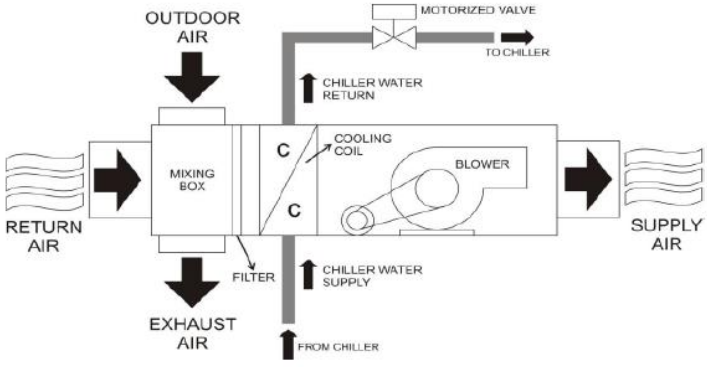
SIMULASI SISTEM ENERGI PADA RANCANGAN GEDUNG L4 PERPUSTAKAAN PUSAT UNIVERSITAS GADJAH MADA DENGAN ENERGYPLUS
YULIA PUSPASARI H, Dr.Eng. M.Kholid Ridwan, S.T., M.Sc.
Universitas Gadjah Mada, 2016 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/



Gambar 3.11. Sistem Pengkondisian Udara Terpusat [16]

Sistem tata udara atau sering disebut dengan air handling system memiliki tugas untuk mengkondisikan, mengantarkan dan mendistribusikan udara yang telah terkondisi, udara balik (resirkulasi), udara luar, udara buang dan untuk mengendalikan lingkungan ruangan berdasarkan kebutuhan [15].

Air Handling Unit (AHU) atau unit penanganan udara adalah peralatan yang bertanggung jawab untuk menangani sistem udara. AHU pada umumnya terdiri atas kipas suplai, filter, koil pendingin, koil pemanas, ruang pencampuran *(mixing box)* dan aksesoris lain. AHU berfungsi untuk mengkondisikan udara luar dan udara balik (resirkulasi), memasok udara terkondisi ke ruangan dan memindahkan udara balik dari ruangan melalui saluran udara *(duct)* dan perangkat difusi [14]. Skema AHU ditunjukkan oleh Gambar 3.12.



Gambar 3.12. Skema AHU [16]

SIMULASI SISTEM ENERGI PADA RANCANGAN GEDUNG L4 PERPUSTAKAAN PUSAT UNIVERSITAS GADJAH MADA DENGAN ENERGYPLUS
YULIA PUSPASARI H, Dr.Eng. M.Kholid Ridwan, S.T., M.Sc.
Universitas Gadjah Mada, 2016 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Kotak terminal merupakan komponen lain dalam sistem tata udara yang terdiri atas sebuah kipas kecil dengan atau tanpa koil pemanas yang bertugas untuk menarik atau menghisap udara dari ruang kosong di langit-langit (*ceiling plenum*) dan mencampurkannya dengan udara terkondisi dari AHU kemudian mendistribusikan udara yang telah tercampur tersebut ke dalam ruangan. Kotak terminal ada dua jenis berdasarkan volume udara yang disuplai yaitu *Constant Air Volume* (CAV) dan *Variable Air Volume* (VAV).

Sistem air terdiri atas sistem air dingin dan air panas, pompa air dingin dan air panas, sistem air kondensor dan pompa air kondensor. Sistem air yang hanya ada sistem air dingin (*chilled water*) ada pada bangunan yang terletak di daerah beriklim tropis. Sistem air bertugas untuk memindahkan air dingin dari mesin pusat (*central Plant*) ke AHU dan memindahkan air kondensor dari menara pendingin ke kondensor yang terdapat di dalam mesin pusat. Pada sistem yang hanya terdapat sistem air dingin, mesin pusat hanya berupa mesin pendingin *(chiller)* [14].

Air dingin memindahakan panas dari ruangan dengan cara , air dingin akan didinginkan oleh mesin pendingin kemudian didistribusikan melalui pipa menuju koil pendingin yang terdapat di berbagai perangkat AHU. Temperatur air yang meninggalkan koil pendingin akan meningkat setelah menyerap panas dari aliran udara di dalam AHU yang melewati koil. Selanjutnya, air dingin dialirkan ke dalam mesin pendingin untuk didinginkan kembali. Sementara itu, aliran air kondensor bertugas untuk memindahkan panas dari mesin pendingin dengan cara mengambil panas dari kondensor mesin pendingin kemudian dibuang melalui menara pendingin [3].

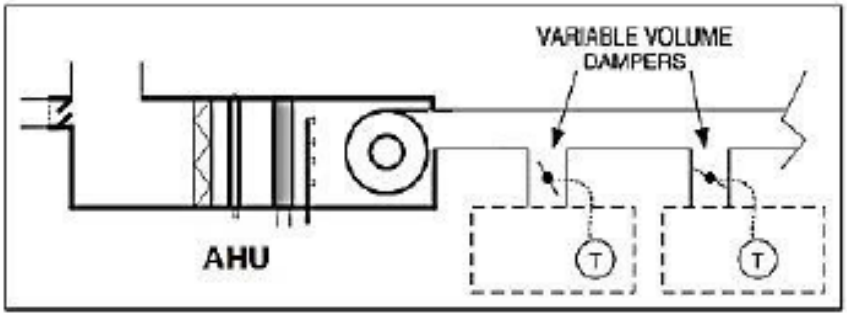
III.4.1. Sistem *Constant Air Volume* (CAV)

CAV adalah sistem tata udara yang mendistribusikan udara terkondisi dari chiller pada temperatur tertentu. Temperatur tersebut didesain untuk beban pendinginan maksimum di semua zona. Volume udara yang didistribusikan untuk setiap zona adalah konstan sehingga zona dengan perubahan beban pendinginan yang fluktuatif menjadi tidak efektif dan efisien terhadap penggunaan sistem CAV [13].

SIMULASI SISTEM ENERGI PADA RANCANGAN GEDUNG L4 PERPUSTAKAAN PUSAT UNIVERSITAS GADJAH MADA DENGAN ENERGYPLUS
YULIA PUSPASARI H, Dr.Eng. M.Kholid Ridwan, S.T., M.Sc.
Universitas Gadjah Mada, 2016 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

III.4.2. Sistem *Variable Air Volume* (VAV)

Sistem tata udara VAV didesain dengan damper pengontrol volume udara suplai yang dikontrol oleh termostat yang berada di ruangan atau zona yang disuplai. Damper pengontrol bekerja seperti katup yang mengatur besar volume udara suplai ke zona. Sistem VAV dapat menyesuaikan kerjanya dengan beban pendinginan yang bervariasi pada zona berbeda dengan katup damper yang bekerja masing-masing di tiap zona [3]. Skema sederhana VAV ditunjukkan pada Gambar 3.13.



Gambar 3.13. Sistem *Variable Air Volume*

III.4.3. Refrigeran

ASHRAE (2005) mendefinisikan refrigeran sebagai fluida kerja di dalam mesin refrigerasi, pengkondisian udara, dan sistem pompa kalor. Refrigeran menyerap panas dari suatu lokasi dan membuangnya ke lokasi yang lain, melalui proses evaporasi dan kondensasi [8].

Calm (2002) membagi perkembangan refrigeran dalam tiga periode yaitu periode pertama (1830-an hingga 1930-an) dengan kriteria refrigeran apapun yang bekerja di dalam mesin refrigerasi [20], yaitu CO2, NH3, SO2, hidrokarbon, H2O, CCl4, dan CHCs. Sedangkan periode kedua (1930-an hingga 1990-an) dengan kriteria refrigeran yang aman dan tahan lama, yaitu HFCs, NH3, dan H2O. Pada periode ketiga (setelah tahun 1990-an) dengan kriteria refrigeran yang ramah lingkungan, yaitu HCFCs, NH3, HFCs, H2O, dan CO2. Titik didih refrigeran merupakan indikator yang menyatakan apakah refrigeran dapat menguap pada

SIMULASI SISTEM ENERGI PADA RANCANGAN GEDUNG L4 PERPUSTAKAAN PUSAT UNIVERSITAS GADJAH MADA DENGAN ENERGYPLUS
YULIA PUSPASARI H, Dr.Eng. M.Kholid Ridwan, S.T., M.Sc.
Universitas Gadjah Mada, 2016 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

temperatur rendah yang diinginkan, tetapi pada tekanan yang tidak terlalu rendah. Refrigeran R-12, R-22, R-500, R-502, dan ammonia dapat dipakai untuk daerah suhu yang luas, dari segi keperluan pendinginan udara sampai refrigerasi.

Pemilihan refrigeran dibuat berdasarkan atribut kerja dan lingkungan. Atribut kerja refrigeran adalah sifat yang berkaitan dengan penggunaan refrigeran. Sifat ini antara lain COP, efek pendinginan, serta tekanan kondensasi dan evaporasi. Sifat-sifat tersebut dibandingkan oleh beban kerja sama, suhu evaporasi sama atau suhu kondensasi sama. Tabel 3.3 menampilkan atribut kerja beberapa refrigeran pada suhu kondensasi 300°C dan suhu evaporasi 150°C.

Tabel 3.3. Atribut Kerja Refrigeran [21]

Refrigeran	**Tekanan Evaporasi (kPa)**	**Tekanan Kondensasi (kPa)**	**Rasio Tekanan**	**Efek Refrigerasi (kJ/kg)**	**Laju aliran masa per kW refrigerasi (l/detik)**	**COP**
R-11	20,4	125,5	6,15	155,4	4,9	5,03
R-12	182,7	744,6	4,08	116,3	0,782	4,70
R-22	295,8	1192,1	4,03	162,8	0,476	4,66
R502	349,6	1308,6	3,74	106,2	0,484	4,37
R-707	236,5	1166,6	4,93	1103,4	0,462	4,76

Atribut lingkungan berhubungan dengan reaksi refrigeran saat terlepas ke atmosfer. Terdapat tiga jenis atribut yang dikenal, yaitu GWP (*Global Warming Potential*), ODP (*Ozone Depletion Potential*) dan tahun atmosferik. ODP merupakan nilai yang menunjukkan potensi suatu jenis refrigeran terhadap kerusakan ozon dan GWP merupakan nilai yang menunjukkan potensi suatu jenis refrigeran terhadap pemanasan global [22]. Nilai potensial *global warming* polutan atau gas rumah kaca ditunjukkan pada Tabel 3.4. Nilai potensial *global warming* menunjukkan seberapa besar kontribusi suatu massa polutan tertentu terhadap pemanasan global selama periode tertentu dibandingkan dengan kontribusi karbondioksida dengan massa yang sama [23].

SIMULASI SISTEM ENERGI PADA RANCANGAN GEDUNG L4 PERPUSTAKAAN PUSAT UNIVERSITAS GADJAH MADA DENGAN ENERGYPLUS
YULIA PUSPASARI H, Dr.Eng. M.Kholid Ridwan, S.T., M.Sc.
Universitas Gadjah Mada, 2016 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Tabel 3.4. Nilai GWP, ODP dan tahun atmosferik refrigeran primer

Refrigeran	GWP	ODP	Tahun Atmosferik
Karbondioksida (CO2)	1	0	50-200
Metana (CH4)	21	0	12 ± 3
Nitrous Oksida (N2O)	310		
CFC-12 (CCl2F2)/R-144	6.200-7.100		
R502	5.600	0,283	
Perfluorometana (CF4)	6.500		
Sulfur Heksa Flourida (SF6)	23.900		
R-11	4.000	1,0	50 ± 5
R-717 (Ammonia)	Tidak ada	0	
HCFC-22 (CHClF2)/R-22	1.300-1.400	0,055	13,3

III.4.4. Instalasi Saluran Udara (*Ducting*)

Fungsi dari *Ducting* adalah untuk mendistribusikan udara di dalam gedung terdapat berbagai macam *ducting* dalam penggunaannya, fungsi sebagai *supply* udara dingin ke ruang yang dikondisikan (*supply air*), *ducting* yang berfungsi sebagai *supply* dari udara luar (*fresh air*) dan ada pula ducting yang berfungsi untuk membuang udara dari dalam ke luar (*exhaust air*) secara fisik bentuk *ducting supply air* ini berinsulasi karena untuk mempertahankan udara dingin yang didistribusikan tidak terbuang, sedangkan untuk *ducting fresh air* dan *exhaust air* ini tidak menggunakan insulasi, lapisan dari insulasi ini antara lain : *Glasswool, Alumunium Foil, Spindle pin*/pengikat/tali/flinkote. Sedangkan untuk lapisan *ducting* didekat unit AC Indoor (untuk sistem AC Split) atau Unit AHU (Untuk sistem *central*) biasanya bagian dalamnya menggunakan *Glasswool* dan *glassclotch*, untuk meredam bunyi bising dari unit. Bahan yang digunakan untuk ducting itu sendiri bermacam-macam, ada yang terbuat dari bahan PVC, mild steel, BJLS (baja lapis seng), PU (*Polyurethane*), untuk *ducting y*ang terbuat dari bahan PU tidak perlu menggunakan lapisan luar karena lapisannya sudah tersedia dari pabrikan hanya untuk lapisan dalamnya saja yang terdapat didekat unit menggunakan *glassclotch.*

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
SIMULASI SISTEM ENERGI PADA RANCANGAN GEDUNG L4 PERPUSTAKAAN PUSAT UNIVERSITAS GADJAH MADA DENGAN ENERGYPLUS
YULIA PUSPASARI H, Dr.Eng. M.Kholid Ridwan, S.T., M.Sc.
Universitas Gadjah Mada, 2016 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Secara umum *ducting* yang banyak digunakan adalah jenis *ducting* BJLS (Baja Lapis Seng) terdapat berbagai macam ukuran BJLS dan penggunaan ukuran pada *ducting* berikut ini beberapa ukurannya :

1. BJLS 50 untuk ukuran ducting (mm): 0-300
2. BJLS 60 untuk ukuran *ducting* (mm) : 350-700
3. BJLS 80 untuk ukuran *ducting (*mm) : 750-1200
4. BJLS100 untuk ukuran *ducting* (mm) : 1200-1900
5. BJLS120 untuk ukuran *ducting* (mm) : 1900-2400
6. BJLS140 untuk ukuran *ducting* (mm) : 2400

SIMULASI SISTEM ENERGI PADA RANCANGAN GEDUNG L4 PERPUSTAKAAN PUSAT UNIVERSITAS GADJAH MADA DENGAN ENERGYPLUS
YULIA PUSPASARI H, Dr.Eng. M.Kholid Ridwan, S.T., M.Sc.
Universitas Gadjah Mada, 2016 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

BAB IV

PELAKSANAAN PENELITIAN

IV.1. Alat dan Data Penelitian

Pada bagian ini akan dijelaskan alat dan bahan yang digunakan untuk melakukan penelitian

IV.1.1. Alat

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1. Alat-alat yang digunakan

No	Alat	Spesifikasi	Fungsi
1	Laptop	ASUS A455L Sistem Operasi (OS) : Windows 8.1 Pro 64-bit Processor : Intel Core i5-5200U CPU @2,19 GHz Memory : 4,00 GB	Untuk pembuatan model penelitian, pengolahan , penyimpanan data serta simulasi.
2	Perangkat Lunak	*Google SketchUp 8*	Untuk Membuat model bangunan
		Open Studio	Sebagai Antar muka grafis pengguna bagi perangkat lunak *EnergyPlus*
		Microsoft Word 2013	Untuk penulisan laporan penelitian
		Microsoft Excel 2013	Untuk pengolahan data kuantitatif
		EnergyPlus	Untuk melakukan simulasi

SIMULASI SISTEM ENERGI PADA RANCANGAN GEDUNG L4 PERPUSTAKAAN PUSAT UNIVERSITAS GADJAH MADA DENGAN ENERGYPLUS
YULIA PUSPASARI H, Dr.Eng. M.Kholid Ridwan, S.T., M.Sc.
Universitas Gadjah Mada, 2016 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

IV.1.2. Data Penelitian

Data yang digunakan dalam penelitian ini diperoleh dari berbagai sumber seperti ditunjukkan pada Tabel 4.2.

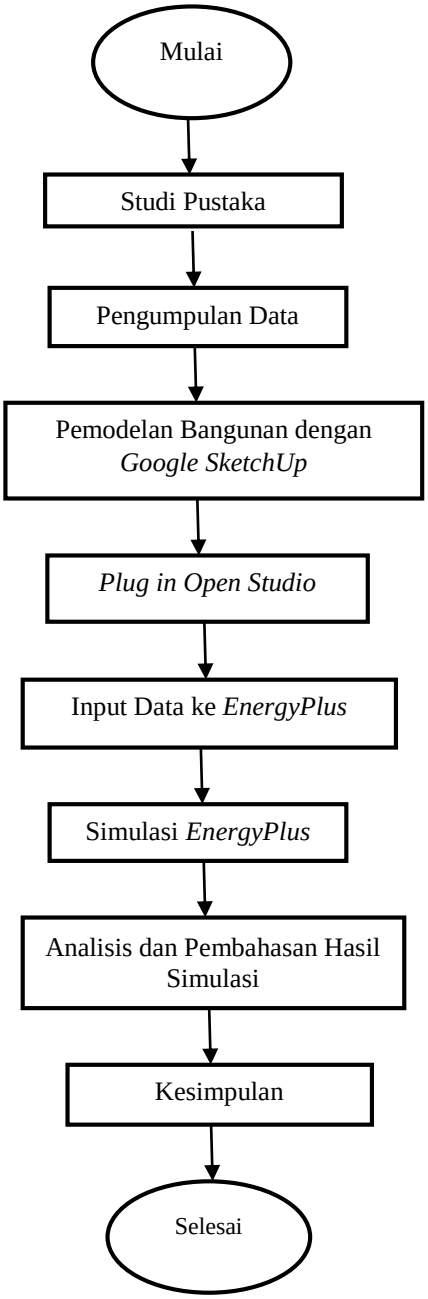
Tabel 4.2 Bahan Penelitian

No	Bahan	Sumber
1	Gambar Tata Letak bangunan Perpustakaan Pusat UGM gedung L4	Renbang
2	Gambar potongan bangunan Perpustakaan Pusat UGM gedung L4	Renbang
3	Gambar instalasi saluran AC bangunan Perpustakaan Pusat UGM gedung L4	Renbang
4	Gambar instalasi pencahayaan bangunan Perpustakaan Pusat UGM gedung L4	Renbang
5	Data peralatan listrik	Perpustakaan Pusat UGM
6	Data cuaca wilayah Surakarta	Forum Grup Yahoo *EnergyPlus*

SIMULASI SISTEM ENERGI PADA RANCANGAN GEDUNG L4 PERPUSTAKAAN PUSAT UNIVERSITAS GADJAH MADA DENGAN ENERGYPLUS
YULIA PUSPASARI H, Dr.Eng. M.Kholid Ridwan, S.T., M.Sc.
Universitas Gadjah Mada, 2016 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

IV.2. Tata Laksana Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan beberapa tahap, seperti dijabarkan pada Gambar 4.1.



Gambar 4.1. Diagram Alir Penelitian

SIMULASI SISTEM ENERGI PADA RANCANGAN GEDUNG L4 PERPUSTAKAAN PUSAT UNIVERSITAS GADJAH MADA DENGAN ENERGYPLUS
YULIA PUSPASARI H, Dr.Eng. M.Kholid Ridwan, S.T., M.Sc.
Universitas Gadjah Mada, 2016 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

IV.2.1. Studi Pustaka

Studi pustaka didapatkan dari penelitian-penelitian sebelumnya yang membahas tentang aplikasi simulasi energi pada bangunan dan juga mengenai audit bangunan. Studi pustaka pada penelitian ini mengambil lima penelitian Tugas Akhir. Kelima penelitian tersebut mewakili tiga tema yang berhubungan dengan penelitian ini.

Tema pertama mengenai audit energi bangunan. Pengambilan tema ini bertujuan untuk mengetahui hasil audit energi secara manual.

Tema kedua tentang aplikasi perangkat lunak *EnergyPlus* dengan studi kasus sebuah bangunan. Pengambilan tema ini bertujuan untuk mengetahui metode yang digunakan dalam mengaplikasikan perangkat lunak simulasi energi suatu bangunan.

Tema ketiga mengenai skenario penghematan konsumsi energi suatu bangunan. Pengambilan tema ini bertujuan untuk mengetahui peluang-peluang penghematan konsumsi energi pada suatu bangunan.

IV.2.2. Pengumpulan Data

Data yang diperlukan untuk penelitian adalah data yang berkaitan dengan kinerja energi bangunan supaya dapat memberikan hasil simulasi yang menggambarkan perilaku sistem. Data yang diperlukan meliputi bentuk geometri bangunan, konstruksi selubung bangunan, beban internal dan sistem tata udara, serta data besarnya konsumsi energi listrik pada Perpustakaan Pusat Universitas Gadjah Mada. Sumber pengumpulan data penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Cetak Biru

   Cetak biru *(blueprint)* yang digunakan sebagai sumber data untuk penelitian ini meliputi bentuk geometri bangunan dan sistem elektrikal-mekanikal. Cetak biru geometri bangunan meliputi tata letak bangunan *(layout)* dan gambar potongan. Cetak biru sistem elektrikal-mekanikal meliputi tata letak saluran udara *(ducting)* serta tata letak sistem tata cahaya dan jaringan listrik.

SIMULASI SISTEM ENERGI PADA RANCANGAN GEDUNG L4 PERPUSTAKAAN PUSAT UNIVERSITAS GADJAH MADA DENGAN ENERGYPLUS
YULIA PUSPASARI H, Dr.Eng. M.Kholid Ridwan, S.T., M.Sc.
Universitas Gadjah Mada, 2016 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

2. Wawancara

   Wawancara dilakukan untuk memperoleh data yang tidak diperoleh dari cetak biru seperti aktivitas dan jumlah pengunjung perpustakaan setiap harinya.

3. Internet

   Internet digunakan untuk mencari spesifikasi peralatan listrik yang digunakan di Perpustakaan Pusat Universitas Gadjah Mada. Selain itu, internet juga berfungsi untuk mencari spesifikasi detail untuk material dan konstruksi bangunan. Sebagian spesikasi tidak memenuhi variabel data input yang diperlukan oleh *EnergyPlus*, dengan demikian untuk variabel input yang tidak didapatkan diganti dengan data bawaan *(default)* dari perangkat lunak.

IV.2.3. Pemodelan Bangunan dengan *Google SketchUp + Plug in Open Studio*

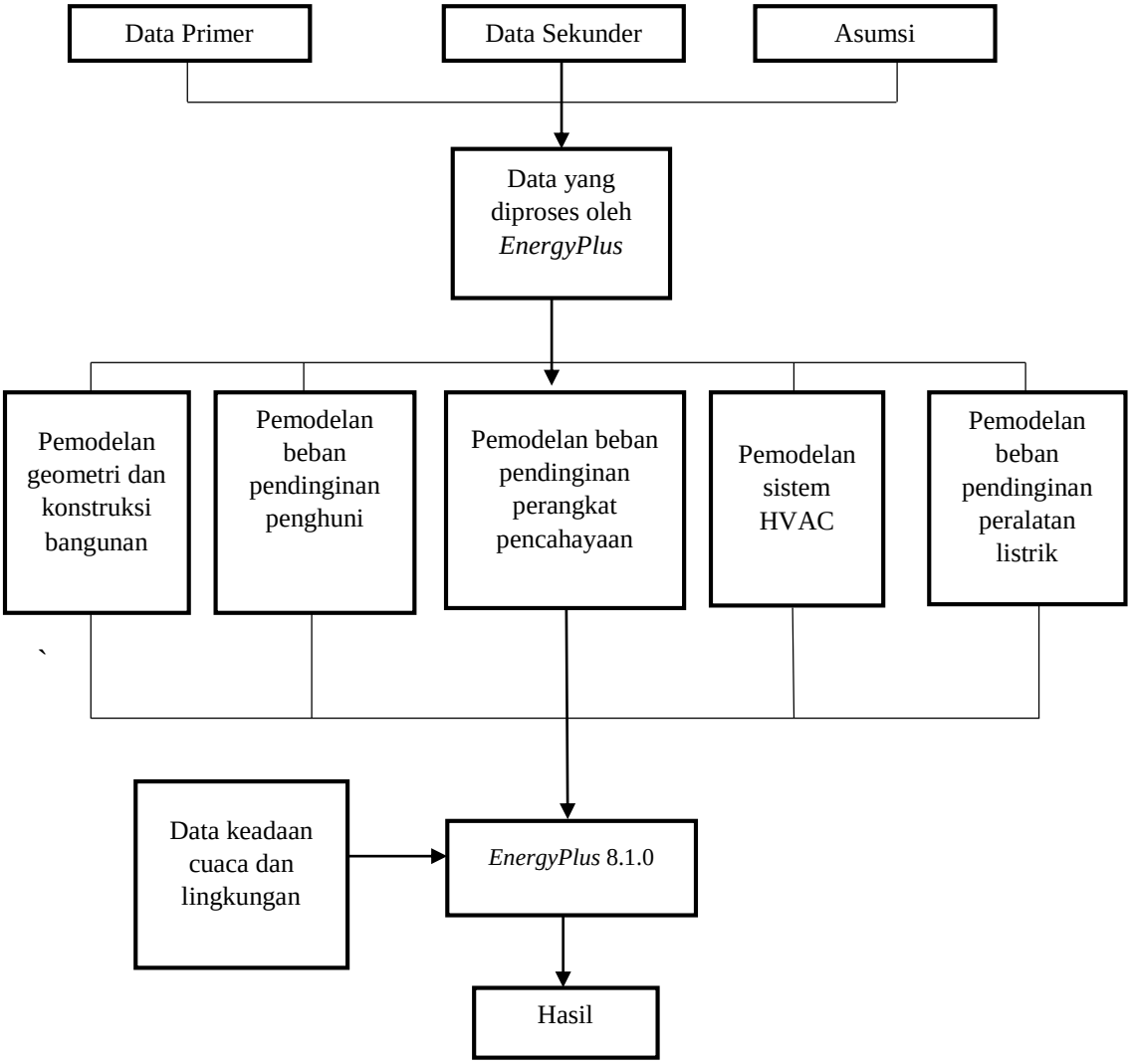
Proses pemodelan geometri bangunan dibagi menjadi tiga langkah yaitu pemodelan geometri selubung bangunan, pembagian zona termal dan pemodelan material penyusun selubung bangunan. Model geometri bangunan perpustakaan dibuat dengan perangkat lunak *Google SketchUp* yang dilengkapi dengan *Plug in Open Studio*. Perangkat lunak *Open Studio* diperlukan untuk menerjemahkan geometri bangunan dari format .skp menjadi format .idf yang dapat dimengerti oleh *EnergyPlus*. *Open Studio* juga menerjemahkan beberapa fitur pemodelan yang tersedia di *EnergyPlus*, sehingga dapat dimasukkan dari *Google SketchUp* tanpa harus membuka editor *EnergyPlu*s. Fitur – fitur tersebut adalah zona, konstruksi dan material.

IV.2.4. Input Data ke *EnergyPlus*

Data yang akan dimasukkan ke perangkat lunak *EnergyPlus* dibagi menjadi dua kelompok, yaitu data perimer dan data sekunder. Data primer adalah data yang langsung didapatkan di tempat penelitian. Sedangkan data sekunder adalah data yang didapatkan dari pengelola perpustakaan atau data yang didapatkan dari situs internet. Data primer ataupun data sekunder yang diperoleh pada umumnya tidak

SIMULASI SISTEM ENERGI PADA RANCANGAN GEDUNG L4 PERPUSTAKAAN PUSAT UNIVERSITAS GADJAH MADA DENGAN ENERGYPLUS
YULIA PUSPASARI H, Dr.Eng. M.Kholid Ridwan, S.T., M.Sc.
Universitas Gadjah Mada, 2016 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

dapat langsung dimasukkan ke dalam perangkat lunak *EnergyPlus* karena format data yang diperoleh berbeda dengan format data yang dibutuhkan *EnergyPlus*. Pada sebagian variabel seperti beban pendinginan dari peralatan, *EnergyPlus* memerlukan data emisi panas yang terbagi dalam periode waktu per jam (*hourly*), sedangkan data yang didapat merupakan data emisi panas sesaat. Oleh karena itu data yang telah diperoleh harus dikonversi terlebih dahulu sehingga dapat diproses oleh *EnergyPlus*. Diagram alir proses input data ke perangkat lunak *EnergyPlus* ditunjukkan pada Gambar 4.2.



Gambar 4.2. Proses Input data ke *EnergyPlus*

SIMULASI SISTEM ENERGI PADA RANCANGAN GEDUNG L4 PERPUSTAKAAN PUSAT UNIVERSITAS GADJAH MADA DENGAN ENERGYPLUS
YULIA PUSPASARI H, Dr.Eng. M.Kholid Ridwan, S.T., M.Sc.
Universitas Gadjah Mada, 2016 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

IV.2.5. Simulasi *EnergyPlus*

Pada bagian simulasi, data-data yang sudah dimasukkan sebagai input *EnergyPlus* akan dikalkulasi oleh *EnergyPlus* berdasarkan persamaan-persamaan yang digunakan di dalam *EnergyPlus.* Simulasi akan beroperasi apabila tidak ditemukan *error* pada pemodelan dan input data.

IV.2.6. Analisis dan Pembahasan Hasil

Pada bagian Hasil dan Pembahasan akan dibahas hal-hal berikut.

1. Nilai-nilai yang dimasukkan pada persamaan persamaan yang telah dikemukakan pada bagian Dasar Teori.
2. Penjelasan asal dari nilai-nilai variabel pada persamaan, apakah dari data atau asumsi.
3. Hasil dari simulasi yang dilakukan oleh perangkat lunak *EnergyPlus*.
4. Penjelasan singkat setiap nilai yang dihasilkan oleh simulasi perangkat lunak *EnergyPlus*.
5. Rekapitulasi nilai konsumsi energi hasil simulasi berdasarkan sektor tata udara, tata cahaya dan peralatan listrik.
6. Penentuan nilai Intensitas Konsumsi Energi (IKE) berdasarkan hasil simulasi.
7. Penentuan peluang penghematan energi.
8. Penentuan skenario penghematan energi serta dampaknya terhadap konsumsi energi keseluruhan.
9. Analisis biaya penggunaan komponen sistem tata udara dan tata cahaya

SIMULASI SISTEM ENERGI PADA RANCANGAN GEDUNG L4 PERPUSTAKAAN PUSAT UNIVERSITAS GADJAH MADA DENGAN ENERGYPLUS
YULIA PUSPASARI H, Dr.Eng. M.Kholid Ridwan, S.T., M.Sc.
Universitas Gadjah Mada, 2016 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

BAB V
HASIL DAN PEMBAHASAN

V.1. Proses Konversi Data

Ada beberapa konversi data yang variabel-variabelnya tidak dijumpai sehingga harus diberikan beberapa konversi. Supaya data yag diperoleh valid, maka sebagian nilai-nilai asumsi diperoleh dari standar yang sudah ada. Sedangkan untuk data-data yang tidak terdapat pada standar yang sudah ada, asumsi dilakukan berdasarkan pengamatan yang dilakukan di lapangan. Proses konversi data ditunjukkan pada Tabel 5.1.

Tabel 5.1. Konversi Data

No	Permasalahan	Cara Mengatasi Masalah
1	Data pengunjung tiap jam per hari dalam satu tahun	Menggunakan pengamatan pola laju pengunjung dan asumsi
2	Pakaian pengunjung	Menggunakan asumsi memakai jenis pakain yang sama
3	Jenis Material Bangunan	Menggunakan asumsi standar *EnergyPlus* dan penelitian pada Gedung L1

Data-data yang menjadi input *EnergyPlus* adalah sebagai berikut:

1. Geometri dan konstruksi bangunan
2. Beban pendinginan penghuni
3. Beban pendinginan sistem tata cahaya
4. Beban pendinginan peralatan listrik

V.1.1. Deskripsi Bangunan

Gedung Perpustakaan Pusat Universitas Gadjah Mada terletak di koordinat 7° 46,151 Lintang Selatan dan 110° 22,675 Lintang Utara. Luas Gedung Perpustakaan Pusat Gedung L4 adalah 988,56 m^2. Gedung ini terdiri dari 4 lantai yang tiap lantai terdiri dari beberapa ruangan berdasarkan fungsinya.

SIMULASI SISTEM ENERGI PADA RANCANGAN GEDUNG L4 PERPUSTAKAAN PUSAT UNIVERSITAS GADJAH MADA DENGAN ENERGYPLUS
YULIA PUSPASARI H, Dr.Eng. M.Kholid Ridwan, S.T., M.Sc.
Universitas Gadjah Mada, 2016 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Pembagian ruangan pada gedung ini adalah

1. Lantai Basement
   - Parkir Sepeda
2. Lantai 1
   - Lobi
   - Ruang Baca 24 Jam
3. Lantai 2
   - Ruang Baca 24 Jam
4. Lantai 3
   - Ruang Baca 24 Jam

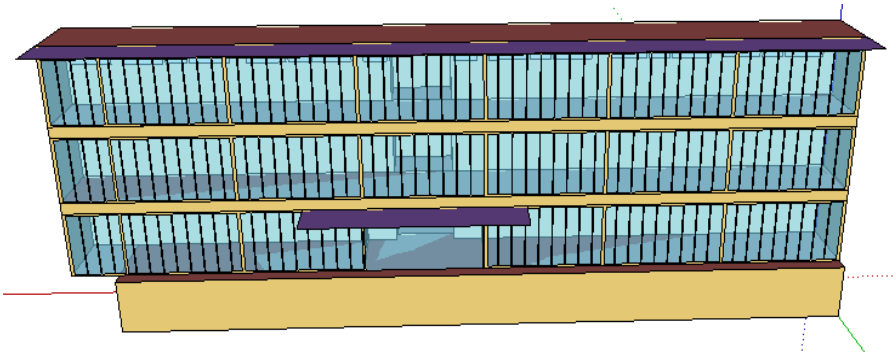
V.1.2. Pemodelan Geometri Bangunan

Proses pemodelan geometri bangunan dibagi menjadi tiga langkah,yaitu pemodelan geometri selubung bangunan, pembagian zona bangunan dan pemodelan material penyusun selubung bangunan. Proses pemodelan bangunan ditunjukkan pada Gambar 5.1 sampai dengan Gambar 5.3.

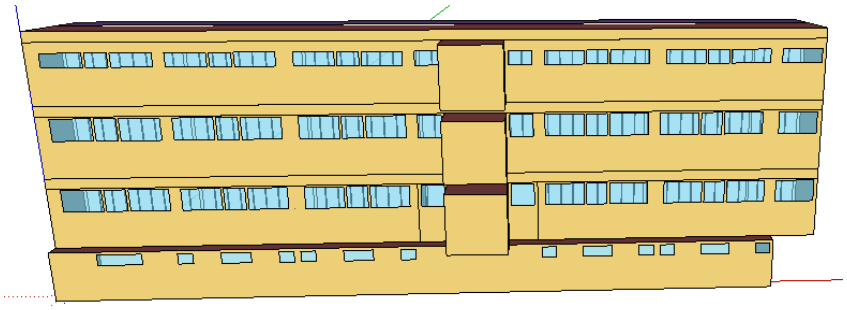
Model geometri bangunan perpustakaan dibuat dengan perangkat lunak *Google SketchUp* yang dilengkapi dengan *plug-in OpenStudio*. Perangkat lunak *OpenStudio* diperlukan untuk menerjemahkan geometri bangunan dari format .skp menjadi format .idf yang dapat dimengerti oleh perangkat lunak *EnergyPlus. OpenStudio* juga menerjemahkan beberapa fitur pemodelan yang tersedia di EnergyPlus, sehingga dapat dimasukkan dari *Google SketchUp* tanpa harus membuka editor *EnergyPlus*. Fitur-fitur tersebut adalah zona, konstruksi dan material.

Model bangunan Perpustakaan Pusat UGM Gedung L4 dibuat berdasarkan data *AutoCAd* yang didapatkan dari pihak Renbang. Untuk menyesuaikan kemampuan *EnergyPlus*, maka dilakukan penyederhanaan pada model bangunan yaitu penyederhanaan pada tangga. Penyederhanaan pada tangga dikarenakan tingkat kesulitan pada pembuatan tangga. Tetapi untuk luas permukaan pada tiap lantainya disesuaikan dengan ukuran aslinya.

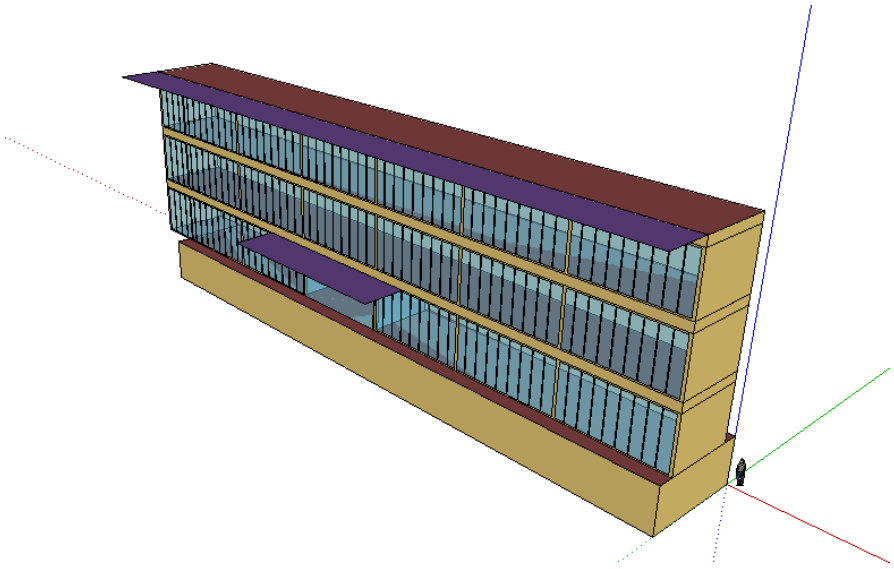
SIMULASI SISTEM ENERGI PADA RANCANGAN GEDUNG L4 PERPUSTAKAAN PUSAT UNIVERSITAS GADJAH MADA DENGAN ENERGYPLUS
YULIA PUSPASARI H, Dr.Eng. M.Kholid Ridwan, S.T., M.Sc.
Universitas Gadjah Mada, 2016 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/



Gambar 5.1. Tampak utara model bangunan Perpustakaan Pusat UGM Gedung L4



Gambar 5.2. Tampak selatan model bangunan Perpustakaan Pusat UGM Gedung L4



Gambar 5.3. Tampak samping model bangunan Perpustakaan Pusat UGM Gedung L4

SIMULASI SISTEM ENERGI PADA RANCANGAN GEDUNG L4 PERPUSTAKAAN PUSAT UNIVERSITAS GADJAH MADA DENGAN ENERGYPLUS
YULIA PUSPASARI H, Dr.Eng. M.Kholid Ridwan, S.T., M.Sc.
Universitas Gadjah Mada, 2016 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

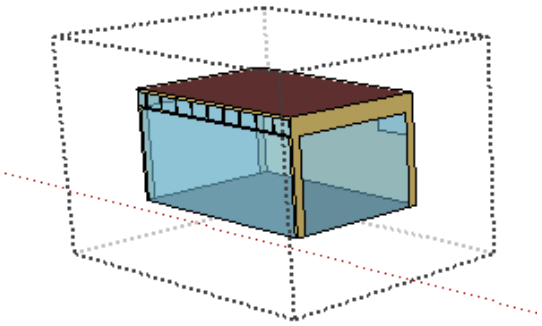
Langkah selanjutnya adalah membuat pemodelan zona termal. Zona termal (*thermal zone*) adalah bagian dari suatu bangunan yang memiliki sebuah sensor yang umumnya berupa *thermostat* untuk mengendalikan sistem tata udara yang melayani bagian tersebut.

Pada model bangunan yang akan disimulasikan, zona tersebut dibagi berdasarkan jenis kegunaan ruangan tersebut, sehingga pada model bangunan kali ini , zona bangunan dibagi menjadi 6 zona. Zona – zona yang dimodelkan pada bangunan Perpustakaan Pusat UGM Gedung L4 dapat dilihat pada Tabel 5.2 berikut.

Tabel 5.2. Daftar Zona Termal

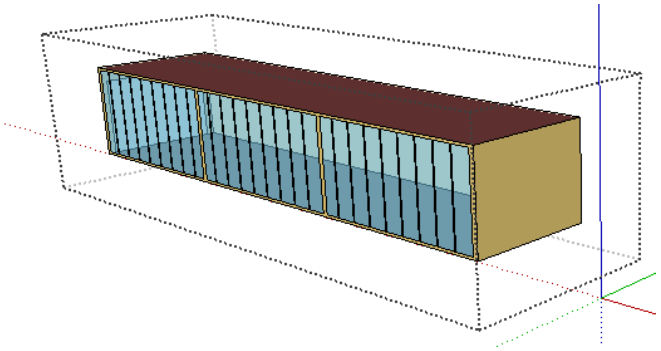
No	Nama Zona	Keterangan
1	LOBI	Lobi perpustakaan
2	RB1	Ruang Baca 1 24jam Lantai 1 Perpustakaan
3	RB2	Ruang Baca 2 24jam Lantai 1 Perpustakaan
4	RBL2	Ruang Baca 24jam Lantai 2 Perpustakaan
5	RBL3	Ruang Baca 24jam Lantai 3 Perpustakaan
6	BASEMENT	Parkir Sepeda Basement Perpustkaan

Pembagian zona termal pada bangunan Perpustakaan Pusat UGM Gedung L4 ditunjukkan oleh Gambar 5.4 sampai dengan Gambar 5.9.

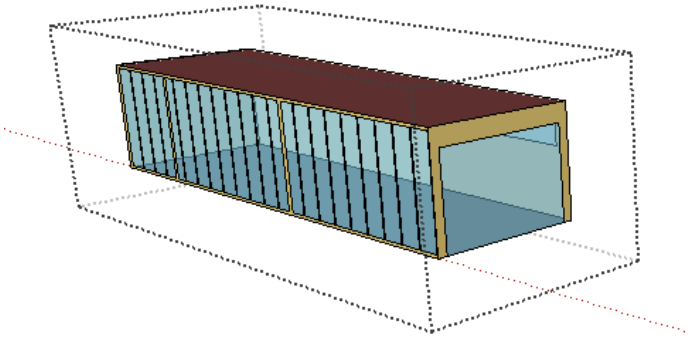


Gambar 5.4. Zona LOBI

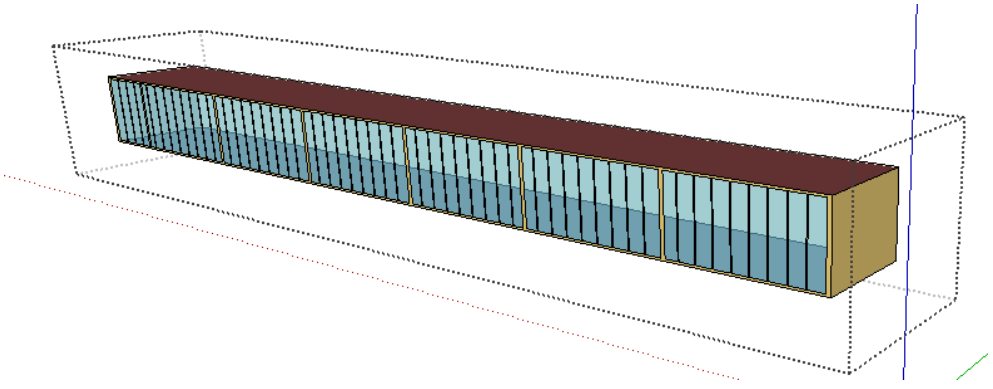
UNIVERSITAS
GADJAH MADA
SIMULASI SISTEM ENERGI PADA RANCANGAN GEDUNG L4 PERPUSTAKAAN PUSAT UNIVERSITAS GADJAH MADA DENGAN ENERGYPLUS
YULIA PUSPASARI H, Dr.Eng. M.Kholid Ridwan, S.T., M.Sc.
Universitas Gadjah Mada, 2016 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/



Gambar 5.5. Zona RB1

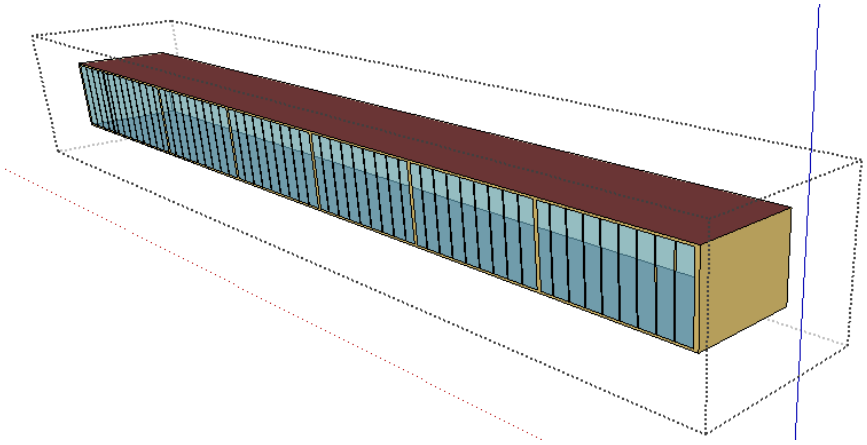


Gambar 5.6. Zona RB2

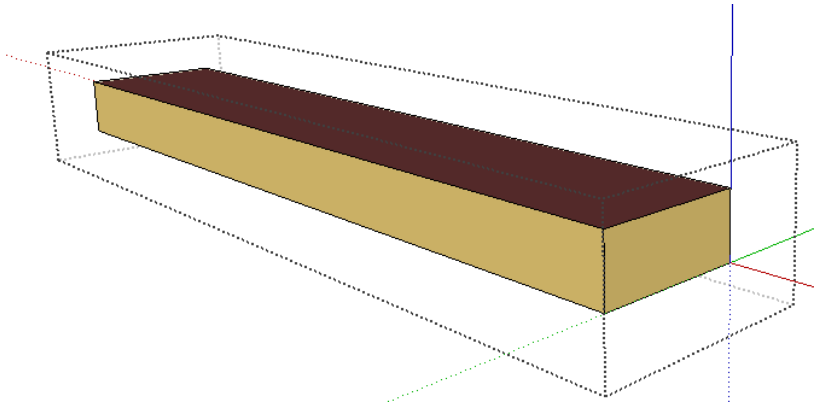


Gambar 5.7. Zona RBL2

SIMULASI SISTEM ENERGI PADA RANCANGAN GEDUNG L4 PERPUSTAKAAN PUSAT UNIVERSITAS GADJAH MADA DENGAN ENERGYPLUS
YULIA PUSPASARI H, Dr.Eng. M.Kholid Ridwan, S.T., M.Sc.
Universitas Gadjah Mada, 2016 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/



Gambar 5.8. Zona RBL3



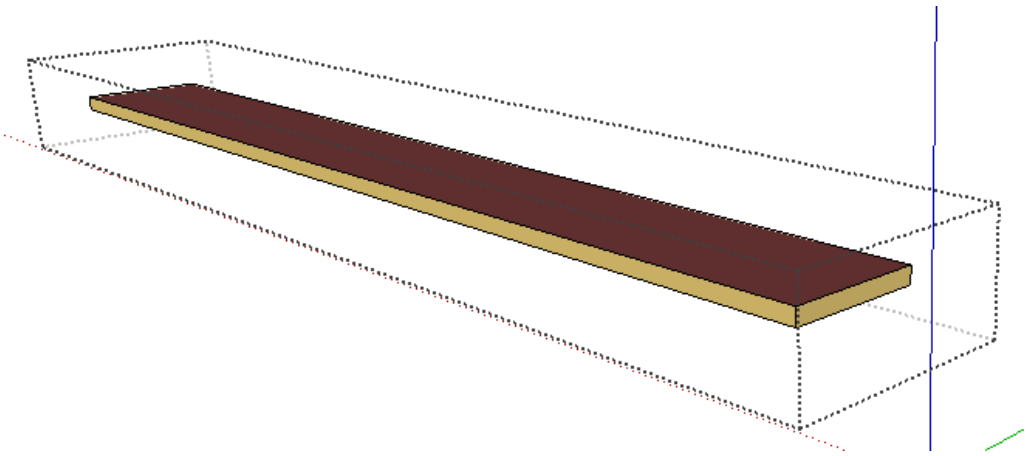
Gambar 5.9. Zona BASEMENT

Selain pembagian zona termal, model bangunan Perpustakaan Pusat UGM gedung L4 juga dilengkapi dengan ruang kosong diantara dua lantai yang disebut sebagai plenum. Plenum tersebut digunakan untuk menyuplai udara terkondisi dari AHU untuk setiap lantai. Pada pemodelan bangunan kali ini, terdapat 3 Zona Plenum untuk zona-zona tertutup seperti ditunjukkan oleh Tabel 5.3.

Tabel 5.3. Zona Plenum

No	Nama Zona
1	Plenum Lantai 1
2	Plenum Lantai 2
3	Plenum Lantai 3

SIMULASI SISTEM ENERGI PADA RANCANGAN GEDUNG L4 PERPUSTAKAAN PUSAT UNIVERSITAS GADJAH MADA DENGAN ENERGYPLUS
YULIA PUSPASARI H, Dr.Eng. M.Kholid Ridwan, S.T., M.Sc.
Universitas Gadjah Mada, 2016 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/



Gambar 5.10. Zona Plenum

Langkah ketiga setelah pemodelan geometri selubung bangunan dan zona termal adalah pemodelan elemen konstruksi bangunan. Elemen konstruksi bangunan adalah objek yang mendeskripsikan sifat-sifat fisik serta konfigurasi untuk selubung bangunan dan elemen interior, meliputi dinding, atap, lantai, jendela dan pintu bangunan. Dengan kata lain, elemen konstruksi adalah sejumlah material yang dirangkai untuk menjadi komponen bangunan.

Pada saat pengambilan data jenis-jenis material penyusun bangunan terdapat kesulitan pada proses mendapatkan dokumen, maka data material penyusun elemen konstruksi bangunan tidak diperoleh. Untuk memenuhi data – data yang diperlukan oleh *EnergyPlus*, maka spesifikasi material penyusun bangunan diasumsikan dengan menggunakan spesifikasi material standar dalam perangkat lunak *EnergyPlus***.**

V.1.3. Estimasi Beban Pendinginan Penghuni

Beban pendinginan dari manusia (*human occupant*) merupakan representasi dari jumlah manusia yang menghuni suatu zona, dengan asumsi keseluruhan penghuni memakai pakaian yang sama, melakukan aktivitas yang sama.

Untuk mendapatkan model beban internal, maka diperlukan data tingkat hunian di setiap zona. Hal yang perlu dilakukan untuk mendapatkan data tingkat hunian zona adalah dengan melakukan observasi dengan beberapa asumsi. Data

SIMULASI SISTEM ENERGI PADA RANCANGAN GEDUNG L4 PERPUSTAKAAN PUSAT UNIVERSITAS GADJAH MADA DENGAN ENERGYPLUS
YULIA PUSPASARI H, Dr.Eng. M.Kholid Ridwan, S.T., M.Sc.
Universitas Gadjah Mada, 2016 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

tingkat hunian teridir dari zona Lobi, Ruang Baca 1 Lantai 1, Ruang Baca 2 Lantai 1, Ruang Baca Lantai 2, Ruang Baca Lantai 3 dan Parkir Sepeda Basement.

V1.3.1. Estimasi Okupansi Zona LOBI

Untuk memodelkan beban internal okupansi zona LOBI, diperlukan data laju pengunjung harian, karena data untuk laju pengunjung harian tidak tersedia, maka data laju pengunjung dihitung dengan asumsi berdasarkan pada pengamatan pola laju pengunjung.

Estimasi beban okupansi untuk Lobi menerapkan beberapa asumsi sebagai berikut:

1. Pada zona LOBI , beban okupansi terdiri dari pengunjung dan karyawan perpustakaan.
2. Karyawan perpustakaan pada zona LOBI terdiri dari 1 orang setiap harinya.
3. Estimasi beban okupansi pengunjung perpustakaan berdasarkan dengan asumsi pengunjung zona LOBI pada lantai 1, dari observasi di lapangan jumlah pengunjung terbanyak ada pada jam produktif yaitu jam 09.00-11.00 dan jam 19.00-21.00. Jadwal operasi perpustakaan gedung L4 adalah 24jam.

Data estimasi pengunjung tiap jam dalam satu hari pada zona LOBI setelah menerapkan beberapa asumsi diunjukkan pada Tabel 5.4.

Tabel 5.4. Estimasi Pengunjung Zona Lobi

Jam	Karyawan Perpustakaan	Pengunjung	Total
07.00	1	4	5
08.00	1	8	9
09.00	1	13	14
10.00	1	16	17
11.00	1	22	23
12.00	1	15	16
13.00	1	5	6
14.00	1	6	7
15.00	1	8	9
16.00	1	7	8
17.00	1	4	5
18.00	1	3	4
19.00	1	13	14
20.00	1	16	17

SIMULASI SISTEM ENERGI PADA RANCANGAN GEDUNG L4 PERPUSTAKAAN PUSAT UNIVERSITAS GADJAH MADA DENGAN ENERGYPLUS
YULIA PUSPASARI H, Dr.Eng. M.Kholid Ridwan, S.T., M.Sc.
Universitas Gadjah Mada, 2016 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Tabel 5.4. (Lanjutan) Estimasi Pengunjung Zona Lobi

Jam	Karyawan Perpustakaan	Pengunjung	Total
21.00	1	12	13
22.00	1	4	5
23.00	1	3	4
24.00	1	2	3
01.00	1	1	2
02.00	1	1	2
03.00	1	1	2
04.00	1	1	2
05.00	1	1	2
06.00	1	1	2

V.1.3.2. Estimasi Okupansi Zona Ruang Baca 1 Lantai 1(RB1)

Estimasi beban zona RB1, diberikan beberapa asumsi sebagai berikut:

1. Pada Zona RB1 , beban okupansi terdiri dari pengunjung dan karyawan perpustakaan.
2. Karyawan perpustakaan pada zona RB1 terdiri dari 1 orang setiap harinya.
3. Estimasi beban okupansi pengunjung perpustakaan berdasarkan observasi di lapangan, jumlah pengunjung terbanyak ada pada jam produktif yaitu jam 09.00-11.00 dan jam 19.00-21.00.

Data estimasi pengunjung tiap jam dalam satu hari pada zona RB1 setelah menerapkan beberapa asumsi diunjukkan pada Tabel 5.5.

Tabel 5.5. Estimasi Pengunjung Zona Ruang Baca 1 Lantai 1

Jam	Karyawan Perpustakaan	Pengunjung	Total
07.00	1	5	6
08.00	1	10	11
09.00	1	12	13
10.00	1	13	14
11.00	1	15	16
12.00	1	9	10
13.00	1	8	9
14.00	1	7	8
15.00	1	6	7
16.00	1	7	8
17.00	1	4	5
18.00	1	3	4
19.00	1	13	14

SIMULASI SISTEM ENERGI PADA RANCANGAN GEDUNG L4 PERPUSTAKAAN PUSAT UNIVERSITAS GADJAH MADA DENGAN ENERGYPLUS
YULIA PUSPASARI H, Dr.Eng. M.Kholid Ridwan, S.T., M.Sc.
Universitas Gadjah Mada, 2016 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Tabel 5.5. (Lanjutan) Estimasi Pengunjung Zona Ruang Baca 1 Lantai 1

Jam	Karyawan Perpustakaan	Pengunjung	Total
20.00	1	12	13
21.00	1	10	11
22.00	1	7	8
23.00	1	6	7
24.00	1	3	4
01.00	1	2	3
02.00	1	2	3
03.00	1	2	3
04.00	1	2	3
05.00	1	2	3
06.00	1	2	3

V.1.3.3. Estimasi Okupansi Zona Ruang Baca 2 Lantai 1 (RB2)

Estimasi beban penghuni zona RB2 diberikan beberapa asumsi sebagai berikut:

1. Pada Zona RB2 , beban okupansi terdiri dari pengunjung dan karyawan perpustakaan.
2. Karyawan perpustakaan pada zona RB2 terdiri dari 1 orang setiap harinya.
3. Estimasi beban okupansi pengunjung perpustakaan berdasarkan observasi di lapangan, jumlah pengunjung terbanyak ada pada jam produktif yaitu jam 09.00-11.00 dan jam 19.00-21.00.

Data estimasi pengunjung tiap jam dalam satu hari pada zona RB2 setelah menerapkan beberapa asumsi diunjukkan pada Tabel 5.6.

Tabel 5.6. Estimasi Pembaca Zona Ruang Baca 2 Lantai 1

Jam	Karyawan Perpustakaan	Pengunjung	Total
07.00	1	4	5
08.00	1	9	10
09.00	1	11	12
10.00	1	12	13
11.00	1	14	15
12.00	1	8	9
13.00	1	7	8
14.00	1	6	7
15.00	1	5	6
16.00	1	6	7
17.00	1	3	4
18.00	1	2	3

SIMULASI SISTEM ENERGI PADA RANCANGAN GEDUNG L4 PERPUSTAKAAN PUSAT UNIVERSITAS GADJAH MADA DENGAN ENERGYPLUS
YULIA PUSPASARI H, Dr.Eng. M.Kholid Ridwan, S.T., M.Sc.
Universitas Gadjah Mada, 2016 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Tabel 5.6. (Lanjutan) Estimasi Pengunjung Zona Ruang Baca 2 Lantai 1

Jam	Karyawan Perpustakaan	Pengunjung	Total
19.00	1	12	13
20.00	1	11	12
21.00	1	9	10
22.00	1	6	7
23.00	1	5	6
24.00	1	3	4
01.00	1	2	3
02.00	1	2	3
03.00	1	2	3
04.00	1	2	3
05.00	1	2	3
06.00	1	2	3

V.1.3.4. Estimasi Okupansi Zona Ruang Baca Lantai 2 (RBL2)

Perhitungan beban penghuni zona RBL2 diberikan beberapa asumsi sebagai berikut:

1. Pada Zona RBL2 , beban okupansi terdiri dari pengunjung dan karyawan perpustakaan.
2. Karyawan perpustakaan pada zona RBL2 terdiri dari 2 orang setiap harinya.
3. Estimasi beban okupansi pengunjung perpustakaan berdasarkan observasi di lapangan, jumlah pengunjung terbanyak ada pada jam produktif yaitu jam 09.00-11.00 dan jam 19.00-21.00.

Data estimasi pengunjung tiap jam dalam satu hari pada zona RBL2 setelah menerapkan beberapa asumsi diunjukkan pada Tabel 5.7.

Tabel 5.7. Estimasi Pembaca Zona Ruang Baca Lantai 2

Jam	Karyawan Perpustakaan	Pengunjung	Total
07.00	2	7	7
08.00	2	10	12
09.00	2	16	18
10.00	2	17	19
11.00	2	15	17
12.00	2	11	13
13.00	2	9	11
14.00	2	12	14
15.00	2	11	13
16.00	2	10	12

SIMULASI SISTEM ENERGI PADA RANCANGAN GEDUNG L4 PERPUSTAKAAN PUSAT UNIVERSITAS GADJAH MADA DENGAN ENERGYPLUS
YULIA PUSPASARI H, Dr.Eng. M.Kholid Ridwan, S.T., M.Sc.
Universitas Gadjah Mada, 2016 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Tabel 5.7. (Lanjutan) Estimasi Pembaca Zona Ruang Baca Lantai 2

Jam	Karyawan Perpustakaan	Pengunjung	Total
17.00	2	7	9
18.00	2	3	5
19.00	2	17	19
20.00	2	15	17
21.00	2	13	15
22.00	2	9	11
23.00	2	6	8
24.00	2	4	6
01.00	2	2	4
02.00	2	2	4
03.00	2	2	4
04.00	2	2	4
05.00	2	2	4
06.00	2	2	4

V.1.3.5. Estimasi Okupansi Zona Ruang Baca Lantai 3 (RBL3)

Estimasi beban penghuni zona RBL3 diberikan beberapa asumsi sebagai berikut:

1. Pada Zona RBL3 , beban okupansi terdiri dari pengunjung dan karyawan perpustakaan.
2. Karyawan perpustakaan pada zona RBL3 terdiri dari 2 orang setiap harinya.
3. Estimasi beban okupansi pengunjung perpustakaan berdasarkan observasi di lapangan, jumlah pengunjung terbanyak ada pada jam produktif yaitu jam 09.00-11.00 dan jam 19.00-21.00.

Data estimasi pengunjung tiap jam dalam satu hari pada zona RBL3 setelah menerapkan beberapa asumsi diunjukkan pada Tabel 5.8.

Tabel 5.8. Estimasi Pembaca Zona Ruang Baca Lantai 3

Jam	Karyawan Perpustakaan	Pengunjung	Total
07.00	2	4	6
08.00	2	9	11
09.00	2	15	17
10.00	2	17	19
11.00	2	14	16
12.00	2	10	12
13.00	2	8	10
14.00	2	13	15

SIMULASI SISTEM ENERGI PADA RANCANGAN GEDUNG L4 PERPUSTAKAAN PUSAT UNIVERSITAS GADJAH MADA DENGAN ENERGYPLUS
YULIA PUSPASARI H, Dr.Eng. M.Kholid Ridwan, S.T., M.Sc.
Universitas Gadjah Mada, 2016 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Tabel 5.8. (Lanjutan) Estimasi Pembaca Zona Ruang Baca Lantai 3

Jam	Karyawan Perpustakaan	Pengunjung	Total
15.00	2	10	12
16.00	2	9	11
17.00	2	5	7
18.00	2	2	4
19.00	2	17	19
20.00	2	16	18
21.00	2	14	16
22.00	2	8	10
23.00	2	5	7
24.00	2	3	5
01.00	2	2	4
02.00	2	2	4
03.00	2	2	4
04.00	2	2	4
05.00	2	2	4
06.00	2	2	4

V.1.3.6. Estimasi Okupansi Zona BASEMENT

Estimasi beban penghuni zona BASEMENT diberikan beberapa asumsi sebagai berikut:

1. Pada Zona BASEMENT, beban okupansi terdiri dari pengunjung perpustakaan.
2. Estimasi beban okupansi pengunjung perpustakaan berdasarkan observasi di lapangan.

Data estimasi pengunjung tiap jam dalam satu hari pada zona BASEMENT setelah menerapkan beberapa asumsi diunjukkan pada Tabel 5.9.

Tabel 5.9. Estimasi Pengunjung Zona Parkir Sepeda Basement

Jam	Pengunjung
07.00	3
08.00	2
09.00	3
10.00	4
11.00	3
12.00	3
13.00	2
14.00	2

SIMULASI SISTEM ENERGI PADA RANCANGAN GEDUNG L4 PERPUSTAKAAN PUSAT UNIVERSITAS GADJAH MADA DENGAN ENERGYPLUS
YULIA PUSPASARI H, Dr.Eng. M.Kholid Ridwan, S.T., M.Sc.
Universitas Gadjah Mada, 2016 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Tabel 5.9. (Lanjutan) Estimasi Pengunjung Zona Parkir Sepeda Basement

Jam	Pengunjung
15.00	3
16.00	4
17.00	2
18.00	3
19.00	2
20.00	3
21.00	2
22.00	2
23.00	1
24.00	1
01.00	1
02.00	1
03.00	1
04.00	1
05.00	1
06.00	1

V.1.3.7. Rekapitulasi Okupansi Tiap Zona

Setelah dilakukan estimasi jumlah penghuni pada masing-masing zona dengan berdasrakan asumsi dan observasi lapangan, maka didapatkan jumlah penghuni tiap jam untuk semua zona yang dapat dilihat pada Tabel 5.10.

Tabel 5.10. Rekapitulasi Okupansi tiap zona

Jam	LOBI	RB1	RB2	RBL2	RBL3	BASEMENT
07.00	5	6	5	7	6	3
08.00	9	11	10	12	11	2
09.00	14	13	12	18	17	3
10.00	17	14	13	19	19	4
11.00	23	16	15	17	16	3
12.00	16	10	9	13	12	3
13.00	6	9	8	11	10	2
14.00	7	8	7	14	15	2
15.00	9	7	6	13	12	3
16.00	8	8	7	12	11	4
17.00	5	5	4	9	7	2
18.00	4	4	3	5	4	3
19.00	14	14	13	19	19	2
20.00	17	13	12	17	18	3
21.00	13	11	10	15	16	2

SIMULASI SISTEM ENERGI PADA RANCANGAN GEDUNG L4 PERPUSTAKAAN PUSAT UNIVERSITAS GADJAH MADA DENGAN ENERGYPLUS
YULIA PUSPASARI H, Dr.Eng. M.Kholid Ridwan, S.T., M.Sc.
Universitas Gadjah Mada, 2016 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Tabel 5.10. Rekapitulasi Okupansi tiap zona

Jam	LOBI	RB1	RB2	RBL2	RBL3	BASEMENT
22.00	5	8	7	11	10	2
23.00	4	7	6	8	7	1
24.00	3	4	4	6	5	1
01.00	2	3	3	4	4	1
02.00	2	3	3	4	4	1
03.00	2	3	3	4	4	1
04.00	2	3	3	4	4	1
05.00	2	3	3	4	4	1
06.00	2	3	3	4	4	1

V.1.3.8 Beban Pendinginan Penghuni

Langkah berikutnya adalah menentukan aktivitas penghuni. Jenis aktivitas akan berpengaruh pada laju metabolisme sehingga akan memepengaruhi beban pendinginan. Penghuni terdiri dari pengunjung perpustakaan dan karyawan. Aktivitas pengunjung pada zona LOBI terbagi menjadi dua yaitu berjalan dan duduk, aktivitas pengunjung pada zona BASEMENT hanya berjalan, sedangkan aktivitas pengunjung pada zona lainnya diasumsikan hanya duduk. Untuk aktivitas karyawan perpustakaan diasumsikan duduk setiap zona. Nilai laju metabolisme penghuni zona dan rekapitulasi estimasi beban pendinginan okupansi tiap zona secara berturut-turut ditunjukkan pada Tabel 5.11 dan Tabel 5.12.

Tabel 5.11. Nilai laju metabolisme penghuni zona

Zona	Penghuni	Aktivitas	W/m^2	W/orang
Lobi	Karyawan	Duduk	60	108
	Pengunjung	Berjalan (1,2 m/s)	150	270
Ruang Baca 1 Lantai 1	Karyawan	Duduk	60	108
	Pembaca	Duduk	60	108
Ruang Baca 2 Lantai 1	Karyawan	Duduk	60	108
	Pembaca	Duduk	60	108
Ruang Baca Lantai 2	Karyawan	Duduk	60	108
	Pembaca	Duduk	60	108
Ruang Baca Lantai 3	Karyawan	Duduk	60	108
	Pembaca	Duduk	60	108
Parkir Sepeda Basement	Pengunjung	Berjalan (1,2 m/s)	150	270

SIMULASI SISTEM ENERGI PADA RANCANGAN GEDUNG L4 PERPUSTAKAAN PUSAT UNIVERSITAS GADJAH MADA DENGAN ENERGYPLUS
YULIA PUSPASARI H, Dr.Eng. M.Kholid Ridwan, S.T., M.Sc.
Universitas Gadjah Mada, 2016 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Tabel 5.12. Estimasi beban pendinginan okupansi tiap zona (W/orang)

Jam	LOBI	RB1	RB2	RBL2	RBL3	BASEMENT
07.00	237.60	108	108	108	108	270
08.00	252.00	108	108	108	108	270
09.00	258.43	108	108	108	108	270
10.00	260.47	108	108	108	108	270
11.00	262.96	108	108	108	108	270
12.00	259.88	108	108	108	108	270
13.00	243.00	108	108	108	108	270
14.00	246.86	108	108	108	108	270
15.00	252.00	108	108	108	108	270
16.00	249.75	108	108	108	108	270
17.00	237.60	108	108	108	108	270
18.00	229.50	108	108	108	108	270
19.00	258.43	108	108	108	108	270
20.00	260.47	108	108	108	108	270
21.00	257.54	108	108	108	108	270
22.00	237.60	108	108	108	108	270
23.00	229.50	108	108	108	108	270
24.00	216.00	108	108	108	108	270
01.00	189.00	108	108	108	108	270
02.00	189.00	108	108	108	108	270
03.00	189.00	108	108	108	108	270
04.00	189.00	108	108	108	108	270
05.00	189.00	108	108	108	108	270
06.00	189.00	108	108	108	108	270

V.1.4. Perhitungan Konsumsi Energi dan Beban Pendinginan Sistem Tata Cahaya

Untuk menghitung beban pendinginan yang dihasilkan oleh sistem tata cahaya, maka yang harus dilakukan adalah menentukan daya keseleruhuan sistem tata cahaya yang digunakan pada suatu zona. Berdasarkan data yang disediakan oleh Renbang pada Perpustakaan Pusat Universitas Gadjah Mada Gedung L4, diperoleh jenis jenis komponen sistem tata cahaya beserta jumlah satuan dan dayanya seperti yang ditunjukkan pada Tabel 5.13.

SIMULASI SISTEM ENERGI PADA RANCANGAN GEDUNG L4 PERPUSTAKAAN PUSAT UNIVERSITAS GADJAH MADA DENGAN ENERGYPLUS
YULIA PUSPASARI H, Dr.Eng. M.Kholid Ridwan, S.T., M.Sc.
Universitas Gadjah Mada, 2016 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Tabel 5.13. Jenis, Jumlah dan daya maksimum komponen sistem tata cahaya

Zona	Jenis Lampu								Total Daya (W)
	T5 28W		TL 8 W		T5 2x28W		Down light PLC 18 W		
	Unit	Daya (W)	Unit	Daya (W)	Unit	Daya (W)	Unit	Daya (W)	
Lobi	-	-	1	8	6	336	4	72	416
Ruang Baca 1 Lantai 1	-	-	-	-	20	1120	-	-	1120
Ruang Baca 2 Lantai 1	-	-	1	8	16	896	-	-	904
Ruang Baca Lantai 2	-	-	1	8	40	2240	4	72	2320
Ruang Baca Lantai 3	-	-	1	8	40	2240	4	72	2320
Parkir Sepeda Basement	18	504	2	16	-	-	-	-	520

Nilai *fret, flw, fsw* dan *fconv* diperoleh berdasarkan penyesuaian dengan hasil penelitian yang dilakukan oleh Fisher dan Chantrasrisalai [19]. Penelitian tersebut membahas tentang distribusi beban pendinginan pada bangunan yang berasal dari komponen sistem tata cahaya. Untuk memperoleh nilai *fret, flw* dan *fconv* perlu ditentukan terlebih dahulu jenis *luminaire* yang terpasang di dalam ruangan.

Fisher dan Chantrasrisalai meneliti lima jenis *luminaire* yaitu *recessed fluorescent luminaire without lens*, *recessed fluorescent luminaire with lens*, *downlight compact fluorescent luminaire*, *downlight incandescent luminaire*, dan *non-in-ceiling luminaire*. Penelitian tersebut menghasilkan nilai *fret, flw, fsw* dan *fconv* seperti ditunjukkan pada Tabel 5.14.

Table 5.14. Nilai *fret, flw* dan *fconv* untuk berbagai jenis *luminaire*

Jenis Luminaire	*Return fraction (fret)*	*Shortwave radiation fraction (fsw)*	*Longwave radiation fraction (flw)*
Recessed Fluorescent Luminaire without Lens	0,26 – 0,36	0,23-0,31	0,25-0,27
Recessed Fluorescent Luminaire with Lens	0,50 – 0,60	0,39-0,45	0,22-0,28

SIMULASI SISTEM ENERGI PADA RANCANGAN GEDUNG L4 PERPUSTAKAAN PUSAT UNIVERSITAS GADJAH MADA DENGAN ENERGYPLUS
YULIA PUSPASARI H, Dr.Eng. M.Kholid Ridwan, S.T., M.Sc.
Universitas Gadjah Mada, 2016 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Table 5.14. (Lanjutan) Nilai *fret, flw* dan *fconv* untuk berbagai jenis *luminaire*

Jenis Luminaire	*Return fraction (fret)*	*Shortwave radiation fraction (fsw)*	*Longwave radiation fraction (flw)*
Downlight Compact Fluorescent Luminaire	0,76-0,88	0,6-0,7	0,30-0,40
Downlight Incandescent Luminaire	0,20-0,30	0,85-0,9	0,10-0,15
Non-In-Ceiling Fluorescent Luminaire	0	0,23-0,25	0,27-0,32

Untuk menentukan nilai *fret*, *flw*, *fsw* dan *fconv luminaire* yang dipasang di Perpustakaan Pusat UGM Gedung L4, dilakukan penyesuaian jenis-jenis *luminaire* yang diteliti oleh Fisher dan Chantrasrisalai. Hasil penyesuaian tersebut ditunjukkan pada Tabel 5.15.

Tabel 5.15. Nilai *fret, flw, fsw* dan *fconv* untuk berbagai jenis *luminaire* yang dipasang

Jenis Lampu	Jenis *Luminaire*	*fret*	*fsw*	*flw*	*fcov*
T5 28W	*recessed fluorescent luminaire without lens*	0,31	0,186	0,214	0,29
TL 8 W	*recessed flourescent luminaire without lens*	0,31	0,186	0,214	0,29
Down light PLC 18 W	*downlight compact fluorescent luminaire*	0,82	0,117	0,063	0

Beban pendinginan dari sistem tata cahaya yang dihitung oleh *EnergyPlus* berlaku untuk satu zona termal. Padahal di dalam suatu zona bisa jadi terdapat lebih dari satu jenis luminer, dengan demikian untuk mendapatkan nilai *fret*, *flw*, *fsw*, dan *fconv* dari suatu zona, maka dilakukan perhitungan fraksi panas rata-rata untuk tiap zona. Hasil pembobotan disajikan dalam Tabel 5.16.

Tabel 5.16. Fraksi panas yang dihasilkan setiap zona

Zona	*fret*	*fsw*	*flw*	*fcov*
LOBI	0,430	0,170	0,178	0,222
RB1	0,310	0,186	0,214	0,290
RB2	0,310	0,186	0,214	0,290
RBL2	0,334	0,183	0,207	0,276
RBL3	0,334	0,183	0,207	0,276
BASEMENT	0,310	0,186	0,214	0,290

SIMULASI SISTEM ENERGI PADA RANCANGAN GEDUNG L4 PERPUSTAKAAN PUSAT UNIVERSITAS GADJAH MADA DENGAN ENERGYPLUS
YULIA PUSPASARI H, Dr.Eng. M.Kholid Ridwan, S.T., M.Sc.
Universitas Gadjah Mada, 2016 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

V.1.5. Perhitungan Konsumsi Energi dan Beban Pendinginan Peralatan Listrik

Berdasarkan data-data dan observasi lapangan diperoleh jenis-jenis peralatan listrik beserta jumlah satuan dan dayanya seperti ditunjukkan pada Tabel 5.17.

Tabel 5.17. Spesifikasi Peralatan Listrik untuk tiap zona

Jenis Peralatan Listrik		Zona					
		LOBI	**RB1**	**RB2**	**RBL2**	**RBL3**	**BASEMENT**
TV LED 32 inch	Unit	1	-	-	-	-	-
	Daya (W)	120	-	-	-	-	-
CCTV dome	Unit	2	1	-	2	2	1
	Daya (W)	60	30	-	60	60	30
CCTV infrared	Unit	-	-	-	-	-	2
	Daya (W)	-	-	-	-	-	90
Stop Kontak	Unit	-	10	10	24	24	-
	Daya (W)	-	600	600	1440	1440	-
Exhaust Fan	Unit	-	-	-	-	-	4
	Daya (W)	-	-	-	-	-	880
Total (W)		180	630	600	1500	1500	1000

V.1.6. Pemodelan Sistem Tata Udara

Untuk menyimulasikan model sistem tata udara, objek yang digunakan adalah objek HVAC Template. Objek HVAC Template adalah objek EnergyPlus yang dimaksudkan untuk jenis – jenis HVAC yang umum dengan input minimal. Berdasarkan data dan observasi lapangan maka objek HVAC Template yang dipilih untuk penyusunan model sistem tata udara Perpustakaan Pusat UGM Gedung L4 ditunjukkan pada Tabel 5.18.

SIMULASI SISTEM ENERGI PADA RANCANGAN GEDUNG L4 PERPUSTAKAAN PUSAT UNIVERSITAS GADJAH MADA DENGAN ENERGYPLUS
YULIA PUSPASARI H, Dr.Eng. M.Kholid Ridwan, S.T., M.Sc.
Universitas Gadjah Mada, 2016 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Tabel 5.18. Pemodelan Sistem Tata Udara

No	Nama Objek	Keterangan
1	HVACTemplate:Thermostat	Mendeskripsikan termostat (pengaturan temperatur ruangan).
2	HVACTemplateZone:ConstantVolume	Mendeskripsikan komponen zona dari konfigurasi CAV HVAC.
3	HVACTemplateSystem:ConstantVolume	Mendiskripsikan komponen sistem dari konfigurasi CAV HVAC.
4	HVACTemplate:ChilledWaterLoop	Mendeskripsikan sistem pemipaan (*loop*) yang meliputi sistem pemipaan menghubungkan koil pendingin di dalam objek HVAC Template dengan mesin pendingin dan sistem pemipaan yang menghubungkan sistem pendingin dengan menara pendingin serta pompa dan pengendalian kedua sistem pemipaan tersebut.
5	HVACTemplate:Chiller	Mendeskripsikan mesin pendingin
6	HVACTemplate:Tower	Mendeskripsikan menara pendingin

V.2. Validasi Perangkat Lunak *EnergyPlus*

Untuk mengetahui apakah perangkat lunak *EnergyPlus* sudah memberikan hasil yang cukup valid dalam simulasi energi bangunan pada penelitian ini, dapat dilakukan pengecekan sumber data yang dijadikan sebagai variabel input. Berbagai sumber data yang dijadikan variabel input disajikan dalam Tabel 5.19.

Tabel 5.19. Variabel input simulasi dan sumber data

Variabel Input	*Real* Data	Asumsi	*Default EnergyPlus*
Data Cuaca Wilayah Surakarta	√		
Data Geometri Bangunan	√		
Material Konstruksi Bangunan		√	√
Penjadwalan	√	√	
Okupansi		√	
Sistem Tata Cahaya	√		
Peralatan Listrik	√		
Sistem HVAC	√		√

SIMULASI SISTEM ENERGI PADA RANCANGAN GEDUNG L4 PERPUSTAKAAN PUSAT UNIVERSITAS GADJAH MADA DENGAN ENERGYPLUS
YULIA PUSPASARI H, Dr.Eng. M.Kholid Ridwan, S.T., M.Sc.
Universitas Gadjah Mada, 2016 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Dari Tabel 5.19 dapat dilihat bahwa sebagian besar perolehan data untuk variabel input simulasi didapatkan dari *real* data atau data berdasarkan kondisi sebenarnya. Hal tersebut menunjukkan bahwa hasil yang diperoleh dari simulasi ini sudah cukup valid.

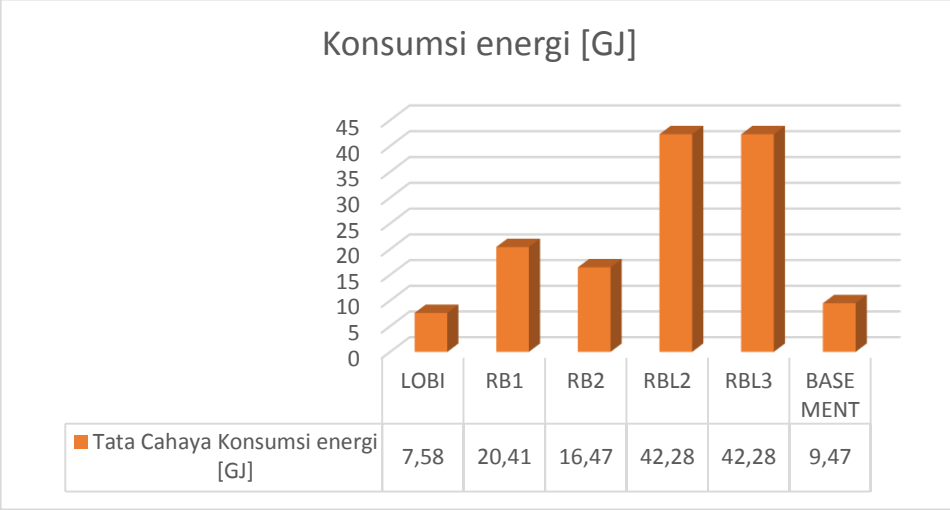
V.3. Hasil Simulasi *EnergyPlus*

Hasil simulasi *EnergyPlus* dibagi berdasarkan konsumsi energi tiap sistem, yaitu konsumsi energi sistem tata cahaya, tata udara dan peralatan listrik.

V.3.1. Konsumsi Energi Listrik Sistem Tata Cahaya

Konsumsi energi listrik sistem tata cahaya pada Perpustakaan Pusat UGM Gedung L4 disajikan untuk per tahunnya dan dibagi berdasarkan zona termal yang menggunakan interior light, yaitu zona LOBI, zona RB1, zona RB2, zona RBL2, zona RBL3 dan zona BASEMENT. Dari hasil simulasi, konsumsi energi terbesar untuk sistem tata cahaya adalah konsumsi energi pada zona RBL2 dan zona RBL3 yang memiliki besar konsumsi energi yang sama yaitu 42,28 GJ. Hal ini dikarenakan zona RBL 2 dan zona RBL3 memiliki spesifikasi pencahayaan yang sama. Untuk RB1, zona RB2 dan zona BASEMENT masing-masing secara berurutan memiliki konsumsi energi sebesar 20,41 GJ, 16,47 GJ dan 9,47 GJ. Sedangkan konsumsi energi terendah adalah konsumsi energi pada zona LOBI yaitu 7,58 GJ. Total konsumsi energi sistem tata cahaya pada semua zona adalah 138,49 GJ per tahunnya. Konsumsi energi sistem tata cahaya ditunjukkan pada Gambar 5.11.

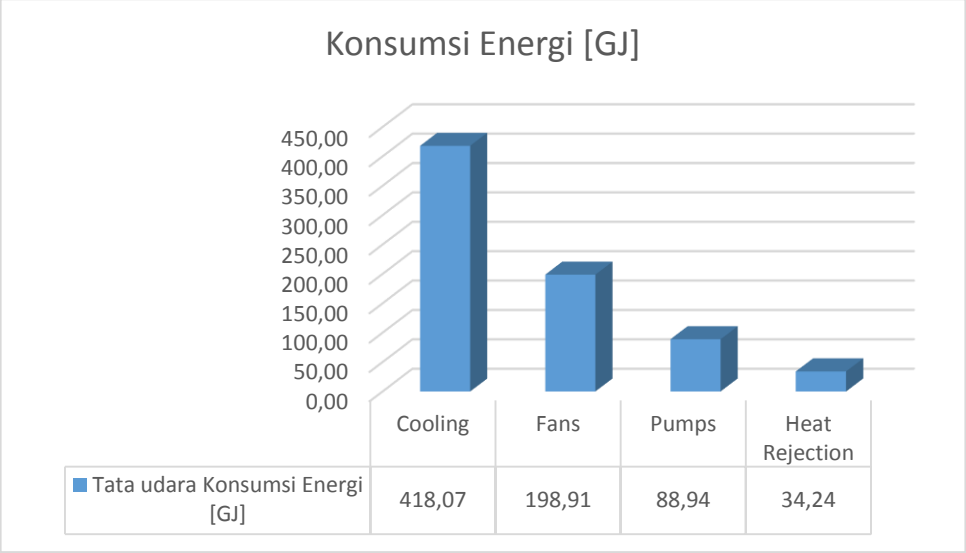
SIMULASI SISTEM ENERGI PADA RANCANGAN GEDUNG L4 PERPUSTAKAAN PUSAT UNIVERSITAS GADJAH MADA DENGAN ENERGYPLUS
YULIA PUSPASARI H, Dr.Eng. M.Kholid Ridwan, S.T., M.Sc.
Universitas Gadjah Mada, 2016 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/



Gambar 5.11. Konsumsi Energi Listrik Sistem Tata Cahaya Tiap Zona

V.3.2. Konsumsi Energi Listrik Sistem Tata Udara

Untuk konsumsi energi listrik sistem tata udara pada Perpustakaan Pusat UGM Gedung L4 disajikan per tahunnya. Dari hasil simulasi, konsumsi energi total untuk sistem tata udara adalah 740,16 GJ. Konsumsi energi sistem tata udara per tahunnya mencakup komponen yang beroperasi pada sistem tata udara, yaitu *fans, cooling, pumps dan heat rejection*. Data tiap komponen ditunjukkan pada Gambar 5.12.



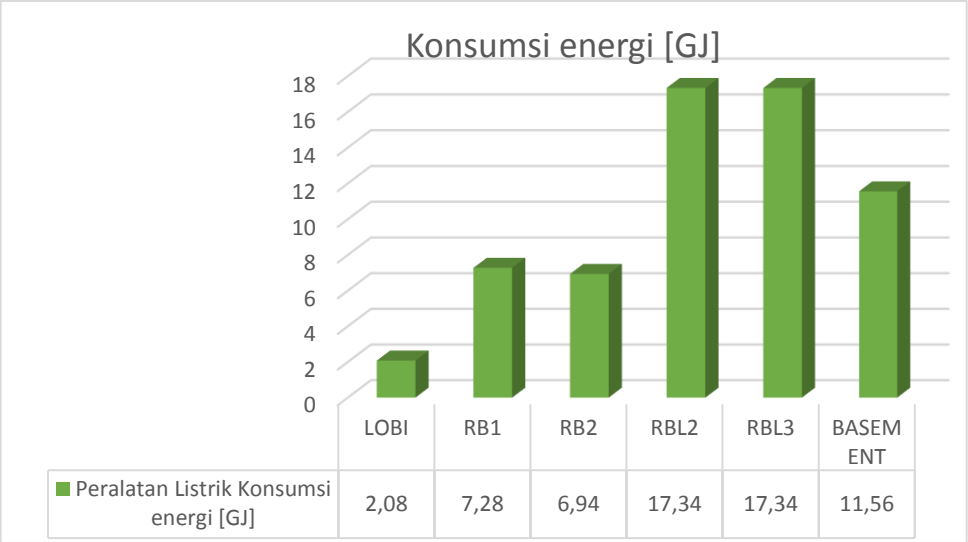
Gambar 5.12. Konsumsi Energi Listrik Sistem Tata Udara

SIMULASI SISTEM ENERGI PADA RANCANGAN GEDUNG L4 PERPUSTAKAAN PUSAT UNIVERSITAS GADJAH MADA DENGAN ENERGYPLUS
YULIA PUSPASARI H, Dr.Eng. M.Kholid Ridwan, S.T., M.Sc.
Universitas Gadjah Mada, 2016 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Pada Gambar 5.12 menunjukkan bahwa konsumsi energi paling besar untuk sistem tata udara adalah komponen *cooling*, yaitu sebesar 418,07 GJ. Sedangkan untuk konsumsi energi paling rendah adalah komponen *heat rejection*, yaitu sebesar 34,24 GJ.

V.3.3. Konsumsi Energi Listrik Peralatan Listrik

Konsumsi energi peralatan listrik dibagi berdasarkan zona. Untuk konsumsi energi peralatan listrik yang paling besar adalah zona RBL2 dan RBL3 yaitu sebesar 17,34 GJ , sedangkan konsumsi energi paling rendah adalah zona LOBI yaitu sebesar 2,08 GJ. Total konsumsi energi listrik peralatan listrik adalah 62,54 GJ. Konsumsi energi listrik peralatan listrik ditunjukkan pada Gambar 5.13.

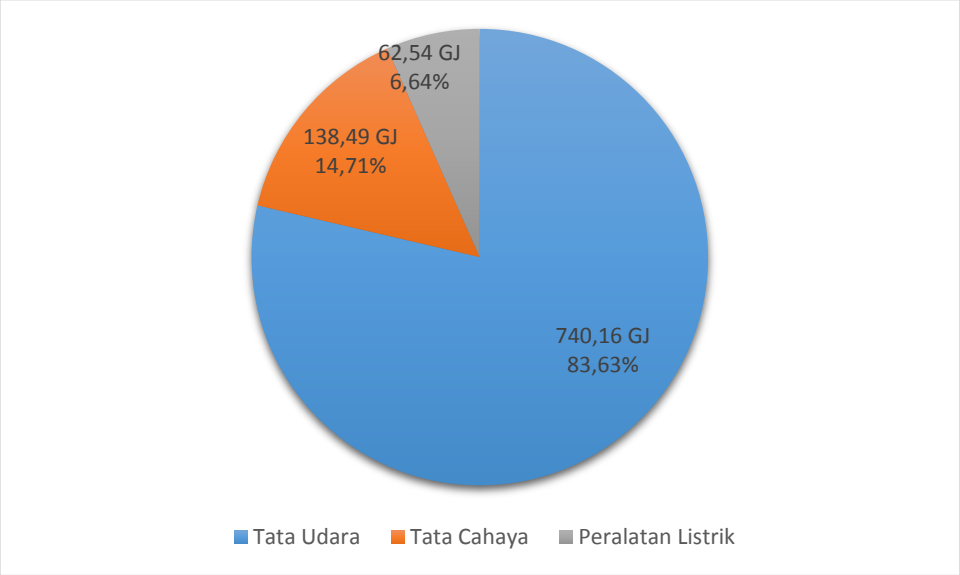


Gambar 5.13. Konsumsi Energi Listrik Peralatan Listrik

V.3.4. Konsumsi Energi Listrik Keseluruhan Bangunan

Konsumsi energi listrik untuk keseluruhan bangunan dibagi tiap sistem. Konsumsi energi paling tinggi adalah sistem tata udara dengan 83,63% dan paling rendah adalah peralatan listrik dengan 6,64%. Pembagian konsumsi energi keseluruhan bangunan ditunjukkan pada Gambar 5.14.

SIMULASI SISTEM ENERGI PADA RANCANGAN GEDUNG L4 PERPUSTAKAAN PUSAT UNIVERSITAS GADJAH MADA DENGAN ENERGYPLUS
YULIA PUSPASARI H, Dr.Eng. M.Kholid Ridwan, S.T., M.Sc.
Universitas Gadjah Mada, 2016 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/



Gambar 5.14. Konsumsi Energi Keseluruhan tiap Sistem

V.3.5. Intensitas Konsumsi Energi Bangunan

Salah satu parameter yang dapat digunakan untuk menentukan kinerja energi bangunan (*building energy performance*) adalah nilai Intensitas Konsumsi Energi (IKE). IKE adalah konsumsi total energi bangunan selama satu tahun dibagi dengan luas lantai bangunan. Satuan yang digunakan untuk menyatakan IKE pada umumnya adalah kWh/m^2/tahun.

Nilai IKE untuk bangunan Perpustakaan Pusat UGM Gedung L4 yang telah disimulasikan adalah 264,47 kWh/m^2/tahun. Nilai ini didapatkan dari nilai konsumsi energi listrik keseluruhan Perpustakaan Pusat UGM Gedung L4 yang bernilai 941,19 GJ atau 261.443,76 kWh dibagi luas lantai sebesar 988,56 m^2.

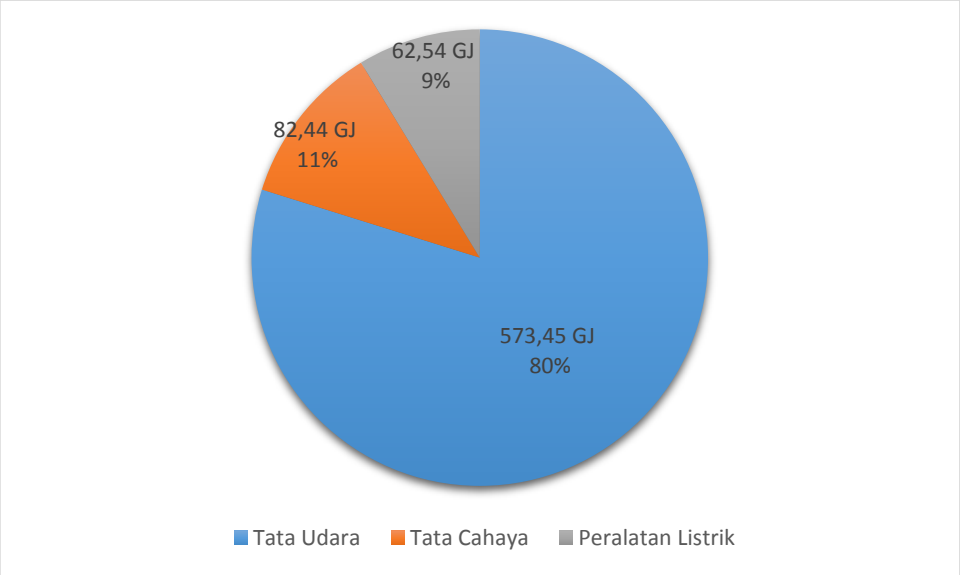
V.4. Skenario Konservasi Energi

Skenario yang dapat dilakukan untuk melakukan konservasi energi adalah dengan mengganti Sistem HVAC dan jenis *luminaire* yang digunakan pada Bangunan Perpustakaan Pusat UGM Gedung L4. Sistem HVAC yang diganti adalah dari *Constant Air Volume* (CAV) menjadi *Variable Air Volume* (VAV). Sistem VAV adalah sistem yang memberikan variasi volume udara yang konstan untuk memenuhi kondisi beban pendinginan ruangan yang berubah. Sedangkan

SIMULASI SISTEM ENERGI PADA RANCANGAN GEDUNG L4 PERPUSTAKAAN PUSAT UNIVERSITAS GADJAH MADA DENGAN ENERGYPLUS
YULIA PUSPASARI H, Dr.Eng. M.Kholid Ridwan, S.T., M.Sc.
Universitas Gadjah Mada, 2016 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

luminaire yang diganti adalah dari *luminaire* jenis *fluorescent* menjadi LED yang lebih hemat energi. *Luminaire* yang akan digunakan adalah Philips LED Tube T8-18 watt.

Nilai konsumsi energi listrik pada skenario penerapan sistem VAV dan menggunakan *luminaire* jenis LED dengan simulasi *EnergyPlus* ditunjukkan pada Gambar 5.15



Gambar 5.15. Konsumsi energi listrik keseluruhan bangunan dengan sistem VAV dan LED

Konsumsi energi terbesar setelah dilakukan skenario konservasi energi menunjukkan bahwa sistem tata udara masih memiliki nilai konsumsi energi tertinggi. Nilai konsumsi energi sistem tata udara dengan VAV adalah sebesar 573,45 GJ. Konsumsi energi sistem tata cahaya dengan LED adalah sebesar 82,44 GJ. Sedangkan konsumsi energi peralatan listrik memiliki konsumsi energi yang sama dengan sistem sebelumnya yaitu 62,54 GJ. Konsumsi energi listrik keseluruhan setelah dilakukan skenario konservasi energi adalah 718,44 GJ. Nilai IKE setelah dilakukan konservasi energi adalah 201,88 kWh/m^2/tahun.

SIMULASI SISTEM ENERGI PADA RANCANGAN GEDUNG L4 PERPUSTAKAAN PUSAT UNIVERSITAS GADJAH MADA DENGAN ENERGYPLUS
YULIA PUSPASARI H, Dr.Eng. M.Kholid Ridwan, S.T., M.Sc.
Universitas Gadjah Mada, 2016 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

V.5. Analisis Pergantian Sistem *Constant Air Volume (*CAV) dengan sistem *Variable Air Volume* (VAV) dan *Luminaire* Jenis *Fluorescent* dengan LED Phillips Tube T8-18 Watt

Penghematan konsumsi energi listrik bangunan Perpustakaan Pusat UGM Gedung L4 dengan penerapan sistem VAV dan LED Phillips Tube T8-18 Watt ditunjukkan pada Tabel 5.20. Penggantian lampu LED tidak diterapkan pada semua zona. Zona yang menerapkan lampu LED adalah zona RB1, zona RB2, zona RBL2 dan zona RBL3.

Tabel 5.20. Perbandingan Konsumsi Energi Listrik dan IKE Sebelum dan Sesudah Skenario Konservasi Energi

	Sebelum	Sesudah	Penghematan	
Konsumsi Energi Listrik Keseluruhan (GJ)	941,19	718,44	222,75 GJ	23,67%
IKE (kWh/m^2/tahun)	264,47	201,88	62,59 kWh/m^2/tahun	

Nilai penghematan energi dan IKE untuk sistem keseluruhan bangunan adalah sebesar 222,75 GJ dan 62,59 kWh/m^2/tahun atau 23,67 % per tahun. Sehingga penghematan konsumsi energi pada bangunan Perpustakaan Pusat UGM Gedung L4 dengan menerapkan sistem VAV dan LED mencapai 61.875,50 kWh/tahun.

V.6. Analisis Perhitungan *Overall Thermal Transfer Value* (OTTV)

Standar SNI dimana persamaan untuk menghitung OTTV yang ditunjukkan pada persamaan 3.6 menetapkan standar OTTV sebesar 45 W/m^2.

Berikut perhitungan OTTV berdasarkan standar SNI di Gedung L4.

a. Perpindahan Panas Konduksi pada Dinding Tak Tembus Cahaya (Q_w)

   Lapisan dinding pada Gedung L4 diasumsikan terdiri dari dua bagian yaitu lapisan batu bata dan lapisan plester. Tebal batu bata sekitar 12cm dan tebal lapisan plester sekitar 5cm. Persamaan untuk menghitung Q_w adalah sebagai berikut.

SIMULASI SISTEM ENERGI PADA RANCANGAN GEDUNG L4 PERPUSTAKAAN PUSAT UNIVERSITAS GADJAH MADA DENGAN ENERGYPLUS
YULIA PUSPASARI H, Dr.Eng. M.Kholid Ridwan, S.T., M.Sc.
Universitas Gadjah Mada, 2016 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

$$Q_W = \alpha\{U_W \times (1 - WWR) \times TD_{EK}\}$$

Nilai 1-*WWR* adalah rasio perbandingan antara luas dinding tak tembus cahaya dengan luas total dinding luar pada orientasi tertentu seperti ditunjukkan pada Tabel 5.21.

Tabel 5.21. Nilai 1-*WWR* di Gedung L4 Berdasarkan Orientasi Tertentu

Orientasi	Luas Total (m^2)	Luas Dinding Tak Tembus Cahaya (m^2)	1-*WWR*
Utara	709,20	280,35	0,40
Selatan	709,20	580,58	0,82
Barat	113,28	113,28	1,00
Timur	113,28	113,28	1,00

Nilai U_w adalah transmitansi termal pada dinding tak tembus cahaya (1/*R*) dimana *R* adalah resistansi termal pada material (*b/K*) seperti ditunjukkan pada Tabel 5.22. Nilai *b* adalah tebal lapisan pada dinding sedangkan *K* adalah konduktivitas termal pada suatu bahan bangunan. Sedangkan α adalah nilai absorbtansi radiasi matahari.

Berdasarkan Tabel 3.1 dan 3.2 didapatkan:

α cat putih kilap = 0,25

K dinding bata = 0,807 W/m.K Densitas dinding bata = 1760 kg/m^3

K lapisan plester = 0,533 W/m.K Densitas lapisan plester = 1568 kg/m^3

Tabel 5.22. Nilai *R* pada Lapisan Batu Bata dan Lapisan Plester

Komponen	*b/K*	*R* (m^2.K/W)
Film udara luara		0,044
Dinding bata	0,12 / 0,807	0,148
Plesteran semen	0,05 / 0,533	0,094
Film udara dalam		0,120
Total		0,406

Maka didapatkan $U_W = 1/R$ = 2,46 W/m^2.K

Berat dinding / satuan luas = densitas bahan x tebal bahan

= (1760 x 0,12) + (1568 x 0,05) = 289,6 kg/m^2

Berdasarkan SNI jika berat dinding per satuan luas lebih besar dari 195 kg/m^2 maka besar TD_{EK} adalah 10 K.

SIMULASI SISTEM ENERGI PADA RANCANGAN GEDUNG L4 PERPUSTAKAAN PUSAT UNIVERSITAS GADJAH MADA DENGAN ENERGYPLUS
YULIA PUSPASARI H, Dr.Eng. M.Kholid Ridwan, S.T., M.Sc.
Universitas Gadjah Mada, 2016 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Sehingga diperoleh nilai Q_W di Gedung L4 berdasarkan orientasi tertentu pada Tabel 5.23.

Tabel 5.23. Nilai Q_W Berdasarkan Orientasi Tertentu

Orientasi	$1-WWR$	U_W (W/m².K)	TD_{EK} (K)	Q_W (W/m²)
Utara	0,40	2,46	10	2,43
Selatan	0,82	2,46	10	5,03
Barat	1,00	2,46	10	6,15
Timur	1,00	2,46	10	6,15

b. Perpindahan Panas Konduksi pada Dinding Tembus Cahaya (Q_f)

Lapisan jendela pada dinding Gedung L4 diasumsikan terdiri dari satu lapisan kaca. Tebal lapisan kaca pada Gedung L4 0,5 cm. Persamaan untuk menghitung Q_f adalah sebagai berikut.

$$Q_f = U_f \times WWR \times \Delta T$$

Nilai *WWR* adalah rasio perbandingan antara luas dinding tembus cahaya dengan luas total dinding luar pada orientasi tertentu seperti ditunjukkan pada Tabel 5.24.

Tabel 5.24. Nilai *WWR* di Gedung L4 Berdasarkan Orientasi Tertentu

Orientasi	Luas Total (m²)	Luas Dinding Tembus Cahaya (m²)	*WWR*
Utara	709,20	428,85	0,60
Selatan	709,20	128,62	0,18
Barat	113,28	0	0
Timur	113,28	0	0

Nilai U_f adalah transmitansi termal di dinding tembus cahaya ($1/R$) dimana R adalah resistansi termal pada material kaca (b/K) seperti ditunjukkan pada Tabel 5.25. Nilai b adalah tebal lapisan pada kaca sedangkan K adalah konduktivitas termal pada lapisan kaca (K = 1,053 W/m.K berdasarkan pada Tabel 3.2)

SIMULASI SISTEM ENERGI PADA RANCANGAN GEDUNG L4 PERPUSTAKAAN PUSAT UNIVERSITAS GADJAH MADA DENGAN ENERGYPLUS
YULIA PUSPASARI H, Dr.Eng. M.Kholid Ridwan, S.T., M.Sc.
Universitas Gadjah Mada, 2016 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Tabel 5.25. Nilai *R* pada Lapisan Kaca

Komponen	*b/K*	*R* (m^2.K/W)
Film udara luara		0,044
Lapisan kaca	0,005 / 1,053	0,0047
Film udara dalam		0,120
Total		0,169

Maka didapatkan $U_f = 1/R$ = 5,92 W/m^2.K

Beda temperatur antara bagian luar dan bagian dalam bangunan (ΔT) ditentukan oleh SNI sebesar 5 K.

Sehingga diperoleh nilai Q_f pada Gedung L4 berdasarkan orientasi tertentu pada Tabel 5.26.

Tabel 5.26. Nilai Q_f Berdasarkan Orientasi Tertentu

Orientasi	*WWR*	U_f (W/m^2.K)	TD_{EK} (K)	Q_f (W/m^2)
Utara	0,60	5,92	5	17,90
Selatan	0,18	5,92	5	5,37
Barat	0	5,92	5	0
Timur	0	5,92	5	0

c. Radiasi pada Dinding Tembus Cahaya (Q_g)

Persamaan untuk menghitung Q_g.

$$Q_g = SC \times WWR \times SF$$

Nilai *SF* adalah faktor radiasi matahari seperti ditunjukkan pada Tabel 5.27.

Tabel 5.27. Nilai *SF* untuk Berbagai Orientasi

Orientasi	*SF* (W/m^2)
Utara	130
Selatan	97
Barat	243
Timur	112

Nilai *SC* adalah koefisien peneduh dari sistem fenestrasi (dinding tembus cahaya). Nilai *SC* yang digunakan untuk perhitungan ini mengacu kepada panduan SNI 03-6389-2000 Apendiks A dimana nilai *SC* untuk kaca yang terbuka penuh memiliki nilai 1, kaca yang terlindung memiliki nilai 0, dan

SIMULASI SISTEM ENERGI PADA RANCANGAN GEDUNG L4 PERPUSTAKAAN PUSAT UNIVERSITAS GADJAH MADA DENGAN ENERGYPLUS
YULIA PUSPASARI H, Dr.Eng. M.Kholid Ridwan, S.T., M.Sc.
Universitas Gadjah Mada, 2016 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

kaca yang setengah terlindung memiliki nilai 0,5. Untuk perhitungan pada Gedung L4 diasumsikan nilai *SC* adalah 0,5.

Sehingga diperoleh nilai Q_g di Gedung L4 berdasarkan orientasi tertentu pada Tabel 5.28.

Tabel 5.28. Nilai Q_g Berdasarkan Orientasi Tertentu

Orientasi	*WWR*	*SF* (W/m^2)	*SC*	Q_g (W/m^2)
Utara	0,60	130	0,5	39,31
Selatan	0,18	97	0,5	8,80
Barat	0	243	0,5	0
Timur	0	112	0,5	0

Maka, didapatkan nilai *OTTV* pada masing-masing orientasi yang ditunjukkan oleh Tabel 5.29.

Tabel 5.29. Nilai *OTTV* pada Gedung L4 Berdasarkan Orientasi Tertentu

Orientasi	*OTTV* (W/m^2)
Utara	59,64
Selatan	19,20
Barat	6,15
Timur	6,15
Nilai OTTV Semua Orientasi	22,78

Berdasarkan hasil perhitungan pada Tabel 5.29, nilai *OTTV* pada Gedung L4 untuk semua orientasi sudah masuk ke dalam standar SNI dimana standar *OTTV* tidak lebih dari 45 W/m^2.

V.7. Validasi Hasil Simulasi *EnergyPlus*

Untuk mengetahui apakah perangkat lunak *EnergyPlus* sudah memberikan hasil yang cukup valid dalam simulasi energi bangunan pada penelitian ini, dapat dilakukan pengecekan dengan cara membandingkana nilai *OTTV* hasil simulasi *EnergyPlus* dengan nilai *OTTV* perhitungan manual berdasarkan standar SNI. Perbandingan nilai *OTTV* hasil simulasi EnergyPlus dengan nilai *OTTV* perhitungan manual disajikan dalam Tabel 5.30.

SIMULASI SISTEM ENERGI PADA RANCANGAN GEDUNG L4 PERPUSTAKAAN PUSAT UNIVERSITAS GADJAH MADA DENGAN ENERGYPLUS
YULIA PUSPASARI H, Dr.Eng. M.Kholid Ridwan, S.T., M.Sc.
Universitas Gadjah Mada, 2016 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Tabel 5.30. Perbandingan Nilai *OTTV* Hasil Simulasi dan Perhitungan Manual

Metode Validasi	Nilai *OTTV* (W/m^2)
Hasil Simulasi	22,54
Perhitungan Manual	22,78

Dari Tabel 5.30 dapat dilihat bahwa selisih nilai *OTTV* berdasarkan hasil simulasi dan perhitungan manual tidak terlalu besar yaitu 0,24 W/m^2 atau 1,05%. Hal tersebut menunjukkan bahwa hasil yang diperoleh dari simulasi ini sudah cukup valid.

V.8. Analisis Perhitungan Biaya Pembelian Komponen Refrigeran dan *Ducting*

Refrigeran yang digunakan pada Perpustakaan Pusat UGM Gedung L4 adalah refrigeran jenis R410a dengan asumsi:

1. Berat total refrigeran yang dibutuhkan adalah 113,5*lb* tiap tahun.
2. Harga refrigeran R410a setiap 25*lb* adalah Rp 1.200.000,-

Sedangkan *Ducting* yang digunakan adalah Seng BJLS 0,5 dengan asumsi:

1. Panjang *ducting* yang dibutuhkan tiap lantai adalah 80m^2
2. Jumlah lantai yang dipasang *ducting* adalah 3 lantai. Maka panjang total *ducting* yang dibutuhkan adalah 240m^2 .
3. Harga *ducting* Seng BJLS 0,5 : Rp 300.000 /m^2.

Analisis perhitungan biaya berdasarkan asumsi yang telah ditetapkan, ditunjukkan pada Tabel 5.31

Tabel 5.31. Perhitungan Biaya Komponen *Refrigerant* dan *Ducting*

No	Jenis Refrigeran dan *Ducting*	Jumlah	Total harga
1	R410a	300*lb*	Rp 6.356.000,-
2	Seng BJLS 0,5	240m^2	Rp 72.000.000,-

Dari tabel 5.31 diperoleh bahwa total biaya pembelian komponen Refrigeran dan *Ducting* selama 1 tahun adalah Rp 78.356.000,-

SIMULASI SISTEM ENERGI PADA RANCANGAN GEDUNG L4 PERPUSTAKAAN PUSAT UNIVERSITAS GADJAH MADA DENGAN ENERGYPLUS
YULIA PUSPASARI H, Dr.Eng. M.Kholid Ridwan, S.T., M.Sc.
Universitas Gadjah Mada, 2016 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

V.9. Analisis Perhitungan Ekonomi Sistem Tata Cahaya menggunakan Lampu LEDtube T8

Perencanaan ekonomi dilakukan untuk mengetahui biaya yang dibutuhkan oleh sistem tata cahaya. Perancangan dasar pada penelitian ini tidak membahas lebih lanjut tentang biaya yang dibutuhkan selama siklus hidup sistem.

V.9.1. Biaya Pembelian Komponen

Sistem tata cahaya pada skenario konservasi energi menggunakan Lampu LEDtube 1200mm 18 Watt. Harga dan jumlah lampu LED yang dibutuhkan ditunjukkan pada Tabel 5.32.

Tabel 5.32. Harga Lampu LEDtube 18W

Harga satuan Lampu T8 LEDtube 18 W	Jumlah Lampu	Total Harga
Rp 250.000	180	Rp 23.750.000

V.9.2. Biaya Pemasangan dan Instalasi

Biaya pemasangan dan instalasi meliputi biaya ahli pratama (konsultan), pengawas (ahli teknik) dan tukang listrik. Upah tertinggi setiap profesi jasa yang dibutuhkan diperoleh dari SHBJ Provinsi Jawa Tengah [26]. Pekerja dalam pemasangan dan instalasi ini diberi upah menurut lama waktu kerja. Hasil perhitungan biaya pemasangan dan instalasi pencahayaan ditunjukkan pada Tabel 5.33.

Tabel 5.33. Biaya Instalasi Pencahayaan Gedung L4

Profesi	Satuan Waktu	Jumlah Orang	Target (Hari)	Upah harian	Total Biaya
Ahli Pratama	Bulan	2	30	Rp 150.000	Rp 9.000.000
Pengawas	Bulan	2	30	Rp 100.000	Rp 6.000.000
Tukang Listrik	Hari	10	20	Rp 75.000	Rp 15.000.000
Total					Rp 30.000.000

SIMULASI SISTEM ENERGI PADA RANCANGAN GEDUNG L4 PERPUSTAKAAN PUSAT UNIVERSITAS GADJAH MADA DENGAN ENERGYPLUS
YULIA PUSPASARI H, Dr.Eng. M.Kholid Ridwan, S.T., M.Sc.
Universitas Gadjah Mada, 2016 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

V.9.3. Biaya Operasional

Biaya operasional sistem tata cahaya meliputi biaya yang dikeluarkan untuk pembayaran listrik pencahyaan. Perhitungan biaya pembayaran listrik berdasarkan harga listrik per kWh yang dikeluarkan PLN yaitu Rp 1.409,16 [27]. Hasil perhitungan biaya biaya operasional sistem tata cahaya selama 1 tahun ditunjukkan pada Tabel 5.34.

Tabel 5.34. Biaya Operasional sistem tata cahaya

Harga listrik per kWh	Total kWh 1 Tahun	Biaya Listrik 1 Tahun
Rp 1.409,16	38.158,56 kWh	Rp 53.771.516,41

Maka diperoleh total biaya keseluruhan yang meliputi biaya komponen, instalasi dan operasional sistem tata cahaya Gedung L4 Perpustakaan Universitas Gadjah Mada ditunjukkan pada Tabel 5.35.

Tabel 5.35. Total Biaya Keseluruhan

No	Jenis Biaya	Biaya
1	Biaya Komponen	Rp 23.750.000
2	Biaya Instalasi	Rp 30.000.000
3	Biaya Operasional	Rp 53.771.516,41
Total Biaya Keseluruhan		Rp 107.521.516,41

SIMULASI SISTEM ENERGI PADA RANCANGAN GEDUNG L4 PERPUSTAKAAN PUSAT UNIVERSITAS GADJAH MADA DENGAN ENERGYPLUS
YULIA PUSPASARI H, Dr.Eng. M.Kholid Ridwan, S.T., M.Sc.
Universitas Gadjah Mada, 2016 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

VI.1 Kesimpulan

1. Berdasarkan simulasi menggunakan perangkat *EnergyPlus* dengan asumsi-asumsi yang diberikan, konsumsi energi keseluruhan bangunan Perpustakaan Pusat UGM Gedung L4 adalah sebesar 941,19 GJ per tahun.
2. Nilai Intensitas Konsumsi Energi (IKE) berdasarkan simulasi adalah sebesar 264,47 kWh/m^2/tahun. Nilai IKE hasil simulasi belum memenuhi standar *green building* yang sudah ditetapkan di Indonesia.
3. Skenario konservasi energi dengan menggunakan sistem *Variable Air Volume* (VAV) dan jenis lampu LED.
4. Hasil penerapan skenario terhadap konsumsi energi listrik keseluruhan bangunan Perpustakaan Pusat UGM Gedung L4 adalah didapatkan penghematan sebesar 23,67% dan nilai IKE sebesar 201,88 kWh/m^2/tahun, sehingga sudah memenuhi standar *green building* di Indonesia.
5. Biaya penggunaan komponen sistem tata udara dan tata cahaya secara berurutan adalah Rp 78.356.000,- dan Rp 107.521.516,41.

VI.2 Saran

1. Diperlukan validasi lebih lanjut pada bangunan sebenarnya supaya diperoleh hasil yang lebih akurat.

SIMULASI SISTEM ENERGI PADA RANCANGAN GEDUNG L4 PERPUSTAKAAN PUSAT UNIVERSITAS GADJAH MADA DENGAN ENERGYPLUS
YULIA PUSPASARI H, Dr.Eng. M.Kholid Ridwan, S.T., M.Sc.
Universitas Gadjah Mada, 2016 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

DAFTAR PUSTAKA

[1] *Prosedur Audit Energi Pada Bangunan Gedung*. Dokumen Teknis, Badan Standardisasi nasional, Jakarta, 2011.

[2] Feni Wijiastuti. *Audit Energi Listrik Studi Kasus di Gedung Perpustakaan Pusat UGM Sayap Selatan (L1)*. Skripsi, Jurusan Teknik Fisika, Fakulktas Teknik Fisika, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, 2014.

[3] Agra Arie Munanda. *Simulasi Sistem Energi Pada Perpustakaan Pusat Universitas Gadjah Mada Gedung L1 Dengan EnergyPlus.* Skripsi, Jurusan Teknik Fisika, Fakulktas Teknik Fisika, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada,Yogyakarta, 2014.

[4] Laksana Gema Perdamaian. *Simulasi Konsumsi Energi Listrik Sistem Tata Udara, Tata Cahaya, Peralatan Listrik, dan Transportasi Terminal 3 Bandar Udara Internasional Soekarno-Hatta dengan EnergyPlus 7.0.0*. Skripsi, Jurusan Teknik Fisika, Fakulktas Teknik Fisika, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, 2012.

[5] Nanda Kania Pradita. *Simulasi Energi Bangunan Pada Ruang Rawat Inap Rumah Sakit dengan EnergyPlus (Studi Kasus : RS Yadika Pondok Bambu, Jakarta).* Skripsi, Jurusan Teknik Fisika, Fakulktas Teknik Fisika, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, 2013.

[6] Dewati Widitama. *Analisis Energi Bangunan Hotel Novotel Yogyakarta dengan Sistem Pengkondisian Udara Variable Air Volume Menggunakan EnergyPlus*. Skripsi, Jurusan Teknik Fisika, Fakulktas Teknik Fisika, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, 2013.

[7] Drury B. Crawley, Linda K. Lawrie, Curtis O. Pedersen, Richard J. Liesen, Daniel E. Fisher, Richard K. Strand, Russell D. Taylor, Frederick C. Winkelmann, W. F. Buhl, A. Ender Erden, Y. Joe Huang. *"EnergyPlus, A*

SIMULASI SISTEM ENERGI PADA RANCANGAN GEDUNG L4 PERPUSTAKAAN PUSAT UNIVERSITAS GADJAH MADA DENGAN ENERGYPLUS
YULIA PUSPASARI H, Dr.Eng. M.Kholid Ridwan, S.T., M.Sc.
Universitas Gadjah Mada, 2016 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

New-Generation Building Energy Simulation Program". Proceedings of Building Simulation, Volume 1: 81-88, 1999.

[8] Laretna Annisa Rarastika.. *Analisis dan Penyusunan Petunjuk Teknis Parameter Green Building Greenship Existing Building Pada Hotel Novotel Yogyakarta*. Skripsi, JurusanTeknik Fisika, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, 2013.

[9] ASHRAE. *2009 ASHRAE Handbook – Fundamentals (SI).* American Society of Heating, Refrigeration, and Air Conditioning Engineers Inc., Atlanta, Georgia, Amerika Serikat, 2009.

[10] Pedersen, C.O., D.E. Fisher, R.J. Liesen. 1997. "Development of a Heat Balance Procedure for Calculating Cooling Loads", ASHRAE Transactions, Vol. 103, Pt. 2, pp. 459-468

[11] *Windows for High Performance Commercial Buildings*. Center for Sustainable Building Research, College of Design, University of Minnesota dan The Windows and Daylighting Group at Lawrence Berkeley National Laboratory(LBNL). Diakses dari http://www.commercialwindows.org/primer_intro.php, 15 Februari 2014.

[12] *EnergyPlus Input-Output Reference*. Dokumen teknis, University of Illinois, Urbana, Illinois, dan Ernest Orlando Lawrence Berkeley National Laboratory, Berkeley, California, Amerika Serikat, 2011

[13] Robert McDowall. *Fundamental of HVAC Systems, SI Edition*. Elsevier. Oxford, Inggris Raya, 2007.

[14] Shan K.Wang. *Handbook of Air Conditioning and Refrigeration*. McGrawHill. New York, New York, Amerika Serikat, 2000.

[15] *Tata Cara Perancangan Sistem Ventilasi dan Pengkondisian Udara pada Bangunan Gedung.* Standar Nasional Indonesia (SNI) 03-6572-2001. Badan Standardisasi Nasional, Jakarta, 2001

SIMULASI SISTEM ENERGI PADA RANCANGAN GEDUNG L4 PERPUSTAKAAN PUSAT UNIVERSITAS GADJAH MADA DENGAN ENERGYPLUS
YULIA PUSPASARI H, Dr.Eng. M.Kholid Ridwan, S.T., M.Sc.
Universitas Gadjah Mada, 2016 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

[16] Aulia Muhaddi, Ahmad Rahma Wardhana, Ahmad Fahmi Hidayatulloh, Nasrulloh, Fajar Zawa Tri Mulya, Laksana Gema Perdamaian, dan Arif Darmawan. *Manajemen Energi Terminal 3 Bandar Udara Internasional Soekarno-Hatta, PT (Persero) Angkasa Pura II Cabang Utama Bandar Udara Internasional Soekarno-Hatta*. Laporan Kerja Praktek, Jurusan Teknik Fisika, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, 2011.

[17] Daniel E. Fisher dan Chanvit Chantrasrisalai. *ASHRAE 1282-RP Lighting Heat Gain Distribution in Buildings*. Laporan penelitian, ASHRAE Research Project, ASHRAE, Atlanta, Georgia, Amerika Serikat, 2006.

[18] P. Boyce dan P. Raynham. *The SLL Lighting Handbook*. London: CIBSE, 2009.

[19] BSN. *Tata Cara Perancangan Sistem Pencahayaan Buatan Pada Bangunan Gedung*. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional, 2001.

[20] J.M., Calm. *Emissions and Environmental Effects from Air Conditioning and Refrigeration System*. USA, 2011

[21] *E-Learning Teknik Pendinginan, Refrigeran*. Institut Pertanian Bogor,2008

[22] Dedeng Rahmat. *Pengujian Sistem Refrigerasi Cascade Dengan Menggunakan Refrigeran Campuran Alami R170/R744 Pada Aplikasi Temperatur Rendah*. Skripsi, Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia, Depok, 2008

[23] IPCC. *1996 Radiative Forcing Report of Climate Change*. Cambridge Press University

[24] Muslih. *Analisis dan Evaluasi Parameter Green Building Berdasarkan Kriteria Greenship New Building pada Gedung Asrama Mahasiswa Kinanti 2 dan 3 UGM*. Skripsi, Jurusan Teknik Fisika Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada. Yogyakarta, 2014

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
SIMULASI SISTEM ENERGI PADA RANCANGAN GEDUNG L4 PERPUSTAKAAN PUSAT UNIVERSITAS GADJAH MADA DENGAN ENERGYPLUS
YULIA PUSPASARI H, Dr.Eng. M.Kholid Ridwan, S.T., M.Sc.
Universitas Gadjah Mada, 2016 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

[25] SNI 03-6389-2000 tentang Konservasi Energi Selubung Bangunan pada Bangunan Gedung

[26] Anonim. *Standarisasi Harga Barang dan Jasa*. BAPPEDA Provinsi Jawa Tengah. Diakses dari http://bappeda.jatengprov.go.id/

[27] Anonim. *Tarif Dasar Listrik Januari 2016*. Diakses dari www.pln.co.id

SIMULASI SISTEM ENERGI PADA RANCANGAN GEDUNG L4 PERPUSTAKAAN PUSAT UNIVERSITAS GADJAH MADA DENGAN ENERGYPLUS
YULIA PUSPASARI H, Dr.Eng. M.Kholid Ridwan, S.T., M.Sc.
Universitas Gadjah Mada, 2016 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

LAMPIRAN A

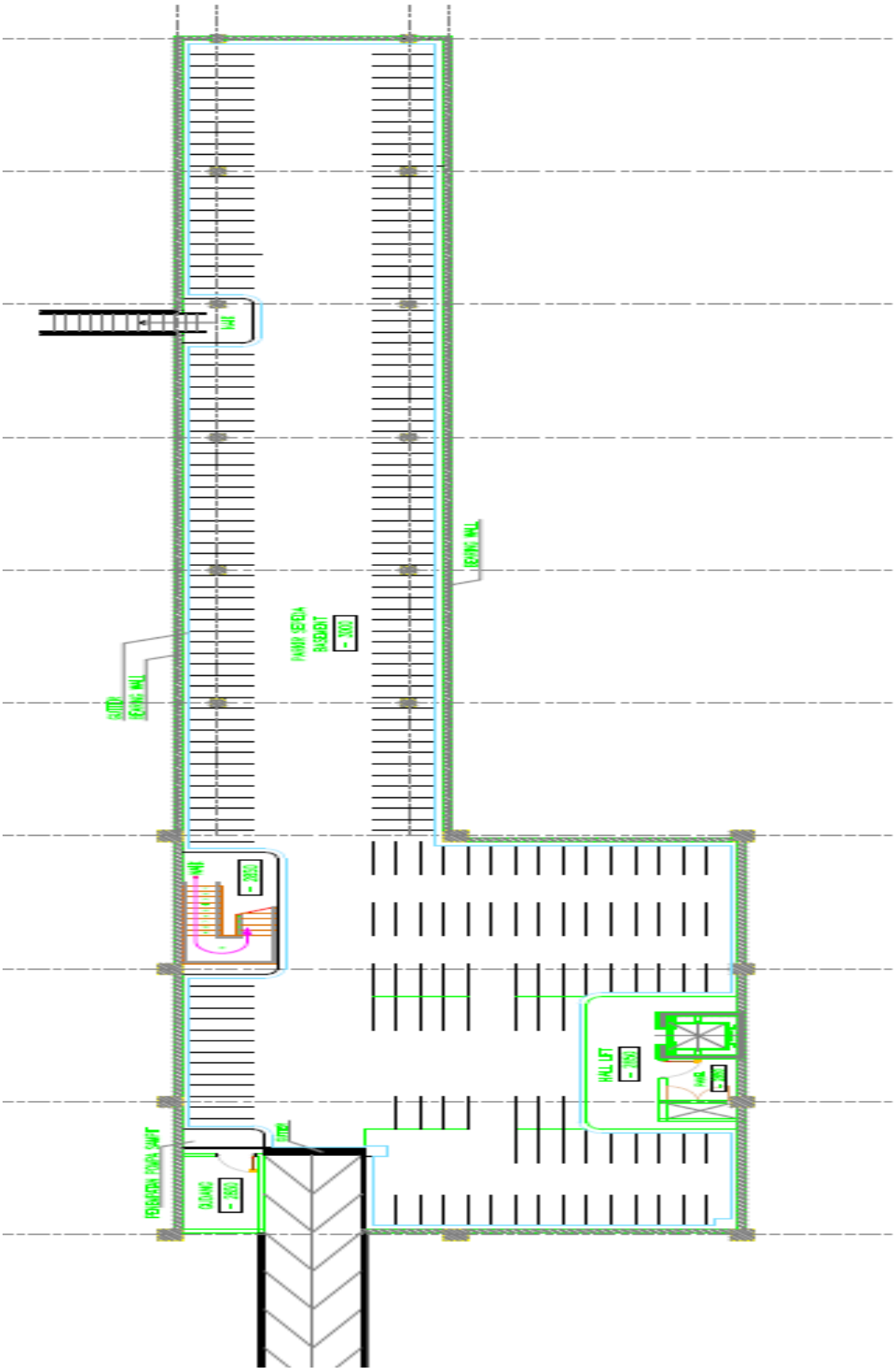
AUTOCAD DRAWING GEDUNG L2, L3 DAN L4 PERPUSTAKAAN PUSAT UNIVERSITAS GADJAH MADA

A.1 TAMPAK UTARA GEDUNG L3 DAN L4



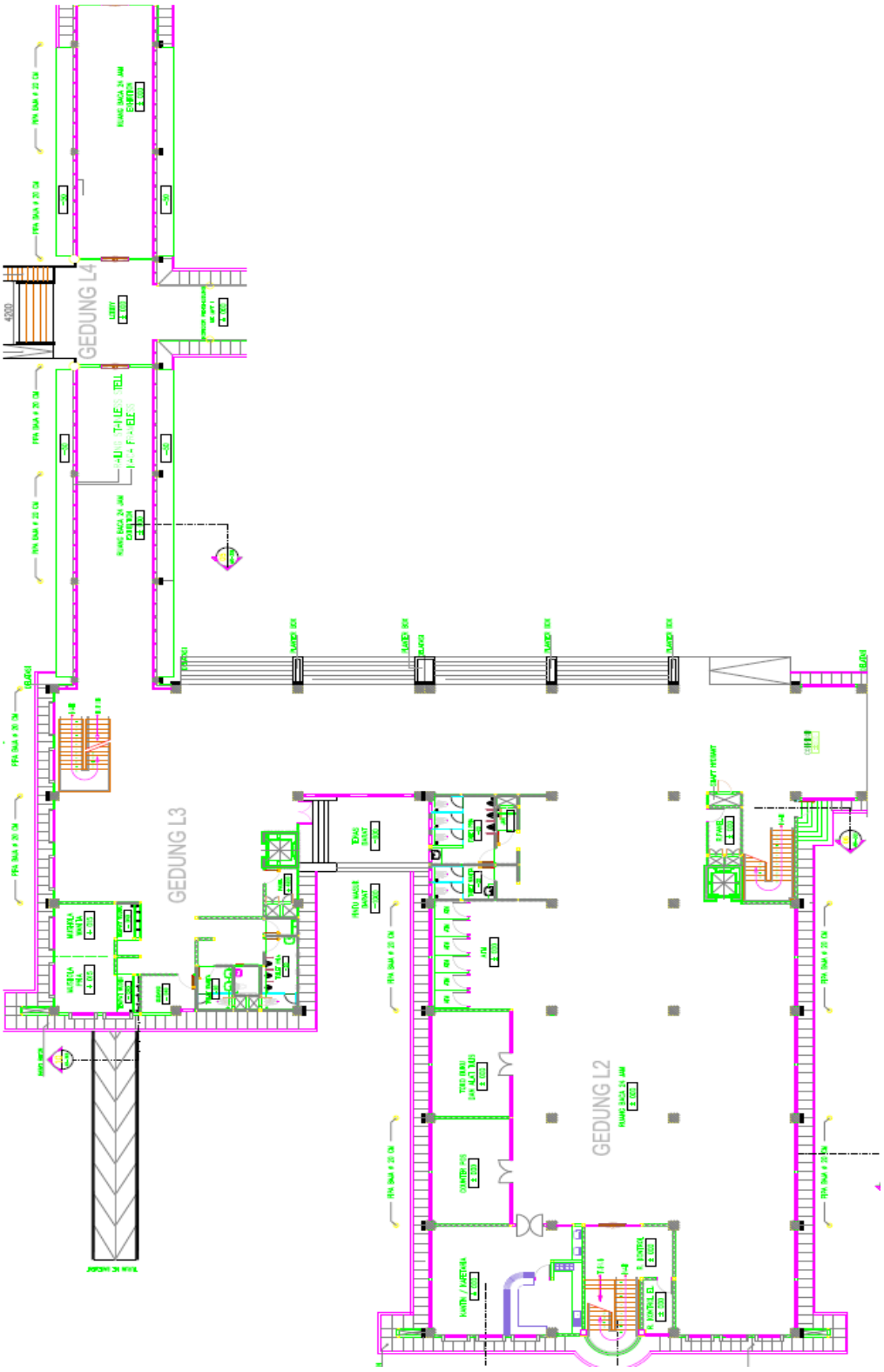
SIMULASI SISTEM ENERGI PADA RANCANGAN GEDUNG L4 PERPUSTAKAAN PUSAT UNIVERSITAS GADJAH MADA DENGAN ENERGYPLUS
YULIA PUSPASARI H, Dr.Eng. M.Kholid Ridwan, S.T., M.Sc.
Universitas Gadjah Mada, 2016 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

A.2 *AUTOCAD DRAWING* BASEMENT



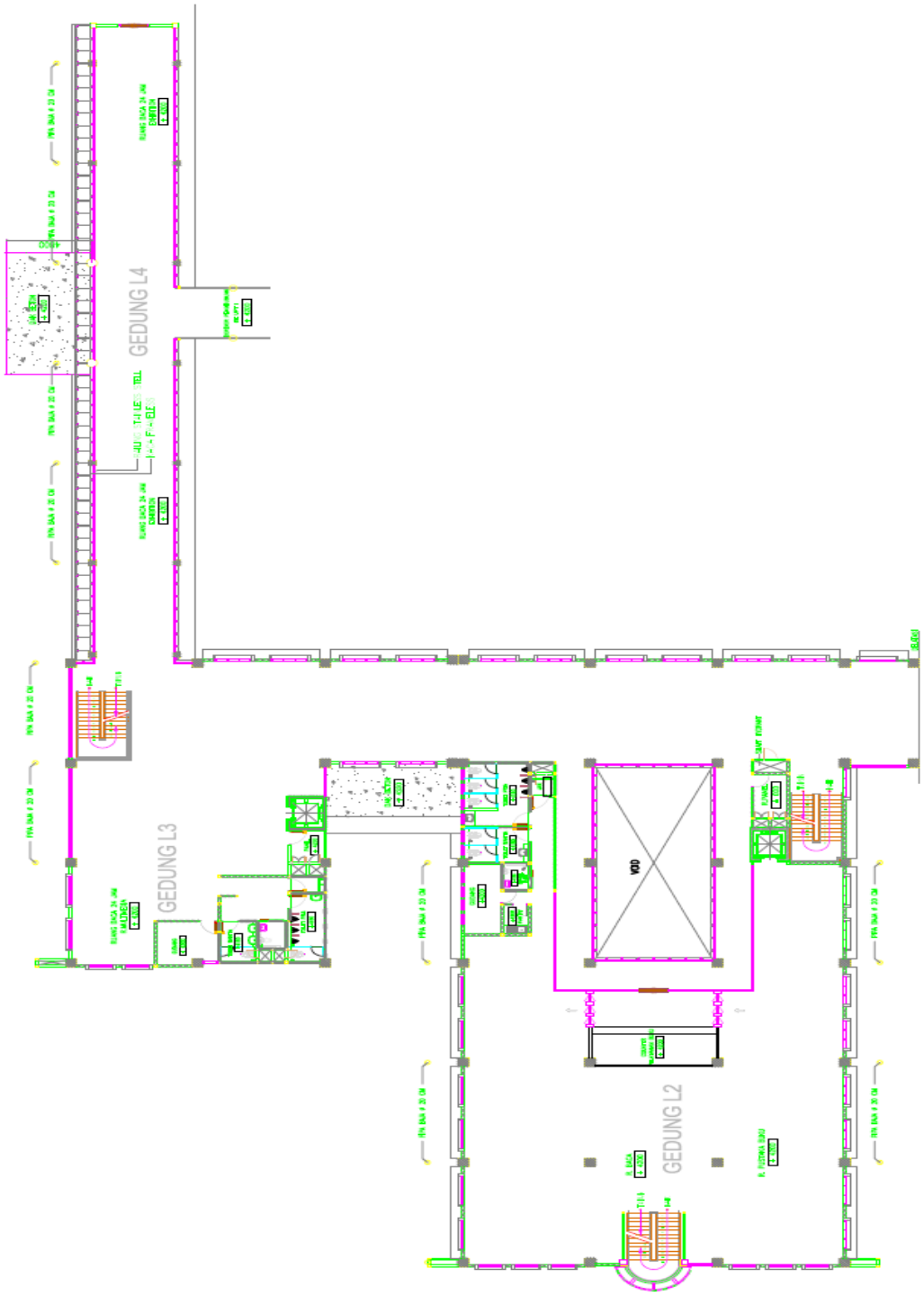
SIMULASI SISTEM ENERGI PADA RANCANGAN GEDUNG L4 PERPUSTAKAAN PUSAT UNIVERSITAS GADJAH MADA DENGAN ENERGYPLUS
YULIA PUSPASARI H, Dr.Eng. M.Kholid Ridwan, S.T., M.Sc.
Universitas Gadjah Mada, 2016 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

A.3 *AUTOCAD DRAWING* LANTAI 1



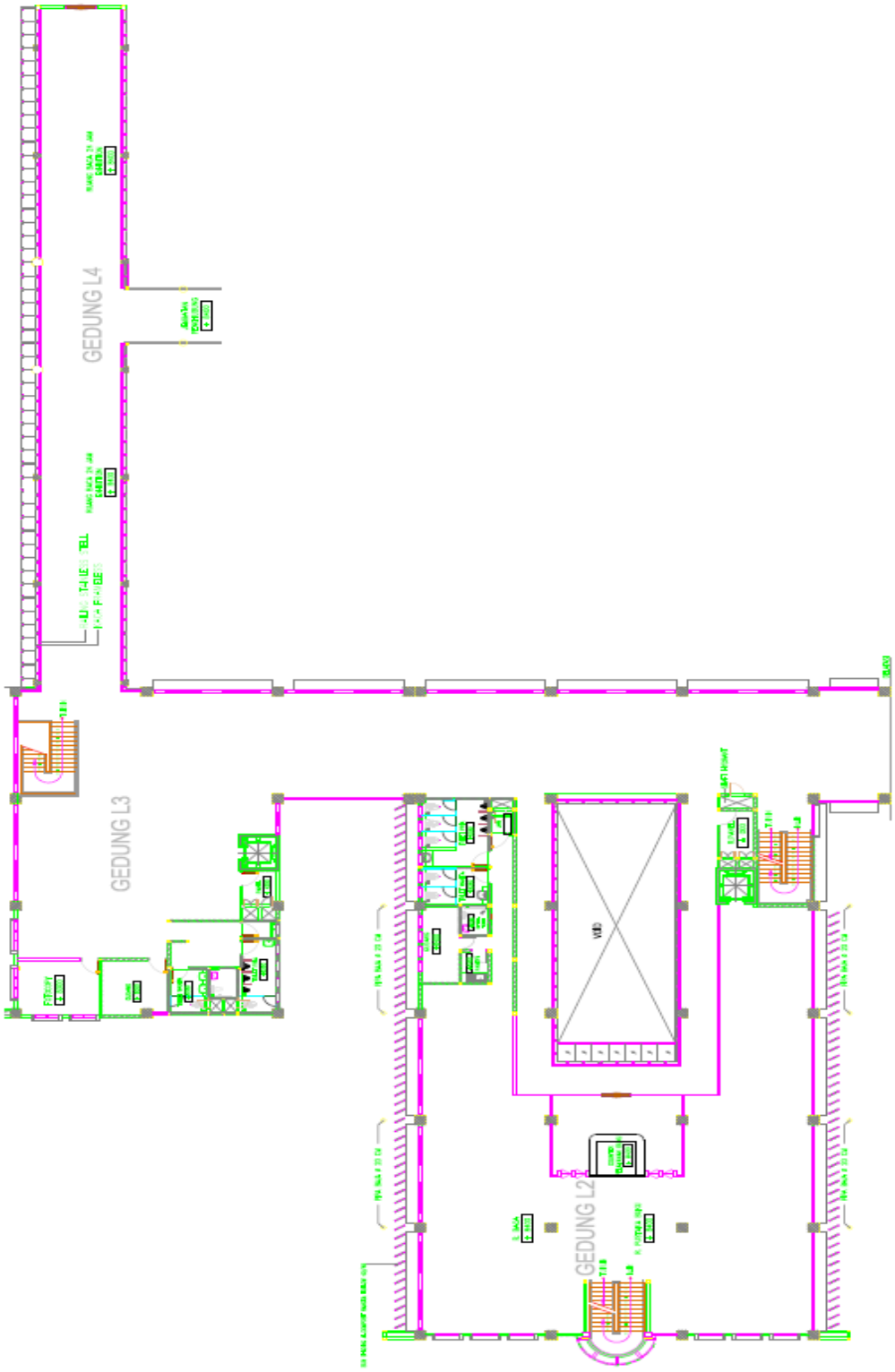
SIMULASI SISTEM ENERGI PADA RANCANGAN GEDUNG L4 PERPUSTAKAAN PUSAT UNIVERSITAS GADJAH MADA DENGAN ENERGYPLUS
YULIA PUSPASARI H, Dr.Eng. M.Kholid Ridwan, S.T., M.Sc.
Universitas Gadjah Mada, 2016 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

A.4 *AUTOCAD DRAWING* LANTAI 2



SIMULASI SISTEM ENERGI PADA RANCANGAN GEDUNG L4 PERPUSTAKAAN PUSAT UNIVERSITAS GADJAH MADA DENGAN ENERGYPLUS
YULIA PUSPASARI H, Dr.Eng. M.Kholid Ridwan, S.T., M.Sc.
Universitas Gadjah Mada, 2016 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

A.5 *AUTOCAD DRAWING* LANTAI 3

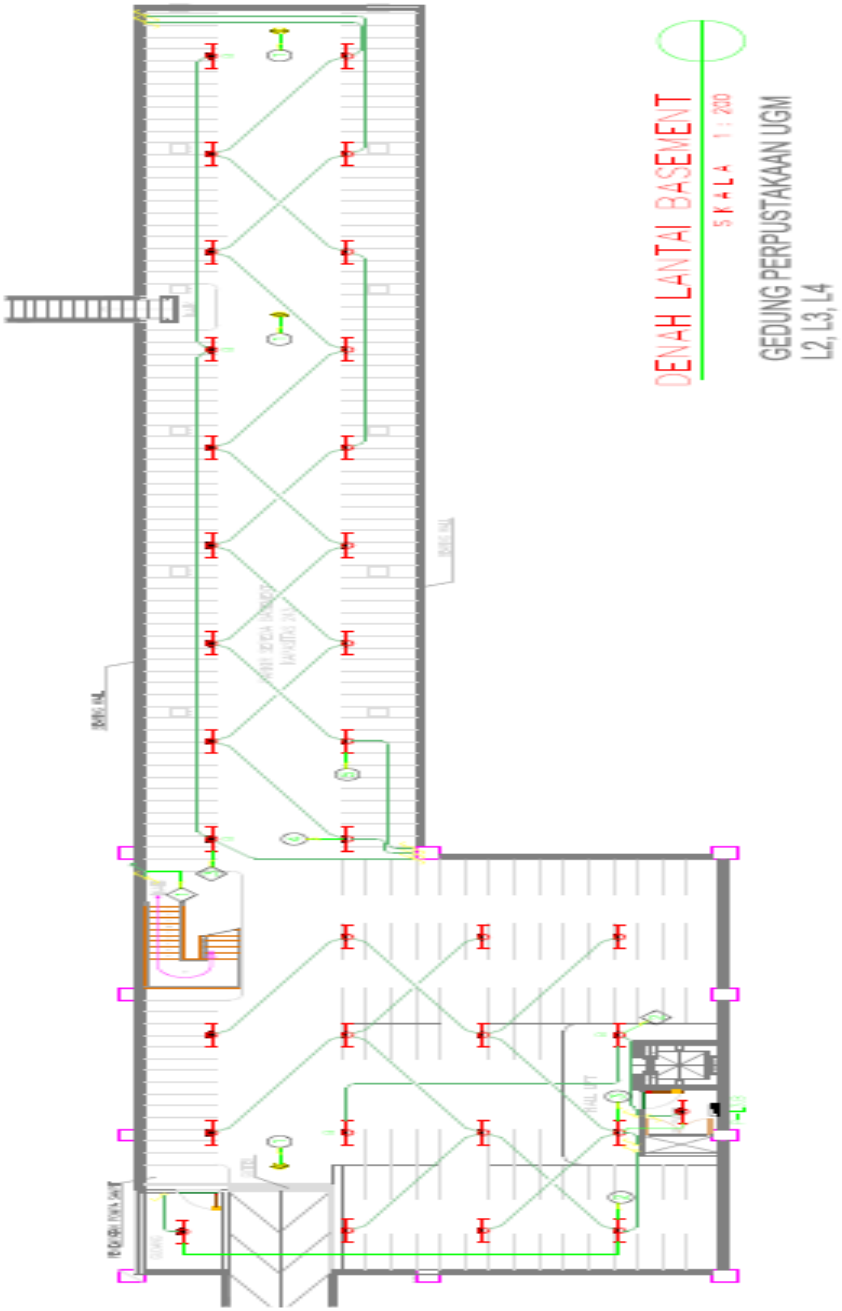


SIMULASI SISTEM ENERGI PADA RANCANGAN GEDUNG L4 PERPUSTAKAAN PUSAT UNIVERSITAS GADJAH MADA DENGAN ENERGYPLUS
YULIA PUSPASARI H, Dr.Eng. M.Kholid Ridwan, S.T., M.Sc.
Universitas Gadjah Mada, 2016 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

LAMPIRAN B

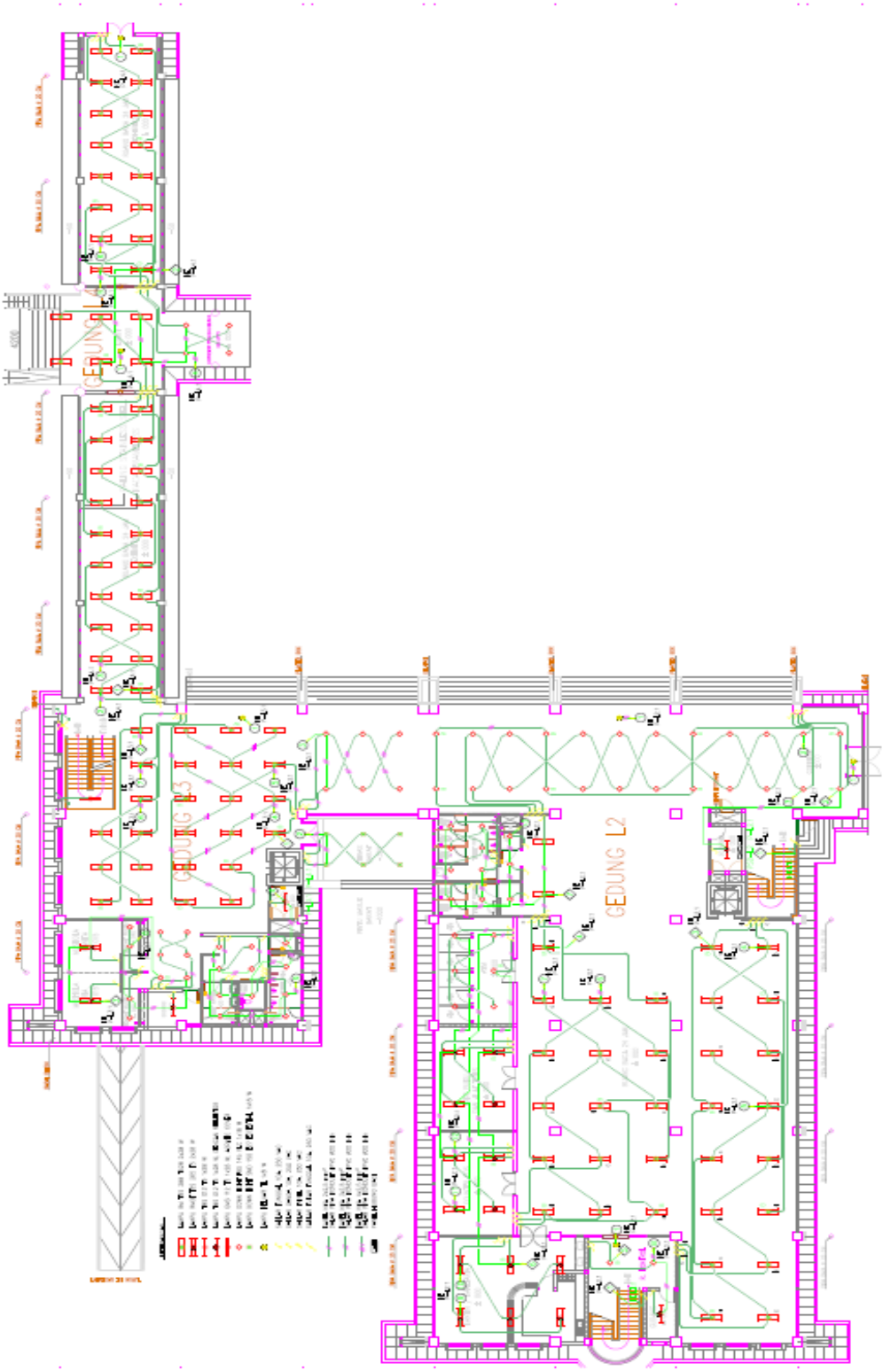
AUTOCAD DRAWING INSTALASI TATA CAHAYA GEDUNG L2, L3 DAN L4 PERPUSTAKAAN PUSAT UNIVERSITAS GADJAH MADA

B.1. INSTALASI TATA CAHAYA BASEMENT



UNIVERSITAS
GADJAH MADA
SIMULASI SISTEM ENERGI PADA RANCANGAN GEDUNG L4 PERPUSTAKAAN PUSAT UNIVERSITAS GADJAH MADA DENGAN ENERGYPLUS
YULIA PUSPASARI H, Dr.Eng. M.Kholid Ridwan, S.T., M.Sc.
Universitas Gadjah Mada, 2016 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

B.2 INSTALASI TATA CAHAYA LANTAI 1



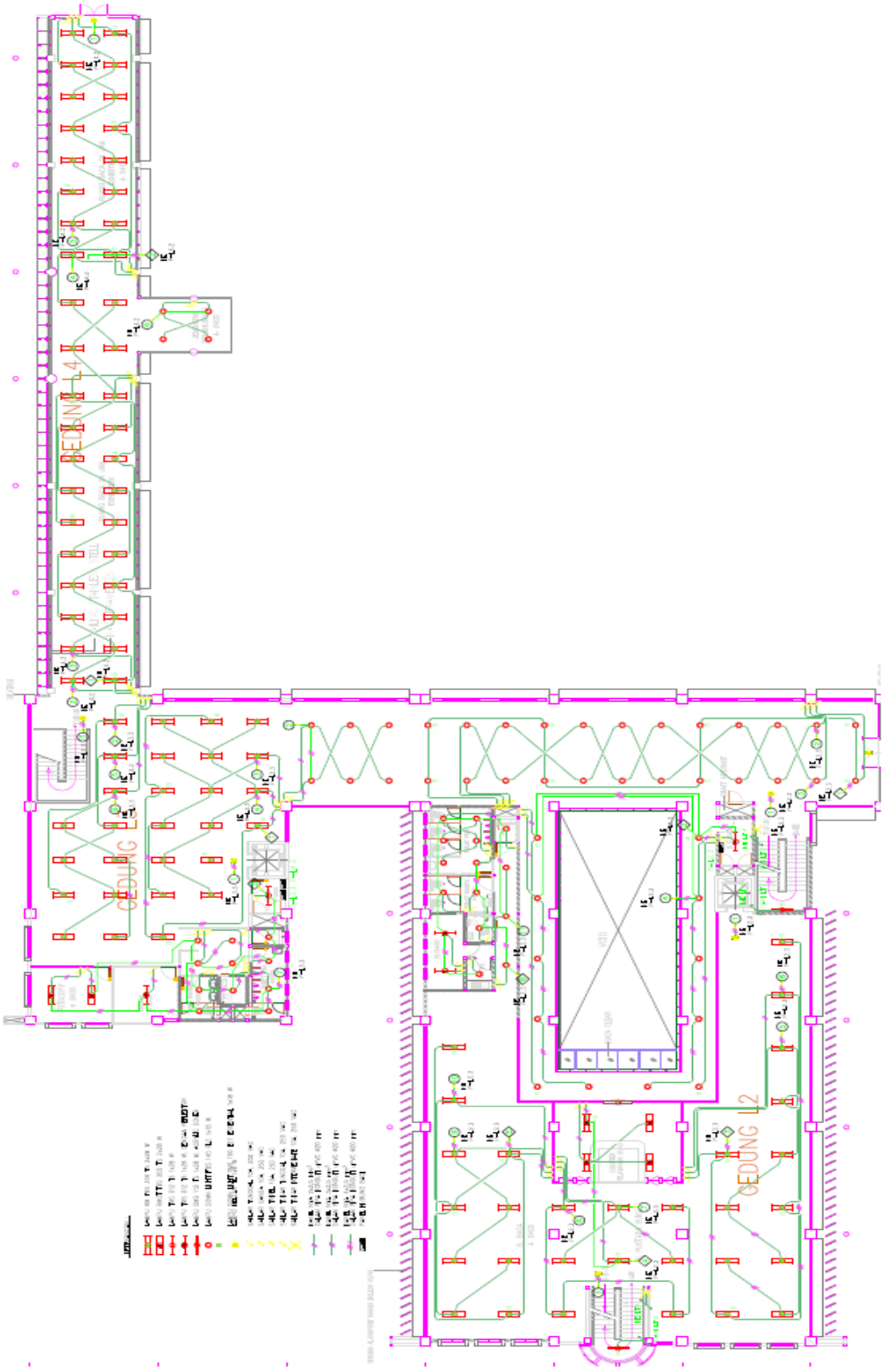
UNIVERSITAS
GADJAH MADA
SIMULASI SISTEM ENERGI PADA RANCANGAN GEDUNG L4 PERPUSTAKAAN PUSAT UNIVERSITAS GADJAH MADA DENGAN ENERGYPLUS
YULIA PUSPASARI H, Dr.Eng. M.Kholid Ridwan, S.T., M.Sc.
Universitas Gadjah Mada, 2016 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

B.3 INSTALASI TATA CAHAYA LANTAI 2



UNIVERSITAS
GADJAH MADA
SIMULASI SISTEM ENERGI PADA RANCANGAN GEDUNG L4 PERPUSTAKAAN PUSAT UNIVERSITAS GADJAH MADA DENGAN ENERGYPLUS
YULIA PUSPASARI H, Dr.Eng. M.Kholid Ridwan, S.T., M.Sc.
Universitas Gadjah Mada, 2016 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

B.4 INSTALASI TATA CAHAYA LANTAI 3

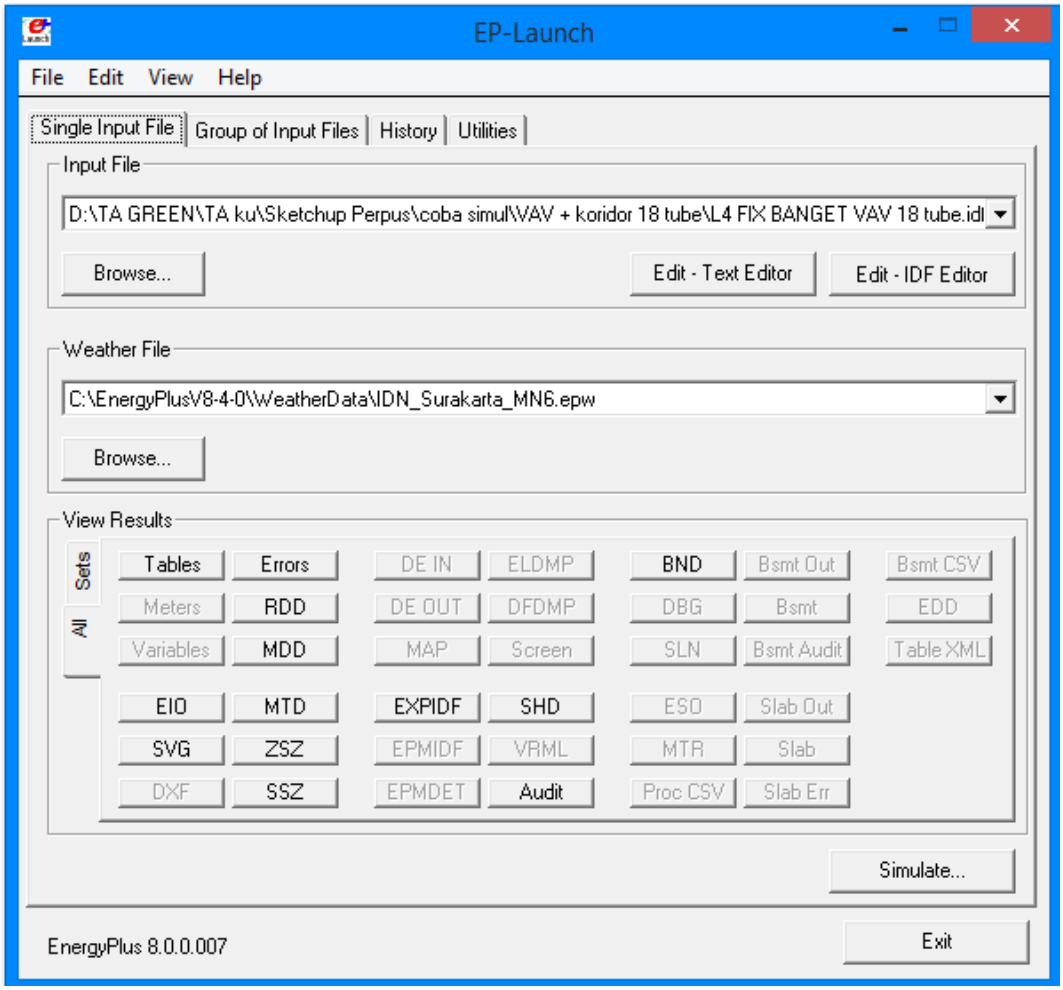


UNIVERSITAS
GADJAH MADA
SIMULASI SISTEM ENERGI PADA RANCANGAN GEDUNG L4 PERPUSTAKAAN PUSAT UNIVERSITAS GADJAH MADA DENGAN ENERGYPLUS
YULIA PUSPASARI H, Dr.Eng. M.Kholid Ridwan, S.T., M.Sc.
Universitas Gadjah Mada, 2016 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

LAMPIRAN C

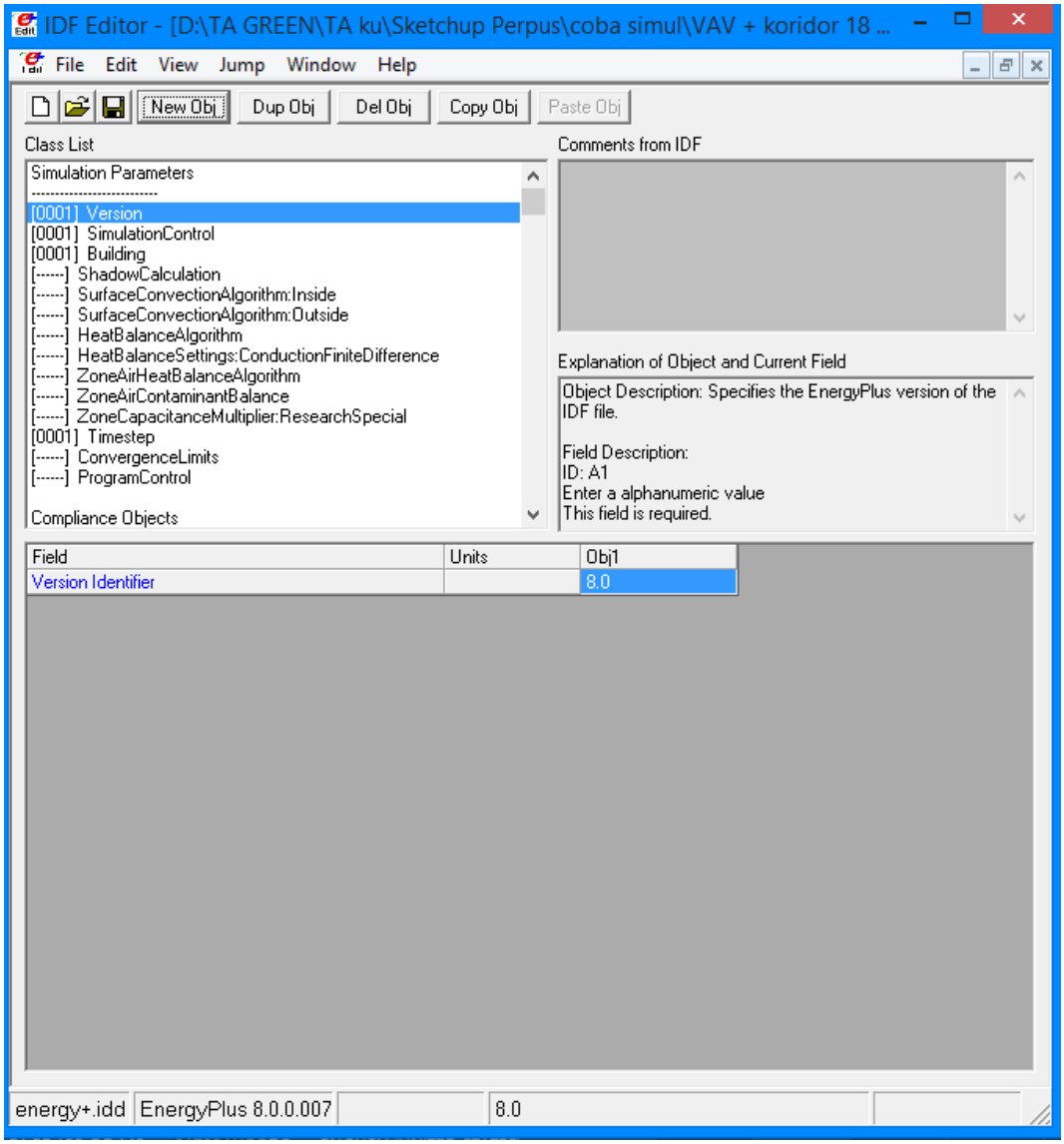
TAMPILAN SIMULASI *ENERGYPLUS*

C.1 Layar *EP-Launch* pada *EnergyPlus*



UNIVERSITAS
GADJAH MADA
SIMULASI SISTEM ENERGI PADA RANCANGAN GEDUNG L4 PERPUSTAKAAN PUSAT UNIVERSITAS GADJAH MADA DENGAN ENERGYPLUS
YULIA PUSPASARI H, Dr.Eng. M.Kholid Ridwan, S.T., M.Sc.
Universitas Gadjah Mada, 2016 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

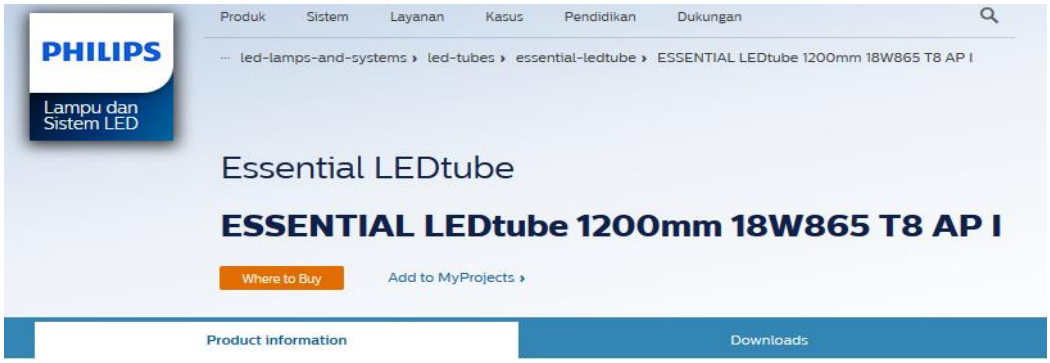
C.2 Layar IDF Editor



SIMULASI SISTEM ENERGI PADA RANCANGAN GEDUNG L4 PERPUSTAKAAN PUSAT UNIVERSITAS GADJAH MADA DENGAN ENERGYPLUS
YULIA PUSPASARI H, Dr.Eng. M.Kholid Ridwan, S.T., M.Sc.
Universitas Gadjah Mada, 2016 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

LAMPIRAN D

SPESIFIKASI LAMPU LED





Product information

Specifications

General Information

Tutup-Dasar	G13 [G13]	**Nominal Masa Pakai (Nom)**	30000 h
Aplikasi Utama	Industrial		

Light Technical

Kode Warna	865 [CCT 6500K]	**Suhu Warna Terkorelasi (Nom)**	6500 K
Beam Angle (Nom)	150 °	**Konsistensi Warna**	6 steps
Fluks Cahaya (Nom)	1600 lm	**Indeks Renderasi Warna (Nom)**	80
Fluks Cahaya (Terukur) (Nom)	1600 lm	**Llmf Di Akhir Masa Pakai Nominal (Nom)**	70 %
Tingkat Sudut Pencahayaan	150 °		

Operating and Electrical

Frekuensi Input	50/60 Hz	**Faktor Daya (Min)**	0.9
Power (Rated) (Nom)	18.0 W	**Voltage (Nom)**	220-240 V
Waktu Mulai (Maks)	0.5 s		
Waktu Pemanasan Hingga 60% Cahaya (Nom)	instant full light		

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
SIMULASI SISTEM ENERGI PADA RANCANGAN GEDUNG L4 PERPUSTAKAAN PUSAT UNIVERSITAS GADJAH MADA DENGAN ENERGYPLUS
YULIA PUSPASARI H, Dr.Eng. M.Kholid Ridwan, S.T., M.Sc.
Universitas Gadjah Mada, 2016 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Temperature

T-Ambien (Maks)	45 °C	**T-Penyimpanan (Min)**	-40 °C
T-Ambien (Min)	-20 °C	**T-Case Maksimum (Maks)**	53 °C
T-Penyimpanan (Maks)	65 °C		

Controls and Dimming

Dapat Diredupkan	TIDAK

Approval and Application

Produk Hemat energi	YA	**Konsumsi energi kWh/1000 jam**	18 kWh
Sesuai Untuk Lampu Aksen	TIDAK		
Label Efisiensi Energi (EEL)	A+		
Tanda Persetujuan	Tanda CE Kepatuhan RoHS Sertifikat KEMA Keur		

Product Data

Kode produk lengkap	871869642522000	**Numerator - Jumlah Per Pak**	1
Nama produk pesanan	ESSENTIAL LEDtube 1200mm 18W865 T8 AP I	**Numerator - Pak per kotak bagian luar**	10