



UNIVERSITAS INDONESIA

**OPTIMASI PEMAKAIAN ENERGI PADA BANGUNAN
KANTOR *EXISTING* DENGAN BANTUAN SOFTWARE
ENERGYPLUS DAN *GENOPT* MENGACU PADA STANDAR
GREEN BUILDING INDONESIA**

SKRIPSI

**ARVIN PRIMO
0806368420**

**FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS INDONESIA
PROGRAM SARJANA
DEPOK
DESEMBER 2011**



UNIVERSITAS INDONESIA

**OPTIMASI PEMAKAIAN ENERGI PADA BANGUNAN
KANTOR *EXISTING* DENGAN BANTUAN SOFTWARE
ENERGYPLUS DAN *GENOPT* MENGACU PADA STANDAR
GREEN BUILDING INDONESIA**

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana teknik

**ARVIN PRIMO
0806368420**

**FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
KEKHUSUSAN PROGRAM PENDIDIKAN SARJANA EKSTENSI
DEPOK
DESEMBER 2011**

ii

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

**Skripsi ini adalah hasil karya saya sendiri,
dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk
telah saya nyatakan dengan benar**

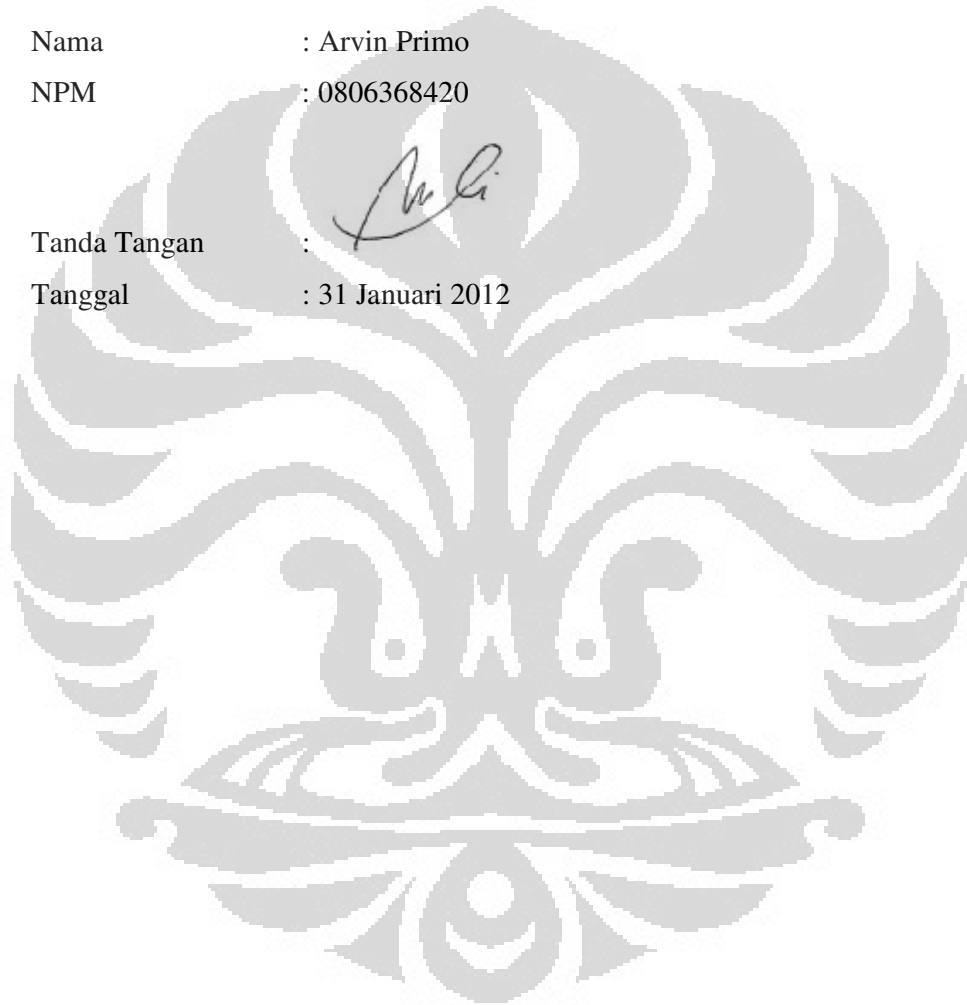
Nama : Arvin Primo

NPM : 0806368420

Tanda Tangan :



Tanggal : 31 Januari 2012



HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :
Nama : Arvin Primo
NPM : 0806368420
Program Studi : Teknik Mesin
Judul Skripsi : Optimasi Pemakaian Energi Pada Bangunan Kantor Existing Dengan Bantuan Software EnergyPlus dan GeoOpt Mengacu Pada Standar Green Building Indonesia

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian dari persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Indonesia

DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Dr.-Ing. Nasruddin, M.Eng ()
Penguji : Dr. Ir. M. Idrus Alhamid ()
Penguji : Dr. Ir. Budihardjo, Dipl.Ing. ()
Penguji : Dr. Ir. Engkos Achmad Kesatri ()

Ditetapkan di : Depok
Tanggal : 30 Januari 2012

KATA PENGANTAR

Puji syukur saya panjatkan kepada Tuhan Yesus Kristus, atas berkat rahmat, dan kasihNya, saya dapat menyelesaikan skripsi ini tepat pada waktunya. Penulisan skripsi ini dilakukan untuk memenuhi salah satu syarat mencapai gelar Sarjana Teknik Jurusan Teknik Mesin pada Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Banyak pihak yang baik secara langsung maupun tidak langsung membantu saya dalam menyelesaikan skripsi ini. Oleh karena itu, ucapan terima kasih sebesar-besarnya kepada:

- 1) Dr. -Ing. Ir. Nasruddin, MEng selaku dosen pembimbing yang telah bersedia meluangkan waktu memberikan pengarahan, diskusi, dan bimbingan serta persetujuan sehingga skripsi ini dapat diselesaikan dengan baik
- 2) Orang tua, Renata, Kendra dan Gita serta seluruh keluarga besar Sihombing dan Tobing yang selalu mendukung dan tak pernah lelah mendoakan setiap hari , setiap malam;
- 3) Dr. Ir. Harinaldi, M.Eng selaku kepala Departemen Teknik Mesin FTUI
- 4) Veronica Tiotama atas semangat, dukungan, kesabaran dan senyum cerianya;
- 5) Yerico Putra sebagai teman skripsi bersama dan seluruh teman-teman Teknik Mesin Ekstensi UI 2008.
- 6) Seluruh karyawan DTM FTUI atas segala kemudahan bagi saya dalam menuntut ilmu di FT UI.

Akhir kata, saya berharap semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi pengembangan ilmu pengetahuan.

Depok, Desember 2011

Penulis

**PERNYATAAN PERSETUJUAN PUB
TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

Sebagai sivitas akademik Universitas Indonesia, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Arvin Primo
NPM : 0806368420
Program Studi : Teknik Mesin Ekstensi
Departemen : Teknik Mesin
Fakultas : Teknik
Jenis karya : Skripsi

demikian pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Indonesia **Hak Bebas Royalti Noneksklusif (*Non-exclusive Royalty-Free Right*)** atas karya ilmiah saya yang berjudul :

**OPTIMASI PEMAKAIAN ENERGI PADA BANGUNAN KANTOR
EXISTING DENGAN BANTUAN SOFTWARE *ENERGYPLUS* DAN
GENOPT MENGACU PADA STANDAR GREEN BUILDING INDONESIA**

berserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan memublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok
Pada tanggal :
Yang menyatakan



(Arvin Primo)

vi

ABSTRAK

Nama : Arvin Primo
Program Studi : Teknik Mesin
Judul : OPTIMASI PEMAKAIAN ENERGI PADA BANGUNAN KANTOR *EXISTING* DENGAN BANTUAN SOFTWARE *ENERGYPLUS* DAN *GENOPT* MENGACU PADA STANDAR GREEN BUILDING INDONESIA

Pemakaian energi pada gedung merupakan sumber terbesar konsumsi energi di Indonesia. *Green Building Comitte Indonesia* (GBCI) memberikan konsep penghematan energi yang berstandar nasional. Audit energi bangunan menggunakan adalah cara untuk mengetahui bagaimana konsumsi energi bangunan aktual dan mencari alternatif untuk mengurangi konsumsinya agar memenuhi kriteria sebagai gedung hemat energi. Salah satu cara melakukan audit energi adalah dengan menggunakan software. Dalam penelitian ini digunakan *software EnergyPlus* dan *GenOpt* yang memiliki keunggulan dibanding software simulasi energi lainnya. Simulasi dilakukan dengan menggunakan sistem pendingin VAV dan *Variable Speed Drive Motor* pada rancangan gedung Kantor yang ada. Dari hasil simulasi tersebut diketahui bahwa dengan menggunakan sistem tersebut, tercapai sistem energi yang lebih efisien dengan penghematan mencapai 22% dan dapat menjaga dengan baik kondisi kenyamanan ruangan pada temperatur 24 – 25 °C dan *relative humidity* antara 50%-70%.

Kata kunci :

Simulasi energi bangunan, *EnergyPlus*, *GenOpt*, optimasi

ABSTRACT

Name : Arvin Primo
Field of Study : Mechanical Engineering
Title : *OPTIMATIZATION OF ENERGY USAGE ON EXISTING OFFICE BUILDING USING ENERGYPLUS AND GENOPT SOFTWARE BASED ON GREEN BUILDING STANDART*

Energy usage in buildings are the largest energy consumption in Indonesia. Green Building Comitte Indonesia (GBCI) offering the concept of energy saving or energy efficient base on national standard. Energy audits of buildings using the simulation software is one of the way to find out how the building energy consumption and find alternatives to reduce the energy consumption of its buildings to meet the criteria as energy-efficient buildings. This study used the EnergyPlus and GenOpt software which has more advantage then the other energy simulation software. The simulation will use VAV combined with Variable Speed Drive Motor in cooling system of the Office building. From the simulation results can be known that by using above system, higher energy efficiency can be achieved and the system can maintain good indoor comfort conditions at the temperature of 25 °C and relative humidity between 50% -70%

Key word :

Building energy simulation, EnergyPlus, GenOpt, Optimization

DAFTAR ISI

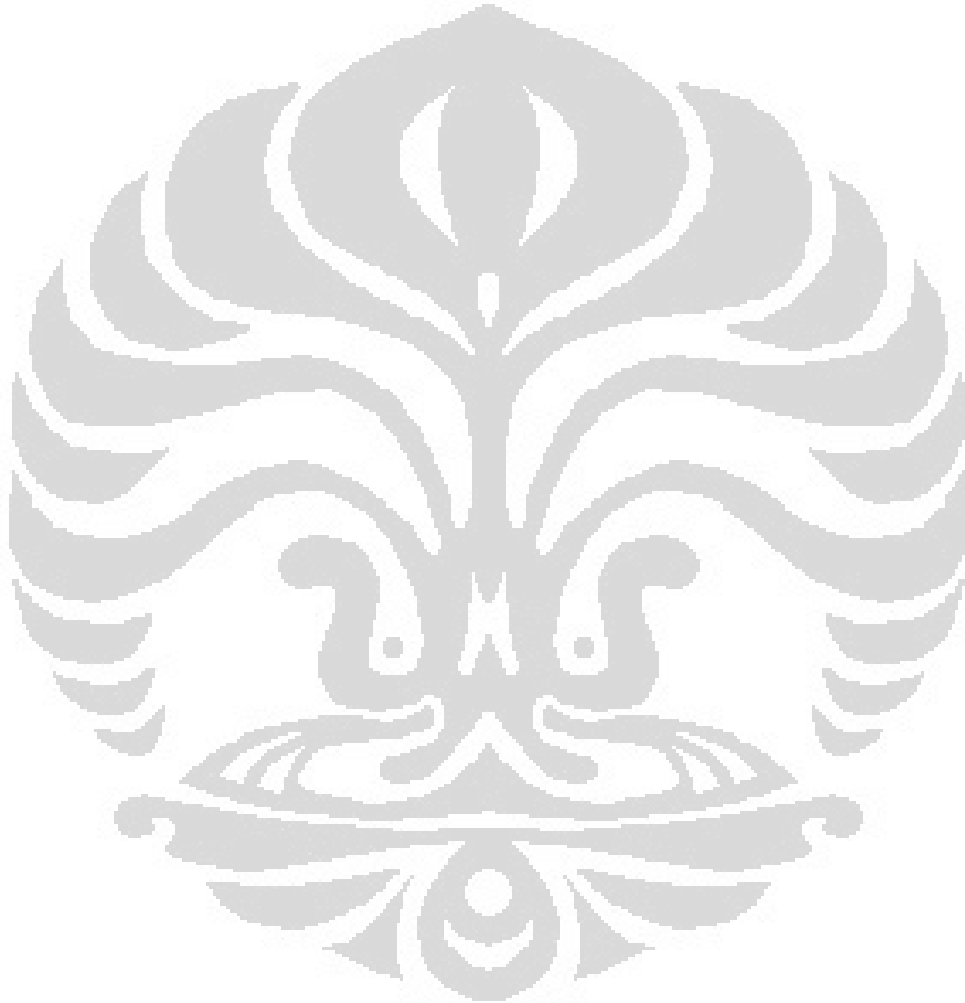
SKRIPSI.....	i
UNIVERSITAS INDONESIA	ii
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS	iii
HALAMAN PENGESAHAN	iv
KATA PENGANTAR	v
PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI.....	vi
TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS	vi
ABSTRAK	vii
<i>ABSTRACT</i>	viii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR ISTILAH DAN SATUAN	xiv
BAB 1	1
PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Pembatasan Masalah	3
1.5 Metodologi Penelitian	3
1.6 Sistematika Penulisan	4
BAB 2	6
TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 <i>Green Building</i>	6
2.1.1 Definisi dan Tujuan <i>Green Building</i>	6
2.1.2 Standar <i>GreenBuilding</i>	6
<i>Green Building Comitte Indonesia (GBCI)</i>	6
<i>Building And Construction Assosiation (BCA)</i>	7
2.2 <i>Audit Energi Bangunan</i>	7
2.3 <i>EnergyPlus</i>	8
2.3.1 Menjalankan <i>EnergyPlus (Running EnergyPlus)</i>	10
2.3.2 Hasil Simulasi (<i>Simulation Results</i>)	11
2.3.3 Skema Metode Penggunaan <i>EnergyPlus</i>	12
2.3.4 <i>EnergyPlus Input Data File Editor (IDF Editor)</i>	15
2.3.5 Parameter di dalam <i>EnergyPlus</i>	16
2.4 <i>Google SketchUp</i>	25
2.5 <i>GenOpt</i>	26
2.5.1 Menjalankan Simulasi (<i>Simulation Running</i>)	27
2.5.2 Hasil Simulasi (<i>Simulation Results</i>)	28
2.6 Sistem Tata Udara Pada Bangunan	28
2.5.2 .1 <i>VAV Air Handling Unit</i>	32
2.5.2 .2. Koil Pendingin (<i>Cooling Coil</i>)	33
2.5.2 .3. Kipas (<i>Blower / fan</i>).....	34
2.5.2 .4. Penyaring Udara (<i>filter</i>)	35

2.5.2 .5 VAV Terminal Unit.....	36
2.5.2 .6 Sistem Distribusi Udara (Air Distribution).....	36
2.5.2 .7 Chiller Water System.....	37
BAB 3	39
AUDIT ENERGI BANGUNAN DENGAN SIMULASI <i>ENERGYPLUS</i> DAN <i>GENOPT</i>	39
3.1 Deskripsi Bangunan	39
3.2 Data dan Parameter Bangunan.....	41
3.2 .2 Material dan Konstruksi Bangunan.....	44
3.2 .3 Kondisi Indoor	45
3.2 .4 Schedule Occupancy.....	45
3.2 .5 Building Space Type data	47
3.2 .6 People Activity schedule	49
3.2 .7 Zona yang dikondisikan dan tidak dikondisikan.....	50
3.2 .8 Tarif dasar listrik	50
3.3 Optimasi Energi Menggunakan <i>GenOpt</i>	52
3.4 Simulasi Pengkondisian Udara Menggunakan <i>EnergyPlus</i>	52
3.4 .1 HVAC Template – Ideal Load Air System.....	52
3.4 .2 HVAC Template – VAV system.....	53
BAB 4	56
HASIL SIMULASI DAN ANALISA.....	56
4.1 Hasil Optimasi <i>GenOpt</i>	56
4.2 Hasil Simulasi HVAC Template – Ideal Load System.....	57
4.1.1 Report: Annual Building Utility Performance Summary	57
4.1.2 Report: Input Verification and Results Summary	58
4.1.3 Report: Demand End Use Components Summary	59
4.1.4 Report: Climatic Data Summary.....	60
4.1.5 Report: Tariff Report.....	60
4.2 Hasil Simulasi HVAC Template –HVAC Template VAV system	60
4.2.1 Report: Annual Building Utility Performance Summary	61
4.2.2 Report: Demand End Use Components Summary	62
4.2.3 Report: Equipment Summary	63
4.2.4 Report: HVAC Sizing Summary	64
4.2.5 Report: Tariff Report.....	64
4.3 Envelope Summary	65
4.4 Grafik Temperatur dan RH.....	66
4.4.1 Zone Mean Air Temperature.....	67
4.4.2 Relative Humidity.....	69
4.5 Analisa Hasil Simulasi	70
BAB 5	73
KESIMPULAN DAN SARAN	73
5.1 Kesimpulan.....	73
5.2 Saran.....	74
DAFTAR PUSTAKA	75

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Diagram Alir Simulasi Energi pada Bangunan	8
Gambar 2.2 Gambaran umum sistem <i>EnergyPlus</i>	9
Gambar 2.3 Elemen <i>internal EnergyPlus</i>	10
Gambar 2.4 Gambar layar <i>EP-Launch</i>	11
Gambar 2.5 Status selesai simulasi.....	11
Gambar 2.7 Layar <i>ID- Editor</i>	16
Gambar 2.8 layar Google Sketchup 7 Pro.....	26
Gambar 2.9 <i>Skema Umum GenOpt</i>	26
Gambar 2.10 layar <i>GenOpt</i>	28
Gambar 2.11 Grafik zona kenyamanan berdasarkan <i>ANSI/ASHRAE Standars 55-2004</i>	30
Gambar 2.12 Diagram psikometrik proses pendinginan udara ruangan.....	31
Gambar 2.13 Komponen sistem VAV	31
Gambar 2.14 Skema sistem VAV <i>single duct, multiple zone</i>	32
Gambar 2.15 <i>Air Handling Unit (AHU)</i>	33
Gambar 2.16 <i>Cooling Coil</i>	33
Gambar 2.17 Jenis jenis kipas berdasarkan peletakannya	35
Gambar 2.18 Jenis – jenis <i>filter</i>	35
Gambar 2.19 Jenis jenis <i>VAV Terminal Unit</i>	36
Gambar 2.20 Skema sistem <i>ducting</i>	37
Gambar 2.21 Jenis jenis <i>Chiller</i>	37
Gambar 3.1 Lokasi gedung XYZ dilihat menggunakan Google Earth.....	39
Gambar 3.2 Gambar 3D gedung Kantor XYZ menggunakan <i>Sketchup+OpenStudio</i> (a)tampak depan , (b)tampak depan serong kanan, (c)tampak belakang serong kiri	40
Gambar 3.3 layar <i>IDF Editor</i> untuk <i>Zone</i>	41
Gambar 3.4 Layar <i>IDF Editor</i> untuk <i>building object</i>	42
Gambar 3.5 Layar <i>IDF Editor</i> untuk <i>SizingPeriod:DesignDay</i>	43
Gambar 3.6 Layar <i>IDF Editor</i> untuk	44
<i>SiteGroundtemperature: BuildingSurface</i>	44
Gambar 3.7 Layar <i>IDF Editor</i> untuk <i>Material</i>	44
Gambar 3.8 Layar <i>IDF Editor</i> untuk <i>Construction</i>	45
Gambar 3.9 Grafik <i>Schedule Occupancy (Revit Autodesk)</i>	46
Gambar 3.10 layar <i>IDF Editor</i> untuk <i>people object</i>	48
Gambar 3.11 layar <i>IDF Editor</i> untuk <i>Lights object</i>	48
Tabel 3.3 <i>luminaire configuration</i>	49
Gambar 3.12 layar <i>IDF Editor</i> untuk <i>Electric:Equipment object</i>	49
Gambar 3.13 layar <i>IDF-Editor UtilityCost : Tariff</i> dan <i>UtilityCost:ChargeSimple</i>	51
Gambar 3.14 Parameter Input yang akan di variasikan	52
Gambar 3.15 Output yang akan di optimasi.....	52
Gambar 3.16 Layar <i>IDF Editor HVAC Template Ideal Load System</i>	53
Gambar 3.17 Layar <i>IDF Editor</i> untuk <i>HVAC Template:Zone:VAV object</i>	54

Gambar 3.18 Layar <i>IDF Editor</i> untuk HVAC Template:System:VAV object.....	54
Gambar 3.19 Layar <i>IDF Editor</i> untuk HVAC Template:Plant;ChillerWaterLoop object.....	54
Gambar 3.20 Layar <i>IDF Editor</i> untuk HVAC Template:Plant:Chiller object.....	54
Gambar 4.1 Layar <i>IDF Editor</i> untuk HVAC Template:Plant:Tower object.....	56
Gambar 4.2 Grafik temperatur udara lingkungan (<i>outdoor air temperature</i>).....	67
Gambar 4.3 Grafik <i>zone mean air temperature VRF system (a) annual, (b) daily</i>	69
Gambar 4.4 Grafik RH VAV system (a) annual, (b) daily.....	70



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Jenis-jenis permukaan (surface) dan kategorinya	13
Tabel 2.2 Elemen konstruksi bangunan berdasarkan ASHRAE 2005 HOF_ material dataset	14
Tabel 2.3 Contoh <i>internal gain</i> pada suatu zona. (<i>gain type</i> : jenis beban, <i>size</i> : beban puncak yang terjadi , <i>schedule</i> : jadwal persentase pembebanan yang terjadi setiap jam setiap hari)	14
Tabel 2.4 Jenis jenis kondisi daerah	17
Tabel 2.5 Standar temperatur dan RH kondisi nyaman	29
Tabel 3.1 Ringkasan kondisi cuaca di Depok	42
Tabel 3.2 Beberapa jenis <i>Building Space Type Data</i> (<i>Revit Autodesk</i>)	47
Tabel 3.4 <i>Heat Gain People Activity</i> (ASHRAE Fundamental Handbook 2009)	50
Tabel 3.5 Tarif dasar listrik 2010	51
Tabel 4.1 Hasil Optimasi <i>GenOpt</i>	56
Tabel 4.2 Luas bangunan	57
Tabel 4.3 Total dan distribusi energi pada <i>Ideal Load System</i>	58
Tabel 4.4 <i>Zone summary</i>	59
Tabel 4.5 Data iklim – <i>DesignDay Singapura Ann Cooling 1 % Condns DB-MWB</i>	60
Table 4.6 Total dan distribusi konsumsi energi pada <i>Optimized system</i>	61
Tabel 4.7 <i>Demand component summary Unitary system dan VRF system</i>	62
Tabel 4.8 <i>Equipment summary VRF system : Central plant (tower & chiller) and Pump</i>	63
Tabel 4.9 <i>HVAC Sizing summary : Zone cooling</i>	64
Tabel 4.10 Biaya energi per bulan	64
Tabel 4.11 WWR Gedung	65
Tabel 4.12 Detail Selubung Bangunan	66
Tabel 4.13 Detail Fenestrasi	66
Tabel 4.14 Perbedaan konsumsi energi untuk masing-masing sistem pendingin .	70
Tabel 4.15 Perbedaan biaya <i>annual</i> setiap sistem pendingin yang digunakan	72

DAFTAR ISTILAH DAN SATUAN

<i>Quantity</i>	<i>Unit</i>	<i>Abbreviation</i>
<i>angular degrees</i>	<i>degree</i>	deg
<i>Length</i>	<i>meter</i>	m
<i>Area</i>	<i>square meter</i>	m ²
<i>Volume</i>	<i>cubic meter</i>	m ³
<i>Time</i>	<i>seconds</i>	s
<i>frequency</i>	<i>Hertz</i>	Hz
<i>tempeature</i>	<i>Celsius</i>	C
<i>absolute temperature</i>	<i>Kelvin</i>	K
<i>temperature difference</i>	<i>Celsius</i>	delta C
<i>Speed</i>	<i>meter per second</i>	m/s
<i>energy (or work)</i>	<i>Joules</i>	J
<i>Power</i>	<i>Watts</i>	W
<i>Mass</i>	<i>kilograms</i>	kg
<i>force</i>	<i>Newton</i>	N
<i>mass flow</i>	<i>kilograms per second</i>	kg/s
<i>volume flow</i>	<i>cubic meter per second</i>	m ³ /s
<i>pressure</i>	<i>Pascals</i>	Pa
<i>pressure diffenernce</i>	<i>Pascals</i>	Pa
<i>specific enthalpy</i>	<i>Joules per kilogram</i>	J/kg
<i>density</i>	<i>kilograms per cubic meter</i>	kg/m ³
<i>heat flux</i>	<i>Watts per square meter</i>	W/m ²
<i>specific heat</i>	-----	J/kg-K
<i>conductivity</i>	-----	W/m-K
<i>Diffucity</i>	-----	M ² /s
<i>heat transfer coefficient</i>	-----	W/m ² -K
<i>R-value</i>	-----	m ² -K/W
<i>heating or cooling capacity</i>	<i>Watts</i>	W
<i>electric potential</i>	<i>Volts</i>	V
<i>electric current</i>	<i>Ampere</i>	A
<i>illuminace</i>	<i>lux</i>	lx
<i>luminous flux</i>	<i>lumen</i>	lm
<i>luminous intensity</i>	<i>condelas</i>	cd

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Isu Global Warming saat ini menjadi perhatian sebagian besar masyarakat dunia saat ini. Salah satu penyebabnya adalah emisi karbon dioksida dari pembakaran bahan bakar fosil. Efek dari Global Warming itu sendiri sudah dapat dirasakan belakangan ini. Beberapa ilmuwan percaya, anomali iklim yang terjadi belakangan ini adalah salah satu akibat dari Global Warming. Untuk meminimalisasi efek tersebut, dunia menyepakati untuk mengurangi efek rumah kaca, dengan mengefisienkan energi. Hal ini tertuang dalam Protokol Kyoto

Indonesia, salah satu negara yang ikut dalam perjanjian Protokol Kyoto, sudah mulai menunjukkan keseriusannya dalam mengefisienkan penggunaan energinya. Hal ini terbukti dengan adanya Peraturan Pemerintah dan Instruksi Presiden tahun 2011.

Belakangan ini ramai dibicarakan mengenai *green building* yaitu sebuah predikat yang diberikan kepada sebuah bangunan yang hemat energi dan memenuhi beberapa kriteria lainnya. Konsep *green building* dapat diterapkan pada bangunan baru ataupun pada bangunan lama (sudah berdiri). Bangunan yang akan dibangun harus mengikuti kriteria-kriteria tertentu untuk mendapatkan sertifikat *green building*. Sedangkan bangunan lama, harus bisa melakukan efisiensi dalam penggunaan energi dan melakukan peningkatan parameter-parameter lainnya untuk bisa mendapatkan sertifikat *green building* [3].

Green building meliputi hal-hal seperti efisien dalam penggunaan energi, efisien dalam penggunaan air, manajemen limbah dan minimalisasi limbah, dan kualitas lingkungan di dalam gedung. Dengan menerapkan konsep *green building* akan memberikan beberapa keuntungan bagi pemilik gedung yaitu biaya operasi dan perawatan gedung yang rendah karena penggunaan energi dan air yang efisien, kualitas lingkungan di

dalam gedung yang lebih baik dan meningkatkan produktifitas pekerja, potensial yang lebih tinggi untuk dihuni, dan dikenal sebagai pihak yang peduli terhadap kelestarian lingkungan.

Seperti yang dijelaskan diatas, predikat *green building* diperoleh terutama dari pemakaian energi yang efisien. Salah satu cara mengetahui pemakaian energi pada bangunan yaitu dengan menggunakan software simulasi *EnergyPlus*. *EnergyPlus* adalah sebuah software simulasi pemakaian energi pada gedung dari departemen energi Amerika Serikat. Dengan software ini kita bisa melakukan perubahan-perubahan pada gedung seperti material gedung dan sistem tata udara gedung untuk mendapatkan nilai pemakaian energi yang paling efisien.

Namun, untuk bangunan yang sudah ada, penggantian dari alat-alat dan material gedung, belum tentu menjadi pilihan yang tepat, mengingat cost daripada penggantian alat tersebut belum tentu layak dilakukan oleh pengelola gedung, oleh karena itu diperlukan optimasi dari sistem energi, yang dapat dilakukan dengan lebih sederhana melalui program *GenOpt*. *GenOpt* adalah software optimasi energi generik yang bekerja dengan memanfaatkan software simulasi energy lain yang memiliki input dan output berupa file teks biasa (.txt). Dengan demikian, diharapkan gedung yang sudah berdiripun dapat melakukan penghematan energi dengan biaya yang lebih layak guna mendapatkan sertifikat green building.

1.2 Perumusan Masalah

Gedung Kantor XYZ, yang terletak di kota Makassar berdiri sejak tahun 2009. Gedung ini terdiri dari 15 lantai, 1 basement dan 1 rooftop. Gedung Kantor XYZ yang diharapkan menjadi gedung hemat tentu memerlukan pembuktian. Pembuktian tersebut salah satunya dilakukan simulasi penggunaan energi pada gedung tersebut dengan menggunakan software *EnergyPlus*. Simulasi berdasarkan pada kondisi nyata gedung tersebut baik material yang digunakan maupun sistem pengkondisian udara yang diterapkan.

Setelah simulasi dengan kondisi gedung yang sebenarnya, kemudian dilakukan optimasi pada beban infiltrasi dan tingkat pencahayaan alami untuk menemukan konfigurasi yang paling tepat. Setelah ditemukan beban konfigurasi selubung bangunan yang optimal, barulah simulasi dilanjutkan pada pembaharuan sistem pengkondisian udara yang memiliki efisiensi lebih tinggi.

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mensimulasi penggunaan energi pada gedung XYZ dalam periode satu tahun yang difokuskan dari sistem selubung dan HVAC-nya. Kemudian ditinjau dari segi ekonominya serta memberikan rekomendasi-rekomendasi agar bangunan tersebut memenuhi ketentuan sebagai bangunan hemat energi.

1.4 Pembatasan Masalah

Pembatasan masalah pada penelitian ini meliputi :

1. Menggambar desain gedung Kantor XYZ menggunakan program *drawing 3D*. Dalam hal ini digunakan *Google SketchUp 7*
2. Melakukan input data parameter untuk simulasi.
3. Melakukan optimasi *Shading Coeficient*, Orientasi, dan *Daylighting* dengan *GenOpt*
4. Melakukan simulasi penggunaan energi pada gedung dengan memakai sistem pengkondisian VAV kemudian dilengkapi dengan *Variable Speed Drive Motor* pada pompa.
5. Melakukan analisa perbandingan sistem pengkondisian udara yang ada pada bangunan dengan hasil simulasi.
6. Memberikan rekomendasi optimasi pengkondisian udara yang sesuai untuk gedung Kantor XYZ.

1.5 Metodologi Penelitian

Dalam penelitian ini, metodologi yang dilakukan adalah sebagai berikut :

Universitas Indonesia

1. Studi Literatur

Langkah ini adalah proses pembelajaran berupa pencarian informasi dari materi yang terdapat dalam buku-buku, jurnal, maupun situs-situs internet yang terkait dengan penelitian yang dilakukan.

2. Survey dan Wawancara

Langkah ini dilakukan untuk mendapatkan informasi detail seputar gedung yang akan dibangun serta apa saja yang akan digunakan didalamnya.

3. Penggambaran Ulang

Proses ini dilakukan untuk memvisualisasikan desain gedung ke dalam bentuk tiga dimensi agar dapat dilakukan simulasi energinya.

4. *Input data*

Sebagaimana simulasi, harus ada data-data dan parameter yang diinputkan ke dalam program.

5. *Running* Simulasi

Running dilakukan setelah semua data-data yang diperlukan telah diinput (metode trial and error).

6. Analisa dan Kesimpulan Hasil Simulasi

Melakukan analisa terhadap hasil dari simulasi energi tersebut dan kemudian melakukan beberapa perbandingan untuk menentukan penggunaan sistem pendingin ruangan yang efektif dan efisien untuk bangunan tersebut.

1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan skripsi ini dilakukan menurut bab-bab sebagai berikut :

BAB 1 PENDAHULUAN

BAB I menjelaskan tentang latar belakang diadakannya penelitian dan dibuatnya skripsi ini, perumusan masalah, tujuan penelitian, pembatasan masalah, metodologi penelitian, serta sistematika penulisan.

BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini menjelaskan tentang perkembangan gedung hemat energi (*green building*), software *EnergyPlus* yang akan digunakan dan berbagai teori yang mendasari penelitian tentang sistem pendinginan ruangan yang ada sekarang.

BAB 3 AUDIT ENERGI PADA BANGUNAN DENGAN SIMULASI ENERGYPLUS DAN GENOPT

Bab ini menjelaskan langkah-langkah yang dilakukan dalam penelitian, deskripsi gedung, data-data dan parameter yang digunakan serta pemilihan sistem pengkondisian udara untuk dilakukan simulasi.

BAB 4 HASIL SIMULASI DAN ANALISA

Bab ini menjelaskan bagaimana simulasi tersebut dijalankan serta bagaimana hasil yang didapatkan. Juga dijelaskan apa saja output dari hasil simulasi energi ini serta bagaimana pembacaan hasilnya.

BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN

Pada bab ini akan diberikan kesimpulan yang dapat diambil dari seluruh proses simulasi sampai hasil analisa yang didapat sehingga dapat ditelurkan suatu kesimpulan dan rekomendasi terhadap rencana pembangunan gedung baru tersebut.

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 *Green Building*

2.1.1 Definisi dan Tujuan *Green Building*

Green Building atau bangunan hijau merupakan suatu konsep bangunan yang mengacu pada struktur dan menggunakan proses yang bertanggung jawab terhadap lingkungan serta sumber daya yang efisien di setiap siklus yang ada pada suatu bangunan, mulai dari segi *design*, konstruksi, operasi, pemeliharaan, renovasi dan pembongkaran [13]. Konsep ini diperluas dengan tetap memperhatikan aspek aspek ekonomi, utilitas, daya tahan dan juga kenyamanan.

Saat ini berbagai perkembangan teknologi terus di upayakan guna melengkapi dan menunjang konsep bangunan hijau tersebut. Peranan berbagai ilmu pengetahuan sangat dibutuhkan, tidak hanya dari segi arsitektur dan bangunannya saja tetapi juga berkaitan dengan *mechanical* dan *electrical* yang dapat digunakan pada sebuah gedung.

Tujuan umum dari konsep *green building* ini adalah perancangan bangunan yang dapat mengurangi dampak keseluruhan dari lingkungan yang dibangun pada kesehatan manusia dan lingkungan alam oleh :

- Efisiensi penggunaan energi, air, dan sumber daya lain
- Kesehatan penghuni
- Pengurangan limbah, polusi dan degradasi lingkungan

2.1.2 Standar *GreenBuilding*

Untuk menetapkan sebuah gedung adalah gedung *green building* terlebih dahulu dilakukan sertifikasi bangunan tersebut. Pihak yang melakukan sertifikasi diantaranya adalah Amerika Serikat - LEED, Singapura - Green Mark, Indonesia - Greenship

Green Building Comitte Indonesia (GBCI)

Green Building Comitte Indonesia adalah asosiasi bangunan *green building* untuk Negara Indonesia. Berikut adalah persyaratan gedung yang dapat dilakukan sertifikasi bangunan *green building*.

- *Energy Efficiency Indeks*
 - Gedung perkantoran : 250 kWh/m²
 - Mall : 450 kWh/m²
 - Hotel : 350 kWh/m²
- Pengaturan temperatur A/C area
 - Temperatur antara 24 °C – 26 °C
 - RH antara 50% - 70 %

Building And Construction Assosiation (BCA)

Building and Construction Asosiation (BCA) yang merupakan asosiasi bangunan green building yang berpusat di Singapura. Berikut adalah persyaratan gedung yang dapat dilakukan sertifikasi bangunan green building [15].

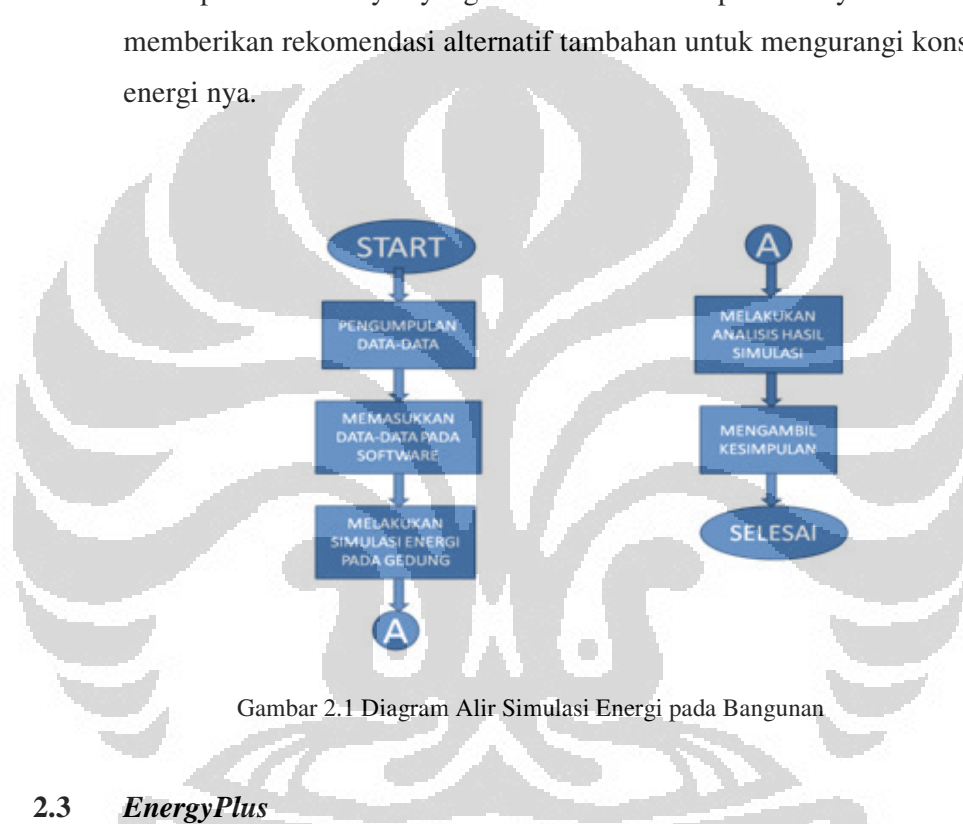
- *Energy Efficiency Indeks*
 - Kategori bangunan Tropis : <150 kWh/m²
 - Gedung kantor/ perpustakaan/ sekolah : 200 kWh/m²
 - Retail / Mall : 240 kWh/m²
 - Hotel : 300 kWh/m²
 - Rumah Sakit : 400 kWh/m²
- Pengaturan temperatur A/C area
 - Temperatur antara 21 °C – 26 °C
 - RH antara 55% - 70 %

2.2 Audit Energi Bangunan

Audit Energi bangunan adalah suatu teknik yang di pakai untuk menghitung konsumsi energi pada bangunan dan mengenali berbagai cara untuk penghematannya [4]. Maksud dari *audit* energi ini adalah untuk memberikan gambaran profil penggunaan energi untuk selanjutnya dapat digunakan untuk diajukan kepada program sertifikasi seperti *Green Building Certification* atau sejenisnya sehingga dapat diakui sebagai bangunan hemat energi.

Tujuan *Audit* energi bangunan adalah untuk mengetahui besarnya pemakaian energi , mengidentifikasi peluang-peluang penghematan energi dan menghasilkan rekomendasi langkah-langkah penghematan energi yang dapat ditindaklanjuti oleh pihak pengelola gedung dan bangunan.

Dalam simulasi energi ini tujuannya adalah untuk mengetahui bagaimana konsumsi energi tahunan pada gedung sehingga dapat dilihat seberapa besar biaya yang dikeluarkan setiap tahunnya serta dapat memberikan rekomendasi alternatif tambahan untuk mengurangi konsumsi energi nya.



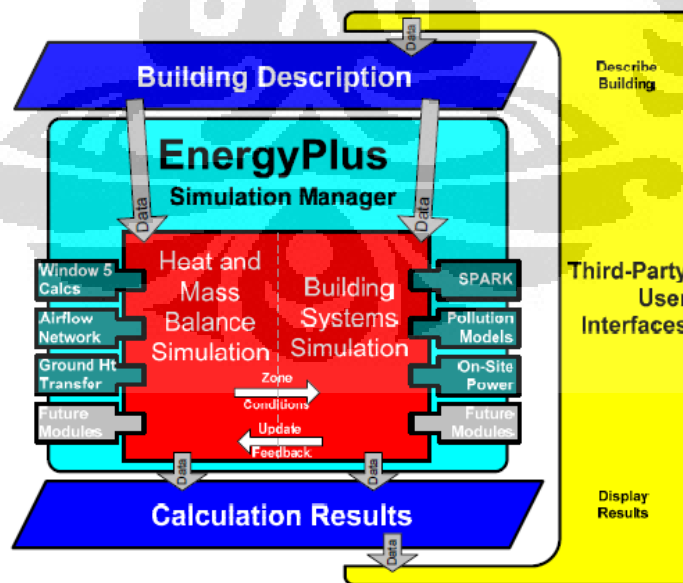
Gambar 2.1 Diagram Alir Simulasi Energi pada Bangunan

2.3 *EnergyPlus*

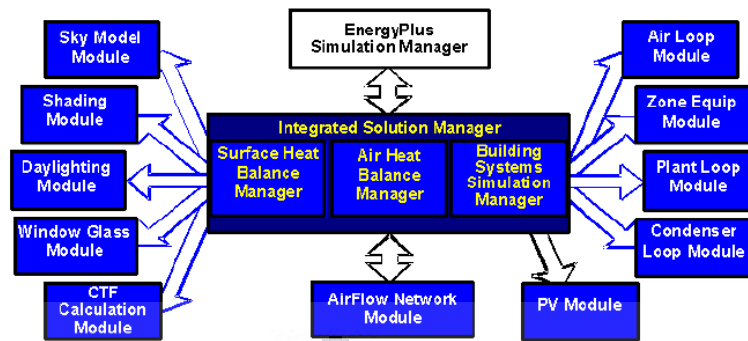
Merupakan suatu program yang berakar dari program BLAST (*Building Loads Analysis and System Thermodynamics*) dan DOE-2 yang telah dikembangkan dan dirilis sejak 1980-an sebagai alat simulasi energi dan beban. Program simulasi ini bertujuan untuk menyesuaikan peralatan HVAC, mengembangkan analisis biaya operasi dan mengoptimalkan kinerja energi pada bangunan. Di mana konsumsi energi pada bangunan merupakan komponen utama penggunaan energi di Amerika, oleh karena itulah *Department Energy of America* mengembangkan program tersebut guna memecahkan masalah penggunaan energi.[1]

Sama halnya dengan program induknya, *EnergyPlus* adalah suatu program yang melakukan simulasi beban termal serta analisis energi berdasarkan deskripsi penggunaan bangunan, serta sistem mekanik – elektrik yang digunakan untuk pengkondisian udara di dalam bangunan. Dengan *EnergyPlus*, selain dapat menghitung beban pemanasan dan pendinginan, juga dapat menghitung kondisi HVAC dan konsumsi energi dari peralatan peralatan yang digunakan pada bangunan. Dapat dikatakan bahwa *EnergyPlus* merupakan program simulasi untuk merancang permodelan 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 di integrasikan dengan program - program lainnya sebagai *Third-Party User Interfaces*, program integrasi ini dapat digunakan untuk melakukan deskripsi bangunan (*building description*) dan juga memvisualisasikan hasil perhitungan (*calculations result*).



Gambar 2.2 Gambaran umum sistem *EnergyPlus*

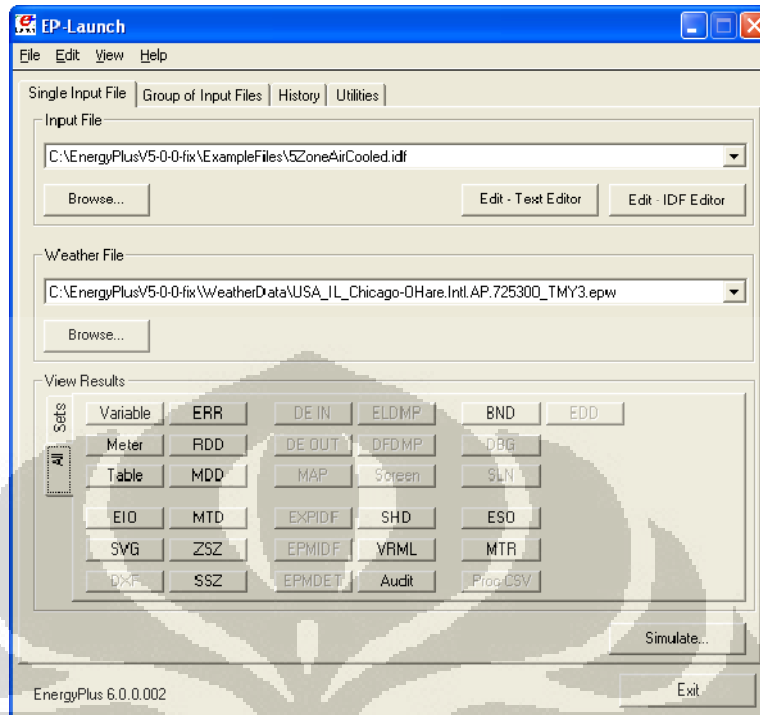


Gambar 2.3 Elemen *internal EnergyPlus*

2.3.1 Menjalankan *EnergyPlus* (*Running EnergyPlus*)

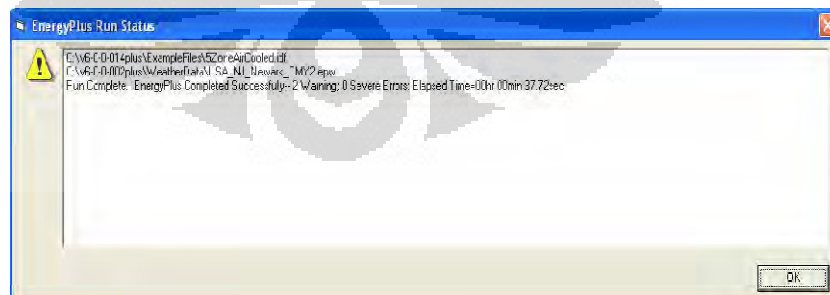
Layaknya semua program simulasi, *EnergyPlus* terdiri dari sebuah *file* eksekusi yang membutuhkan berbagai *input file* yang menggambarkan bangunan yang akan dimodelkan dalam simulasi dan juga keadaan lingkungan sekitarnya. Program ini akan menghasilkan beberapa *file output* yang perlu dijelaskan dan dapat diproses lebih lanjut dalam rangka untuk memahami hasil simulasi. Program *EnergyPlus* ini terdiri dari program simulasi dan program *input file*. Untuk program simulasi dinamakan dengan *EP-launch* sedangkan untuk melakukan *input file* dapat menggunakan notepad (*teks editor*) atau menggunakan *IDF Editor* (*Input Data File Editor*).

EP-Launch merupakan komponen opsional instalasi *Windows* yang dapat digunakan untuk memilih *file* dan menjalankan *EnergyPlus* dengan cara sederhana. Di samping itu, *EP-Launch* dapat membantu membuka *teks editor* untuk *input file* dan *output file*, membuka hasil *output file* dengan beberapa jenis data seperti : *spreadsheet*, *HTML*, *teks editor*, dan juga untuk menampilkan gambar serta laporan *error* yang terjadi dalam simulasi. Seperti yang telah dikatakan bahwa *EP-Launch* merupakan program eksekusi, maka untuk melakukan simulasi yang diperlukan adalah *input file* yang berekstensi berupa *file.idf* dan juga *weather data file* yang berekstensi *file.epw* (data cuaca) kemudian simulasi dapat dilakukan dengan menekan tombol “simulasi”.[1]

Gambar 2.4 Gambar layar *EP-Launch*

2.3.2 Hasil Simulasi (*Simulation Results*)

Setelah simulasi berjalan dengan sukses, akan muncul *status box* hasil *running* simulasi. Status ini memberikan gambaran singkat tentang apakah ada *warning error* (tidak harus diperbaiki), *severe error* (mungkin harus diperbaiki) atau *fatal error* (harus diperbaiki) dalam menjalankan serta waktu yang dibutuhkan untuk menyelesaikan simulasi. Kemudian untuk menampilkan *output file* yang lainnya dapat dipilih dari *EP-Launch*.



Gambar 2.5 Status selesai simulasi

2.3.3 Skema Metode Penggunaan *EnergyPlus*

Langkah 1: Perencanaan

Langkah awal dalam melakukan proses *design* atau merancang adalah mengumpulkan informasi. Adapun informasi yang harus disiapkan sebelum melakukan simulasi adalah sebagai berikut :

- Informasi lokasi dan keadaan iklim cuaca tempat bangunan berada.
- Informasi konstruksi bangunan yang lengkap
- Informasi tentang penerangan (pencahayaan) dan peralatan lain yang digunakan pada bangunan (listrik, gas, dll)
- Informasi tentang jumlah orang dan *occupancy* disetiap area gedung
- Informasi tentang termostatik untuk spesifikasi strategi pengkondisian udara pada bangunan.
- Informasi tentang spesifikasi sistem HVAC yang dapat digunakan serta perangkat – perangkat lainnya (*Boiler, Chiller, Fan, Tower, dan Coil*)

Langkah 2: Membangun “zona” Bangunan

Sebuah permukaan (*surface*) pada bangunan merupakan elemen dasar dalam model bangunan. Dalam pengertian umum, ada dua jenis permukaan yang digunakan di dalam *EnergyPlus* yaitu :

1. Permukaan perpindahan panas (*heat transfer surface*)
2. Permukaan penyimpanan panas (*heat storage surface*)

Zona adalah suatu konsep termal dan bukanlah geometrik. Sebuah zona di definisikan sebagai volume udara pada temperatur yang seragam ditambah semua permukaan perpindahan panas (*heat transfer surface*) dan penyimpanan panas (*heat storage surfaces*) yang terjadi di dalam volume udara tersebut. *EnergyPlus* dapat melakukan perhitungan energi yang dibutuhkan untuk menjaga temperatur tertentu di setiap zona untuk setiap jam setiap harinya , dengan kata lain melakukan keseimbangan panas (*thermal*) pada zona. Oleh karena itu langkah awal yang dilakukan dalam mempersiapkan deskripsi bangunan adalah memecah bangunan ke dalam zona – zona tertentu. [1]

Untuk mendeskripsikan sebuah bangunan menjadi zona – zona tertentu, dapat dilakukan dengan metode – metode dibawah ini :

- Konsep zona 1 – *simple* (sederhana)

Menggambarkan keseluruhan bangunan menjadi satu zona besar karena asumsi bahwa beban total bangunan dapat diperoleh hanya dengan model zona sederhana. Meskipun distribusi bebannya tidak dapat di estimasi dengan menggunakan konsep ini, tetapi besar beban total diperkirakan tidak jauh berbeda dan dapat diestimasi dengan cara yang sederhana.

- Konsep zona 2 – *detailed* (secara detail)

Konsep permodelan yang lebih rinci sehingga dapat menentukan dengan lebih akurat distribusi aktual beban dan energi di dalam bangunan (gedung).

Langkah 3: Membangun Model Bangunan

Langkah selanjutnya adalah mulai membangun model bangunan dengan menggunakan sketsa terlebih dahulu, dan tentu saja menggambar bangunan beserta pembagian zona – zona nya. Berbagai informasi geometrik dan permukaan suatu bangunan sangat dibutuhkan sebelum sebuah model dapat dibangun, diantaranya adalah :

- Menentukan permukaan perpindahan panas (*heat transfer surface*)
- Spesifikasi permukaan bangunan dan sub-permukaan (pintu, jendela dan lainnya)
- Spesifikasi konstruksi dan material permukaan dan sub- permukaan bangunan.
- Menentukan informasi geometry bangunan (contoh : lokasi, *north axis*, dll)

Tabel 2.1 Jenis-jenis permukaan (surface) dan kategorinya

Surface Type	Applicability
BuildingSurface:Detailed	Wall, Roof, Ceiling, Floor
FenestrationSurface:Detailed	Window, Door, Glassdoor
InternalMass	Areas internal to a zone
Shading:Site:Detailed	Shading devices external to the building face (other buildings, trees, etc.)
Shading:Zone:Detailed	Shading devices attached to the building (overhang, fin)

Tabel 2.2 Elemen konstruksi bangunan berdasarkan ASHRAE 2005 HOF_ material dataset.

Type (1)	Name (2)	Material (3)
Wall	Medium Exterior Wall	M01 100mm brick
		I02 50mm insulation board
		F04 Wall air space resistance
		G01a 19mm gypsum board
Window	Double Pane Window	Clear 6MM
		Air 3MM
		Clear 6MM
Partition	Medium/Heavy Partitions	G01a 19mm gypsum board
		M01 100mm brick
		M05 200mm concrete block
		G01a 19mm gypsum board
Partition	Medium Partitions	G01a 19mm gypsum board
		F04 Wall air space resistance
		G01a 19mm gypsum board
Wall	Heavy/Medium Partitions	G01a 19mm gypsum board
		M05 200mm concrete block
		M01 100mm brick
		G01a 19mm gypsum board
Roof	Medium Roof/Ceiling	M14a 100mm heavyweight concrete
		F05 Ceiling air space resistance
		F16 Acoustic tile
Floor	Medium Floor	F16 Acoustic tile
		F05 Ceiling air space resistance
		M14a 100mm heavyweight concrete

Langkah 4: Kompilasi *Data Space Internal Gain*

Orang, lampu, peralatan, infiltrasi udara luar dan ventilasi merupakan suatu beban *internal* untuk zona termal. Beban tersebut dideskripsikan ke dalam *EnergyPlus* sebagai beban *design* atau beban puncak dengan “*schedule*” yang menspesifikasikan fraksi dari beban puncak untuk setiap jamnya.

Tabel 2.3 Contoh *internal gain* pada suatu zona. (*gain type* : jenis beban, *size* : beban puncak yang terjadi, *schedule* : jadwal persentase pembebanan yang terjadi setiap jam setiap hari)

Zone	Gain Type	Size	Schedule
1	People	205	Office occupancy
	Lights	26360 W	Office lighting
	ZoneInfiltration	.75 m ³ /sec	Constant

2.3.4 EnergyPlus Input Data File Editor (IDF Editor)

EnergyPlus memiliki beberapa pilihan dalam meng-input data untuk disimulasikan. Salah satunya adalah dengan menggunakan *IDF-Editor* yang merupakan fitur bawaan dari instalasi *EnergyPlus*. *IDF-Editor* adalah editor sederhana dan cerdas membaca *EnergyPlus Data Dictionary* (EDD) dan memungkinkan penciptaan / revisi *EnergyPlus Input File* (IDF). Selain *IDF Editor*, *Input Data File* juga dapat dilakukan dengan menggunakan *teks editor* seperti “*notepad*”.

Dalam membuat *input file* menggunakan *IDF-Editor*, perlu diketahui komponen komponen yang ada di dalam *IDF Editor* tersebut, yaitu diantaranya :

- Daftar Kelas (*Class List*) / *Group*

Daftar kelas menunjukkan bagaimana *item – item* IDF dikelompokkan. Daftar kelas ini di sertai dengan deskripsi dari *Data dictionary* (IDD).

- *Field*

Daftar ini merupakan variabel – variabel dan parameter – parameter yang ada di setiap daftar kelas IDF. Setiap kelas memiliki beberapa *field* yang dapat di isi sesuai parameter – parameter yang dibutuhkan di dalam simulasi.

- *Object*

Object merupakan daftar parameter yang akan diisikan oleh pengguna *E+*. Parameter yang ada di setiap *field* ini tidak harus di isikan semuanya , namun hanya sebatas yang akan digunakan di dalam simulasi. Jika *field* tersebut kosong (tidak ada *object*) maka di dalam simulasi akan di abaikan.

- c. *Building* : parameter tentang bangunan, mulai dari nama, letak bangunan dari arah utara, daerah lokasi bangunan terhadap pengaruh angin (*terrain*), dan juga bagaimana *solar distribution* nya terhadap bangunan.

Tabel 2.4 Jenis jenis kondisi daerah

Terrain Type Value	Terrain Description
Country	Flat, Open Country
Suburbs	Rough, Wooded Country, Suburbs
City	Towns, city outskirts, center of large cities
Ocean	Ocean, Bayou flat country
Urban	Urban, Industrial, Forest

Ada 5 jenis perlakuan *solar distribution* pada bangunan :

- *MinimalShadowing*
Dianggap tidak ada bayangan dari luar selain dari jendela dan pintu. Semua radiasi matahari yang masuk diasumsikan jatuh ke lantai dan diserap oleh lantai.
- *FullExterior, FullInteriorAndExterior*
Semua bayangan dari luar ikut dihitung, begitu juga radiasi matahari yang masuk dalam ruangan dihitung seperti pada *MinimalShadowing*.
- *FullExteriorWithReflections, FullInteriorAndExteriorWithReflections*
Sama seperti *FullExterior* kecuali pada sinar yang masuk ke zone tidak hanya diserap oleh lantai, namun juga dipantulkan dan diserap oleh dinding, dan benda-benda yang ada di dalam ruangan

- d. *SurfaceConvectionAlgorithm:inside*

- *SimpleCombined*

- *constant value natural convection (ASHRAE)* Algoritma ini menggunakan kekasaran permukaan dan kecepatan angin lokal untuk menghitung koefisien exterior heat transfer
- *TARP*
 - *variable natural convection based on temperature difference (ASHRAE, Walton)*. TARP, atau *Thermal Analisis Program*, merupakan pendahulu penting *EnergyPlus* (Walton1983). Walton mengembangkan model yang komprehensif untuk konveksi eksterior dengan memadukan korelasi dari ASHRAE dan percobaan pelat datar oleh Sparrow et. al. Model ini diimplementasikan pada versi 6 untuk menggunakan area dan nilai perimeter untuk kelompok permukaan yang membentuk fasad atau atap, bukan permukaan tunggal yang dimodelkan.
- *CeilingDiffuser : ACH-based forced and mixed convection correlations for ceiling diffuser configuration with simple natural convection limit.*
- *AdaptiveConvectionAlgorithm*
- e. *SurfaceConvectionAlgorithm:Outside*
 - *SimpleCombined*
 - *TARP*
 - *MoWiTT*
 - *correlation from measurements by Klems and Yazdanian for smooth surfaces* . Model MoWiTT didasarkan pada pengukuran diambil dari *Window fasilitas Mobile Thermal Test (MoWiTT)* (Yazdanian dan Klems 1994). Korelasi berlaku

untuk permukaan vertikal (misalnya kaca jendela) yang sangat halus, di gedung bertingkat rendah

- *DOE-2*
 - *correlation from measurements by Klems and Yazdani for rough surfaces.* Model konveksi DOE-2 merupakan kombinasi dari MoWiTT dan model konveksi BLAST (LBL 1994).
- *AdaptiveConvectionAlgorithm* : *dynamic selection of correlations based on condition*

f. *HeatBalanceAlgorithm*

- *CTF (Conduction Transfer Function)*
- *EMPD (Effective Moisture Penetration Depth with Conduction)*
- *Advanced/Research Usage : CondFD (Conduction Finite Difference)*
- *Advanced/Research Usage : ConFD Simplified*
- *Advanced/Research Usage : HAMT (Combined Heat And Moisture Finite Element)*

g. *ZoneAirHeatBalanceAlgorithm*

- *ThirdOrderBackwardDifference*
Menggunakan pendekatan orde ketiga untuk menyelesaikan persamaan kesetimbangan energi dan uap air
- *AnalyticalSolution*
Menggunakan pendekatan integrasi untuk menyelesaikan persamaan kesetimbangan energi dan uap air
- *EulerMethod*
Menggunakan pendekatan orde pertama untuk menyelesaikan persamaan kesetimbangan energi dan uap air

Universitas Indonesia

- *Group Location – Climate – Weather File*

Mendeskripsikan tentang kondisi ambien (lingkungan) untuk simulasi. Terdiri dari beberapa parameter yang berkenaan dengan lokasi bangunan dan kondisi di sekitar bangunan, keadaan dan informasi cuaca (*weather file*) dan *designday* yang akan digunakan serta bagaimana keadaan temperatur pada tanah (*ground*) tempat lokasi bangunan.

a. *Location*

Terdapat parameter-parameter *object* tentang nama lokasi, letak lintang dan bujur, elevasi dan juga zona waktu.

b. *SizingPeriod:DesignDay*

Parameter ini menggambarkan parameter yang mempengaruhi simulasi “*designday*”. Sering digunakan untuk perhitungan beban atau *sizing equipment*. Dengan menggunakan nilai parameter ini, *EnergyPlus* “membuat” sebuah hari yang penuh dengan data cuaca (temperatur udara, radiasi matahari dll).

c. *RunPeriod*

Parameter ini menggambarkan elemen yang diperlukan untuk membuat simulasi *file* cuaca

d. *RunPeriodControl:SpecialDays*

Parameter ini memungkinkan kita untuk *input* hari-hari yang khusus, misalnya hari libur nasional sehingga akan berpengaruh terhadap perhitungan beban

e. *Site:GroundTemperature:BuildingSurface*

Parameter ini berisikan data temperatur tanah selama satu tahun. Namun untuk simulasi dapat juga menggunakan asumsi bahwa nilai *Ground Temperature* adalah selisih -2 dari temperatur ruangan yang dikondisikan.

- *Group Schedules*

Memungkinkan kita untuk menentukan penjadwalan berbagai *item* seperti kepadatan hunian, penerangan, kontrol termostatik, dan aktivitas hunian yang tentu saja akan mempengaruhi distribusi pembebanan pada bangunan saat simulasi. Penjadwalan di dalam *EnergyPlus (schedule)* terdiri dari tiga bagian : deskripsi harian, deskripsi mingguan dan deskripsi tahunan.

a. *ScheduleTypeLimits*

Parameter ini digunakan untuk memvalidasi bagian-bagian dari *Schedule* yang lain. Validasinya berupa nilai minimum/maksimum, rentang, serta jenis numerik (kontinyu atau diskrit)

b. *Schedule:Compact*

Untuk lebih fleksibel, *schedule* dapat dimasukkan dalam “satu kali kejadian” menggunakan parameter ini. Semua fitur komponen *schedule* diakses dalam satu perintah. Setiap *schedule* harus mencakup semua hari selama satu tahun.

- *Group Surface Construction element*

Kelompok *object* ini menggambarkan sifat fisik dan konfigurasi untuk selubung bangunan dan elemen *interior* nya. Dalam hal ini berhubungan dengan dinding, atap, lantai, jendela dan pintu untuk suatu bangunan. Sebuah konstruksi bangunan terdiri dari beberapa lapisan dan berbagai jenis material. Pada grup ini juga dideskripsikan tentang karakteristik material – material yang akan digunakan untuk membangun gedung / bangunan, yaitu material untuk konstruksi dinding, konstruksi atap, konstruksi lantai, konstruksi jendela dan juga pintu.

a. *Material*

Berisi database material yang akan digunakan dalam bangunan. Dalam database ini termasuk juga data-data fisik material seperti konduktifitas, tebal, kekasaran, densitas, dll

b. *Material:AirGap*

Digunakan untuk mendiskripsikan celah udara pada bagian-bagian konstruksi bangunan. Elemen kaca menggunakan properti yang berbeda (*WindowGas*) untuk menggambarkan udara diantara dua lapisan kaca

c. *WindowMaterial:Glazing*

Untuk jendela luar, "sisi depan" adalah sisi kaca yang paling dekat dengan udara luar dan "sisi belakang" adalah sisi terdekat ke zona jendela yang didefinisikan. Untuk jendela interzone, "sisi depan" adalah sisi paling dekat dengan zona bersebelahan dengan zona jendela yang didefinisikan dan "sisi belakang" adalah sisi terdekat ke zona jendela didefinisikan

d. *WindowMaterial:Gas*

Berisi propertis dari Gas yang digunakan pada jendela atau pintu kaca

e. *Construction*

Berisi tentang tipe konstruksi yang kita gunakan, misalkan tembok luar terdiri dari beberapa *layer*. Material *layer* tersebut dapat dipilih dari parameter Material.

- *Group Thermal Zone Description / Geometry*

Tanpa adanya zona termal dan permukaan, sebuah gedung tidak akan dapat disimulasikan. Grup ini merupakan kumpulan *object* yang akan menggambarkan karakteristik dari zona termal serta rincian masing masing permukaan yang akan di modelkan dalam simulasi. Termasuk juga dalam hal ini adalah permukaan bayangan (*shading surface*).

a. *GlobalGeometryRules*

Untuk melakukan *Shadowing calculations*, permukaan bangunan harus ditentukan dahulu. *EnergyPlus* menggunakan koordinat cartesian tiga dimensi untuk spesifikasi permukaan vertex. Sistem koordinat tangan kanan ini memiliki sumbu X pada arah timur, sumbu Y pada arah utara dan sumbu Z pada arah atas.

b. *Zone*

Universitas Indonesia

Berisikan deskripsi Zona yang sudah kita buat. Dengan menggunakan *software Google SketchUp*, maka membuat zone akan lebih mudah

c. *BuildingSurface:Detailed*

Berisi tentang deskripsi detail dari permukaan bangunan yang kita buat.

d. *FenestrationSurface:Detailed*

Berisi tentang deskripsi detail dari permukaan lubang yang ada pada bangunan, seperti jendela dan pintu.

e. *Shading:Building:Detailed*

Berisi deskripsi detail tentang permukaan shading di luar bangunan, seperti misalnya pohon dan bangunan lain

- *Group Internal Gains*

Konsumsi energi di dalam bangunan tidak hanya dipengaruhi oleh kondisi kamar dan selubung bangunan, tetapi juga sangat dipengaruhi oleh beban *internal* seperti orang, lampu, dan juga berbagai peralatan.

a. *People*

Berisi tentang deskripsi *zone* yang berisi orang, jumlah orang, aktivitas orang, dll.

b. *Lights*

Berisi tentang penggunaan lampu dalam gedung. Pada parameter ini berisikan besarnya daya lampu yang digunakan tiap zona, *schedule* lampu dan *fraction* yang mempengaruhi perhitungan beban

c. *ElectricEquipment*

Berisi tentang penggunaan alat-alat elektronik pada gedung, misalnya komputer, printer, alat-alat laboratorium dll. Pada parameter ini berisikan besarnya daya alat elektronik yang digunakan tiap zona, *schedule* alat dan *fraction* yang mempengaruhi perhitungan beban

- *Group Airflow*

- a. *ZoneInfiltration:DesignFlowRate*

Infiltrasi adalah aliran udara yang tidak diinginkan dari lingkungan luar langsung ke dalam zona. Infiltrasi umumnya disebabkan oleh pembukaan dan penutupan pintu luar, retak di sekitar jendela, dan bahkan dalam jumlah yang sangat kecil melalui elemen bangunan

- *Group HVAC Template*

Tidak seperti obek *EnergyPlus* lainnya, *HVAC Template* ini tidak ditangani langsung oleh *EnergyPlus*, melainkan di pre-proses menggunakan program *ExpandObjects*. Dimana program ini menggabungkan beberapa *object* yang berhubungan langsung dengan komponen HVAC dalam melakukan simulasi. Setelah dilakukan simulasi menggunakan *HVAC Template*, akan dihasilkan *file* yang berekstensi *.expidf* yang secara otomatis menguraikan semua *object* yang berkaitan dengan HVAC.

HVAC Template merupakan strategi khusus bagi pengguna untuk menspesifikasikan sistem HVAC yang akan digunakan, caranya adalah dengan melakukan *running* simulasi menggunakan *template* ini, kemudian buka *file.expidf* nya, lalu modifikasi *object* sistem HVAC yang ada dan kemudian di lakukan *running* simulasi kembali. Dengan *template* ini sangat memudahkan bagi pengguna, selain itu juga dapat meminimalisir kesalahan – kesalahan nama *input file*.

Berikut ini adalah beberapa kombinasi dari *HVAC Template* yang digunakan :

- a. *Simple Ideal Loads System for Sizing and Loads Oriented*

HVACTemplate:Thermostat

HVACTemplate:Zone:IdealLoadAirSystem

- b. *Packaged Terminal Air Conditioner (PTAC)*

- c. *Direct Expantion Cooling, Packaged and Split System*

HVACTemplate:Thermostat

HVACTemplate:Zone:Unitary

Universitas Indonesia

HVACTemplate:Systeme:Unitary

d. *VRF System with Water-Cooled Chillers, Tower*

HVACTemplate:Thermostat

HVACTemplate:Zone:VRF

HVACTemplate:System:VRF

HVACTemplate:ChilledWaterLoop

HVACTemplate:Chiller

HVACTemplate:Tower

e. *Fan Coil System with Boilers and Chiller*

- *Group – Reports*

Grup ini mendeskripsikan hasil yang akan di tampilkan setelah dilakukan simulasi.

a. *Variable Dictionary Report*

b. *Output:Surface:List*

c. *Output:Surface:Drawing*

d. *Output:Variable*

e. *Output:Meter*

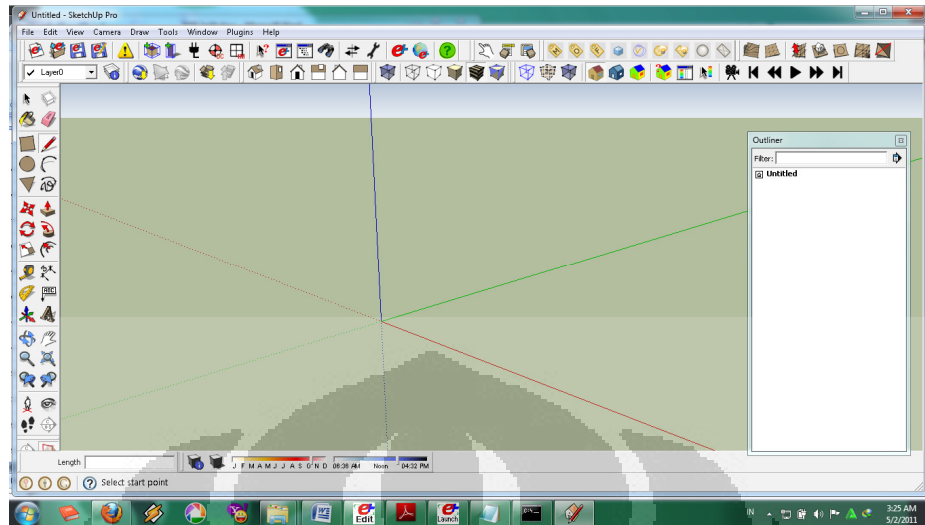
f. *Output:MeterFileOnly*

g. *Output:SQLite*

h. *Output:Diagnostiscs*

2.4 Google SketchUp

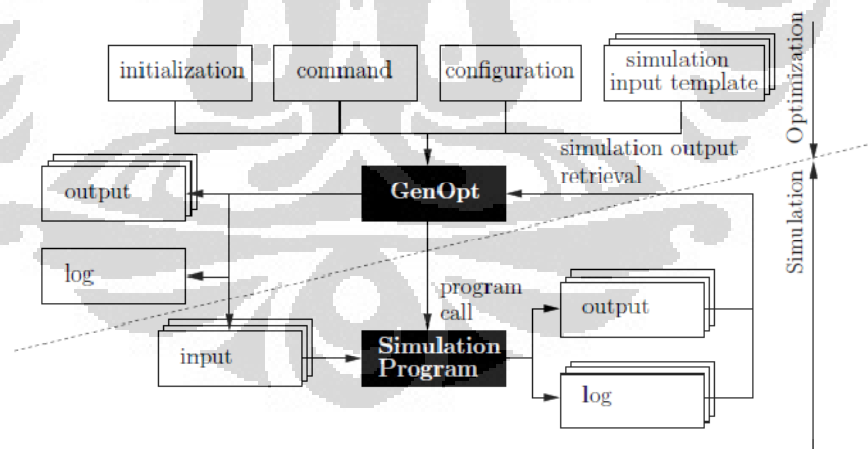
Google SketchUp merupakan salah satu program integrasi *EnergyPlus* yang digunakan untuk membuat bentuk geometri suatu bangunan. Dengan bantuan software ini kita dapat dengan mudah membentuk zona – zona pada suatu bangunan beserta permukaan (*surfaces*) dan juga penetrasi (jendela, pintu) nya. Software ini dapat di unduh secara gratis dari internet.



Gambar 2.8 layar Google Sketchup 7 Pro

2.5 GenOpt

GenOpt adalah program optimisasi untuk meminimalkan fungsi biaya yang dievaluasi menggunakan program simulasi external. Dalam hal ini program simulasi yang digunakan adalah *EnergyPlus*. *GenOpt* dapat di hubungkan dengan *EnergyPlus* karena *EnergyPlus* memiliki input dan output yang berupa file teks (.txt).



Gambar 2.9 Skema Umum GenOpt

GenOpt memiliki database dengan algoritma satu atau multi dimensi local maupun global, dan algoritma untuk menjalankan parameter-parameter tersebut. Hal tersebut memungkinkan program ini untuk menambahkan antarmuka algoritma penghematan tanpa mengetahui secara

Universitas Indonesia

detail struktur dari program yang digunakan. *GenOpt* ditulis dengan bahasa *Java* agar program ini independen secara platform. Independensi platform dan antarmuka yang umum membuat *GenOpt* dapat digunakan pada berbagai jenis permasalahan optimasi. Software ini tersedia secara gratis di internet.

Beberapa Pilihan algoritma yang tersedia di *GenOpt* antara lain:

a. Generalized Pattern Search Methods

Generalized Pattern Search (GPS) adalah algoritma optimasi yang tidak terdapat persamaan turunan. Algoritma ini dapat digunakan untuk persamaan yang bersifat *continuous*. Beberapa implementasi yang ada adalah:

- ❖ *Coordinate Search Algorithm*
- ❖ *Hooke-Jeeves Algorithm*
- ❖ *MultiStart GPS*

b. Discrete Armijo Gradient

Adalah algoritma optimasi dimana fungsi dari persamaan yang di optimasi terdapat diferensial

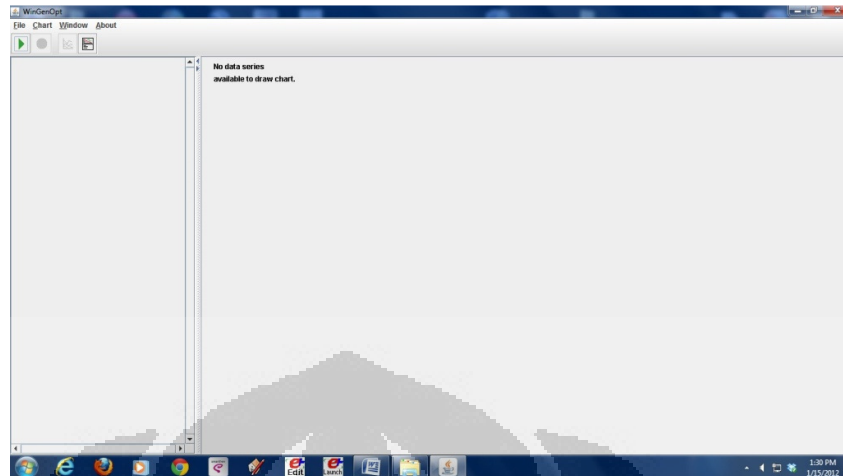
c. Particle Swarm Optimization

Particle Swarm Optimization (PSO) adalah algoritma optimasi yang berdasarkan pada populasi. Algoritma ini dapat digunakan untuk nilai *continuos*, *discrete*, maupun campuran.

d. Hybrid Generalized Pattern Search Algorithm with Particle Swarm Optimization Algorithm.

2.5.1 Menjalankan Simulasi (*Simulation Running*)

Layaknya semua program simulasi, *GenOpt* terdiri dari sebuah *file* eksekusi yang membutuhkan berbagai *input file* yang berisi nama-nama *file* konfigurasi, *input* dan *output* yang di optimasi dan parameter iterasi lainnya.



Gambar 2.10 layar GenOpt

Program ini akan menghasilkan dua *file output* yang menunjukkan variasi dari parameter yang digunakan dan parameter *output* hasil simulasi. Program ini *me-running* simulasi *EnergyPlus* berulang-ulang sampai tercapai hasil yang optimal.

2.5.2 Hasil Simulasi (*Simulation Results*)

Setelah simulasi berjalan dengan sukses, akan muncul keterangan hasil *running* simulasi di *data series*. Di sebelah kanan dari jendela program *GenOpt*, akan langsung tergambar grafik dari hasil iterasi oleh software tersebut. Dan hasil dari optimasi juga akan dibuat dalam sebuah file *txt* dengan tipe *tab*, dan berisi detail parameter yang di variasikan dan hasil dari perhitungan output yang ditentukan sebelumnya.

2.6 Sistem Tata Udara Pada Bangunan

Sistem Pengkondisian udara (*Air Conditioning*) adalah proses gabungan yang melakukan berbagai fungsi secara bersamaan mulai kondisi udara, transportasinya, hingga sampai ke ruang yang akan dikondisikan. Sistem ini dapat berupa pemanasan dan pendinginan secara terpusat (*central plant*) atau satuan unit atap (*rooftop unit*). Tujuan sistem pengkondisian udara adalah mengontrol dan mempertahankan suhu, kelembaban, gerakan udara, kebersihan udara, tingkat suara, dan

Universitas Indonesia

tekanan diferensial dalam ruang dalam batas-batas yang telah ditentukan untuk kenyamanan dan kesehatan penghuni ruang yang dikondisikan dalam beraktivitas yang produktif. [5]

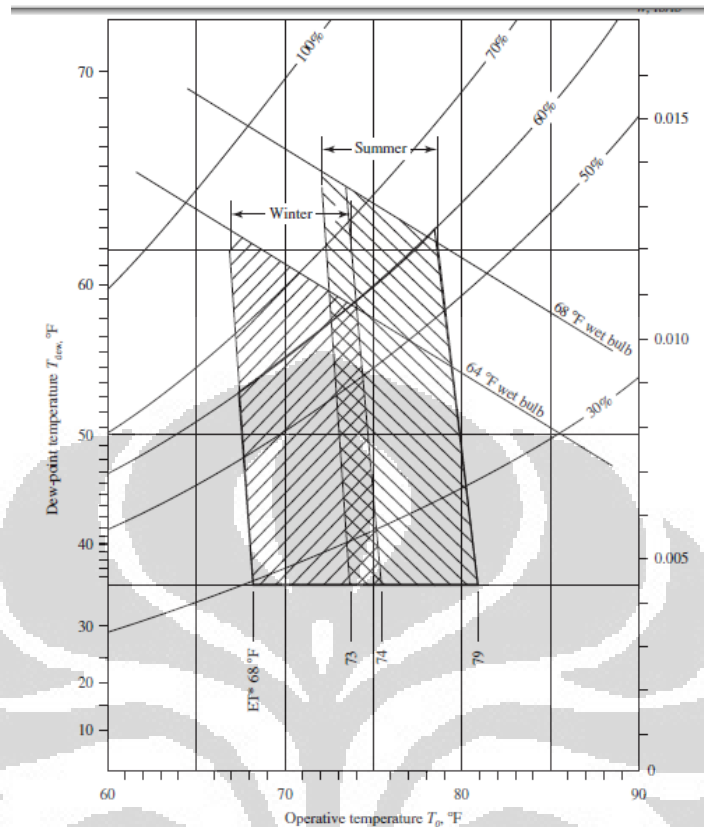
Kegunaan sistem tata udara tersebut berbeda beda di setiap negara, tergantung kondisi lingkungan dan tingkat kenyamanannya. Untuk negara Indonesia yang tergolong kedalam kategori negara tropis yang panas, maka kegunaan Sistem Tata Udara adalah untuk pendinginan (*cooling*) dan penurunan kelembaban (*dehumidification*) sesuai dengan tingkat kenyamanannya.

Adapun tingkat kenyamanan termal untuk kondisi *summer* (panas) berdasarkan Standar *ANSI/ASHRAE Standards 55-2004 : Thermal Environmental Conditions For Humans Occupancy* adalah berada pada interval 73° F - 79° F dengan tingkat kelembaban (*relative humidity*) sekitar 50 % dan kecepatan udara 0.15 m/s [10].

Tabel 2.5 Standar temperatur dan RH kondisi nyaman

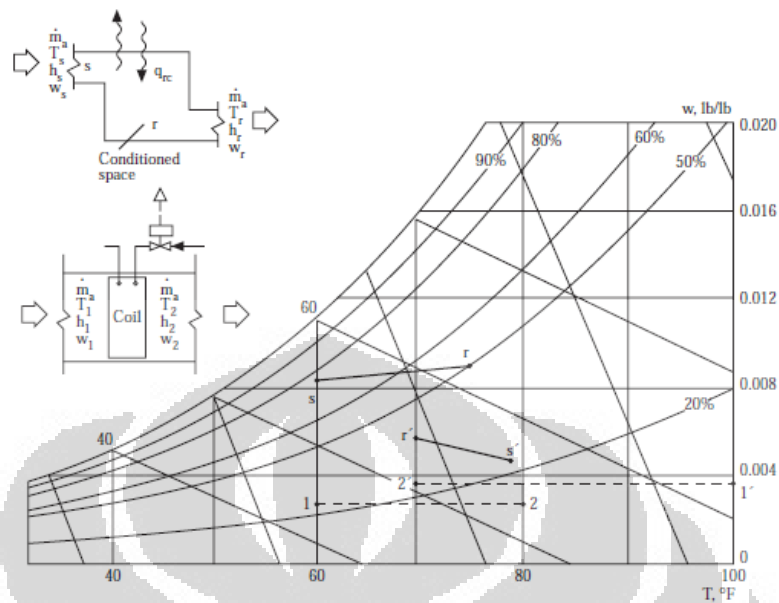
	Typical clothing insulation, clo	Optimum operative temperature	Indoor design temperature range
Winter	0.9	71°F (22°C)	69–74°F (20.5–23.5°C)
Summer	0.5	76°F (24.5°C)	74–79°F (23.5–26°C)

	Relative humidity, %
Summer	30–65
Winter	
Commercial and public buildings	20–60
Health care buildings	30–60



Gambar 2.11 Grafik zona kenyamanan berdasarkan ANSI/ASHRAE Standards 55-2004

Dalam proses pengkondisian udara dalam hal ini proses pendinginan ruangan, panas dan campuran di dalam ruangan yang akan di kondisikan akan di serap oleh udara masuk (*supply air*) dari sistem tata udara dan kemudian dipindahkan. Proses tersebut digambarkan menggunakan diagram psikometrik. Di mana “r” merupakan titik keadaan ruangan yang akan dikondisikan (di dinginkan) dan “s” merupakan titik udara masukan (*supply air*) dari sistem tata udaranya. Temperatur dari *supply air* akan selalu lebih rendah dari temperatur ruangan agar panas dari ruangan tersebut dapat di pindahkan, sehingga akan di peroleh kondisi ruangan yang nyaman sesuai kebutuhan [9].



Gambar 2.12 Diagram psikometrik proses pendinginan udara ruangan.

Ada beberapa jenis sistem pengkondisian udara, diantaranya adalah yang akan dilakukan simulasi menggunakan *EnergyPlus* yaitu : *Variabel Air Volume System* dan *Variabel Refrigerant Volume System*.

2.5.2 Variable Air Volume (VAV)



Gambar 2.13 Komponen sistem VAV

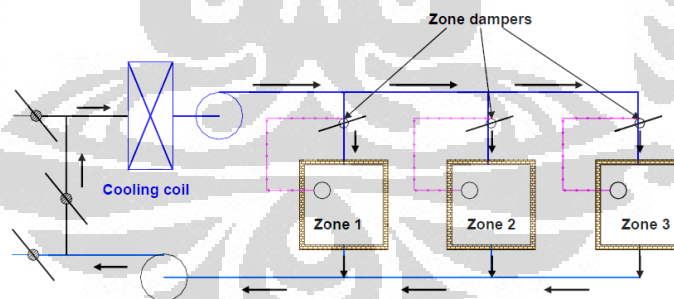
Berbeda dengan sistem tata udara volume konstan yang mendistribusikan jumlah udara yang konstan pada temperatur yang bervariasi, sistem VAV mendistribusikan jumlah udara yang bervariasi untuk temperatur yang konstan. Dengan adanya kontrol jumlah udara, tingkat kenyamanan di dalam suatu zona dapat di sesuaikan dengan jumlah

beban yang ada pada zona tersebut [9]. Sehingga hal ini sangat dapat memberikan penghematan dalam hal sistem pendinginan udara.

Bila dibandingkan dengan sistem volum udara konstan, sistem VAV ini memberikan beberapa keuntungan, yaitu :

- lebih rendah konsumsi energi dalam sistem pendingin karena udara tidak didinginkan dalam suhu yang sangat rendah dan kemudian dipanaskan seperti dalam sistem volume konstan
- konsumsi energi yang lebih rendah juga dikarenakan kipas yang lebih rendah daya masukan untuk mengatur aliran yang lebih rendah, pada saat beban rendah.
- Kekurangannya adalah sulit untuk mengatur tingkat kelembaban secara tepat menggunakan sistem VAV, namun masalah ini dapat teratasi dengan menambahkan sistem terminal *reheat* untuk mengatur kecepatan udara pada temperatur minimum dengan tetap memastikan ventilasi dan distribusi udara dengan baik.

Sistem VAV ini biasa digunakan untuk bangunan-bangunan yang besar (*multiple zone*) seperti gedung perkantoran, sekolah, rumah sakit dan klinik, hotel, supermarket, bandara, laboratorium dan juga fasilitas industri dan manufaktur.

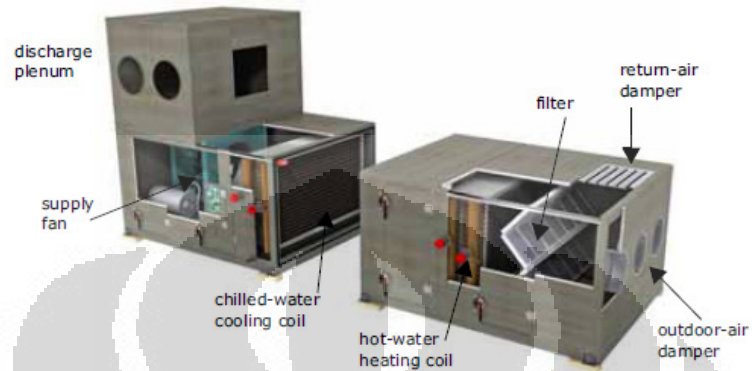


Gambar 2.14 Skema sistem VAV *single duct, multiple zone*

2.5.2.1 VAV Air Handling Unit

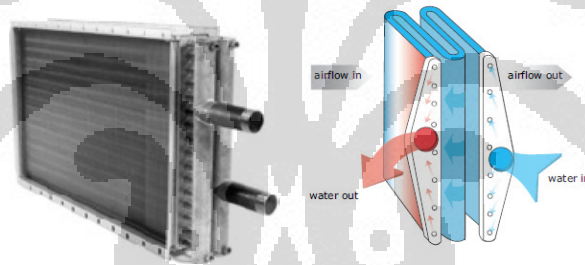
Merupakan suatu perangkat yang digunakan untuk mengkondisikan dan mensirkulasikan udara sebagai bagian dari sistem tata udara. AHU biasanya berupa sebuah kotak logam yang di dalamnya terdapat beberapa komponen seperti *fan/blower*, koil, *filter* dan juga

peredam. AHU ini nantinya akan terhubung dengan saluran udara (*ducting*) untuk mendistribusikan udara dari dan ke gedung atau ruangan yang akan dikondisikan [11]



Gambar 2.15 Air Handling Unit (AHU)

2.5.2 .2. Koil Pendingin (Cooling Coil)



Gambar 2.16 Cooling Coil

Pendinginan dengan sistem VAV menggunakan koil pendingin yaitu tipe *finned – tube heat exchanger*. Yang terdiri dari beberapa tabung (*tube*) yang melewati lembaran - lembaran berbentuk sirip. Ketika udara melalui koil dan mengenai kontak dengan permukaan tabung dan sirip, terjadi perpindahan panas dari udara ke air dingin yang mengalir melalui tabung. Pemilihan koil berdampak terhadap biaya instalasi, operasi, dan pemeliharaan AHU serta sistem tata udaranya. Misalnya, jumlah material yang digunakan untuk membuat koil dapat meningkatkan biaya, ukuran koil berpengaruh terhadap ukuran AHU, AHU yang besar akan menghasilkan penurunan tekanan yang lebih rendah sehingga akan

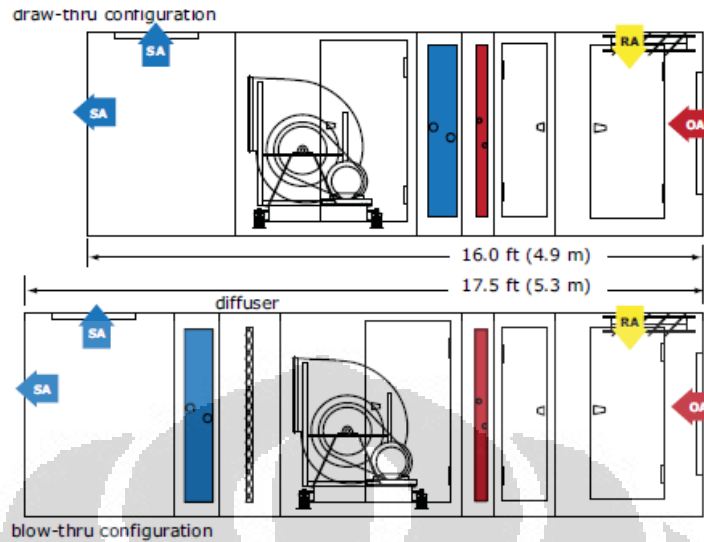
menurunkan energi kipas / *fan*. Selanjutnya performa dari koil juga sangat berpengaruh terhadap efisiensi *sistem water chiller* [11]

2.5.2 .3. Kipas (*Blower / fan*)

Kipas digunakan untuk memindahkan udara ke seluruh berbagai komponen dari sistem VAV. Tergantung pada aplikasinya, sistem *fan* dapat meliputi : 1. *A Supply fan only*, 2. *A Supply fan and relief (exhaust) fan*, 3. *A Supply fan and a return fan*.

Dalam sistem VAV *air handler unit*, dapat menggunakan berbagai pilihan jenis dan ukuran kipas. Dengan ini dapat dilakukan optimisasi dan keseimbangan efisiensi energi dan biaya. Umumnya jenis kipas yang digunakan dalam sistem VAV adalah jenis kipas sentrifugal, dimana udara memasuki pusat roda kipas (aksial) dan kemudian mengalir secara radial keluar kipas. Sebuah kipas sentrifugal dapat di cirikan berdasarkan bentuk pisau kipasnya (*fan blades*), apakah berbentuk gulungan (*scroll housed*) atau tidak (*plenum*), apakah digerakkan dengan belt (*belt drive*) atau secara langsung (*direct drive*), dan juga apakah hanya menggunakan satu kipas ataupun menggunakan beberapa jenis kipas.

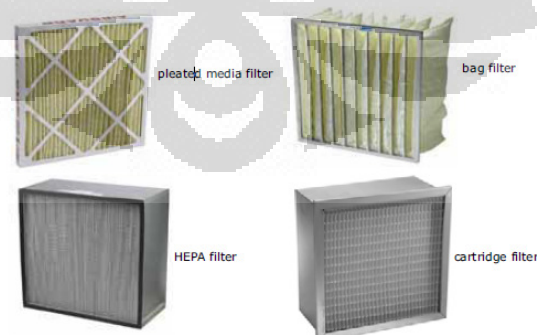
Dalam konfigurasinya, kipas dapat di bagi menjadi 2 kategori yaitu *blow – thru* dan *draw- thru*. Pada konfigurasi *blow – thru*, kipas akan meniupkan udara melalui koil pendingin yang terletak di bagian hilir kipas. Panas yang dihasilkan oleh kipas dan motor di tambahkan ke bagian hulu dari koil pendingin. Sedangkan pada *draw – thru* , kipas akan menarik udara melalui koil pendingin yang terletak di bagian hulu. Panas yang dihasilkan oleh kipas dan motor ditambahkan ke udara hilir koil pendingin[11].



Gambar 2.17 Jenis jenis kipas berdasarkan peletakkannya

2.5.2 .4. Penyaring Udara (*filter*)

Kebutuhan lainnya dalam sistem HVAC adalah untuk memastikan bahwa udara yang didistribusikan ke dalam ruangan adalah udara yang bersih. Hal ini dikarenakan adanya ketentuan tentang kualitas udara di dalam ruangan. Beberapa kontaminan yang mempengaruhi kualitas udara dapat dikelompokkan seperti partikel kecil (debu), gas berbahaya, dan juga hewan-hewan kecil (biologi). Dan untuk tujuan agar tercapainya kondisi udara di dalam ruangan yang sesuai dengan kualitas udara yang di butuhkan, maka diperlukan komponen penyaring (*filter*) di dalam *air handling unit* sistem VAV.



Images used by permission from CLARCOR Air Filtration Products (www.clair.com)

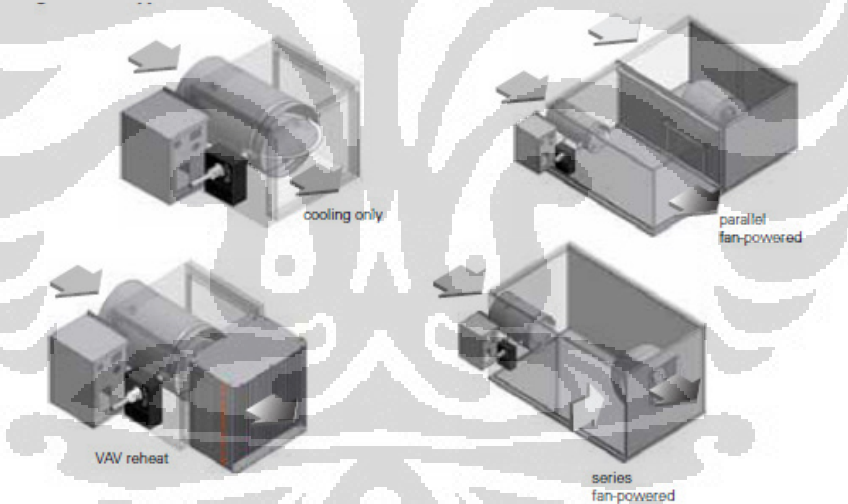
Gambar 2.18 Jenis – jenis *filter*

2.5.2 .5 VAV Terminal Unit

Dari saluran udara, udara tidak langsung memasuki ruangan yang akan di kondisikan melainkan akan di tampung terlebih dahulu di dalam *VAV terminal unit* . Setiap zona memiliki unit VAV terminal yang akan memvariasikan jumlah udara yang dikeluarkan untuk menjaga suhu yang di kehendaki pada zona tersebut.

Sebuah unit VAV terminal adalah rakitan lembaran – logam yang terdiri dari sebuah perangkat modulasi aliran udara (*airflow- modulasi*) , sebuah sensor aliran, kontroler, dan juga komponen tambahan lainnya seperti koil pemanas, kipas kecil atau *filter*[11]

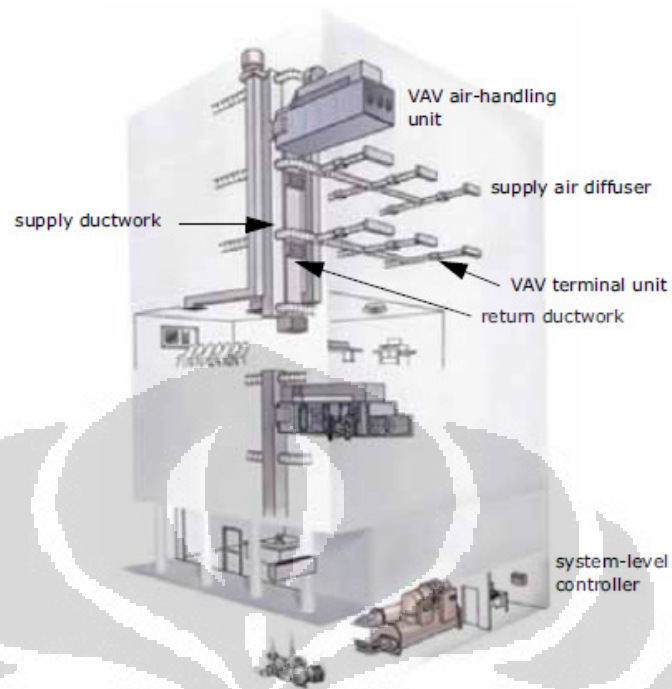
Untuk modulasi aliran udara ke zona, biasanya dilakukan dengan menggunakan sebuah damper pisa yang berputar (*rotating blade damper*) yang akan merubah resistensi aliran udara dengan memutar damper dan mengatur seberapa besar aliran yang di alirkan ke dalam suatu zona.



Gambar 2.19 Jenis jenis VAV Terminal Unit

2.5.2 .6 Sistem Distribusi Udara (Air Distribution)

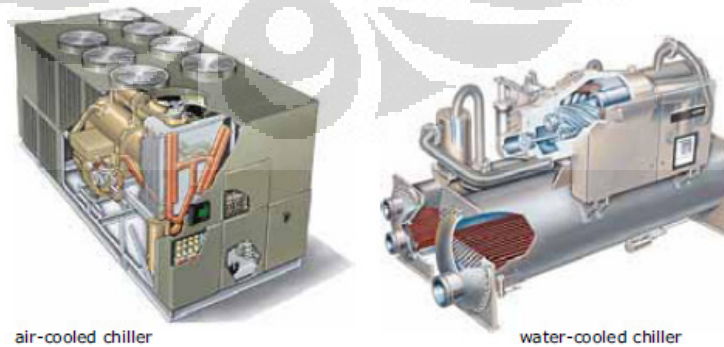
Untuk mendistribusikan udara dari pusat *Chiller* ke AHU dan kemudian dari AHU ke unit terminal dan mengatur suplai udara dan *return* udara , digunakan sistem saluran udara (*ducting*).



Gambar 2.20 Skema sistem *ducting*

2.5.2.7 Chiller Water System

Water Chiller merupakan suatu unit yang digunakan untuk mendinginkan air yang kemudian diangkut ke coil pendingin oleh pompa dan pipa [9]. Jenis jenis *Chiller* dapat di bedakan menjadi beberapa kategori yaitu : berdasarkan siklus refrigerasi dan jenis kompresor yang digunakan (*reciprocating, scroll, centrifugal*), dan juga berdasarkan jenis *kondensing unit* yang digunakan (*air-cooled, water-cooled*) [11].



Gambar 2.21 Jenis jenis *Chiller*

Sebuah *Air-cooled Chiller* terdiri dari komponen pendingin (kompresor, kondenser berpendingin udara, perangkat ekspansi, evaporator dan interkoneksi pipa refrigeran), kabel dan kontrol. Kapasitas *Air-cooled Chiller* mulai dari 7.5 – 500 ton (25 – 1.760 kW). Sistem ini populer dikarenakan sederhana dan mudah. Tidak memerlukan sistem pendistribusian air dan *cooling tower*. Dan untuk suhu kondensasi refrigeran yang di peroleh adalah tergantung pada suhu bola kering (*drybulb temperature*) dari udara ambien. Sebagai contoh, jika suhu ambien adalah 95 ° F (35 ° C), maka suhu kondensasi refrigerannya adalah 125 ° F (52 ° C).

Sebuah *Water-cooled Chiller* terdiri dari seluruh komponen pendingin, dan juga terdapat sistem pendistribusian air seperti pipa, pompa, tower pendingin (*cooling tower*) dan perangkat kontrol. Kapasitas *Water-cooled Chiller* berkisar antara 10 – 3.800 ton (35 – 13.000kW). Berbeda dengan *Air-cooled Chiller* yang instalasinya di luar ruangan, *Water-cooled Chiller* dapat dipasang di dalam ruangan sehingga memiliki ketahanan yang lebih lama. Selain itu juga *Water-cooled Chiller* merupakan jenis yang lebih efisien penggunaan energinya. Dalam *Water-cooled Chiller*, temperatur kondensasi refrigerannya tergantung dari temperatur kondensasi air yang mana juga tergantung dari temperatur bola basah (*wetbulb temperature*) udara ambien. Untuk temperatur *drybulb* ambien 95 ° F (35 ° C) , temperatur *wetbulb* nya adalah 78 ° F (26 ° C), maka *tower* pendingin akan mendistribusikan air ke *water-cooled condenser* dengan temperatur 85 ° F (29 ° C), dan temperatur kondensasi refrigerannya adalah 105° F (40 ° C). Rendahnya temperatur kondensasi tersebut tentunya akan mengurangi total daya yang dibutuhkan oleh kompresor.

BAB 3

AUDIT ENERGI BANGUNAN DENGAN SIMULASI *ENERGYPLUS* DAN *GENOPT*

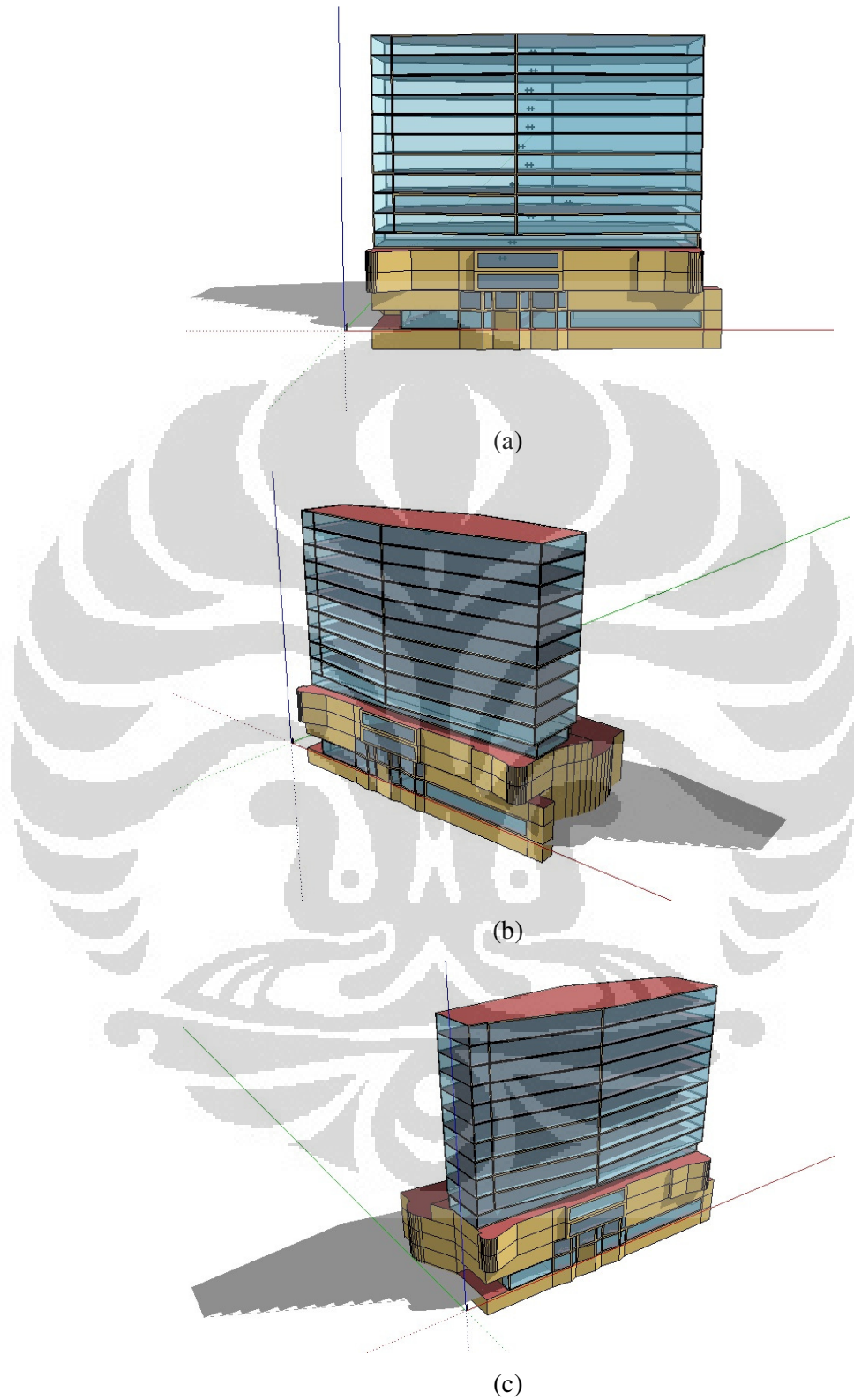
3.1 Deskripsi Bangunan

Bangunan ini termasuk termasuk ke dalam kategori bangunan existing yang telah berdiri. Bangunan ini dibangun dengan tujuan untuk menjadi ruang-ruang kantor, kantin dan *Hall*. Gedung Kantor XYZ ini akan berlokasi di Kota Makassar. Dari permukaan laut, gedung ini memiliki ketinggian 5 m. Gedung ini terdiri dari 15 lantai, dan 1 buah basement.



Gambar 3.1 Lokasi gedung XYZ dilihat menggunakan Google Earth

Lantai basement gedung ini digunakan sebagai lahan parkir. Sedangkan di lantai 1 sampai dengan 3 terdapat beberapa kantor, *lobby*, dan *hall*. Selain itu juga di setiap lantai dilengkapi dengan ruang toilet dan janitor, serta terdapat ruang kontrol *Electrical/Mechanical*. Sedangkan lantai 4 terdiri dari Mushola dan kantin outdoor. Lantai 5 sampai dengan 15 adalah ruang kantor.



Gambar 3.2 Gambar 3D gedung Kantor XYZ menggunakan *Sketchup+OpenStudio* (a)tampak depan , (b)tampak depan serong kanan, (c)tampak belakang serong kiri

Universitas Indonesia

3.2 Data dan Parameter Bangunan.

Data data yang dibutuhkan dalam simulasi ini selain di dapat langsung dari data lapangan, juga terdapat beberapa asumsi yang diambil. Hal ini di karenakan kurang lengkapnya data yang dimiliki oleh pihak perusahaan. Adapun asumsi-asumsi yang di gunakan telah merujuk kepada standar yang berlaku, dalam hal ini adalah standar ASHRAE.

3.2 .1 Lokasi, Data Cuaca, *DesignDay* dan *Ground Temperature*

Gedung KANTOR XYZ digambar menggunakan *OpenStudio* sehingga secara otomatis membentuk zona –zona pada bangunan dengan mudah dan lengkap beserta koodinatnya seperti yang terlihat pada gambar di atas. Selain itu juga dengan fasilitas yang ada pada *OpenStudio* juga dapat dibuat *fenestration* berupa pintu dan jendela maupun *shadingnya* sekaligus beserta material yang digunakan. Nantinya untuk simulasi dapat dilakukan pengeditan dan pemilihan ulang atau modifikasi parameter yang akan dipakai.

Field	Units	Obj1	Obj2	Obj3
Name		Basement	Lantai_1	Lantai_2
Direction of Relative North	deg	0	0	0
X Origin	m	0	0	0
Y Origin	m	0	0	0
Z Origin	m	0	0	0
Type				
Multiplier		1	1	1
Ceiling Height	m			
Volume	m3			
Floor Area	m2			
Zone Inside Convection Algorithm				
Zone Outside Convection Algorithm				
Part of Total Floor Area				

Gambar 3.3 layar *IDF Editor* untuk *Zone*.

Pada gedung XYZ total zona yang dibuat untuk mewakili keseluruhan ruangan pada gedung adalah 17 zona yang nantinya hanya 15 zona saja yang dikondisikan menggunakan sistem pendingin. Dan untuk informasi yang lebih lengkap tentang detail bangunan dapat dilihat *object BuildingSurface:Detailed* , *FenestrationSurface:Detailed* untuk jendela dan pintu, serta *ShadingSurface:Detailed* untuk *shading* atau penghalang.

Gedung XYZ dibangun di daerah Makassar, tepatnya -5.1492° garis lintang dan 119.47525° garis bujur, berada di ketinggian 5 m dari permukaan laut dan juga 270° dari arah utara. Dengan kondisi daerah merupakan pusat kota.

Field	Units	Obj1
Name		XYZ
North Axis	deg	180
Terrain		City
Loads Convergence Tolerance Value		0.04
Temperature Convergence Tolerance Value	deltaC	0.4
Solar Distribution		FullExterior
Maximum Number of Warmup Days		25
Minimum Number of Warmup Days		

Gambar 3.4 Layar *IDF Editor* untuk building object.

Data – data cuaca yang dibutuhkan dalam simulasi adalah data – data periodik atau tahunan seperti temperatur *wetbulb* dan *drybulb* lingkungan, kecepatan angin, arah angin dll. Untuk keadaan cuaca pada daerah ini di peroleh dengan meminta langsung kepada *EnergyPlus* dengan cara mengirimkan koordinat lintang dan bujur daerah tersebut. Hal ini dikarenakan di dalam simulasi dibutuhkan file khusus untuk kondisi cuaca yang harus di inputkan ke dalam *EP-Launch*.

Tabel 3.1 Ringkasan kondisi cuaca di Depok

	Value
Reference	IDN_Makassar_MN6
Site:Location	Makassar - IDN
Latitude	{S 5° 7'}
Longitude	{E 119° 29'}
Time Zone	{GMT +8.0 Hours}
Elevation (m) above sea level	55
Standard Pressure at Elevation	100666Pa
Data Source	MN6
WMO Station	999
Weather File Design Conditions	Calculated from the weather file
Heating Design Temperature 99.6% (C)	19.8°
Heating Design Temperature 99% (C)	20.4°
Cooling Design Temperature 0.4% (C)	35.6°
Cooling Design Temperature 1% (C)	35.1°
Cooling Design Temperature 2% (C)	34.6°

Maximum Dry Bulb Temperature (C)	36.5°
Maximum Dry Bulb Occurs on	24-Sep
Minimum Dry Bulb Temperature (C)	19.5°
Minimum Dry Bulb Occurs on	15-Jul
Maximum Dew Point Temperature (C)	27.9°
Maximum Dew Point Occurs on	22-May
Minimum Dew Point Temperature (C)	12.3°
Minimum Dew Point Occurs on	4-Aug
Heating Degree-Days (base 10°C)	0
Cooling Degree-Days (base 18°C)	3309
Köppen Classification	Am
Köppen Description	Tropical monsoonal or tradewind-coastal (short dry season)
Köppen Recommendation	Heating may not be required
ASHRAE Climate Zone	1A
ASHRAE Description	Very Hot-Humid

DesignDay yang merupakan suatu pengaturan kondisi lingkungan pada suatu daerah yang dijadikan sebagai patokan kondisi umum daerah tersebut. Karena Indonesia belum mempunyai kondisi *DesignDay* maka dalam simulasi kali ini *DesignDay* yang digunakan adalah *DesignDay* dari *Singapore Ann. Cooling 1%* yang tidak jauh berbeda dengan kondisi di Indonesia (Djunaedy, Ery).

Field	Units	Obj1
Name		SINGAPORE Ann C
Maximum Dry-Bulb Temperature	C	32.8
Daily Temperature Range	deltaC	5.5
Humidity Indicating Conditions at Maximum Dry-Bulb	varies	26.3
Barometric Pressure	Pa	101133
Wind Speed	m/s	4.1
Wind Direction	deg	30
Sky Clearness		1
Rain Indicator		0
Snow Indicator		0
Day of Month		21
Month		6
Day Type		SummerDesignDay
Daylight Saving Time Indicator		0
Humidity Indicating Type		WetBulb
Relative Humidity Day Schedule Name		
Dry-Bulb Temperature Range Modifier Type		
Dry-Bulb Temperature Range Modifier Schedule Name		

Gambar 3.5 Layar *IDF Editor* untuk *SizingPeriod:DesignDay*

Ground temperature merupakan kondisi temperatur pada tanah tempat dibangunnya bangunan. Nilai temperatur nya berdasarkan *EnergyPlus* adalah selisih 2° dari temperatur ruangan yang dikondisikan. Karena temperatur ruangan dikondisikan memenuhi keadaan kenyamanan yaitu 24°C maka ground temperaturnya menjadi 22°C . Dan nilai temperatur tersebut tetap konstan selama periode 1 tahun.

Field	Units	Obj1
January Ground Temperature	C	22
February Ground Temperature	C	22
March Ground Temperature	C	22
April Ground Temperature	C	22
May Ground Temperature	C	22
June Ground Temperature	C	22
July Ground Temperature	C	22
August Ground Temperature	C	22
September Ground Temperature	C	22
October Ground Temperature	C	22
November Ground Temperature	C	22
December Ground Temperature	C	22

Gambar 3.6 Layar *IDF Editor* untuk *SiteGroundtemperature: BuildingSurface*

3.2.2 Material dan Konstruksi Bangunan

Di dalam *EnergyPlus* disediakan berbagai pilihan material yang dapat digunakan untuk bangunan. Tidak hanya material dasar, tetapi juga disediakan pilihan material untuk bahan pintu dan jendela. Material – material tersebut kemudian di susun sedemikian rupa membentuk lapisan yang di sebut konstruksi. Konstruksi ini berupa konstruksi untuk dinding, lantai, atap, pintu dan juga jendela.

Untuk simulasi kali ini digunakan pilihan material standar yang disediakan secara langsung ketika membuat geometri bangunan menggunakan *OpenStudio*. Material – material tersebut telah merujuk kepada standar ASHRAE lengkap beserta propertisnya. Data dan informasi tentang material tersebut diperoleh dari DataSheet *EnergyPlus*

Field	Units	Obj7	Obj8	Obj9
Name		M01 100mm brick	M15 200mm heavy	M05 200mm co
Roughness		MediumRough	MediumRough	MediumRough
Thickness	m	0.1016	0.2032	0.2032
Conductivity	W/m-K	0.89	1.95	1.11
Density	kg/m ³	1920	2240	800
Specific Heat	J/kg-K	790	900	920
Thermal Absorptance				
Solar Absorptance				
Visible Absorptance				

Gambar 3.7 Layar *IDF Editor* untuk *Material*

Field	Units	Obj3	Obj4	Obj5
Name		Exterior Wall	Interior Wall	Exterior Ro
Outside Layer		M01 100mm brick	G01a 19mm gypsum	M11 100mm
Layer 2		M15 200mm heavy	F04 Wall air space r	F05 Ceiling
Layer 3		I02 50mm insulation	G01a 19mm gypsum	F16 Acoust
Layer 4		F04 Wall air space r		
Layer 5		G01a 19mm gypsum		
Layer 6				

Gambar 3.8 Layar *IDF Editor* untuk *Construction*

3.2.3 Kondisi *Indoor*

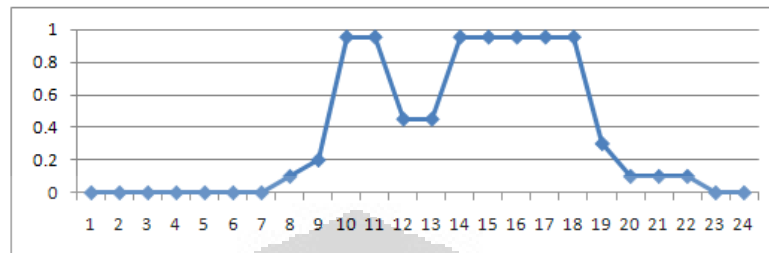
Berdasarkan standar SNI 03-6390-2000 yaitu tentang kondisi temperatur nyaman untuk daerah Indonesia. Maka di dalam simulasi ini digunakan temperatur ruangan yaitu 24 ° C dan *humidity relatif* nya 60 % yang sesuai dengan iklim Indonesia [10].

3.2.4 *Schedule Occupancy*

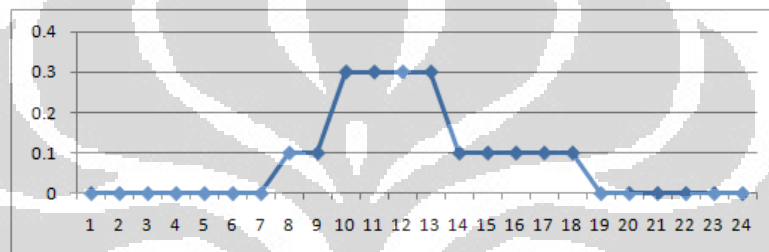
Jumlah orang mempengaruhi tingkat beban pendinginan di dalam ruangan, sehingga kehadiran dan penjadwalan memiliki peran yang penting untuk tujuan penghematan. Penjadwalan yang digunakan dalam simulasi ini berdasarkan kepada Standar ASHRAE. Dan untuk penjadwalan pencahayaan dan peralatan lainnya juga merujuk kepada penjadwalan kehadiran orang. Berikut grafik penjadwalan yang digunakan di dalam simulasi *EnergyPlus* yang di peroleh dari *Revit Autodesk*. Daftar rincian *Schedule* ini juga dapat di pilih dari *DataSet* yang sudah disediakan oleh *EnergyPlus*.

↓Occupancy-Office

Office schedule on weekdays

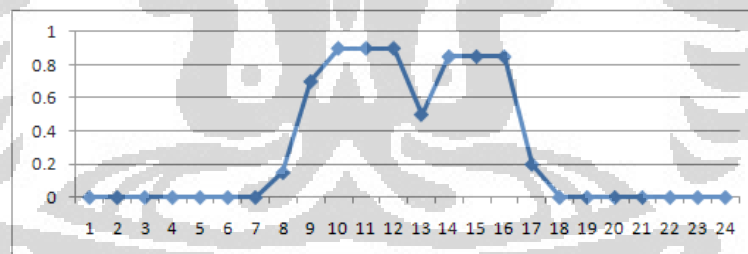


Office schedule on Saturday

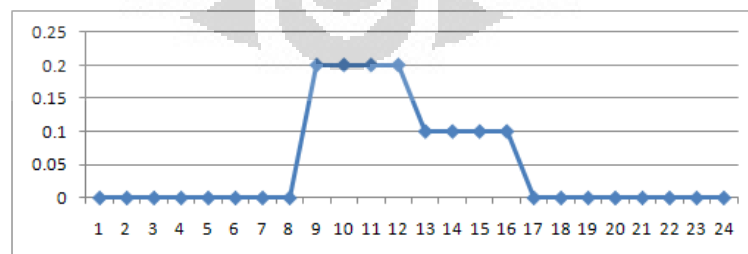


↓Occupancy-Warehouse

Warehouse schedule on weekdays



Warehouse schedule on Saturday



Gambar 3.9 Grafik Schedule Occupancy (Revit Autodesk)

3.2.5 Building Space Type data

Hal lain yang sangat mempengaruhi beban pendinginan adalah *internal gain* dari orang, lampu / pencahayaan, peralatan dan juga infiltrasi udara yang masuk ke dalam ruangan. Untuk Gedung XYZ ini, data – data peralatan dan lampu yang digunakan belum diketahui sehingga diasumsikan bahwa gedung tersebut menggunakan lampu dan peralatan yang sesuai standar. Berikut merupakan standar di dalam ruangan (*space type data*) berdasarkan ASHRAE yang didapatkan dari *Revit Autodesk* [12].

Tabel 3.2 Beberapa jenis *Building Space Type Data* (*Revit Autodesk*)

Conference /Meeting/multipurpose	
Parameter	Default Value
<i>Occupancy schedule</i>	<i>Common office 8 am – 5 pm</i>
<i>Power schedule</i>	<i>Office lighting 6 am – 11 pm</i>
<i>People/100 sq.M</i>	50
<i>People sensible heat gain (Btu/hr)</i>	250
<i>People latent heat gain (Btu/hr)</i>	200
<i>Ligthing load density (W/sq.ft)</i>	1.3
<i>Power load density (W/sq.ft)</i>	1
<i>Electric equipment radiant percentage</i>	0.5
<i>Infiltration flow (CFM/sq.ft)</i>	0.038
Coridor	
Parameter	Default Value
<i>Occupancy schedule</i>	<i>Common office 8 am – 5 pm</i>
<i>Power schedule</i>	<i>Office lighting 6 am – 11 pm</i>
<i>People/100 sq.M</i>	10
<i>People sensible heat gain (Btu/hr)</i>	250
<i>People latent heat gain (Btu/hr)</i>	200
<i>Ligthing load density (W/sq.ft)</i>	0.5
<i>Power load density (W/sq.ft)</i>	0.3
<i>Electric equipment radiant percentage</i>	0.5
<i>Infiltration flow (CFM/sq.ft)</i>	0.038

Office

Parameter	Default Value
<i>Occupancy schedule</i>	<i>Common office 8 am – 5 pm</i>
<i>Power schedule</i>	<i>Office lighting 6 am – 11 pm</i>
<i>People/100 sq.M</i>	5
<i>People sensible heat gain (Btu/hr)</i>	250
<i>People latent heat gain (Btu/hr)</i>	200
<i>Ligthing load density (W/sq.ft)</i>	1.1
<i>Power load density (W/sq.ft)</i>	1.5
<i>Electric equipment radiant percentage</i>	0.3
<i>Infiltration flow (CFM/sq.ft)</i>	0.038

Dari data – data parameter internal gain di atas dapat diinputkan ke dalam *IDF Editor*.

Field	Units	Obj1	Obj2	Obj3	Obj4
Name		Lantai_6_People	Lantai_7_People	Lantai_8_People	Lantai_9_People
Zone or ZoneList Name		Lantai_6	Lantai_7	Lantai_8	Lantai_9
Number of People Schedule Name		Office Occupancy S	Office Occupancy S	Office Occupancy S	Office Occupancy S
Number of People Calculation Method		People	People	People	People
Number of People		80	80	80	80
People per Zone Floor Area	person/m2				
Zone Floor Area per Person	m2/person				
Fraction Radiant		0.3	0.3	0.3	0.3
Sensible Heat Fraction					
Activity Level Schedule Name		Office Activity Sche	Office Activity Sche	Office Activity Sche	Office Activity Sche
Carbon Dioxide Generation Rate	m3/s-w				
Enable ASHRAE 55 Comfort Warnings					
Mean Radiant Temperature Calculation Type					
Surface Name/Angle Factor List Name					
Work Efficiency Schedule Name					
Clothing Insulation Schedule Name					
Air Velocity Schedule Name					
Thermal Comfort Model 1 Type					
Thermal Comfort Model 2 Type					
Thermal Comfort Model 3 Type					

Gambar 3.10 layar *IDF Editor* untuk *people object*

Field	Units	Obj1	Obj2	Obj3	Obj4
Name		Lantai_6_Lights	Lantai_7_Lights	Lantai_8_Lights	Lantai_9_Lights
Zone or ZoneList Name		Lantai_6	Lantai_7	Lantai_8	Lantai_9
Schedule Name		Office Lights Sched	Office Lights Sched	Office Lights Sched	Office Lights Sched
Design Level Calculation Method		Watts/Area	Watts/Area	Watts/Area	Watts/Area
Lighting Level	w				
Watts per Zone Floor Area	w/m2	5	5	5	5
Watts per Person	w/person				
Return Air Fraction					
Fraction Radiant					
Fraction Visible					
Fraction Replaceable					
End-Use Subcategory		Lights	Lights	Lights	Lights
Return Air Fraction Calculated from Plenum Temperature					
Return Air Fraction Function of Plenum Temperature Co					
Return Air Fraction Function of Plenum Temperature Co 1/K					

Gambar 3.11 layar *IDF Editor* untuk *Lights object*

Untuk *fraction* yang terdapat pada *light object* diperoleh dari standar pemasangan lampu di dalam ruangan [1]. Diasumsikan pemasangan lampu pada gedung XYZ adalah jenis *surface mount* yaitu menempel pada langit-langit sehingga diperoleh nilai *fractionnya* berdasarkan tabel dibawah ini.

Tabel 3.3 luminaire configuration

Field Name	Luminaire Configuration, Fluorescent Lighting				
	Suspended	Surface mount	Recessed	Luminous and louvered ceiling	Return-air ducted
Return Air Fraction	0.0	0.0	0.0	0.0	0.54
Fraction Radiant	0.42	0.72	0.37	0.37	0.18
Fraction Visible	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18
$f_{convected}$	0.40	0.10	0.45	0.45	0.10

Field	Units	Obj1	Obj2	Obj3
Name		Lantai_6 ElectricEq	Lantai_7 ElectricEq	Lantai_8 ElectricEq
Zone or ZoneList Name		Lantai_6	Lantai_7	Lantai_8
Schedule Name		Office Occupancy S	Office Occupancy S	Office Occupancy S
Design Level Calculation Method		Watts/Area	Watts/Area	Watts/Area
Design Level	W			
Watts per Zone Floor Area	W/m2	15	15	15
Watts per Person	W/person			
Fraction Latent				
Fraction Radiant				
Fraction Lost				
End-Use Subcategory		ElectricEquipment	ElectricEquipment	ElectricEquipment

Gambar 3.12 layar *IDF Editor* untuk *Electric:Equipment object*

3.2.6 People Activity schedule

Kegiatan orang di dalam ruangan akan menghasilkan panas yang berpengaruh kepada beban pendinginan. ASHRAE telah memberikan standar aktivitas orang beserta panas yang dikeluarkan dari aktivitasnya [8]. Untuk *input file activity schedule* ini ke dalam *IDF Editor* dimasukkan ke dalam *schedule compact object* seperti yang terlihat pada gambar 3.12.

Activity schedule tersebut akan berpengaruh terhadap beban pendinginan di dalam zona karena merupakan *internal gain* dari orang.

Tabel 3.4 *Heat Gain People Activity* (ASHRAE Fundamental Handbook 2009)

Degree of Activity		Total Heat, W		Sensible Heat, W	Latent Heat, W	% Sensible Heat that is Radiant ^b	
		Adult Male	Adjusted, M/F ^a			Low V	High V
Seated at theater	Theater, matinee	115	95	65	30		
Seated at theater, night	Theater, night	115	105	70	35	60	27
Seated, very light work	Offices, hotels, apartments	130	115	70	45		
Moderately active office work	Offices, hotels, apartments	140	130	75	55		
Standing, light work; walking	Department store; retail store	160	130	75	55	58	38
Walking, standing	Drug store, bank	160	145	75	70		
Sedentary work	Restaurant ^c	145	160	80	80		
Light bench work	Factory	235	220	80	140		
Moderate dancing	Dance hall	265	250	90	160	49	35
Walking 4.8 km/h; light machine work	Factory	295	295	110	185		
Bowling ^d	Bowling alley	440	425	170	255		
Heavy work	Factory	440	425	170	255	54	19
Heavy machine work; lifting	Factory	470	470	185	285		
Athletics	Gymnasium	585	525	210	315		

3.2.7 Zona yang dikondisikan dan tidak dikondisikan

Dalam simulasi ini terdapat 15 zona yang dikondisikan udara ruangnya. Zona-zona tersebut terbagi menjadi 2 kategori yaitu ruang kantor (*office*), dan Musholla. Sedangkan zona yang tidak dikondisikan adalah ruang parkir yang memiliki rongga untuk ventilasi cukup banyak.

3.2.8 Tarif dasar listrik

Tujuan utama dari simulasi *audit* energi ini adalah untuk mengetahui jumlah total pemakaian energi sehingga dapat diperkirakan berapa biaya yang akan di keluarkan dengan sistem pendinginan tersebut. Tarif listrik yang digunakan adalah tarif listrik *flat* yaitu pemakaian yang merata pemakaian listrik [14].

Tabel 3.5 Tarif dasar listrik 2010

TARIF DASAR LISTRIK UNTUK KEPERLUAN BISNIS

NO.	GOL. TARIF	BATAS DAYA	REGULER		PRA BAYAR (Rp/kWh)
			BIAYA BEBAN (Rp/kVA/bulan)	BIAYA PEMAKAIAN (Rp/kWh) DAN BIAYA kVArh (Rp/kVArh)	
1.	B-1/TR	450 VA	23.500	Blok I : 0 s.d. 30 kWh : 254 Blok II : di atas 30 kWh : 420	535
2.	B-1/TR	900 VA	26.500	Blok I : 0 s.d. 108 kWh : 420 Blok II : di atas 108 kWh : 465	630
3.	B-1/TR	1.300 VA	*)	795	795
4.	B-1/TR	2.200 VA s.d. 5.500 VA	*)	905	905
5.	B-2/TR	6.000 VA s.d. 200 kVA	**)	Blok I : H1 x 900 Blok II : H2 x 1.380	1.100
6.	B-3/TM	di atas 200 kVA	***)	Blok WBP = K x 800 Blok LWBP = 800 kVArh = 905 ****)	-

Catatan :

*) Diterapkan Rekening Minimum (RM):
 $RM1 = 40 \text{ (jam Nyala)} \times \text{Daya tersambung (kVA)} \times \text{Biaya Pemakaian.}$

**) Diterapkan Rekening Minimum (RM):
 $RM2 = 40 \text{ (jam Nyala)} \times \text{Daya tersambung (kVA)} \times \text{Biaya Pemakaian Blok I.}$

***) Diterapkan Rekening Minimum (RM):
 $RM3 = 40 \text{ (jam Nyala)} \times \text{Daya tersambung (kVA)} \times \text{Biaya Pemakaian LWBP.}$
 Jam nyala : kWh per bulan dibagi dengan kVA tersambung.
 H1 : Persentase batas hemat terhadap jam nyala rata-rata nasional x daya tersambung (kVA).
 H2 : Pemakaian listrik (kWh) - H1.

Dari tabel daftar tarif listrik tahun 2010 di atas, gedung XYZ termasuk ke dalam golongan B-3 dengan batas daya di atas 200 kVA. Sehingga biaya pemakaian listriknya adalah Rp.800.

Field	Units	Obj1
Name		TDL
Output Meter Name		Electricity:Facility
Conversion Factor Choice		kWh
Energy Conversion Factor		
Demand Conversion Factor		
Time of Use Period Schedule Name		
Season Schedule Name		
Month Schedule Name		
Demand Window Length		
Monthly Charge or Variable Name		
Minimum Monthly Charge or Variable Name		

Field	Units	Obj1
Name		FlatEnergyCharge
Tariff Name		TDL
Source Variable		
Season		Annual
Category Variable Name		EnergyCharges
Cost per Unit Value or Variable Name		800

Gambar 3.13 layar IDF-Editor UtilityCost : Tariff dan UtilityCost:ChargeSimple

3.3 Optimasi Energi Menggunakan *GenOpt*

Setelah memasukkan parameter Simulasi untuk Gedung Kantor XYZ, langkah selanjutnya yaitu dengan melakukan optimasi terhadap pemakaian Pencahayaan, Shading, dan Arah Bangunan. Hal ini sebenarnya tidak mungkin dilakukan untuk bangunan existing, namun parameter ini tetap dimasukkan untuk menguji pengaruh arah bangunan terhadap cooling load dan pemakaian energi total pada gedung. Parameter input dan output dalam optimasi ini adalah

```
vary{
  Parameter{ // building azimuth
    Name      = azimuth;
    Min       = -180;
    Ini       = 0;
    Max       = 180;
    Step      = 10;
  }
  Parameter{ // solar, visible, and thermal transmittance of shading device
    Name      = tau;
    Min       = 0.2;
    Ini       = 0.5;
    Max       = 0.8;
    Step      = 0.1;
  }
}
```

Gambar 3.14 Parameter Input yang akan di variasikan

```
callParameter { // optional section
  // The weather file without extension
  Suffix = IDN_Makassar_MN6;
}
ObjectiveFunctionLocation
{
  Name1      = ES_tot;
  Function1  = "add( %Q_cool%, %E_lights%, %E equip%)";

  Name2      = Q_cool;
  Delimiter2 = ",Cooling,General,0.00,0.00,0.00,";
  FirstCharacterAt2 = 1;

  Name3      = E_lights;
  Delimiter3 = ",Interior Lighting,Lights,";
  FirstCharacterAt3 = 1;

  Name4      = E equip;
  Delimiter4 = ",Interior Equipment,ElectricEquipment,";
  FirstCharacterAt4 = 1;
}
```

Gambar 3.15 Output yang akan di optimasi

3.4 Simulasi Pengkondisian Udara Menggunakan *EnergyPlus*

3.4.1 HVAC *Template – Ideal Load Air System*

EnergyPlus memberikan kemudahan dalam melakukan simulasi penggunaan sistem HVAC. Yaitu dengan menggunakan *HVAC Template Object. Template* ini merupakan sekumpulan object – object sistem HVAC

yang secara otomatis akan terurai (*expand*) setelah dilakukan simulasi. *Expand object* tersebut dapat dilihat dari *file* yang berkeestensi *exp.idf*. Dan *file* tersebut juga dapat diubah atau dimodifikasi sesuai kebutuhan dan kemudian di lakukan running simulasi kembali untuk mendapatkan beda hasilnya [1].

HVAC Template–Ideal Load System merupakan *template* yang disediakan dan digunakan untuk mengetahui berapa besar beban pendinginan yaang terjadi di gedung selama periode tertentu. Dari hasil tersebut kemudian dapat ditentukan perangkat – perangkat sistem HVAC lainnya seperti kapasitas *Chiller*, *Tower* dan lainnya.

HVAC Template – Ideal Load System terdiri dari :

- *HVAC Template Thermostat*

Kondisi pengaturan termostat yang digunakan. Pengaturan ini mengacu kepada *schedule compact object* yaitu *cooling schedule*

- *HVAC Template Zone : Ideal Load System*

Pengaturan terhadap zona yang akan di kondisikan beban idealnya. Yaitu sebanyak 15 zona..

Field	Units	Obj1	Obj2	Obj3	Obj4	Obj5
Zone Name		Lantai_1	Lantai_2	Lantai_3	Lantai_4	Lantai_5
Template Thermostat Name		Thermostat	Thermostat	Thermostat	Thermostat	Thermostat

Gambar 3.16 Layar *IDF Editor HVAC Template Ideal Load System*

Simulasi yang dilakukan telah berhasil dan tidak ditemukan error yang terjadi pada simulasi.

3.4.2 HVAC Template – VAV system

HVAC Template – VAV system adalah *template HVAC object* untuk sistem *VAV air conditioning*

HVAC Template – VAV system terdiri dari :

- *HVAC Template Thermostat*

Kondisi pengaturan termostat yang digunakan. Pengaturan ini mengacu kepada *schedule compact object* yaitu *cooling schedule*

- *HVAC Template Zone : VAV*

Pengaturan terhadap zona-zona yang akan di kondisikan menggunakan sistem VRF

Field	Units	Obj1	Obj2
Zone Name		Lantai_1	Lantai_2
Template VAV System Name		VAV gedung	VAV gedung
Template Thermostat Name		Thermostat	
Supply Air Maximum Flow Rate	m3/s	autosize	autosize
Zone Heating Sizing Factor			
Zone Cooling Sizing Factor			
Zone Minimum Air Flow Input Method		Constant	Constant
Constant Minimum Air Flow Fraction		0.2	0.2

Gambar 3.17 Layar *IDF Editor* untuk HVAC *Template:Zone:VAV object*

- HVAC *Template System : VAV*

Sistem unitary HVAC yang digunakan untuk pengkondisian udara

Field	Units	Obj1
Name		VAV gedung
System Availability Schedule Name		Cooling Setpoint Sc
Supply Fan Maximum Flow Rate	m3/s	autosize
Supply Fan Minimum Flow Rate	m3/s	autosize
Supply Fan Total Efficiency		0.7
Supply Fan Delta Pressure	Pa	1000
Supply Fan Motor Efficiency		0.9
Supply Fan Motor in Air Stream Fraction		1
Cooling Coil Type		ChilledWater

Gambar 3.18 Layar *IDF Editor* untuk HVAC *Template:System:VAV object*

- HVAC *Template plant: Chillerwaterloop*

Sistem chiller waterloop yang digunakan untuk pengkondisian udara

Field	Units	Obj1
Name		Chiller
Pump Schedule Name		Cooling Setpoint Sc
Pump Control Type		Intermittent
Chiller Plant Operation Scheme Type		Default
Chiller Plant Equipment Operation Schemes Name		
Chilled Water Setpoint Schedule Name		
Chilled Water Design Setpoint	C	7.22
Chilled Water Pump Configuration		ConstantPrimaryNoS
Primary Chilled Water Pump Rated Head	Pa	179352
Secondary Chilled Water Pump Rated Head	Pa	179352

Gambar 3.19 Layar *IDF Editor* untuk HVAC *Template:Plant;ChillerWaterLoop object*

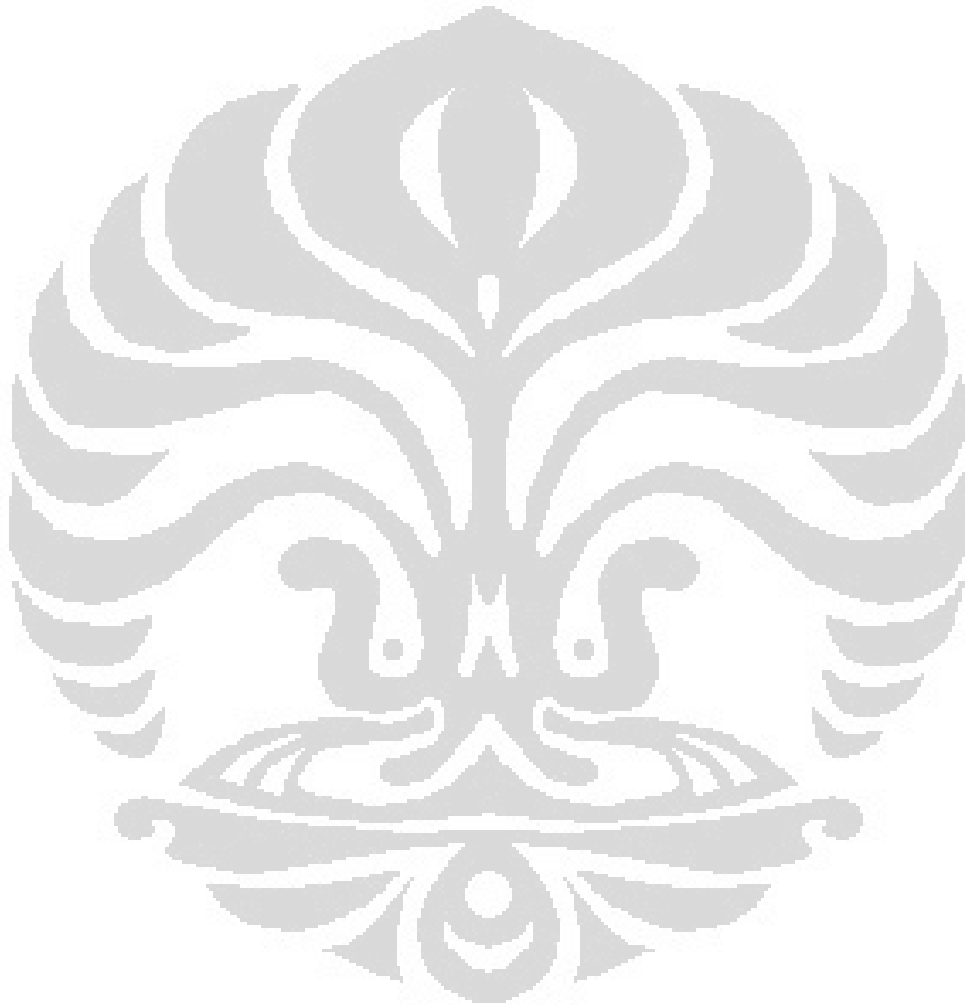
- HVAC *Template plant : Chiller*

Properties chiller yang digunakan

Field	Units	Obj1
Name		Chiller 1
Chiller Type		ElectricScrewChiller
Capacity	W	autosize
Nominal COP	W/W	3.05
Condenser Type		AirCooled
Priority		
Sizing Factor		1

Gambar 3.20 Layar *IDF Editor* untuk HVAC *Template:Plant:Chiller object*

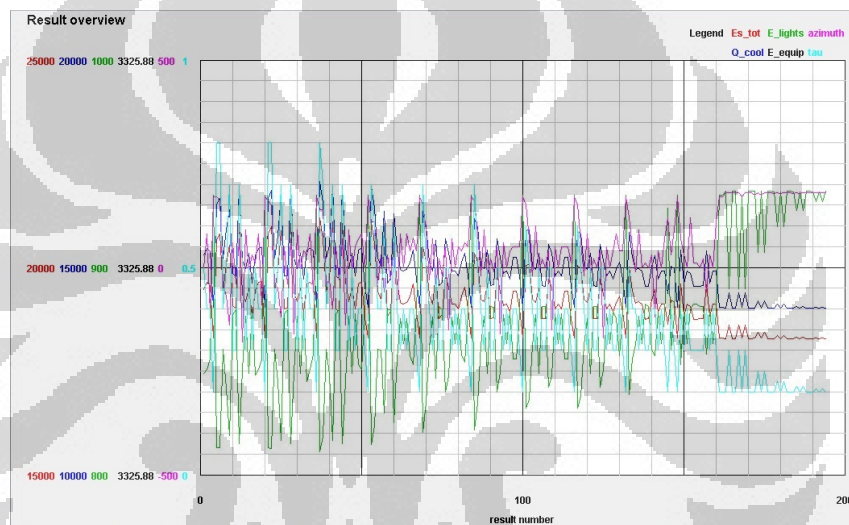
Pada HVAC Template *VAV system* ini diperlakukan untuk 15 zona yang dikondisikan penghawaan udara di dalamnya. Simulasi berjalan dengan sukses tanpa error, namun hanya terdapat warning berupa tidak adanya perilaku pemanasan (*heating load is zero*).



BAB 4 HASIL SIMULASI DAN ANALISA

4.1 Hasil Optimasi *GenOpt*

Sebelum melakukan simulasi dengan *HVAC Template Ideal Load System*, Dilakukan simulasi optimasi dengan software *GenOpt* dengan tujuan memperoleh nilai pemakaian energi yang optimum untuk pemakaian energi listrik di sektor pencahayaan dan tata udara. Hasil simulasi yang didapat dalam bentuk grafik dan tabel



Gambar 4.1 Layar *IDF Editor* untuk HVAC Template:Plant: Tower object

Tabel 4.1 Hasil Optimasi *GenOpt*

Simulation Number	Main Iteration	Step Number	Es_tot	Q_cool	E_lights	E equip	azimuth	tau
1	1	1	19466.77	15292.01	848.88	3325.88	0	0.5
2	2	1	19638.26	15461.62	850.76	3325.88	80	0.4
3	3	1	19561.83	15380.23	855.72	3325.88	-110	0.4
4	4	1	18303.03	14042.3	934.85	3325.88	170	0.2
5	5	1	20667.29	16528.2	813.21	3325.88	170	0.8
6	6	1	20800.46	16661.48	813.1	3325.88	160	0.8
.
.
73	165	1	18280.97	14018.5	936.59	3325.88	180	0.2
73	166	1	18280.97	14018.5	936.59	3325.88	180	0.2
73	167	1	18280.97	14018.5	936.59	3325.88	180	0.2
73	168	1	18280.97	14018.5	936.59	3325.88	180	0.2
73	168	1	18280.97	14018.5	936.59	3325.88	180	0.2

Dari hasil analisa tersebut terlihat shading coefficient sebesar 0.2 adalah nilai optimum untuk total penggunaan energi yang paling hemat.

4.2 Hasil Simulasi HVAC *Template – Ideal Load System*

Simulasi dengan *HVAC Template Ideal Load System* dilakukan untuk mengetahui bagaimana beban pendinginan yang terdapat pada gedung XYZ dan seberapa besar pemakaian energi standarnya (*energy baseline*). Dengan kata lain template ini merupakan gambaran mendasar pemakaian energi pada gedung dengan memenuhi keadaan ideal pada ruangan. Simulasi ini berjalan sukses tanpa *error* seperti yang telah di tunjukkan pada *warning report* simulasi (gambar 3.19), dengan waktu simulasi yaitu 14 menit 41 detik.

Hasil simulasi dapat disajikan ke dalam bentuk tabel untuk memudahkan pembacaannya. Dan *EnergyPlus* juga menyediakan format *summary* yang berisi secara keseluruhan hasil simulasi yang dilakukan. Berikut hasil simulasi yang diperoleh dengan menggunakan *HVAC Template Ideal Load System* .

4.1.1 Report: Annual Building Utility Performance Summary

Report ini menyajikan secara detail penggunaan energi selama periode setahun (*annual period*), dan juga pembagian rinciannya berdasarkan luas area total bangunan maupun luas area yang dikondisikan.

Tabel 4.2 Luas bangunan

	<i>Area [m2]</i>
<i>Total Building Area</i>	29501.07
<i>Net Conditioned Building Area</i>	25580.06
<i>Unconditioned Building Area</i>	3921.02

Dalam simulasi ini tidak semua zona atau ruangan yang dikondisikan , yaitu hanya 15 zona yang dikondisikan dari 17 zona yang membentuk bangunan

Tabel 4.3 Total dan distribusi energi pada *Ideal Load System*

	<i>Total Energy [GJ]</i>	<i>Energy Per Conditioned Building Area [MJ/m²]</i>				<i>Energy Per Total Building Area [MJ/m²]</i>			
		<i>Lighting</i>	<i>HVAC</i>	<i>Other</i>	<i>Total</i>	<i>Lighting</i>	<i>HVAC</i>	<i>Other</i>	<i>Total</i>
<i>Total Site Energy</i>	18341.32	36.34	District Cooling 550.65	130.02	166.36	31.51	District Cooling 477.47	112.74	144.25

Konsumsi energi terbagi menjadi beberapa bagian yaitu energi untuk *lighting*, peralatan (*equipment*) dan juga energi yang digunakan untuk mengkondisikan udara. Pada simulasi dengan HVAC *Template Ideal Load system*, konsumsi energi terbesar adalah untuk pengkondisian udara dari udara sekitar (*district cooling*) yaitu energi yang diperoleh dari daerah tertentu atau sumber tertentu. Konsumsi energi inilah yang nantinya akan ditiadakan dan diganti dengan konsumsi energi untuk sistem dan peralatan pendingin (*air conditioning*)

4.1.2 Report: Input Verification and Results Summary

Report ini menyajikan berbagai data umum yang diinput ke dalam program *EnergyPlus* menggunakan *IDF-Editor*. Data-data inilah yang akan secara otomatis dilakukan perhitungan melalui simulasi program. Berikut adalah tampilan tabel parameter-parameter beserta nilainya yang menggambarkan informasi dari gedung Kantor XYZ. Diantaranya adalah versi program *EnergyPlus* yang digunakan dan waktu simulasi dilakukan, lokasi bujur dan lintang dari bangunan, arah bangunan terhadap sumbu utara, dan periode simulasi. Selain itu juga parameter-parameter yang menginformasikan dan mendeskripsikan keadaan di dalam bangunan seperti luas setiap zona pada bangunan, zona-zona yang dikondisikan, daya yang digunakan untuk pencahayaan (*lighting*) dan peralatan (*equipment*), dan juga bagaimana kehadiran orang di dalam

zona-zona tersebut (*occupancy*), yang dirangkum ke dalam tabel *zone summary*

Untuk data –data *density* daya untuk *lighting, equipment* dan juga *density* orang di dalam zona diperoleh dari data base *Revit Autodesk* yang telah berdasarkan kepada standar ASHRAE seperti yang telah dijelaskan bab sebelumnya. Sedangkan untuk penjadwalan atau *schedule* dari orang dan lampu serta peralatan menggunakan *schedule* standar yang terdapat pada *Datasheet EnergyPlus*.

Tabel 4.4 *Zone summary*

	Area [m ²]	Conditioned (Y/N)	Volume [m ³]	Gross Wall Area [m ²]	Window Glass Area [m ²]	Lighting [W/m ²]	People [m ² per person]	Plug and Process [W/m ²]
BASEMENT	2749.87	No	13749.37	1377.21	0	5	68.75	15
LANTAI_1	2637.81	Yes	13189.04	1377.93	298.13	5	26.38	5
LANTAI_2	15.66	Yes	18306.39	1377.21	88.4	5	0.16	5
LANTAI_4	2334.19	Yes	11670.97	1221.04	287.7	10	38.9	10
LANTAI_6	1934.51	Yes	9672.56	1011.97	882.76	5	24.18	15
LANTAI_3	41.84	Yes	23226.2	1379.48	73.26	5	0.7	10
PARKIR	1171.14	No	23422.87	2682.89	0	0		0
LANTAI_5	1205.43	Yes	4821.73	776.98	660.81	5	20.09	15
LANTAI_7	1934.51	Yes	9672.56	1011.97	879.28	5	24.18	15
LANTAI_8	1934.51	Yes	9672.56	1011.97	882.76	5	24.18	15
LANTAI_9	1934.51	Yes	9672.56	1011.97	882.76	5	24.18	15
LANTAI_10	1934.51	Yes	9672.56	1011.97	882.76	5	24.18	15
LANTAI_11	1934.51	Yes	9672.56	1011.97	882.76	5	24.18	15
LANTAI_12	1934.51	Yes	9672.56	1011.97	882.76	5	24.18	15
LANTAI_13	1934.51	Yes	9672.56	1011.97	882.76	5	24.18	15
LANTAI_14	1934.51	Yes	9672.56	1011.97	882.76	5	24.18	15
LANTAI_15	1934.51	Yes	9672.56	1011.97	882.76	5	24.18	15
Total	29501.07		205112.18	20312.47	10232.38	5.1971	24.18	13.1024
Conditioned Total	25580.06		167939.94	16252.37	10232.38	5.4563	21.68	13.4982
Unconditioned Total	3921.02		37172.25	4060.1	0	3.5066	98.03	10.5197

4.1.3 Report: Demand End Use Components Summary

Report ini menyajikan hasil perhitungan simulasi berupa total beban pendinginan pada gedung Kantor XYZ dan bagaimana penggunaan energi pada setiap komponennya. Dapat dilihat pada tabel, puncak dari beban pendinginan gedung adalah 537274.53W (*district cooling*). Dan nilai inilah yang nantinya akan dikurangi atau ditiadakan dengan cara menggunakan sistem pendingin HVAC Sedangkan yang lainnya menunjukkan penggunaan listrik untuk lampu dan peralatan. Karena sistem ini belum dilengkapi dengan sistem HVAC maka nilai komponen HVAC lainnya adalah 0.

4.1.4 Report: Climatic Data Summary

Report climatic data adalah parameter cuaca yang digunakan dalam simulasi. Dalam hal ini menggunakan *DesignDay* yaitu suatu parameter khusus yang menjadi ketetapan untuk melakukan *sizing equipment* pada kondisi suatu daerah tertentu. Karena Indonesia belum memiliki *DesignDay*, maka yang digunakan adalah *DesignDay* Singapura untuk *annual cooling 1 % DB* yang memiliki keadaan cuaca yang tidak begitu berbeda dengan Indonesia (Junaedy,Ery). Sedangkan untuk kondisi cuaca di daerah lokasi gedung dapat dilihat pada tabel 3.1 .

Tabel 4.5 Data iklim – *DesignDay* Singapura Ann Cooling 1 % Condns DB-MWB

	<i>Maximum Dry Bulb [C]</i>	<i>Daily Temperature Range [deltaC]</i>	<i>Humidity Value</i>	<i>Humidity Type</i>	<i>Wind Speed [m/s]</i>	<i>Wind Direction</i>
SINGAPORE ANN CLG 1% CONDNS DB=>MWB	32.80	5.50	26.30	Wetbulb [C]	4.10	30.00

4.1.5 Report: Tariff Report

Tujuan dari simulasi adalah untuk menghitung penggunaan energi dalam suatu bangunan dalam hal ini KANTOR XYZ, yang kemudian digunakan untuk mengetahui seberapa besar biaya yang dikeluarkan berdasarkan pemakaian energi tersebut. Pada *report* ini, dengan menggunakan tarif dasar flat listrik tahun 2010 dapat dilihat berapa besar biaya yang dikeluarkan untuk pemakaian energi per bulannya.

4.2 Hasil Simulasi HVAC Template –HVAC Template VAV system

Setelah beban pendinginan dari gedung di ketahui, selanjutnya melakukan simulasi dengan menggunakan sistem pendingin (*air conditioning*) yang umum digunakan. Untuk simulasi ini digunakan VAV

system. Adapun hasil yang di peroleh dari simulasi tersebut disajikan ke dalam tabel – tabel di bawah ini.

4.2.1 Report: Annual Building Utility Performance Summary

Report yang menunjukkan bagaimana perform dari kedua sistem pendingin yang digunakan dalam simulasi. Dapat diketahui bagaimana total energi yang digunakan selama periode setahun untuk masing – masing sistem sehingga dapat dilihat bagaimana perbedaan penggunaan energinya.

Table 4.6 Total dan distribusi konsumsi energi pada *Optimized system*

Energy	Optimized system			
	<i>Total Energy [GJ]</i>	<i>Energy/ Total Building Area [MJ/m²]</i>	<i>Energy/ Conditioned Building Area [MJ/m²]</i>	
<i>Total Site</i>	12245.38	lighting	31.51	36.34
		HVAC	270.83	312.35
		Other	112.74	130.02
		Total	415.08	478.71

Dengan membandingkan hasil yang di peroleh dari hasil simulasi yang ada pada tabel, dapat di ketahui bahwa dengan penggunaan sistem pendingin *VAV system* jumlah penggunaan energinya adalah sebsesar 12245.38 GJ. Konsumsi total energi tersebut adalah penjumlahan dari konsumsi energi untuk *building* yang terdiri dari pencahayaan dan peralatan, dan juga konsumsi energi untuk pengkondisian udara (HVAC).

Pembagian konsumsi energi tersebut dapat dibagi berdasarkan luas total area bangunan dan juga luas area yang dikondisikan. Perbandingan data hasil simulasi dari tabel di atas dapat dilihat bahwa dengan menggunakan *VAV system*, konsumsi energinya lebih rendah.

4.2.2 Report: Demand End Use Components Summary

Selain memberikan perhitungan total energi selama periode tahunan, simulasi energi dengan *EnergyPlus* ini juga menghitung secara otomatis bagaimana penggunaan energi untuk setiap komponen sistem pendingin HVAC. Seperti energi untuk pendinginan, *fan* dan juga energi untuk pompa, sehingga nantinya dapat di lakukan *sizing* dan pemilihan komponen yang sesuai.

Tabel 4.7 Demand component summary Unitary system dan VRF system

	Electricity [W]	
	Existing	Optimized (VAV)
Time of Peak	21-JUN-14:45	11-OCT-15:30
Heating	0	0
Cooling	938383.68	537274.53
Interior Lighting	4526.55	65179.98
Exterior Lighting	0	0
Interior Equipment	250847.68	367207.39
Exterior Equipment	0	0
Fans	227715.2	68799.3
Pumps	25198.65	13773.69
Heat Rejection	0	0
Humidification	0	0
Heat Recovery	0	0
Water Systems	0	0
Refrigeration	0	0
Generators	0	0
Total End Uses	1446671.76	1052234.89

Dengan membandingkan dua jenis sistem pendingin tersebut, energi pendinginan pada *VAV system* adalah mendekati 28% lebih rendah dibanding dengan *Existing system*. Hal ini dikarenakan perbedaan penkondisian ruangan yang digunakan pada kedua sistem pendingin tersebut.

Pada *Existing system*, Pencahayaan di gedung hampir 95% menggunakan pencahayaan alami, mengingat nilai WWR yang digunakan di bangunan tersebut cukup tinggi. Namun penghematan di sektor

Universitas Indonesia

pencahayaan tersebut harus dibayar dengan nilai beban pendinginan yang jauh lebih tinggi.

Sedangkan pada *Optimized VAV system* Gedung telah menggunakan kaca film, sehingga tingkat pencahayaan alami menjadi turun, dan pencahayaan ruangan harus digunakan, namun peningkatan beban pencahayaan jauh lebih kecil dari penghematan beban pendinginan yang didapat.

4.2.3 Report: Equipment Summary

Dari hasil simulasi juga dapat dengan mudah kita tentukan bagaimana spesifikasi komponen yang dibutuhkan dalam sistem pendingin yang kita gunakan nantinya. Tabel di bawah ini menyajikan data-data komponen pada masing-masing sistem pendingin *unitary system* dan *VRF system*.

Komponen –komponen dalam *unitary system* yang terdiri dari *cooling coil* dan juga *fan constant volume* serta Komponen – komponen pada *VRF system* yang terdiri dari *chiller*, *cooling coil*, *fan variable volume* dan juga *pump* (pompa).

Tabel 4.8 *Equipment summary VRF system : Central plant (tower & chiller) and Pump*

	Type	Nominal Capacity [W]	Nominal Efficiency [W/W]	
CHILLER 1	Chiller:Electric:EIR	1509378.11	3.05	
	Type	Nominal Total Capacity [W]	Nominal Efficiency [W/W]	
VAV GEDUNG COOLING COIL	Coil:Cooling:Water	1392683.2	-	
	Type	Total Efficiency [W/W]	Rated Electric Power [W]	
VAV GEDUNG SUPPLY FAN	Fan:VariableVolume	0.7	69506.02	
	Type	Control	Electric Power [W]	Motor Efficiency [W/W]
CHILLER CHW SUPPLY PUMP	Pump:VariableSpeed	Intermittent	13773.69	0.9

Chiller yang digunakan dalam simulasi adalah standar *Screw chiller* yang terdapat di dalam *Datasheet EnergyPlus*. Yaitu di pilih yang

memiliki kapasitas yang sesuai atau memenuhi untuk beban pendinginan gedung yang telah diketahui dengan menggunakan *HVAC Template Ideal load system*. sedangkan komponen – komponen lainnya, dihitung secara otomatis oleh *program EnergyPlus*

4.2.4 Report: HVAC Sizing Summary

Report ini merupakan gambaran bagaimana pendistribusian beban pendinginan pada zona gedung yang di kondisikan menggunakan *unitary system* dan *VRF system*. Parameter yang dihitung dilihat pada keadaan puncaknya berdasarkan *Designday* yang digunakan. Berikut ini disajikan distribusi beban pendinginan pada setiap zona beserta jumlah aliran dan juga *humidity ratio* nya.

Tabel 4.9 HVAC Sizing summary : Zone cooling

	Calculated Design Load [W]	User Design Load [W]	Calculated Design Air Flow [m3/s]	User Design Air Flow [m3/s]	Date/Time Of Peak	Temperature at Peak [C]	Humidity Ratio at Peak [kgWater/kgAir]
LANTAI 1	68741.22	68741.22	3.276	3.276	6/21/2012 16:15	32.36	0.01903
LANTAI 2	71649.32	71649.32	3.415	3.415	6/21/2012 16:15	32.36	0.01903
LANTAI 4	76429.99	76429.99	3.642	3.642	6/21/2012 17:00	32.03	0.01903
LANTAI 6	71802.87	71802.87	3.422	3.422	6/21/2012 16:15	32.36	0.01903
LANTAI 3	69960.15	69960.15	3.334	3.334	6/21/2012 16:30	32.25	0.01903
LANTAI 5	46719.01	46719.01	2.227	2.227	6/21/2012 16:00	32.47	0.01903
LANTAI 7	71438.1	71438.1	3.405	3.405	6/21/2012 16:00	32.47	0.01903
LANTAI 8	69399.99	69399.99	3.308	3.308	6/21/2012 16:15	32.36	0.01903
LANTAI 9	68961.9	68961.9	3.287	3.287	6/21/2012 16:15	32.36	0.01903
LANTAI 10	68394.41	68394.41	3.26	3.26	6/21/2012 16:15	32.36	0.01903
LANTAI 11	68051.01	68051.01	3.243	3.243	6/21/2012 16:15	32.36	0.01903
LANTAI 12	67955.54	67955.54	3.239	3.239	6/21/2012 16:15	32.36	0.01903
LANTAI 13	67334.03	67334.03	3.209	3.209	6/21/2012 16:15	32.36	0.01903
LANTAI 14	67229.06	67229.06	3.204	3.204	6/21/2012 16:15	32.36	0.01903
LANTAI 15	66785.67	66785.67	3.183	3.183	6/21/2012 16:15	32.36	0.01903

4.2.5 Report: Tariff Report

Perbandingan report biaya dari masing-masing sistem pendingin setiap bulannya yang digunakan di dalam simulasi berdasarkan total penggunaan energi.

Tabel 4.10 Biaya energi per bulan

Month	Existing system	Optimized system
-------	-----------------	------------------

	<i>Flat energy charge (Rp)</i>	<i>Flat energy charge (Rp)</i>
<i>Jan</i>	3569.21	4163.77
<i>Feb</i>	3026.29	3458.10
<i>Mar</i>	3877.62	4549.45
<i>Apr</i>	3459.63	4091.14
<i>May</i>	3693.34	4470.54
<i>Jun</i>	3471.76	4139.49
<i>Jul</i>	3597.27	4254.42
<i>August</i>	3270.83	3885.20
<i>Sep</i>	3391.81	4013.74
<i>Oct</i>	3647.10	4367.95
<i>Nov</i>	3730.37	4386.55
<i>Dec</i>	3562.26	4169.14
<i>Sum</i>	42297.50	49949.50
<i>Max</i>	3877.62	4549.45

4.3 Envelope Summary

Salah satu faktor yang mempengaruhi beban pendinginan adalah transfer panas dari udara luar dan sinar matahari. Transfer panas ini terjadi di selubung bangunan (*building envelope*). Salah satu syarat untuk mencapai standart green building adalah dengan mencapai nilai ETTV. Sementara itu, hasil yang diperoleh dari simulasi *EnergyPlus* adalah nilai-nilai yang diperlukan untuk perhitungan *building envelope* tersebut.

Tabel 4.11 WWR Gedung

	Total	Utara	Timur	Selatan	Barat
Gross Wall Area [m ²]	20312.5	7274.36	2747.17	7486	2804.93
Window Opening Area [m ²]	10232.4	4369.76	822.57	4176.27	863.78
Window-Wall Ratio [%]	50.37	60.07	29.94	55.79	30.8

Tabel 4.12 Detail Selubung Bangunan

	Construction	Reflectance	U-Factor with Film [W/m ² -K]	U-Factor no Film [W/m ² -K]	Gross Area [m ²]	Azimuth [deg]	Tilt [deg]	Cardinal Direction
9A318D	EXTERIOR WALL	0.3	0.429	0.459	109.05	0	90	N
4B000A	EXTERIOR WALL	0.3	0.429	0.459	22.27	359.84	90	N
498E3F	EXTERIOR WALL	0.3	0.429	0.459	137.53	182.6	90	S
6A9AF8	EXTERIOR WALL	0.3	0.429	0.459	31.68	89.99	90	E
B3C20E	EXTERIOR WALL	0.3	0.429	0.459	135.78	184.44	90	S
29B3F3	EXTERIOR WALL	0.3	0.429	0.459	27.84	89.82	90	E
DF61A2	EXTERIOR WALL	0.3	0.429	0.459	78.11	89.47	90	E
928E3A	EXTERIOR WALL	0.3	0.429	0.459	22.73	269.5	90	W
F044CD	EXTERIOR WALL	0.3	0.429	0.459	32.07	268.21	90	W
3BAC87	EXTERIOR WALL	0.3	0.429	0.459	23.09	179.7	90	S

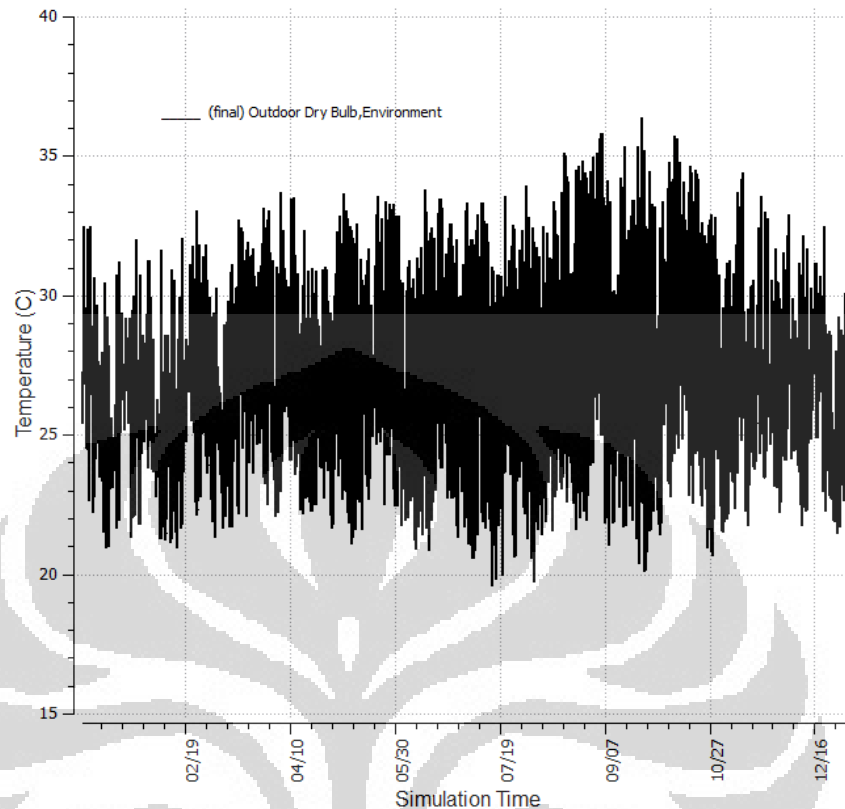
Tabel 4.13 Detail Fenestrasi

	Construction	Luas Kaca [m ²]	Nilai U-Kaca [W/m ² -K]	Glass SHGC	Glass Visible Transmittance	Shade Control	Parent Surface	Azimuth [deg]	Cardinal Direction
CDC2DA	EXTERIOR WINDOW	63.03	1.648	0.426	0.695	Yes	982428	0	N
FD4281	EXTERIOR WINDOW	22.37	1.648	0.426	0.695	Yes	986A4E	8.31	N
767320	EXTERIOR WINDOW	8.42	1.648	0.426	0.695	Yes	9C412C	340.08	N
59BDBE	EXTERIOR WINDOW	10.93	1.648	0.426	0.695	Yes	AA60C1	343.89	N
31352B	EXTERIOR WINDOW	23.68	1.648	0.426	0.695	Yes	36B7EC	7.84	N
EFB768	EXTERIOR WINDOW	9.73	1.648	0.426	0.695	Yes	365B8B	342.88	N
B20AFE	EXTERIOR WINDOW	131.43	1.648	0.426	0.695	Yes	8E72C9	0	N
89DAF6	EXTERIOR WINDOW	15.84	1.648	0.426	0.695	Yes	46CA9D	90	E
E1E532	EXTERIOR WINDOW	12.7	1.648	0.426	0.695	Yes	46CA9D	90	E
E816D0	EXTERIOR WINDOW	21.5	1.648	0.426	0.695	Yes	DC520A	8.31	N
911546	EXTERIOR WINDOW	6.9	1.648	0.426	0.695	Yes	D0F550	340.08	N
907FC4	EXTERIOR WINDOW	21.99	1.648	0.426	0.695	Yes	D8DD69	7.64	N
65C961	EXTERIOR WINDOW	8.5	1.648	0.426	0.695	Yes	10FBF9	343.89	N
FC9570	EXTERIOR WINDOW	21.63	1.648	0.426	0.695	Yes	8E020F	7.84	N
4DA3D2	EXTERIOR WINDOW	7.87	1.648	0.426	0.695	Yes	B08C2B	342.88	N
EB20D4	EXTERIOR WINDOW	72.18	1.648	0.426	0.695	Yes	7E8E8C	0.17	N
6883CA	EXTERIOR WINDOW	145.5	1.648	0.426	0.695	Yes	56BD71	180	S
A6E754	EXTERIOR WINDOW	70.02	1.648	0.426	0.695	Yes	66B494	180	S
A947B3	EXTERIOR WINDOW	165.09	1.648	0.426	0.695	Yes	B72D1D	190.63	S
1C6692	EXTERIOR WINDOW	134.64	1.648	0.426	0.695	Yes	742463	7.94	N
A4F169	EXTERIOR WINDOW	81.67	1.648	0.426	0.695	Yes	B1AE85	269.91	W

4.4 Grafik Temperatur dan RH

Tujuan penggunaan sistem pendinginan adalah untuk mengkondisikan udara dan kelembaban pada suatu ruangan sehingga diperoleh keadaan yang nyaman bagi penghuninya. Untuk proses tersebut, kondisi lingkungan di luar ruangan sangat berpengaruh. Berikut adalah gambaran keadaan temperatur udara lingkungan di sekitar lokasi gedung KANTOR XYZ dalam periode *annual* yang fluktuatif. Data- data temperatur ini diperoleh dari *weather data file* dari *EnergyPlus*.

Universitas Indonesia



Gambar 4.2 Grafik temperatur udara lingkungan (*outdoor air temperature*)

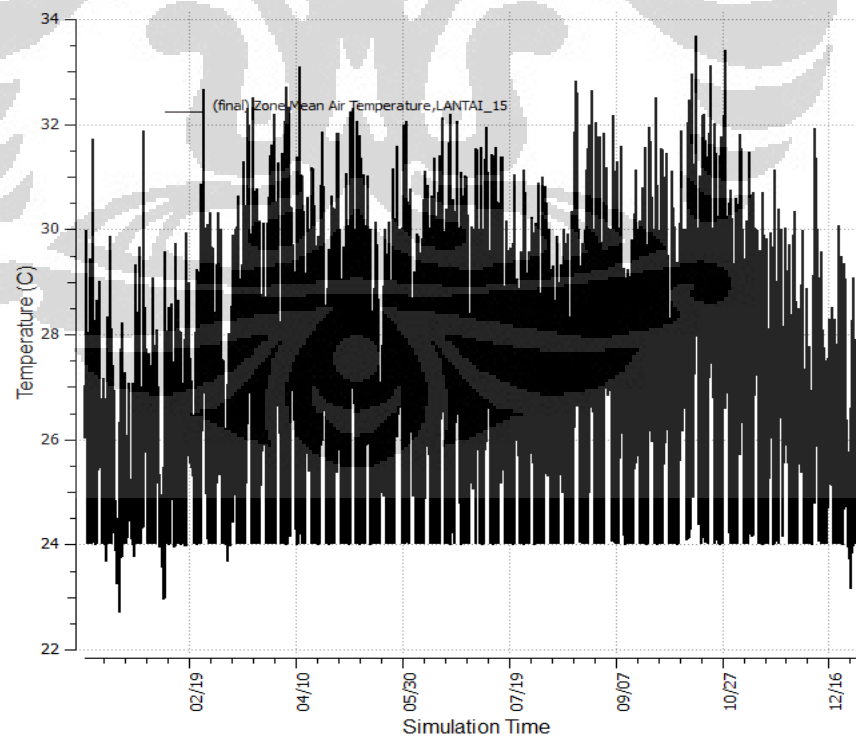
4.4.1 Zone Mean Air Temperature

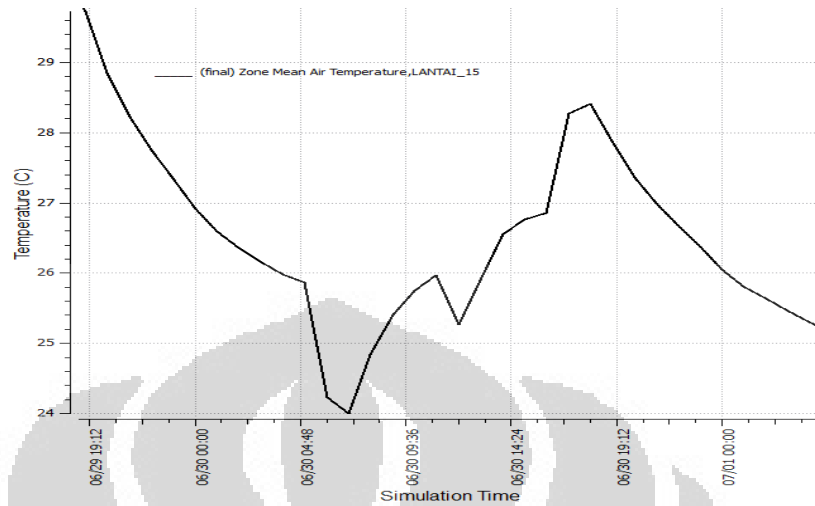
Untuk mengetahui bagaimana keadaan temperatur di dalam ruangan gedung, khususnya di setiap zona yang dikondisikan maupun tidak dapat dilihat melalui grafik-grafik *zone mean air temperature* di bawah ini. Berikut adalah beberapa zona yang mewakili keadaan di setiap ruangan di setiap lantainya. Dikarenakan setiap zona memiliki keadaan temperatur masing-masing, namun keadaan distribusi temperaturnya adalah tipikal berdasarkan sistem pendingin yang digunakan sehingga tidak perlu ditampilkan semua zona yang ada, hanya untuk memberikan gambaran bagaimana distribusinya saja.

VAV system dapat menjaga kondisi ruangan pada temperatur yang konstan sesuai dengan temperatur nyaman yaitu 24-26 °C. Pada *VAV system* suhu keluaran diatur agar dapat memenuhi kondisi nyaman ruangan dan kemudian menggunakan *variable fan* untuk mengalirkan

udara ke dalam ruangan yang dilengkapi dengan sensor untuk mengatur jumlah aliran udaranya sesuai dengan beban pendingin di dalam ruangan yang disebabkan oleh *occupancy*. Sehingga meskipun terdapat banyak orang di dalam ruangan, temperatur ruangan akan tetap konstan karena *VRF system* memperbanyak jumlah aliran udaranya agar tetap dalam kondisi nyaman pada ruangan. Hal ini dapat dilihat pada grafik di bawah ini yaitu untuk periode *annual* dan *daily* temperatur dengan *VAV system*.

Pada grafik *daily temperature VAV system* memperlihatkan kondisi temperatur ruangan tertinggi mencapai 30,5 °C pada tanggal 22 Mei. Hal ini dikarenakan pada hari itu merupakan hari minggu dimana tidak ada aktivitas di dalam ruangan dan sistem pendingin yang digunakan juga mati (*off*) pada hari sabtu dan minggu, sehingga akan terjadi pemanasan temperatur ruangan yang di sebabkan oleh kondisi temperatur lingkungan yang juga panas, pada bulan Mei temperatur rata-rata nya lebih tinggi.

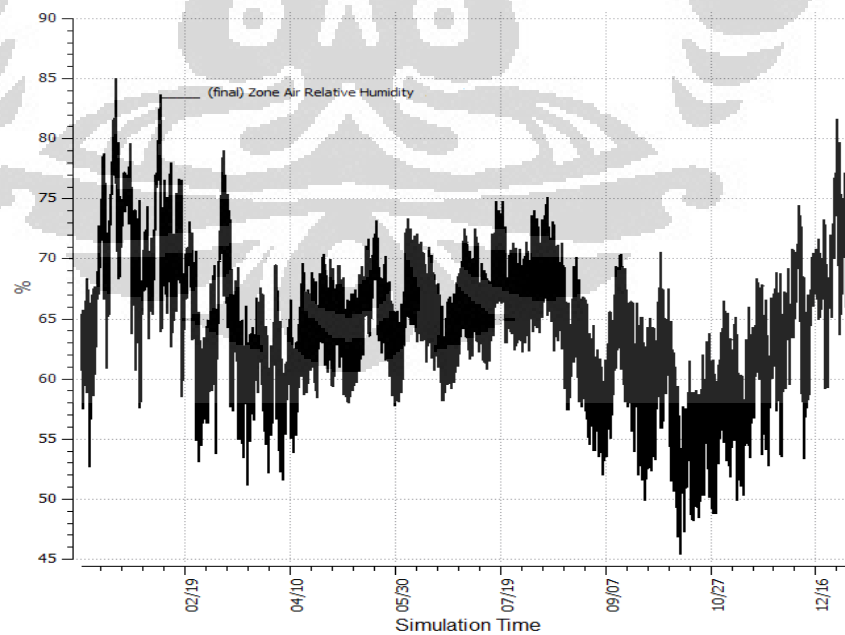


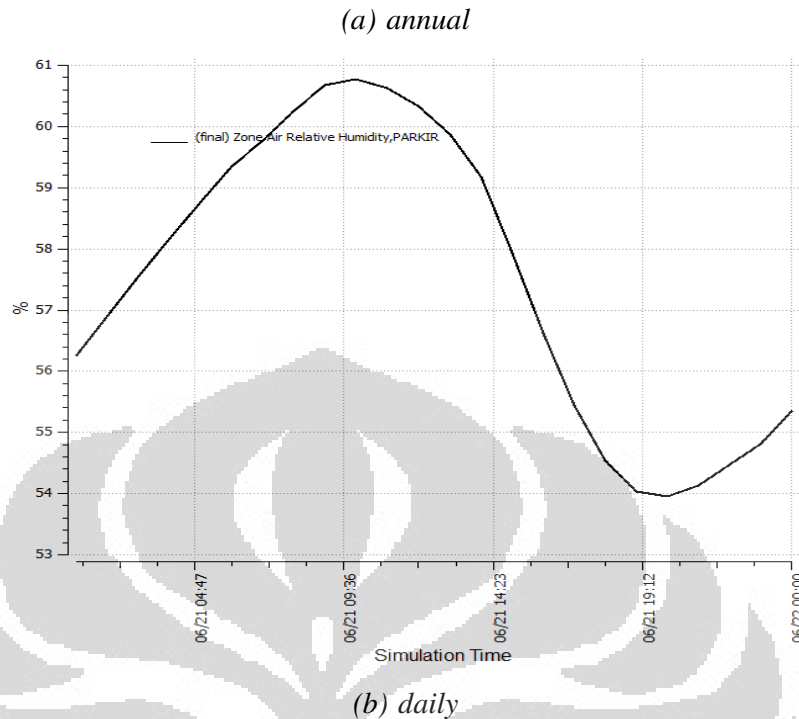
(a) *Annual*(b) *Daily*

Gambar 4.3 Grafik zone mean air temperature VRF system (a) annual, (b) daily

4.4.2 Relative Humidity

Selain keadaan temperatur, tingkat kelembaban (*relative humidity*) juga sangat berpengaruh terhadap kondisi nyaman di dalam ruangan. Pada kondisi ideal RH yang diinginkan adalah 50 %-70 %. Hal ini sesuai dengan kondisi nyaman dari standar SNI tentang kondisi nyaman zona.





Gambar 4.4 Grafik RH VAV system (a) annual, (b) daily

4.5 Analisa Hasil Simulasi

Tujuan akhir dari simulasi menggunakan *EnergyPlus* ini adalah untuk mengetahui bagaimana penggunaan energi untuk setiap sistem pendinginan yang tersedia, sehingga dapat dilihat bagaimana perbedaannya, dan dapat dihasilkan rekomendasi yang sesuai dengan kondisi riil gedung nantinya. Untuk itu dalam hal ini, dilakukan beberapa analisa yang terdiri dari analisa kondisi kenyamanan temperatur dan RH, analisa penggunaan energi, juga analisa dari segi biaya.

Tabel 4.14 Perbedaan konsumsi energi untuk masing-masing sistem pendingin

	Existing system	Optimized system
Total Energy (GJ)	16849.65	12245.38
Energy /Total Floor Area (MJ/m ²)	158.653	115.303
Electricity:interior lighting (GJ)	51.84	929.69

Electricity:interior equipment (GJ)	2271.98	3325.88
Electricity:Cooling(GJ)	688.37	308.76
Electricity:Fan (GJ)	3192.76	1211.34
Electricity:Pumps (GJ)	794.66	434.37
Cost (Rp)	3.744.366.666	2.721.480.000

Tabel di atas memberikan perbedaan dari sistem dilihat dari bagaimana penggunaan energinya selama periode 1 tahun (*annual*), dalam hal ini adalah energi listrik saja. Penggunaan energi listrik ini terbagi menjadi beberapa komponen utama yaitu untuk pencahayaan (*lighting*), peralatan (*equipment*) dan juga energi untuk pendinginan (*cooling*). Energi untuk peralatan adalah sama untuk kedua sistem yang digunakan, namun berbeda untuk energi pencahayaan dan pendinginan. Energi untuk total menggunakan *VAV system* adalah 12245.38GJ.

Dari konsumsi total energi tahunan tersebut dapat dilihat bahwa total penggunaan energi yang telah di optimasi adalah sebesar 12245.38GJ sedangkan untuk *existing system* adalah 16849.65 GJ. Dengan nilai tersebut, maka dapat disimpulkan bahwa *VAV system* lebih hemat energi untuk sistem pendinginan gedung KANTOR XYZ.

Hal tersebut sesuai dengan teori sistem pendinginan yaitu untuk *VAV system*, konsumsi energi pendinginan akan lebih rendah dikarenakan udara yang dikondisikan tidak didinginkan dalam suhu yang sangat rendah kemudian dipanaskan kembali seperti dalam sistem volume konstan. Dan juga konsumsi energi yang tidak terlalu besar akibat penggunaan *fan* yang berdaya rendah untuk mengatur aliran udara pada beban yang rendah.

Adapun total biaya tahunan dari setiap sistem yang disimulasikan setelah ditambahkan dengan biaya bebannya setiap bulan adalah sebagai berikut :

Tabel 4.15 Perbedaan biaya *annual* setiap sistem pendingin yang digunakan

<i>Annual Cost</i>	<i>Existing system</i>	<i>VRF system</i>
	<i>Electric</i>	<i>Electric</i>
<i>Cost (Rp)</i>	3.744.366.666	2,738,670,000.00
<i>Cost /Total Building Area(Rp/m²)</i>	126,923.08	92,832.81
<i>Cost /Net Conditioned Building Area (Rp/m²)</i>	146,378.34	107,062.61

Semakin hemat nilai konsumsinya, maka biaya yang dikeluarkan akan semakin rendah. Seperti yang terlihat pada tabel di atas, untuk *existing system*, *annual cost* nya sebesar Rp 2,738,670,000.00, sedangkan dengan adanya penggunaan sistem yang telah di optimasi, otomatis *annual cost* nya berkurang. Sehingga dapat diambil kesimpulan bahwa gedung yang menggunakan *VRF system* untuk mengkondisikan udara akan lebih hemat, dengan demikian rekomendasi sistem pendingin yang digunakan untuk gedung KANTOR XYZ lebih baik menggunakan sistem *variable air volume system* yang lebih efisien dan hemat.

Selain itu berdasarkan persyaratan untuk bangunan hemat energi sesuai dengan kriteria dari BCA, maka gedung KANTOR XYZ ini telah memenuhi persyaratan tersebut jika menggunakan *VRF system* sebagai sistem pengkondisian udaranya. Yaitu energi per luas area yang dikondisikan adalah **115.303 kW.h /m²**. Sedangkan kriteria dari BCA untuk gedung *office* adalah 200 kW.h/m².

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Setelah dilakukan peng-audit-an energi menggunakan simulasi dengan *EnergyPlus*, yaitu dengan dua sistem pendingin udara *unitary system* dan *VAV system* dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

- Konsumsi energi tahunan dengan *VAV system* adalah lebih rendah dari existing sebesar **12245.38** GJ/tahun
- Untuk energi pendinginannya, konsumsi energi *VAV system* dapat lebih rendah 45% dibandingkan dengan *existing system* yaitu sebesar 7989.81 GJ/tahun. Hal ini dikarenakan pada *VAV system* dapat mengontrol temperatur udara ruangan tetap konstan dengan mengalirkan jumlah udara dingin yang disesuaikan dengan beban pendinginan pada ruangan pada waktu tertentu dengan menggunakan *variable fan* dan juga laju massa dari refrigerant dapat diatur bergantung pada jumlah beban pendinginan aktual, sehingga menghemat daya kompressor.
- Kondisi temperatur ruangan yang nyaman yaitu diseting pada thermostat 25 °C dan pada *VAV system* dapat menjaga kondisi ini dengan baik selama jam kerja.
- Kondisi kelembaban di dalam ruangan (*relative humidity*) pada *VRF system* dapat menjaga kondisi Rh antara 50%-70%. Kondisi ini masih sesuai dengan kondisi kenyamanan standar SNI.
- Dengan konsumsi energi tahunan yang lebih rendah, maka biaya yang dikeluarkan pada gedung dengan *VRF system* juga rendah yaitu sebesar Rp 2.721.410.000,- per tahun.
- Bangunan gedung KANTOR XYZ tersebut telah memenuhi kriteria bangunan hemat energi dengan menggunakan *VRF system* berdasarkan BCA yaitu dengan efisiensi energi indeksnya sebesar 115.503 kWh/m².tahun

5.2 Saran

Dalam simulasi energi ini masih cukup banyak ketidak akuratan dalam mendapatkan informasi. Hal ini disebabkan dalam input data untuk simulasi ini masih banyak menggunakan asumsi-asumsi, dengan kata lain masih belum mewakili kondisi riil di lapangan. Sehingga kedepannya agar dapat lebih diperhatikan data-data yang benar – benar dibutuhkan untuk melakukan simulai tersebut.

Adapun saran untuk pengelola gedung KANTOR XYZ adalah sebaiknya menggunakan sistem pendingin *VRF system* sebagai sarana pengkondisian udara di dalam ruangan. Karena telah terbukti dengan simulasi energi yang dilakukan mendapatkan hasil yang lebih efisien dan hemat. Dan untuk pengoptimalkan konsumsi energi tersebut dapat dilakukan dengan cara menambahkan *daylighting control* yang dapat mengatur tingkat pencahayaan di dalam ruangan. sehingga konsumsi energi pada bangunan dapat dikurangi. Semakin besar penurunan konsumsi energi pada bangunan maka akan semakin tinggi *point* yang diperoleh dalam sertifikasi gedung hemat energi.

DAFTAR PUSTAKA

- [1]. *EnergyPlus Documentation Version 07*, October 2011
- [2]. <http://www.eere.energy.gov/topics/buildings.html> diakses pada 29 Maret 2011 pukul 16.15
- [3]. <http://www.energyefficiencyasia.org> diakses pada 29 Maret 2011 pukul 16.30
- [4]. SNI_03-6196-2000_Audit Energi pada Bangunan Gedung.pdf
- [5]. Wang, Shan K, *Handbook of air conditioning and refrigeration*, McGraw-Hill, USA, 2001
- [6]. ASHRAE/IES Standard 90.1-1989, *Energy Efficient Design of New Buildings Except New Low- Rise Residential Buildings*
- [7]. www.bca.gov.sg/ diakses pada 3 April 2011 pukul 15.20
- [8]. _____. 2009. *ASHRAE Handbook - Nonresidual Cooling and Heating Loads Calculations*. Atlanta, GA: ASHRAE
- [9]. Wang, S.K. and Lavan, Z. “*Air-Conditioning and Refrigeration*” *Mechanical Engineering Handbook*, Boca Raton: CRC Press LLC, 1999
- [10]. ANSI/ASHRAE Standard 55-1992, *Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy*
- [11]. Trane. 2009. *Application Engineering Manual : Chilled Water VRF System*. SYS-APM008-EN. . La Crosse, WI: AVS Group
- [12]. <http://docs.autodesk.com/subscription/REVIT/2011/ENU/filesUserGuide/WS73099cc142f48755-2231e4b3128f27ee529-38d4.htm> diakses pada 5 April 2011 pukul 16.00
- [13]. www.wikipedia.org/green_building diakses 28 April 2011 pukul 15.00
- [14]. <http://www.plnbabel.co.id/t dl.htm> diakses pada 3 Mei pukul 10.00
- [15]. <http://www.bdg.nus.edu.sg/BuildingEnergy/news/eeba.pdf> diakses pada 6 Juni 2011 pukul 11.20