



UNIVERSITAS INDONESIA

**KAJIAN SIMULASI BEBAN *THERMAL* DAN ANALISIS
ENERGI PADA RANCANGAN GEDUNG *MANUFACTURING
RESEARCH CENTER* FT-UI DENGAN SISTEM TATA UDARA
VARIABLE AIR VOLUME DAN *UNITARY* MENGGUNAKAN
*ENERGYPLUS***

SKRIPSI

**KUAT RIYANTO
0706166983**

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



UNIVERSITAS INDONESIA

**KAJIAN SIMULASI BEBAN *THERMAL* DAN ANALISIS
ENERGI PADA RANCANGAN GEDUNG *MANUFACTURING
RESEARCH CENTER* FT-UI DENGAN SISTEM TATA UDARA
VARIABLE AIR VOLUME DAN *UNITARY* MENGGUNAKAN
*ENERGYPLUS***

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana teknik

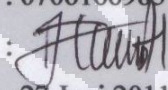
**KUAT RIYANTO
0706166983**

**FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
DEPOK
JUNI 2011**

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

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

Skripsi ini merupakan bagian dari skripsi yang dikerjakan bersama dengan rekan saya, saudara Yusuf Priyambodo (0706163584). Sehingga harap maklum jika ada beberapa bagian dari buku ini yang memiliki kesamaan.

Nama : Kuat Riyanto
NPM : 0706166983
Tanda Tangan : 
Tanggal : 27 Juni 2011

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :
Nama : Kuat Riyanto
NPM : 0706166983
Program Studi : Teknik Mesin
Judul Skripsi : Kajian Simulasi Beban *Thermal* dan Analisis Energi Pada Rancangan Gedung *Manufacturing Research Center* FT-UI Dengan Sistem Tata Udara *Variable Air Volume* dan *Unitary* Menggunakan *EnergyPlus*

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 : Ir. Rusdy Malin, MME

Penguji : Dr. Ir. Muhamad Idrus Alhamid

Penguji : Dr. Ir. Budihardjo, Dipl. -Ing

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 27 Juni 2011



Handwritten signatures of the examiners and supervisor. The signatures are in black ink, with the name 'Rusdy Malin' clearly visible. There are also blue ink initials and a signature in parentheses below.

KATA PENGANTAR

Puji syukur saya panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa, atas berkat rahmat, dan barakah Nya, 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) Ibunda tercinta, Mas Budi dan Kang Maulud serta keluarga yang selalu mendukung dan tak pernah lelah mendoakan setiap hari , setiap malam;
- 3) Pak Idrus, Pak Rusdy dan semua dosen DTM FT-UI yang telah memberi saran dan masukan-masukan yang berharga
- 4) Dr. Ir. Harinaldi, M.Eng selaku kepala Departemen Teknik Mesin FTUI
- 5) Bapak Ery Djunaedy *trainer EnergyPlus* yang telah memberi koreksi dan masukan dalam simulasi *EnergyPlus*
- 6) Mei Nurtika Hamidah atas semangat, dukungan, kesabaran dan senyum cerianya;
- 7) Yusuf Priyambodo sebagai teman skripsi bersama dan seluruh teman-teman Teknik Mesin UI 2007.
- 8) 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, Juni 2011

Penulis

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

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

Nama : Kuat Riyanto
NPM : 0706166983
Program Studi : Teknik Mesin
Departemen : Teknik Mesin
Fakultas : Teknik
Jenis karya : Skripsi

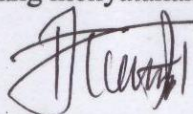
demikian demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Indonesia **Hak Bebas Royalti Noneksklusif (*Non-exclusive Royalty-Free Right*)** atas karya ilmiah saya yang berjudul :

KAJIAN SIMULASI BEBAN *THERMAL* DAN ANALISIS ENERGI PADA RANCANGAN GEDUNG *MANUFACTURING RESEARCH CENTER* FT-UI DENGAN SISTEM TATA UDARA *VARIABLE AIR VOLUME* DAN *UNITARY* MENGGUNAKAN *ENERGYPLUS*

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 : 27 Juni 2011
Yang menyatakan



(Kuat Riyanto)

ABSTRAK

Nama : Kuart Riyanto
Program Studi : Teknik Mesin
Judul : **Kajian Simulasi Beban *Thermal* dan Analisis Energi Pada Rancangan Gedung *Manufacturing Research Center* FT-UI Dengan Sistem Tata Udara *Variable Air Volume* dan *Unitary* Menggunakan *EnergyPlus***

Pemakaian energi pada gedung merupakan sumber terbesar konsumsi energi. *green building* merupakan konsep penghematan energi yang berstandar internasional. Audit energi bangunan menggunakan simulasi *software* adalah salah satu cara untuk mengetahui bagaimana konsumsi energi bangunan dan mencari alternatif untuk mengurangi konsumsinya agar memenuhi kriteria sebagai gedung hemat energi. Dalam penelitian ini digunakan *software EnergyPlus* yang memiliki keunggulan dibanding *software* simulasi energi lainnya. Simulasi dilakukan dengan menggunakan sistem pendingin *unitary* dan VAV pada rancangan gedung MRC FT-UI. Dari hasil simulasi tersebut diketahui bahwa sistem VAV merupakan sistem yang lebih efisien dengan konsumsi energi sebesar 1386,67 GJ/tahun dan dapat menjaga dengan baik kondisi kenyamanan ruangan pada temperatur 24,5 °C dan *relative humidity* antara 45%-65%.

Kata kunci : Simulasi energi bangunan, *EnergyPlus* , sistem VAV

ABSTRACT

Name : Kuat Riyanto
Field of Study : Mechanical Engineering
Title : **Study Of Energy Analysis and Thermal Load Simulation For Building Design Of Manufacturing Research Center FT-UI With Air Conditioning Variable Air Volume System and Unitary System Using EnergyPlus**

Energy used in buildings is the largest source of energy consumption. Green building is the concept of energy saving or energy efficient based on international 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 software which has more advantage then the other energy simulation software. The simulation using unitary and VAV cooling system in the MRC FT-UI building. From the simulation results can be known that the VAV system is more efficient with energy consumption of 1386,68 GJ/year and can maintain good indoor comfort conditions at the temperature of 24,5 °C and relative humidity between 45% -65%

Key words : Building energy simulation, EnergyPlus, VAV system

DAFTAR ISI

SKRIPSI.....	0
UNIVERSITAS INDONESIA	i
KATA PENGANTAR	iv
ABSTRAK	vi
ABSTRACT.....	vii
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL.....	xiii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xiv
DAFTAR ISTILAH DAN SATUAN	xv
BAB I.....	1
PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah.....	2
1.3 Tujuan Penelitian.....	2
1.4 Pembatasan Masalah	2
1.5 Metodologi Penelitian	3
1.6 Sistematika Penulisan.....	4
BAB 2	5
TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 <i>Green Building</i>	5
2.1.1 Definisi dan Tujuan <i>Green Building</i>	5
2.1.2 <i>Building And Construction Assosiation (BCA)</i>	5
2.2 <i>Audit Energi Bangunan</i>	6
2.3 <i>EnergyPlus</i>	7
2.3.1 Menjalankan <i>EnergyPlus (Running EnergyPlus)</i>	9
2.3.2 Hasil Simulasi (<i>Simulation Results</i>).....	10
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 Sistem Tata Udara Pada Bangunan	26
2.5.1 <i>Unitary Packaged System</i>	29
2.5.2 .1 <i>VAV Air Handling Unit</i>	34
2.5.2 .2. Koil Pendingin (<i>Cooling Coil</i>).....	35

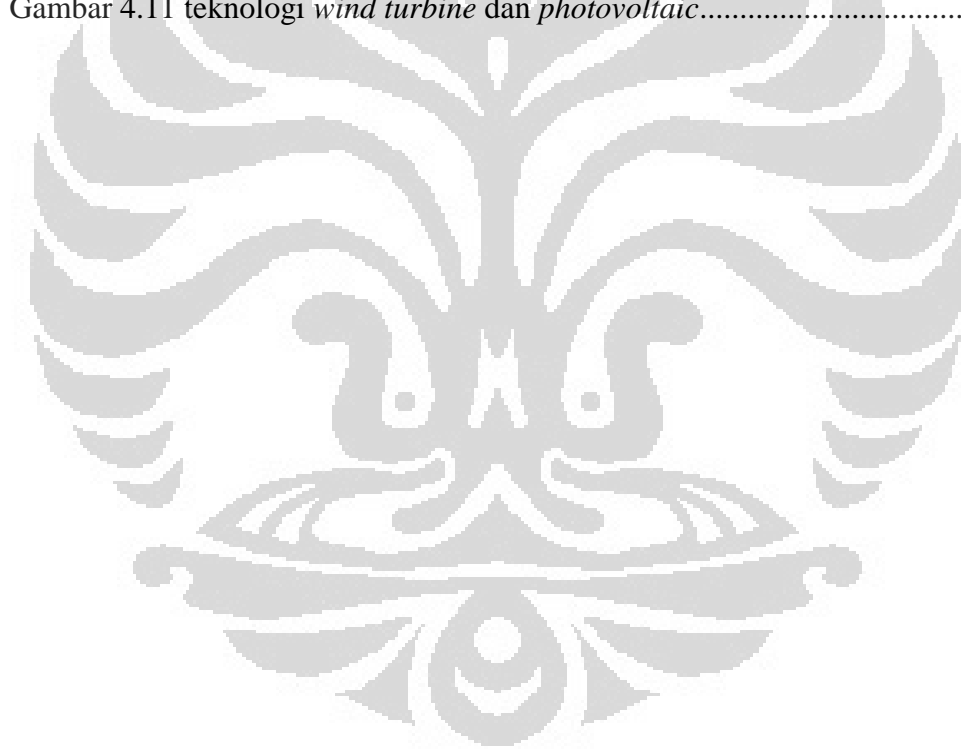
2.5.2 .3. Kipas (<i>Blower / fan</i>).....	35
2.5.2 .4. Penyaring Udara (<i>filter</i>)	36
2.5.2 .5 VAV <i>Terminal Unit</i>	37
1. <i>Cooling Only</i>	37
2.5.2 .6 Sistem Distribusi Udara (<i>Air Distribution</i>).....	39
2.5.2 .7 Chiller Water System	40
BAB III	42
AUDIT ENERGI BANGUNAN DENGAN SIMULASI <i>ENERGYPLUS</i>	42
3.1 Deskripsi Bangunan	42
3.2 Data dan Parameter Bangunan.....	44
3.2 .2 Material dan Konstruksi Bangunan.....	48
3.2 .3 Kondisi <i>Indoor</i>	49
3.2 .4 <i>Schedule Occupancy</i>	49
3.2 .5 <i>Building Space Type data</i>	50
3.2 .6 <i>People Activity schedule</i>	54
3.2 .7 Zona yang dikondisikan dan tidak dikondisikan.....	55
3.2 .8 Tarif dasar listrik	56
3.3 Simulasi Pengkondisian Udara Menggunakan <i>EnergyPlus</i>	57
3.3 .1 HVAC <i>Template – Ideal Load Air System</i>	57
3.3 .2 HVAC <i>Template – Unitary system</i>	58
3.3 .3 HVAC <i>Template – VAV system</i>	59
BAB 4	62
HASIL SIMULASI DAN ANALISA	62
4.1 Hasil Simulasi HVAC <i>Template – Ideal Load System</i>	62
4.1.1 Report: Annual Building Utility Performance Summary	62
4.1.2 Report: <i>Input Verification and Results Summary</i>	63
4.1.3 Report: <i>Demand End Use Components Summary</i>	67
4.1.4 Report: <i>Climatic Data Summary</i>	68
4.1.5 Report: <i>Tariff Report</i>	69
4.2 Hasil Simulasi HVAC <i>Template – Unitary system dan HVAC Template</i> VAV <i>system</i>	70
4.2.1 Report: Annual Building Utility Performance Summary	70
4.2.2 Report: <i>Demand End Use Components Summary</i>	71
4.2.3 Report: <i>Equipment Summary</i>	73

4.2.4 Report: HVAC Sizing Summary	80
4.2.5 Report: Tariff Report	82
4.3 Grafik Temperatur dan RH	83
4.3.1 Zone Mean Air Temperature	84
4.3.2 Relative Humidity.....	87
4.4 Analisa Hasil Simulasi	90
4.5 Metode Optimasi Penghematan Energi.....	96
4.6 Alternatif Energi Pada Bangunan.....	98
BAB 5	98
KESIMPULAN DAN SARAN.....	98
5.1 Kesimpulan	98
5.2 Saran.....	99
DAFTAR PUSTAKA	100
LAMPIRAN.....	101
Lampiran 1 : Denah Gedung MRC FT UI.....	101
Lampiran 2 : Weather File Depok.....	103
Lampiran 3 : Green mark for non-residential building	111

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Diagram Alir Simulasi Energi pada Bangunan	7
Gambar 2.2 Gambaran umum sistem <i>EnergyPlus</i>	8
Gambar 2.3 Elemen <i>internal EnergyPlus</i>	8
Gambar 2.4 Gambar layar <i>EP-Launch</i>	10
Gambar 2.5 Status selesai simulasi	10
Gambar 2.7 Layar <i>ID- Editor</i>	16
Gambar 2.8 layar Google Sketchup 7 Pro.....	26
Gambar 2.9 Grafik zona kenyamanan berdasarkan <i>ANSI/ASHRAE Standards 55-2004</i>	28
Gambar 2.10 Diagram psikometrik proses pendinginan udara ruangan.....	29
Gambar 2.11 <i>Packaged Air Conditioning</i>	30
Gambar 2.12 (a) <i>Rooftop unit (a), Indoor unit (b), Split Packaged Unit</i>	31
Gambar 2.13 Komponen sistem VAV	33
Gambar 2.14 Skema sistem VAV <i>single duct, multiple zone</i>	34
Gambar 2.15 <i>Air Handling Unit (AHU)</i>	34
Gambar 2.16 <i>Cooling Coil</i>	35
Gambar 2.17 Jenis jenis kipas berdasarkan peletakannya	36
Gambar 2.18 Jenis – jenis <i>filter</i>	37
Gambar 2.19 Jenis jenis <i>VAV Terminal Unit</i>	39
Gambar 2.20 Skema sistem <i>ducting</i>	40
Gambar 2.21 Jenis jenis <i>Chiller</i>	40
Gambar 2.22 Grafik perbandingan <i>Air-cooled dan Water-cooled Chiller</i>	42
Gambar 3.1 Lokasi gedung MRC dilihat menggunakan Google Earth	42
Gambar 3.3 Gambar 3D gedung MRC menggunakan <i>Sketchup+OpenStudio</i> (a)tampak depan , (b)tampak depan serong kanan, (c)tampak belakang serong kiri	44
Gambar 3.4 layar <i>IDF Editor</i> untuk <i>Zone</i>	45
Gambar 3.5 Layar <i>IDF Editor</i> untuk <i>building object</i>	45
Gambar 3.6 Layar <i>IDF Editor</i> untuk <i>site:location object</i>	46
Gambar 3.7 Layar <i>IDF Editor</i> untuk <i>SizingPeriod:DesignDay</i>	47
Gambar 3.8 Layar <i>IDF Editor</i> untuk <i>SiteGroundtemperature: BuildingSurface</i>	48
Gambar 3.9 Layar <i>IDF Editor</i> untuk <i>Material</i>	48
Gambar 3.10 Layar <i>IDF Editor</i> untuk <i>Construction</i>	48
Gambar 3.11 Grafik <i>Schedule Occupancy (Revit Autodesk)</i>	50
Gambar 3.13 layar <i>IDF Editor</i> untuk <i>people object</i>	53
Gambar 3.14 layar <i>IDF Editor</i> untuk <i>Lights object</i>	53
Tabel 3.3 <i>luminaire configuration</i>	53
Gambar 3.15 layar <i>IDF Editor</i> untuk <i>Electric:Equipment object</i>	54
Gambar 3.16 layar <i>IDF Editor</i> untuk <i>ZoneInfiltration:DesignAirFlow object</i>	54
Gambar 3.17 layar <i>IDF-Editor UtilityCost : Tariff</i> dan <i>UtilityCost:ChargeSimple</i>	57
Gambar 3.18 Layar <i>IDF Editor HVAC Template Ideal Load System</i>	58
Gambar 3.20 Layar <i>IDF Editor</i> untuk <i>HVAC Template:Zone:Unitary object</i>	58
Gambar 3.21 Layar <i>IDF Editor</i> untuk <i>HVAC Template:System:Unitary object</i> .	59
Gambar 3.23 Layar <i>IDF Editor</i> untuk <i>HVAC Template:Zone:VAV object</i>	60

Gambar 3.24 Layar <i>IDF Editor</i> untuk HVAC Template:System:VAV object.....	60
Gambar 3.25 Layar <i>IDF Editor</i> untuk HVAC Template:Plant;ChillerWaterLoop object.....	60
Gambar 3.26 Layar <i>IDF Editor</i> untuk HVAC Template:Plant:Chiller object.....	61
Gambar 3.27 Layar <i>IDF Editor</i> untuk HVAC Template:Plant:Tower object	61
Gambar 4.1 Grafik temperatur udara lingkungan (<i>outdoor air temperature</i>).....	83
Gambar 4.2 Grafik <i>annual zone mean air temperature</i> pada <i>Ideal load asir system</i>	84
Gambar 4.3 Grafik <i>zone mean air temperature unitary system (a) annual, (b) daily</i>	85
Gambar 4.4 Grafik <i>zone mean air temperature VAV system (a) annual, (b) daily</i>	87
Gambar 4.5 Grafik RH <i>Ideal load air system</i>	88
Gambar 4.6 Grafik RH <i>unitary system (a) annual, (b) daily</i>	89
Gambar 4.7 Grafik RH <i>VAV system (a) annual, (b) daily</i>	90
Grafik 4.8 Distribusi konsumsi energi per bulan pada <i>unitary system</i>	94
Grafik 4.9 Distribusi konsumsi energi per bulan pada <i>VAV system</i>	94
Gambar 4.10 Layar <i>IDF Editor</i> untuk <i>Daylighting control object</i>	96
Gambar 4.11 teknologi <i>wind turbine</i> dan <i>photovoltaic</i>	98

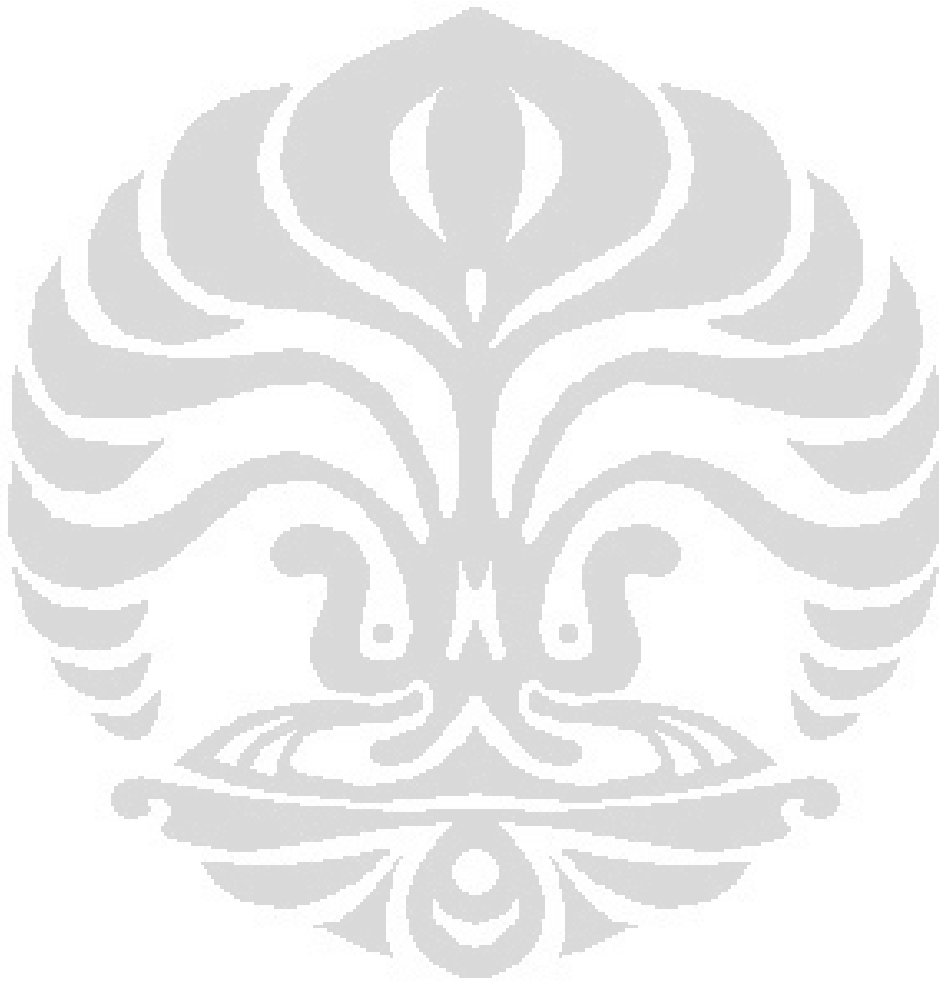


DAFTAR TABEL

Tabel 2.0 BCA Green mark rating [16]	6
Tabel 2.1 Tingkat Kesalahan dan Tindakannya	11
Tabel 2.2 Jenis-jenis permukaan (surface) dan kategorinya	14
Tabel 2.3 Elemen konstruksi bangunan berdasarkan ASHRAE 2005 HOF_ material dataset.....	14
Tabel 2.4 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).....	15
Tabel 2.5 Jenis jenis kondisi daerah.....	17
Tabel 2.6 Standar temperatur dan RH kondisi nyaman <i>ANSI/ASHRAE Standards 55-2004</i>	27
Tabel 3.1 Ringkasan kondisi cuaca di Depok	46
Tabel 3.2 Beberapa jenis <i>Building Space Type Data</i> (<i>Revit Autodesk</i>)	50
Tabel 3.4 <i>Heat Gain People Activity</i> (ASHRAE Fundamental Handbook 2009)	55
Tabel 3.6 kebutuhan udara ventilasi mekanis	55
Tabel 3.7 <i>Continues Exhaust Airflow rates</i>	56
Tabel 3.8 Tarif dasar listrik 2010.....	56
Tabel 4.1 Luas bangunan	62
Tabel 4.2 Total dan distribusi energi pada <i>Ideal Load System</i>	63
Tabel 4.4 <i>Zone summary</i>	64
Tabel 4.5 <i>Demand component summary</i>	67
Tabel 4.6 Data iklim – <i>DesignDay Singapura Ann Cooling 1 % Condns DB-MWB</i>	68
Tabel 4.7 Biaya energi per bulan	69
Table 4.8 Total dan distribusi konsumsi energi pada <i>Unitary system dan VAV system</i>	70
Tabel 4.9 <i>Demand component summary Unitary system dan VAV system</i>	71
Tabel 4.10 <i>Equipment summary VAV system : Central plant (tower & chiller) and Pump</i>	73
Tabel 4.11 <i>Equipment summary Unitary system :cooling DX dan Fan</i>	74
Tabel 4.12 <i>Equipment summary VAV system : cooling coil dan fan variable volume</i>	77
Tabel 4.13 <i>HVAC Sizing summary : Zone cooling</i>	80
Tabel 4.15 Biaya energi per bulan	82
Tabel 4.16 Perbedaan konsumsi energi untuk masing-masing sistem pendingin.	91
Tabel 4.17 Ringkasan kondisi setiap bulannya	92
Tabel 4.18 Distribusi konsumsi energi per bulan masing masing sistem	93
Tabel 4.19 Perbedaan biaya <i>annual</i> setiap sistem pendingin yang digunakan	95
Tabel 4.20 Konsumsi energi tahunan dengan tambahan <i>daylighting control</i>	97

DAFTAR LAMPIRAN

- Lampiran 1** : Denah Gedung MRC FT UI
Lampiran 2 : *Weather file* Depok (di dalam CD)
Lampiran 3 : Green Mark for Non-residential building



DAFTAR ISTILAH DAN SATUAN

Quantity	Unit	Abbreviation
<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 I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

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.

Dalam prakteknya, pihak pemilik gedung harus menunjuk sebuah badan sertifikasi *green building* untuk melakukan audit terhadap gedungnya. Kemudian badan sertifikasi akan melakukan audit terhadap gedung tersebut apakah dapat dinyatakan sebagai *green building*. Berdasarkan badan sertifikasi *Building and Construction Authority* (BCA) *green mark* dari Singapura, ada beberapa peringkat untuk sebuah gedung bersertifikat *green building*, yaitu : *certified*, *gold*, *gold plus*, dan *platinum* [7]. Peringkat tersebut diperoleh berdasarkan poin yang didapatkan oleh gedung tersebut.

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.

1.2 Perumusan Masalah

Gedung *Manufacturing Research Center* FTUI yang dikatakan sebagai 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 simulasi lanjutan pada pemilihan sistem pengkondisian udara yang digunakan untuk sebagai perbandingan dengan sistem pengkondisian udara mana didapatkan nilai penggunaan energi yang paling efisien.

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mensimulasi penggunaan energi pada gedung *Manufacturing Research Center* FTUI dalam periode satu tahun yang difokuskan dari sistem 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 ulang desain gedung *Manufacturing Research Center* FTUI menggunakan program *drawing 3D*. Dalam hal ini digunakan *Google SketchUp 7*
2. Melakukan input data parameter untuk simulasi.
3. Melakukan simulasi penggunaan energi pada gedung dengan memakai sistem pengkondisian udara *unitary* dan *VAV*
4. Melakukan analisa perbandingan sistem pengkondisian udara yang akan digunakan pada bangunan dari hasil simulasi.
5. Memberikan rekomendasi sistem pengkondisian udara yang sesuai untuk gedung *Manufacturing Research Center* FTUI.

1.5 Metodologi Penelitian

Dalam penelitian ini, metodologi yang dilakukan adalah sebagai berikut :

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

Universitas Indonesia

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

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 *Building And Construction Assosiation (BCA)*

Untuk menetapkan sebuah gedung adalah gedung *green building* terlebih dahulu dilakukan sertifikasi bangunan tersebut. Pihak yang melakukan sertifikasi diantaranya adalah *Building and Construction Assosiation (BCA)* yang merupakan asosiasi bangunan *green building* yang berpusat di Singapura.

Dalam proses sertifikasi bangunan , sebuah gedung harus memenuhi persyaratan dan kriteria yang telah ditetapkan oleh BCA.

Berikut adalah persyaratan gedung yang dapat dilakukan sertifikasi bangunan green building [15].

- *Energy Efficiency Indeks*
 - Kategori bangunan Tropis : <math><150 \text{ kWh/m}^2</math>
 - Gedung kantor/ perpustakaan/ sekolah : 200 kWh/m^2
 - Retail / Mall : 240 kWh/m^2
 - Hotel : 300 kWh/m^2
 - Rumah Sakit : 400 kWh/m^2
- Pengaturan temperatur A/C area
 - Temperatur antara $21 \text{ }^\circ\text{C} - 26 \text{ }^\circ\text{C}$
 - RH antara 55% - 70 %

Tabel 2.0 BCA Green mark rating [16]

BCA Green Mark rating for non-residual building	
Green Mark Score	Green Mark rating
>90	Platinum
85 < 90	Gold Plus
75 < 85	Gold
50 < 75	Certified

Dimana point penilaiannya terdapat pada *BCA Green Mark for Non-Residual Building* [lihat lampiran 3] yang terdiri dari 5 komponen utama yaitu *energy efficiency, water efficiency, environmental protection, indoor environmental quality, dan other green features*

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 konsumsinya.



Gambar 2.1 Diagram Alir Simulasi Energi pada Bangunan

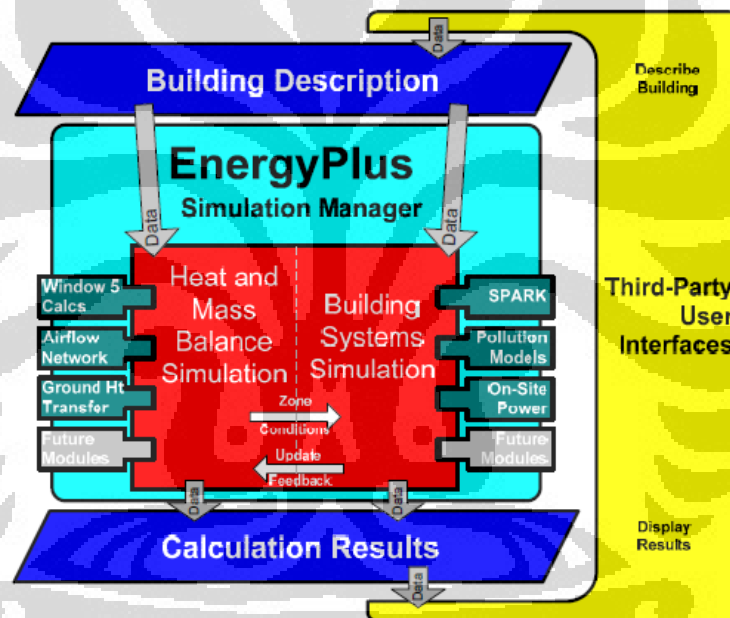
2.3 *EnergyPlus*

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

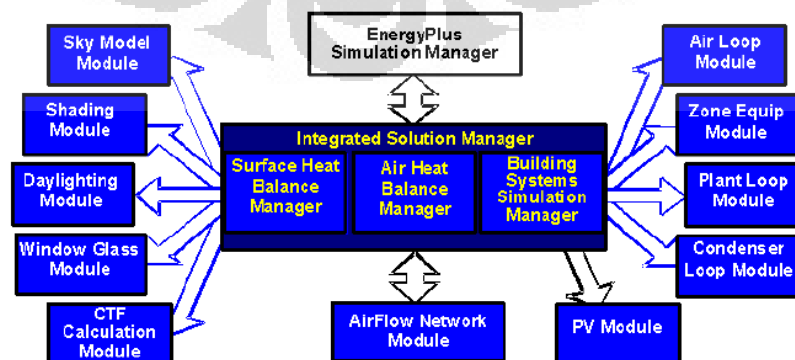
Universitas Indonesia

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.



Gambar 2.2 Gambaran umum sistem *EnergyPlus*

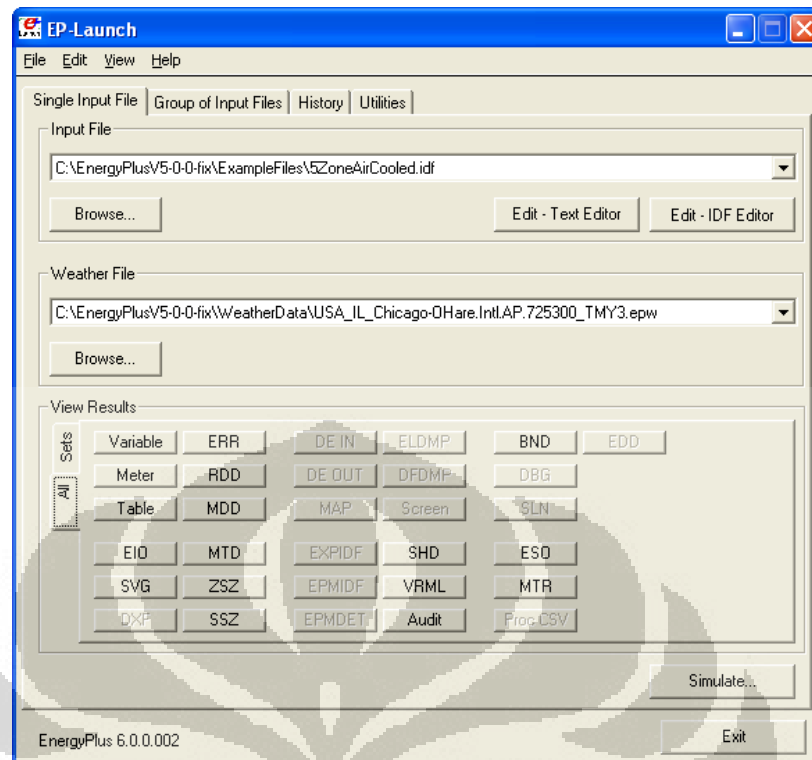


Gambar 2.3 Elemen internal *EnergyPlus*

2.3.1 Menjalankan *EnergyPlus* (*Running EnergyPlus*)

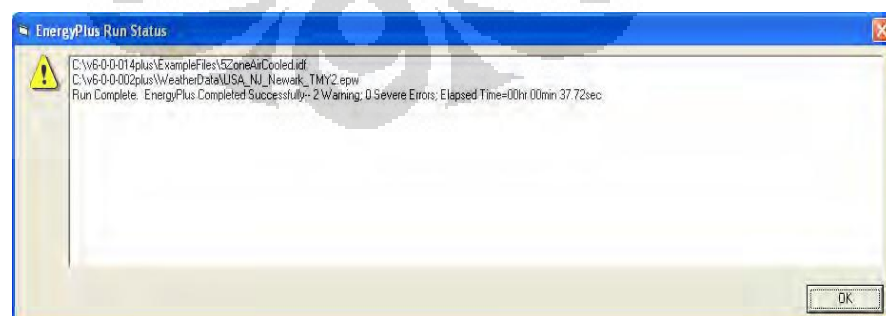
Layaknya semua program simulasi, *EnergyPlus* terdiri dari sebuah *file* eksekusi yang membutuhkan berbagai *input file* yang menggambarkan bangunan yang akan dimodelkan dalam simulasi dan juga keadaan lingkungan sekitarnya. Program ini akan menghasilkan beberapa *file output* yang perlu dijelaskan dan 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

Tabel 2.1 Tingkat Kesalahan dan Tindakannya

Error Level	Action
Information, shown as *****	Informative, usually a follow-on to one of the others. No action required.
** ~~~ **	This is a continuation of a previous message. String all the words/sentences together to form the complete message.
Warning	Take note. Fix as applicable.
Severe	Should Fix
Fatal	Program will abort, Must Fix

Berikut adalah beberapa jenis *output file* simulasi *EnergyPlus* yang umum dan dapat di tampilkan melalui *EP-launch* beserta tombol lintasnya (*shortcut*) :

- Variabel - hasil tabulasi dalam koma, tab atau format ruang dipisahkan (yang dihasilkan oleh *postprocessor ReadVarsESO*) (F4)
- ERR - daftar kesalahan dan peringatan (F8)
- BND - HVAC sistem node dan rincian sambungan komponen (F9),
- MTR - laporan *output* meter mentah (F11),
- METER *File* - meter laporan ditabulasi dalam koma, tab atau format ruang dipisahkan (yang dihasilkan oleh *postprocessor ReadVarsESO*) (Ctrl-F4)
- ZSZ - zona sizing rincian koma, tab atau format ruang dipisahkan (Ctrl + F5)
- SSZ - sistem sizing rincian koma, tab atau format ruang dipisahkan (Ctrl + F6)
- TABEL - Laporan ditabulasi bin dan data bulanan di koma, tab atau ruang format dipisahkan atau HTML (Shift + F8)
- DXF - menggambar *file* dalam format *DXF AutoCAD* (Shift + F12)

- EXPIDF - *Expanded IDF* saat menggunakan *HVACTemplate* (Shift + Ctrl + F8)
- EDD – Rincian Sistem Manajemen Energi

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 tentang lokasi dan keadaan iklim cuaca kota dan tempat di mana bangunan berada.
- Informasi konstruksi bangunan yang cukup untuk memungkinkan spesifikasi geometri dan konstruksi bangunan keseluruhan permukaan (dinding, lantai, atap, partisi, pintu dan jendela)
- Informasi tentang penerangan (pencahayaan) dan peralatan lain yang digunakan pada bangunan (istrik, gas, dll)
- Informasi tentang jumlah orang dan *occupancy* nya 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*) dan penyimpanan panas (*heat storage 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 2.2 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 2.3 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
Partition	Medium Partitions	G01a 19mm gypsum board
		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
Roof	Medium Roof/Ceiling	G01a 19mm gypsum board
		M14a 100mm heavyweight concrete
		F05 Ceiling air space resistance
Floor	Medium Floor	F16 Acoustic tile
		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 2.4 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 Lis*) / *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.

- a. *Version* : parameter tentang versi software *EnergyPlus* yang digunakan.
- b. *Timestep* : parameter pengendali langkah waktu untuk perpindahan panas dan perhitungan beban
- 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 2.5 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*. 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 Yazdanian 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

- *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 menginput 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.

Universitas Indonesia

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

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 objek *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*

Universitas Indonesia

HVACTemplate:Thermostat

HVACTemplate:Zone:IdealLoadAirSystem

b. *Packaged Terminal Air Conditioner (PTAC)*

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

HVACTemplate:Thermostat

HVACTemplate:Zone:Unitary

HVACTemplate:Systeme:Unitary

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

HVACTemplate:Thermostat

HVACTemplate:Zone:VAV

HVACTemplate:System:VAV

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*

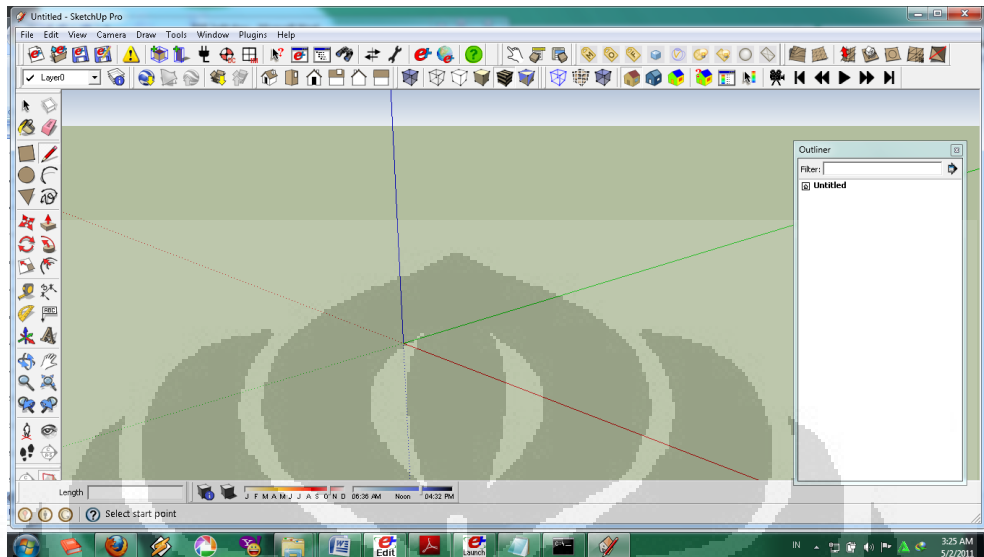
h. *Output:Diagnostiscs*

2.4 *Google SketchUp*

Google SketchUp merupakan salah satau program integrasi *EnergyPlus* yang digunakan untuk membuat bentuk geometri suatu bangunan. Dengan bantuan software ini kita dapat dengan mudah

Universitas Indonesia

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 Sistem Tata Udara Pada Bangunan

Sistem Tata udara (*Air Conditioning*) pertama kali secara sistematis dikembangkan oleh Willis H. Carrier, yang diakui sebagai Bapak *Air Conditioning*. Pada tahun 1902, Carrier menemukan hubungan antara temperatur dan kelembaban dan bagaimana mengontrolnya. Pada 1904, ia mengembangkan mesin cuci udara, sebuah ruangan yang diinstal dengan beberapa tempat tampungan dari semprotan air untuk pembersihan dan humidifikasi udara. Metodenya tentang hubungan temperatur dan kelembaban udara yang dapat dicatat dengan mengontrol suplai temperatur embun (*dew point*) sampai saat ini masih digunakan di banyak aplikasi industri.

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,

Universitas Indonesia

kelembaban, gerakan udara, kebersihan udara, tingkat suara, dan tekanan diferensial dalam ruang dalam batas-batas yang telah ditentukan untuk kenyamanan dan kesehatan penghuni ruang yang dikondisikan dalam beraktivitas yang produktif [5].

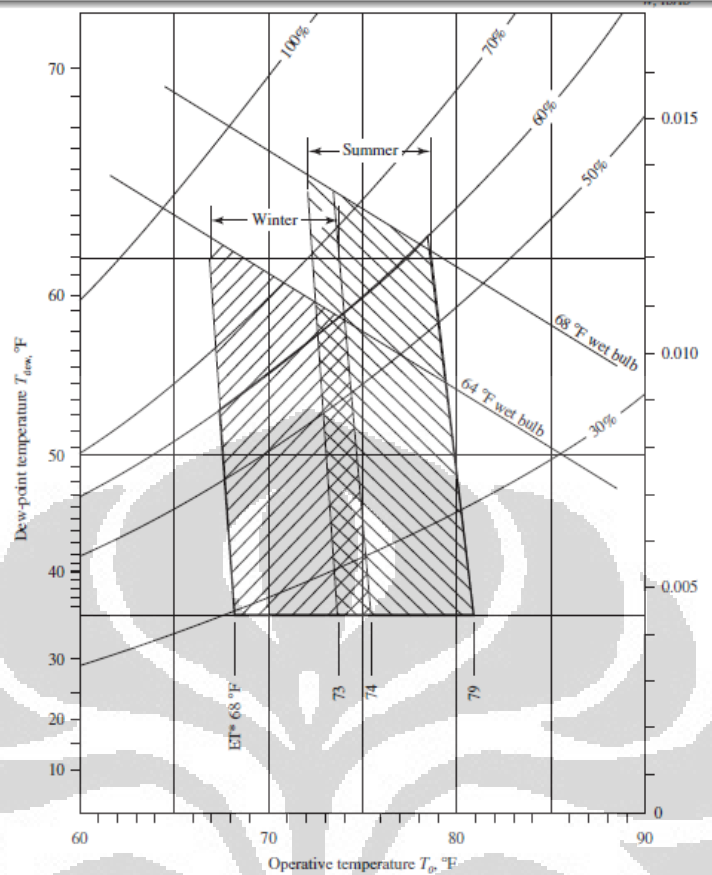
Kegunaan sistem tata udara tersebut berbeda beda di setiap negara, tergantung kondisi lingkungan dan tingkat kenyamanannya. Untuk negara Indonesia yang tergolong kedalam kategori negara tropis yang panas, maka kegunaan Sistem Tata Udara adalah untuk pendinginan (*cooling*) dan penurunan kelembaban (*dehumidification*)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

Adapun tingkat nyaman 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. Dimana *operative temperature* nya berada pada 24,5 °C. *Operative temperature* adalah nilai rata-rata dari temperatur udara lingkungan di ruangan dan temperatur *mean radiant* nya [10]. Temperatur *meant radiant* adalah temperatur rata-rata suatu daerah yang dipengaruhi oleh radiasi panas dari suatu benda atau objek (*occupant*). *Mean radiant temperature* merupakan parameter yang paling penting yang mengatur keseimbangan energi pada manusia. Contohnya adalah radiasi panas yang dipancarkan oleh kulit manusia di dalam ruangan berdasarkan akitvitasnya.

Tabel 2.6 Standar temperatur dan RH kondisi nyaman *ANSI/ASHRAE Standards 55-2004*

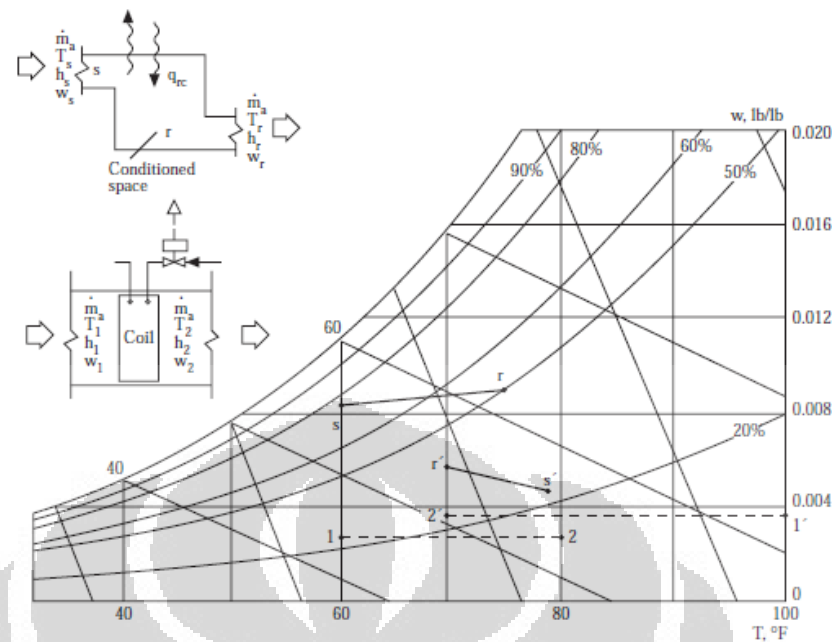
	Typical clothing insulation, clo	Optimum operative temperature	Indoor design temperature range
Winter	0.9	71°F (22°C)	69–74°F (20.5–23.5°C)
Summer	0.5	76°F (24.5°C)	74–79°F (23.5–26°C)

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



Gambar 2.9 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].

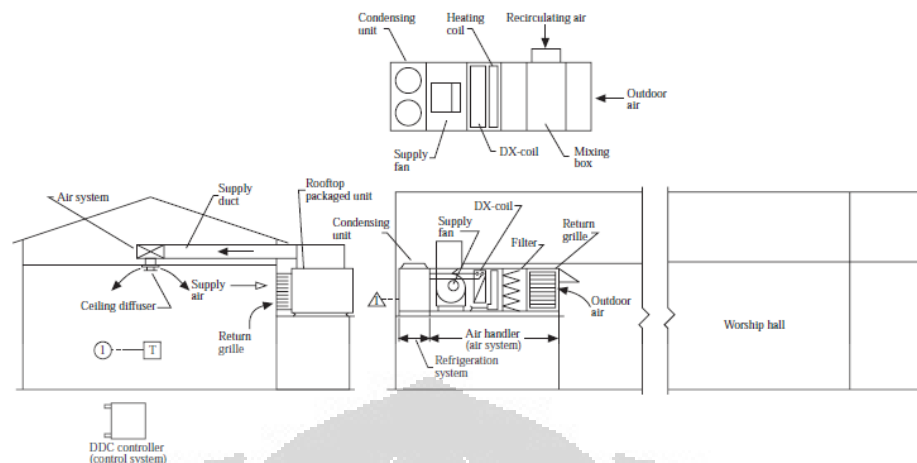


Gambar 2.10 Diagram psikometrik proses pendinginan udara ruangan.

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

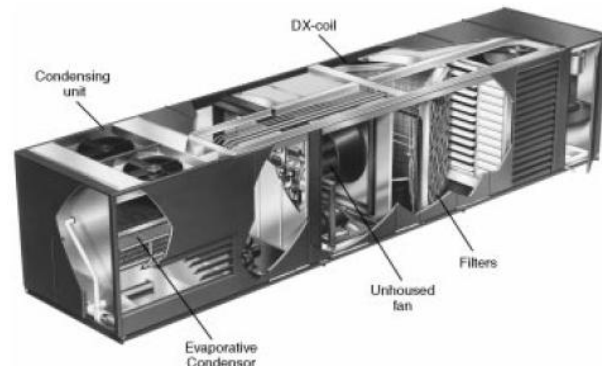
2.5.1 *Unitary Packaged System*

Sistem pengkondisian udara ini merupakan suatu sistem yang telah di kemas sedemikain rupa baik unit tunggal maupun dua unit sistem terpisah (*split system*). Sebuah unit tunggal terdiri dari kipas, koil DX, kompresor, kondenser dan aksesoris lainnya, sedangkan untuk sistem split terdiri dari bagian di dalam ruangan (*air handler unit*) dan bagian di luar ruangan (*condensing unit*). *Air handler unit* terdiri dari *fan*, *filter*, dan koil DX dan untuk *condensing unit* terdiri dari kondenser dan kompresor.[5]

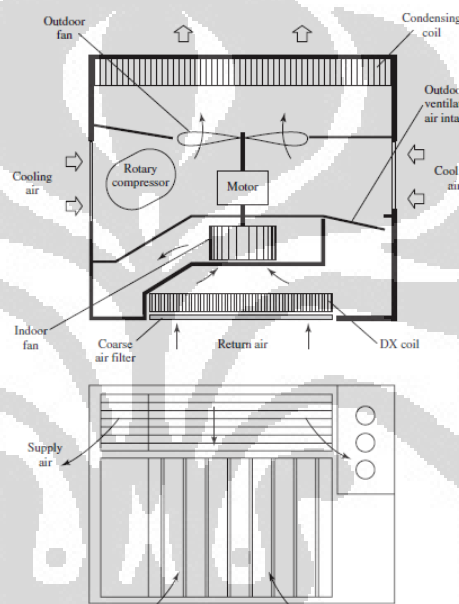


Gambar2.11 Packaged Air Conditioning

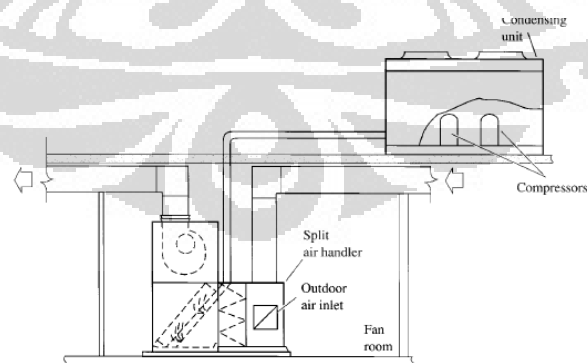
Berdasarkan bagaimana penempatannya, sistem paket ini terbagi menjadi 3 jenis yang umum digunakan. *Rooftop Packaged Unit* merupakan sistem satuan paling banyak digunakan yang penempatannya berada di atap ruangan yang akan di kondisikan. Sistem ini mempunyai kapasitas pendinginan (*cooling capacity*) antara 3 sampai 220 ton dengan laju aliran volumenya (*volume flow rate*) antara 1200 sampai 80.000 cfm. *Indoor Packaged Unit* merupakan sistem satuan hasil fabrikasi langsung. Untuk ukuran yang kecil atau menengah, Penempatannya dapat di letakkan langsung di dalam ruangan yang akan di kondisikan dengan ataupun tanpa memakai saluran udara (*ductwork*). Kapasitas pendinginannya berkisar antara 3 – 100 ton dengan laju aliran antara 1200 – 40.000 cfm. *Split Packaged Unit* adalah sistem paket yang terpisah menjadi dua bagian alat : *air handler unit* yang terletak di dalam ruangan dan kondensing unit yang berada di luar atau di atap ruangan. Berbeda dengan sistem satuan yang lainnya, penempatan kompresor dan kondensernya ada pada kondensing unit yaitu di luar ruangan. Untuk sistem ini, kapasitas pendinginannya antara 3 – 75 ton dengan laju aliran antara 1.200 – 30.000 cfm [5]



(a)



(b)



(c)

Gambar 2.12 (a) Rooftop unit (a), Indoor unit (b), Split Packaged Unit

Kelebihan sistem satuan (*Packaged unit system*)

- ruang kontrol individu yang sederhana dan murah.
- Setiap ruang AC memiliki distribusi udara individu dengan penyesuaian sederhana dengan penghuni.
- Kinerja sistem ini dijamin oleh produsen.
- Sistem instalasi sederhana dan tidak memakan banyak waktu
- Operasi sistem yang sederhana dan tidak perlu untuk operator terlatih
- biaya awal biasanya rendah dibandingkan dengan sistem pusat
- Retrofitting mudah

Kekurangan sistem satuan (*Packaged unit system*)

- Sebagai komponen yang dipilih dan dicocokkan oleh produsen, sistem ini kurang fleksibel dalam hal kecepatan aliran udara, kondensor dan ukuran evaporator
- Konsumsi daya per TR bisa lebih tinggi dibandingkan dengan sistem pusat.
- Tutup kontrol kelembaban ruang umumnya sulit.
- Tingkat Kebisingan di ruang AC bisa lebih tinggi.
- Terbatas kemampuan ventilasi.
- Sistem umumnya dirancang untuk memenuhi standar alat, bukan standar bangunan.
- Mungkin tidak menarik estetika.
- Suhu ruang mungkin mengalami ayunan jika kontrol on-off digunakan sebagai dalam ruangan AC.
- Terbatas opsi untuk distribusi udara ruang pengendali.
- Peralatan hidup relatif singkat.

Aplikasi sistem satuan (*Packaged system*)

Sistem ini digunakan di mana kontrol ketat suhu ruang AC dan kelembaban tidak diperlukan dan di mana biaya awal harus rendah dengan *lead time* kecil. Sistem ini dapat digunakan untuk kamar AC individu untuk gedung perkantoran besar, ruang kelas, hotel, pusat perbelanjaan, dll. Sistem ini sangat cocok untuk bangunan yang ada dengan batasan pada ruang lantai yang tersedia untuk sistem pendingin udara.

Universitas Indonesia

2.5.2 Variable Air Volume (VAV)



Gambar 2.13 Komponen sistem VAV

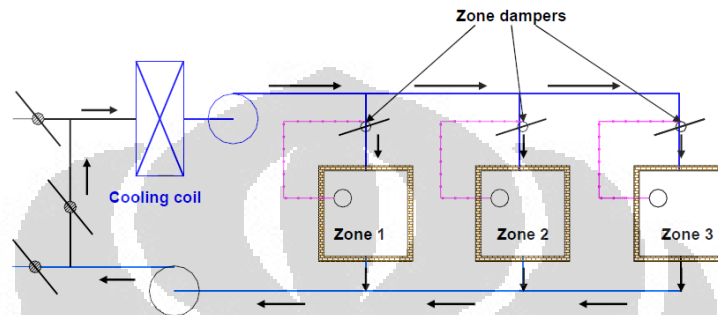
Berbeda dengan sistem tata udara volume konstan yang mendistribusikan jumlah udara yang konstan pada temperatur yang bervariasi, sistem VAV mendistribusikan jumlah udara yang bervariasi untuk temperatur yang konstan. Dengan adanya kontrol jumlah udara, tingkat kenyamanan di dalam suatu zona dapat disesuaikan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

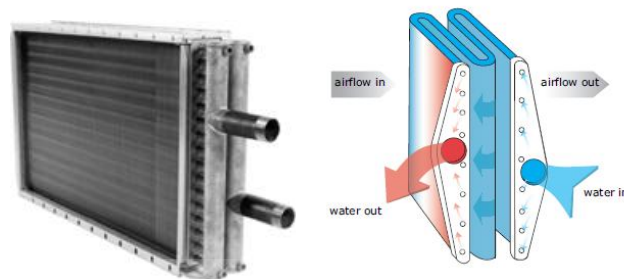
2.5.2.1 VAV Air Handling Unit

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 jugaperedam. 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]

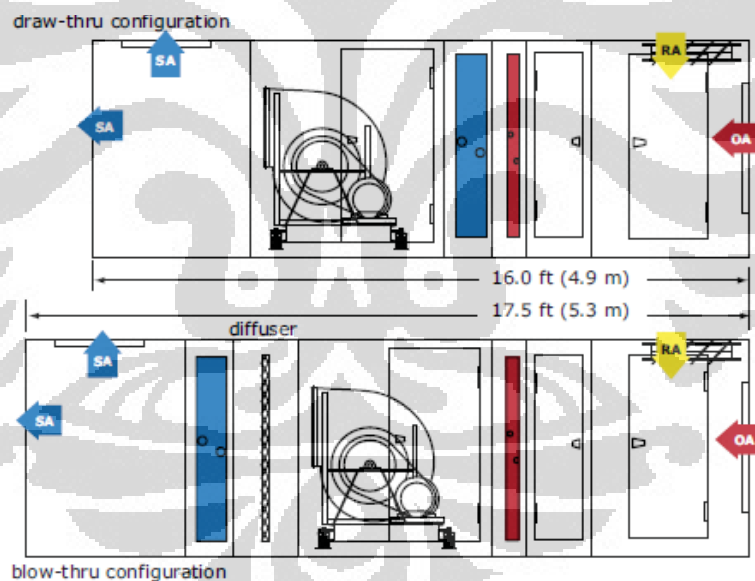
2.5.2 .3. Kipas (*Blower / fan*)

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].

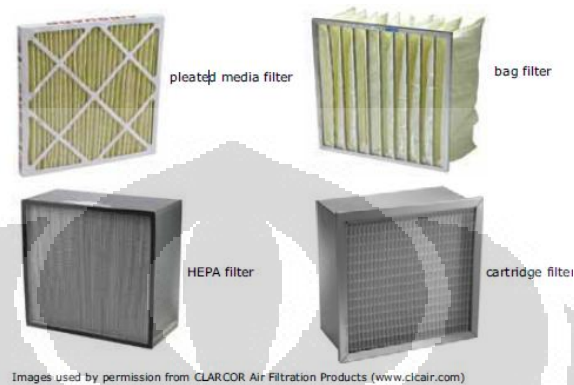


Gambar 2.17 Jenis jenis kipas berdasarkan peletakkannya

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.



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.

Ada beberapa jenis unit – unit VAV terminal yaitu :

1. *Cooling Only*

Terdiri dari sebuah perangkat modulasi aliran udara dengan sensor dan kontrol aliran yang dikemas menggunakan lembaran metal. Aliran utama untuk suatu zona akan berkurang seiring dengan berkurangnya beban pendinginan di dalam zona. Aliran udara dalam unit ini di diatur nilai maksimum dan minimumnya. Pengaturan maksimum ditentukan oleh desain beban pendinginan zona sedangkan pengaturan minimum biasanya ditentukan untuk memastikan dan memenuhi persyaratan untuk operasi yang tepat dari unit VAV terminal atau *diffuser* suplai udara. Unit ini hanya digunakan untuk tujuan pendinginan ruangan saja.

2. *VAV Reheat*

Selain komponen utama dari unit terminal, unit ini juga di lengkapi dengan panas listrik atau koil udara panas. Untuk tujuan pendinginan , unit ini dikendalikan dengan cara yang sama dengan *Cooling only – unit* yaitu aliran udara berkurang sesuai dengan penurunan beban pendinginan. Ketika aliran udara utama mencapai batas minimum dan beban pendinginan tetap mengalami penurunan, maka koil pemanas akan memanaskan udara untuk menghindari *overcooling* pada zona tersebut. dan ketika zona beban pemanasan membutuhkan aliran temperatur yang lebih hangat, maka aliran utama akan meningkat menjadi lebih tinggi dari pengaturan minimum yang digunakan untuk pendinginan.

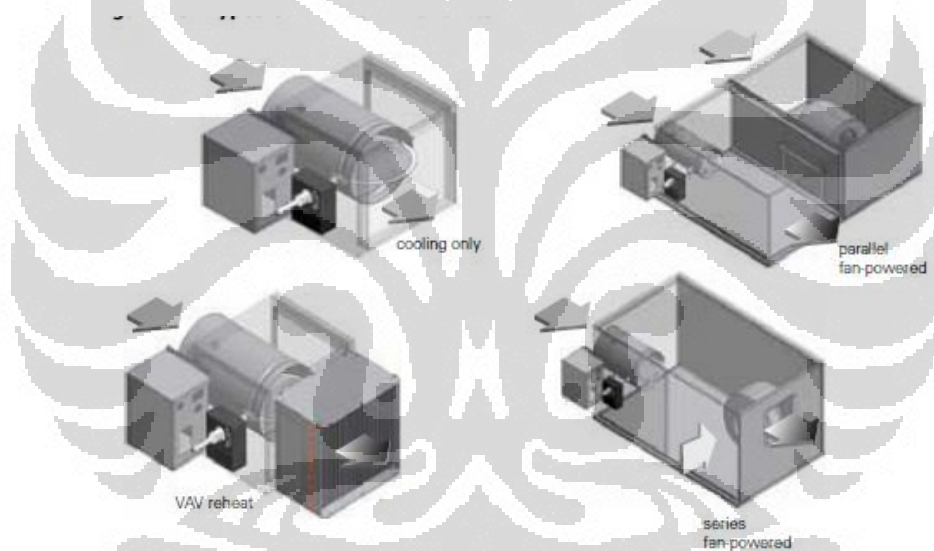
3. *Parallel Fan-Powered VAV*

Terdapat penambahan kipas kecil untuk membantu pencampuran udara hangat dari plenum dan udara dingin dari AHU. Dalam unit parallel, kipas kecil tersebut dipasang agar alirannya sejajar dengan aliran utama. Untuk pendinginan sistem kerjanya sama dengan unit sebelumnya, namun ketika aliran udara utama mencapai pengaturan minimum dan beban pendinginan terus menurun, kipas kecil tersebut akan mengaktifkan untuk mencampur udara hangat dari pleno dengan udara dingin. Hal ini meningkatkan pencampuran,

mengurangi resiko stratifikasi suhu, dan memungkinkan *diffuser* untuk mendistribusikan udara yang lebih baik lagi.

4. *Series Fan-Powered. VAV*

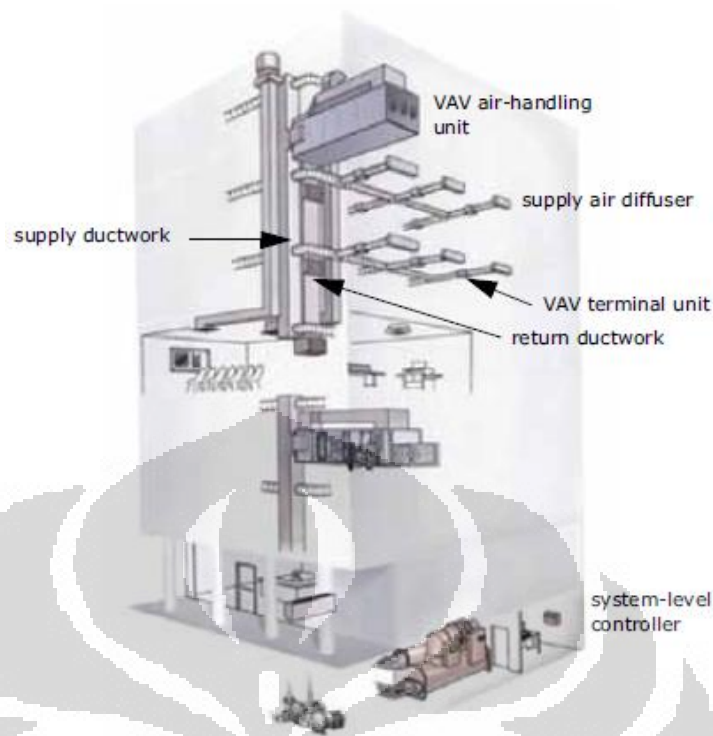
Memiliki konfigurasi kipas yang lebih besar di dalam unit terminal sehingga aliran udaranya serangkaian dengan aliran udara utama. Kipas tersebut dioperasikan terus menerus setiap kali zona ditempati, dan menarik udara baik dari aliran udara utama atau udara dari langit – langit pleno berdasarkan kebutuhan pendinginan atau pemanasan zona. Sehingga hasilnya adalah aliran udara konstan yang dikeluarkan ke zona sepanjang waktu. Dalam pendinginan aliran udara akan berkurang jika beban pendinginan menurun, akan tetapi jumlah total aliran udara utama dan udara hangat pleno tetap konstan.



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

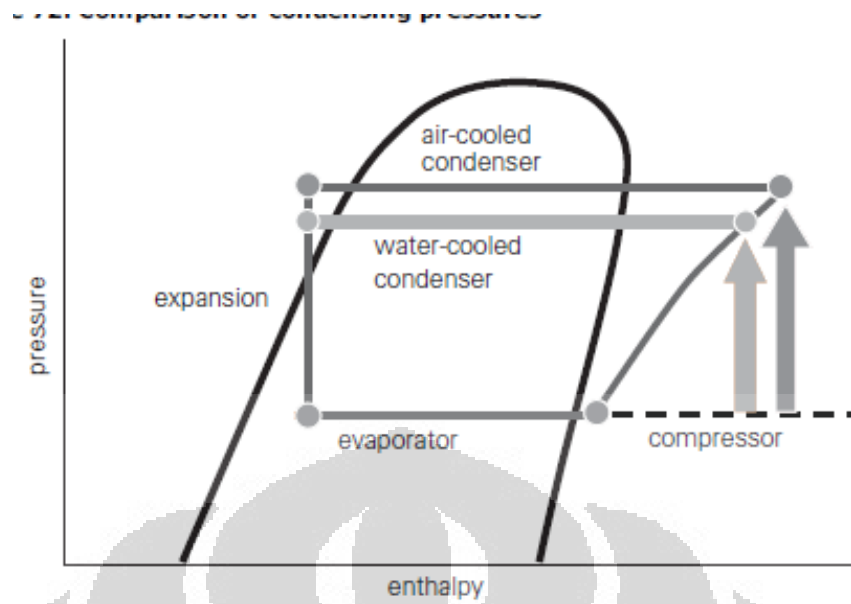
Water Chiller merupakan suatu unit yang digunakan untuk mendinginkan air yang kemudian diangkut ke koil pendingin oleh pompa dan pipa [9]. Jenis jenis *Chiller* dapat di bedakan menjadi beberapa kategori yaitu : berdasarkan siklus refrigerasi dan jenis kompresor yang digunakan (*reciprocating, scroll,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



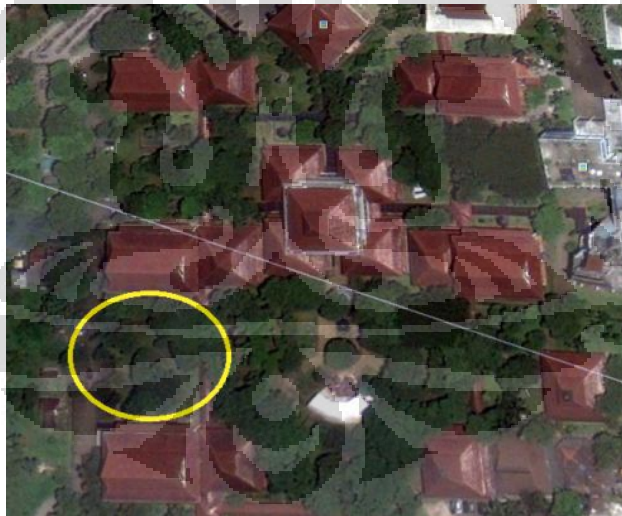
Gambar 2.22 Grafik perbandingan Air-cooled dan Water-cooled Chiller

BAB III

AUDIT ENERGI BANGUNAN DENGAN SIMULASI *ENERGYPLUS*

3.1 Deskripsi Bangunan

Bangunan ini termasuk ke dalam kategori bangunan baru yang belum dibangun. Bangunan ini dibangun dengan tujuan untuk menambah dan melengkapi fasilitas – fasilitas yang dibutuhkan untuk Fakultas Teknik UI terutama dalam hal laboratorium. Dalam perencanaannya, bangunan yang di beri nama *Manufacture Research Center FT – UI* (MRC FT-UI) ini akan berlokasi di antara Gedung Departemen Teknik Mesin dan Departemen Metalurgi dan Material yaitu terletak pada $6^{\circ}21'46,53''$ Lintang Selatan dan $106^{\circ}49'24,35''$ Bujur Timur. Dari permukaan laut, gedung ini memiliki ketinggian 78 m . Dan tentu saja di dalam bangunan ini akan menggabungkan fasilitas – fasilitas laboratorium yang dibutuhkan oleh kedua Departemen ini.



Gambar 3.1 Lokasi gedung MRC dilihat menggunakan Google Earth

Gedung MRC FT UI ini terdiri dari dua bangunan utama yaitu gedung A yang terletak tepat diantara gedung DTM dan gedung DTMM, dan gedung B yang nantinya akan langsung berada tepat di pinggir jalan raya kampus UI. Adapun yang akan dilakukan audit energinya adalah

gedung A yang rencanya akan di dahulukan pembangunannya. Di dalam gedung A yang terdiri dari 6 lantai tersebut nantinya akan bagi menjadi beberapa ruangan tiap lantainya. Berikut pembagian ruangan gedung berdasarkan rancangan yang direncanakan

Lantai 1 terdiri dari : ruang *Welding Workshop*, ruang Teknisi & Operator, ruang *Loading & Unloading Material*, *lab. Automotive / Miling/ Turning*.

Lantai 2 terdiri dari : ruang Penelitian, *lab.Spectometer*, 2 buah ruang Rapat, ruang Administrasi, ruang Kerja Dosen, ruang *Supervisor*, *lab.Nano & Mikro Mems*, *lab. Advance Manufacturing*, *lab. Manufacturing Automation, Laboratorium*.

Lantai 3 terdiri dari : *lab.Casting Design*, ruang Multimedia, ruang *Engineer*, ruang *Integrated Computation Center*, ruang *Mechatronics Robotic*, *lab.Rapid & Precision Manufacturing*.

Lantai 4 terdiri dari : *lab.Mechanical Design & Biomechanic*, *lab.Experimental Mechanic*, ruang *Researcher*, *lab,Dynamic Vibration*, dan 2 buah ruang Seminar.

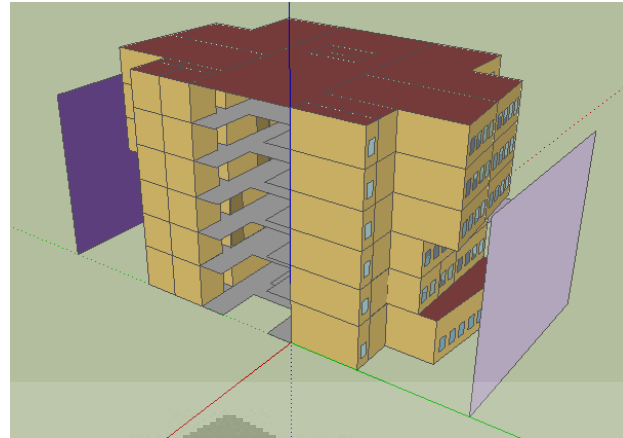
Lantai 5 terdiri dari : 2 buah *lab. Air Conditioning & Refrigeration*, 2 buah *lab.Polymer*, 2 buah *lab. Composite*

Lantai 6 terdiri dari : ruang *Lecturer & Researcher*, *lab. Solarcell*, 2 buah *lab. Heat Transfer*.

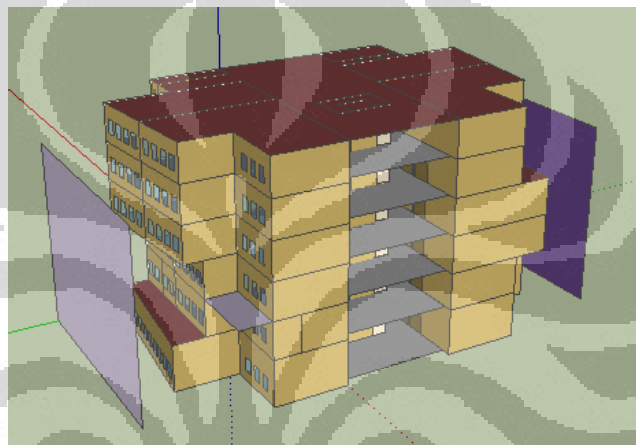
Selain itu juga di setiap lantai dilengkapi dengan ruang toilet dan janitor, serta terdapat ruang kontrol *Electrical/Mechanical*. Dan untuk menambah kesejukan udara di dalam gedung dibuat tempat khusus untuk penanaman pohon – pohon hijau diantaranya terletak di selasar lantai 1, balkon kiri dan kanan bangunan, dan juga di atas atap gedung.



(a)



(b)



(c)

Gambar 3.3 Gambar 3D gedung MRC menggunakan *Sketchup+OpenStudio* (a)tampak depan , (b)tampak depan serong kanan, (c)tampak belakang serong kiri

3.2 Data dan Parameter Bangunan.

Data data yang dibutuhkan dalam simulasi ini selain di dapat langsung dari rancangan bangunan , juga terdapat beberapa asumsi yang diambil. Hal ini di karenakan belum ada kepastian peralatan apa saja yang nantinya akan di gunakan di dalam gedung MRC tersebut. 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 MRC FT UI 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 *shading*nya 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		1-ruanglv	1-weldingv	1-teknisic
Direction of Relative North	deg	0	0	0
X Origin	m	0	3.085435	4.16841E
Y Origin	m	0	7.825819	22.2777E
Z Origin	m	0	0	0
Type				
Multiplier		1	1	1
Ceiling Height	m			
Volume	m3			
Zone Inside Convection Algorithm				
Zone Outside Convection Algorithm				

Gambar 3.4 layar *IDF Editor* untuk *Zone*.

Pada gedung MRC FT-UI total zona yang dibuat untuk mewakili keseluruhan ruangan pada gedung adalah 48 zona yang nantinya hanya 26 zona saja yang dikondisikan menggunakan sistem pendingin. Dan untuk informasi yang lebih lengkap tentang detail bangunan dapat dilihat *object BuildingSurface:Detailed*, *FenestratioonSurface:Detailed* untuk jendela dan pintu, serta *ShadingSurface:Detailed* untuk *shading* atau penghalang.

Gedung MRC akan dibangun di daerah Depok, tepatnya pada $-6,395^{\circ}$ garis lintang dan $106,806^{\circ}$ garis bujur, berada di ketinggian 78 m dari permukaan laut dan juga 270° dari arah utara. Dengan kondisi daerah merupakan daerah pinggiran kota (*suburb*).

Field	Units	Obj1
Name		ManufactureResear
North Axis	deg	270
Terrain		Suburbs
Loads Convergence Tolerance Value		0.04
Temperature Convergence Tolerance Value	deltaC	0.4
Solar Distribution		FullExterior
Maximum Number of Warmup Days		25

Gambar 3.5 Layar *IDF Editor* untuk building object.

Field	Units	Obj1
Name		Depok
Latitude	deg	-6.395
Longitude	deg	106.806
Time Zone	hr	7
Elevation	m	78

Gambar 3.6 Layar *IDF Editor* untuk site:location 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 diperoleh 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
<i>Reference</i>	IDN_Depok_MN6
<i>Site:Location</i>	Depok – IDN
<i>Latitude</i>	S 6° 23'
<i>Longitude</i>	E 106° 48'
<i>Time Zone</i>	GMT +7.0 Hours
<i>Elevation (m) above sea level</i>	78
<i>Standard Pressure at Elevation</i>	100391Pa
<i>Data Source</i>	MN6
<i>WMO Station</i>	999
<i>Weather File Design Conditions</i>	<i>Calculated from the weather file</i>
<i>Heating Design Temperature 99.6% (C)</i>	21.8°
<i>Heating Design Temperature 99% (C)</i>	22.0°
<i>Cooling Design Temperature 0.4% (C)</i>	34.9°
<i>Cooling Design Temperature 1% (C)</i>	34.6°
<i>Cooling Design Temperature 2% (C)</i>	34.3°
<i>Maximum Dry Bulb Temperature (C)</i>	35.6°
<i>Maximum Dry Bulb Occurs on</i>	Nov 11
<i>Minimum Dry Bulb Temperature (C)</i>	21.6°
<i>Minimum Dry Bulb Occurs on</i>	Jan 25
<i>Maximum Dew Point Temperature (C)</i>	27.4°
<i>Maximum Dew Point Occurs on</i>	Jan 1
<i>Minimum Dew Point Temperature (C)</i>	14.7°
<i>Minimum Dew Point Occurs on</i>	Aug 5
<i>Heating Degree-Days (base 10°C)</i>	0

<i>Cooling Degree-Days (base 18°C)</i>	3659
<i>Köppen Classification</i>	Af
<i>Köppen Description</i>	<i>Tropical wet</i>
<i>Köppen Recommendation</i>	<i>Heating may not be required</i>
<i>ASHRAE Climate Zone</i>	1A
<i>ASHRAE Description</i>	<i>Very Hot-Humid</i>

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 3.7 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 nyaman yaitu 24,5 °C maka ground temperaturnya menjadi 22,5 °C. Dan nilai temperatur tersebut tetap konstan selama periode 1 tahun.

Field	Units	Obj1
January Ground Temperature	C	22.5
February Ground Temperature	C	22.5
March Ground Temperature	C	22.5
April Ground Temperature	C	22.5
May Ground Temperature	C	22.5
June Ground Temperature	C	22.5
July Ground Temperature	C	22.5
August Ground Temperature	C	22.5
September Ground Temperature	C	22.5
October Ground Temperature	C	22.5
November Ground Temperature	C	22.5
December Ground Temperature	C	22.5

Gambar 3.8 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 heavyv	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/m3	1920	2240	800
Specific Heat	J/kg-K	790	900	920
Thermal Absorptance				
Solar Absorptance				
Visible Absorptance				

Gambar 3.9 Layar *IDF Editor* untuk *Material*

Field	Units	Obj3	Obj4	Obj5
Name		Exterior Wall	Interior Wall	Exterior Rc
Outside Layer		M01 100mm brick	G01a 19mm gypsurr	M11 100m
Layer 2		M15 200mm heavyv	F04 Wall air space r	F05 Ceiling
Layer 3		I02 50mm insulation	G01a 19mm gypsurr	F16 Acous
Layer 4		F04 Wall air space r		
Layer 5		G01a 19mm gypsurr		
Layer 6				

Gambar 3.10 Layar *IDF Editor* untuk *Construction*

3.2.3 Kondisi Indoor

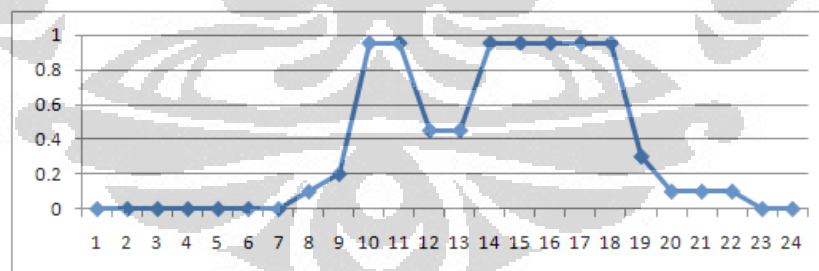
Berdasarkan standar *ASHRAE standard 55* yaitu tentang kondisi temperatur nyaman untuk daerah Panas dan Dingin (*summer and winter*). Maka di dalam simulasi ini digunakan temperatur ruangan yaitu $24,5^{\circ}\text{C}$ dan *humidity relatif* nya 50 % yang sesuai dengan temperatur operasional daerah panas [10].

3.2.4 Schedule Occupancy

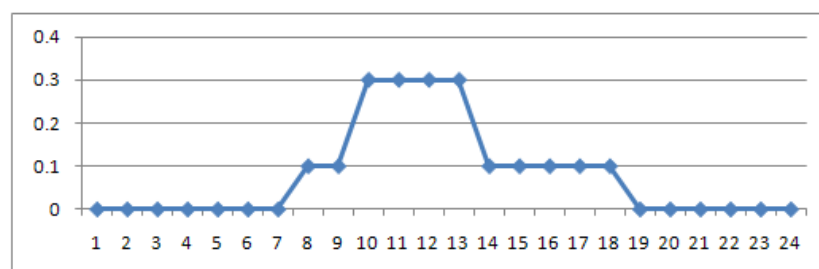
Jumlah orang mempengaruhi tingkat beban pendinginan di dalam ruangan, sehingga kehadiran dan penjadwalan memiliki peran yang penting untuk tujuan penghematan. Penjadwalan yang digunakan dalam simulasi ini berdasarkan kepada Standar ASHRAE. Dan untuk penjadwalan pencahayaan dan peralatan lainnya juga 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

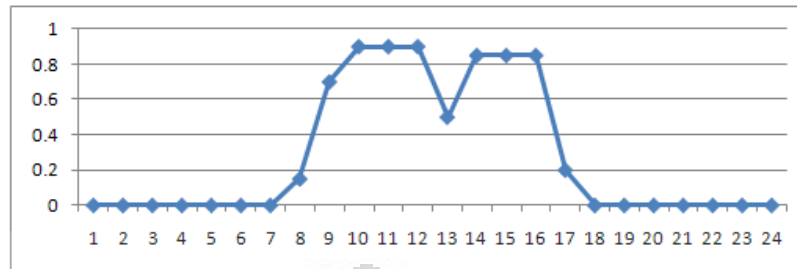


Office schedule on Saturday

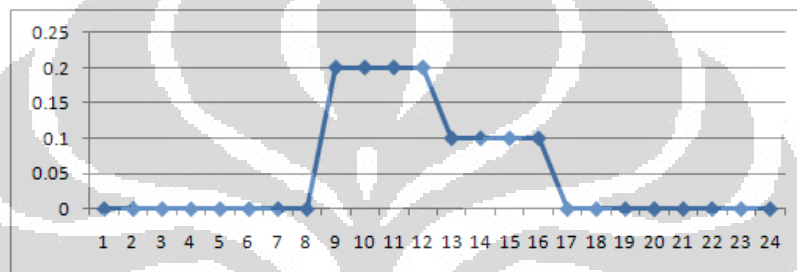


↓Occupancy-Warehouse

Warehouse schedule on weekdays



Warehouse schedule on Saturday



Gambar 3.11 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 MRC 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 ligthing 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
Fine material - warehouse	
Parameter	Default Value
<i>Occupancy schedule</i>	<i>warehouse 7 am – 4 pm</i>
<i>Power schedule</i>	<i>warehouse 7 am – 4 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>	1,4
<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
Laboratory- 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>	1,4
<i>Power load density (W/sq.ft)</i>	1,5
<i>Electric equipment radiant percentage</i>	0,5
<i>Infiltration flow (CFM/sq.ft)</i>	0,038
Office	
<i>Parameter</i>	<i>Default Value</i>
<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
Workshop	
<i>Parameter</i>	<i>Default Value</i>
<i>Occupancy schedule</i>	<i>warehouse 7 am – 4 pm</i>
<i>Power schedule</i>	<i>warehouse 7 am – 4 pm</i>
<i>People/100 sq.M</i>	20
<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>	1,9
<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

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

Field	Units	Obj1	Obj2	Obj3
Name		people 2a	people 2b	people 2c
Zone or ZoneList Name		2-ruangME	2-janitorantoleit	2-ruangpenelitian
Number of People Schedule Name		Office Occupancy	Office Occupancy	Office Occupanc
Number of People Calculation Method		People/Area	People/Area	People/Area
Number of People				
People per Zone Floor Area	person/m2	0.03	0.1	0.05
Zone Floor Area per Person	m2/person			
Fraction Radiant		0.3	0.3	0.3
Sensible Heat Fraction				
Activity Level Schedule Name		ActSchd-very light v	ActSchd-very light v	ActSchd- moder
Carbon Dioxide Generation Rate	m3/s/W	0.000000382		
Enable ASHRAE 55 Comfort Warnings				
Mean Radiant Temperature Calculator				
Surface Name/Angle Factor List Name				
Work Efficiency Schedule Name				
Clothing Insulation Schedule Name				

Gambar 3.13 layar *IDF Editor* untuk *people object*

Field	Units	Obj1	Obj2	Obj3
Name		1b	1c	1d
Zone or ZoneList Name		1-weldingworkshop	1-teknisidanoperato	1-janitorantoleit
Schedule Name		Warehouse Lighting	Office Lighting	Office Lighting
Design Level Calculation Method		Watts/Area	Watts/Area	Watts/Area
Lighting Level	W			
Watts per Zone Floor Area	W/m2	20	12	10
Watts per Person	W/person			
Return Air Fraction		0	0	0
Fraction Radiant		0.72	0.72	0.72
Fraction Visible		0.18	0.18	0.18
Fraction Replaceable		1	1	1
End-Use Subcategory		GeneralLights	GeneralLights	GeneralLights
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 3.14 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 MRC adalah jenis *surface mount* yaitu menempel pada langit-langit sehingga diperoleh nilai *fraction*nya 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	Obj4	Obj5	Obj6
Name		1b	1c	1d	1e	1f	1g
Zone or ZoneList Name		1-welding	1-teknisid	1-janitor	1-otomotir	1-loading	1-lift
Schedule Name		EQUIP-1	EQUIP-1	EQUIP-1	EQUIP-1	EQUIP-1	EQUIP-1
Design Level Calculation		Watts/Ar	Watts/Ar	Watts/Ar	Watts/Ar	Watts/Ar	Equipmer
Design Level	W						5000
Watts per Zone Floor Area	W/m2	10.75	16.12	3.225	10.75	3.225	
Watts per Person	W/person						
Fraction Latent							
Fraction Radiant		0.5	0.3	0.5	0.5	0.5	0.5
Fraction Lost							
End-Use Subcategory		General	General	General	General	General	General

Gambar 3.15 layar *IDF Editor* untuk *Electric:Equipment* object

Pada peralatan listrik di dalam bangunan tidak hanya terdiri dari interior saja tetapi juga terdapat ekterior peralatan listrik. Untuk interior selain peralatan juga terdapat daya listrik untuk lift yaitu sebesar 5000 W. Dan untuk ekterior adalah daya untuk pompa air untuk bangunan. Setelah dilakukan perhitungan dan ditentukan jenis pompa maka daya pompa yang digunakan adalah sebesar 500 W untuk setiap pompanya, dan karena diasumsikan gedung ini akan memakai 2 pompa yang nantinya akan ada pemakaian terpisah dengan penjadwalan yang terpisah juga untuk air untuk bangunan dan juga air khusus untuk laboratorium.

Field	Units	Obj2	Obj3	Obj4
Name		infiltrasi 1c	infiltrasi 1b	infiltrasi 1c
Zone or ZoneList Name		1-ruangM	1-weldingw	1-teknisida
Schedule Name		INFIL-SCH	INFIL-SCH	INFIL-SCH
Design Flow Rate Calculation Method		Flow/Area	Flow/Area	Flow/Area
Design Flow Rate	m3/s			
Flow per Zone Floor Area	m3/s-m2	0.000191	0.0001919	0.0001919
Flow per Exterior Surface Area	m3/s-m2			
Air Changes per Hour				
Constant Term Coefficient		0	0	0
Temperature Term Coefficient		0	0	0
Velocity Term Coefficient		0.2237	0.2237	0.2237
Velocity Squared Term Coefficient		0	0	0

Gambar 3.16 layar *IDF Editor* untuk *ZoneInfiltration:DesignAirFlow* object

Data nilai infiltrasi pada setiap ruangan diperoleh dari tabel *building space data* yang bersumber dari *Revit Autodesk*.

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 26 zona yang dikondisikan udara ruangnya. Zona –zona tersebut terbagi menjadi 3 kategori yaitu ruang kantor (*office*), laboratorium, dan bengkel/ gudang (*workshop*)

Untuk gedung – gedung yang tidak dikondisikan ini, hanya di tambahkan beberapa ventilasi baik berupa ventilasi natural dan juga mekanis menggunakan *exhaust fan* [5]. Total zona yang tidak dikondisikan adalah 22 zona.

Tabel 3.6 kebutuhan udara ventilasi mekanis

Tipe	Catu udara segar minimum	
	Pertukaran udara/jam	m ³ /jam per orang
Kantor	6	18
Restoran/kantin	6	18
Toko, Pasar Swalayan.	6	18
Pabrik, bengkel.	6	18
Kelas, bioskop	8	
Lobi, koridor, tangga	4	
Kamar mandi, peturasan.	10	
Dapur	20	
Tempat parkir	6	

Tabel 3.7 *Continues Exhaust Airflow rates*

Application	Airflow Rate Notes	
Kitchen	5 ach	Based on kitchen volume
Utility room, bathroom, toilet, lavatory	10 L/s	Not less than 2 ach

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 3.8 Tarif dasar listrik 2010

TARIF DASAR LISTRIK UNTUK KEPERLUAN KANTOR PEMERINTAH DAN PENERANGAN JALAN UMUM

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.	P-1/TR	450 VA	20.000	575	685
2.	P-1/TR	900 VA	24.600	600	760
3.	P-1/TR	1.300 VA	*)	680	880
4.	P-1/TR	2.200 VA s.d. 5.500 VA	*)	885	885
5.	P-1/TR	6.600 VA s.d. 200 kVA	**)	Blok I : H1 x 885 Blok II : H2 x 1.380	1.200
6.	P-2/TM	di atas 200 KVA	****)	Blok WBP = K x 750 Blok LWBP = 750 kVArh = 825 ****)	-
7.	P-3/TR	-	**)	820	820

Catatan :

*) Diterapkan Rekening Minimum (RM):

$RM1 = 40 \text{ (Jam Nyala)} \times \text{Daya tersambung (KVA)} \times \text{Biaya Pemakaian.}$

Dari tabel daftar tarif listrik tahun 2010 di atas, gedung MRC termasuk ke dalam golongan P-1/TR dengan batas daya 2.200 – 5.500 VA. Sehingga biaya pemakaian listriknya adalah Rp.885 (\$ 0,104) dengan biaya beban nya sebesar Rp. 77.880 (\$ 9,16)

Field	Units	Obj1
Name		tariff
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		9.16
Minimum Monthly Charge or Variable Name		
Real Time Pricing Charge Schedule Name		
Customer Baseline Load Schedule Name		
Group Name		

Field	Units	Obj1
Charge Variable Name		FlatEnergyCharge
Tariff Name		tariff
Source Variable		totalEnergy
Season		Annual
Category Variable Name		EnergyCharges
Cost per Unit Value or Variable Name		0.104

Gambar 3.17 layar *IDF-Editor UtilityCost* : *Tariff* dan *UtilityCost:ChargeSimple*

3.3 Simulasi Pengkondisian Udara Menggunakan *EnergyPlus*

3.3.1 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 berkeistensi *exp.idf*. Dan *file* tersebut juga dapat diubah atau dimodifikasi sesuai kebutuhan dan kemudian dilakukan 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 yang 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 26 zona. Sedangkan zona yang tidak dikondisikan menggunakan HVAC Template ini akan diberikan ventilasi berupa *exhaust fan*.

Field	Obj1	Obj2
Zone Name	1-teknisidanc	2-ruangpene
Template Thermostat Name	single termos	single termos

Gambar 3.18 Layar *IDF Editor HVAC Template Ideal Load System*

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

3.3.2 HVAC Template – Unitary system

HVAC Template – Unitary system adalah *template HVAC object* untuk sistem *unitary*.

HVAC Template – Unitary system terdiri dari :

- *HVAC Template Thermostat*

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

- *HVAC Template Zone : unitary*

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

Field	Units	Obj1	Obj2
Zone Name		1-teknisidanoperato	2-ruangpenelitian
Template Unitary System Name		unitary	unitary
Template Thermostat Name		single termostat	single termostat
Supply Air Maximum Flow Rate	m3/s	autosize	autosize
Zone Heating Sizing Factor			
Zone Cooling Sizing Factor			
Outdoor Air Method		Flow/Person	Flow/Person
Outdoor Air Flow Rate per Person	m3/s	0.00944	0.00944
Outdoor Air Flow Rate per Zone Floor Area	m3/s-m2		
Outdoor Air Flow Rate per Zone	m3/s		
Supply Plenum Name			
Return Plenum Name			
Baseboard Heating Type		None	None
Baseboard Heating Availability Schedule Name			
Baseboard Heating Control		autosize	autosize

Gambar 3.20 Layar *IDF Editor* untuk *HVAC Template:Zone:Unitary object*

- *HVAC Template System : unitary*

Sistem unitary HVAC yang digunakan untuk pengkondisian udara

Field	Units	Obj1
Supply Fan Maximum Flow Rate	m3/s	autosize
Supply Fan Operating Mode Schedule Name		Cycling
Supply Fan Total Efficiency		0.7
Supply Fan Delta Pressure	Pa	600
Supply Fan Motor Efficiency		0.9
Supply Fan Motor in Air Stream Fraction		1
Cooling Coil Type		SingleSpeedDX
Cooling Coil Availability Schedule Name		
Cooling Coil Capacity	W	autosize
Cooling Coil Rated Sensible Heat Ratio		autosize
Cooling Coil Rated COP		3
Heating Coil Type		Electric
Heating Coil Availability Schedule Name		
Heating Coil Capacity	W	autosize
Gas Heating Coil Efficiency		0.8

Gambar 3.21 Layar *IDF Editor* untuk HVAC *Template:System:Unitary object*

Sama halnya dengan simulasi Ideal Load System, pada HVAC *Template Unitary system* ini diperlakukan untuk 26 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*).

3.3.3 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 VAV

Field	Units	Obj1	Obj2	Obj3
Zone Name		1-teknisidanor	2-ruangpe	2-lat
Template VAV System Name		VAVsystem	VAVsystem	VAV
Template Thermostat Name		single termost	single termost	singl
Supply Air Maximum Flow Rate	m3/s	autosize	autosize	auto
Zone Heating Sizing Factor				
Zone Cooling Sizing Factor		1.2	1.2	1.2
Zone Minimum Air Flow Input Method		Constant	Constant	Con:
Constant Minimum Air Flow Fraction		0.2	0.2	0.2
Fixed Minimum Air Flow Rate	m3/s			
Minimum Air Flow Fraction Schedule Name				
Outdoor Air Method		Flow/Person	Flow/Person	Flow
Outdoor Air Flow Rate per Person	m3/s	0.00944	0.00944	0.00
Outdoor Air Flow Rate per Zone Floor Area	m3/s-m			
Outdoor Air Flow Rate per Zone	m3/s			
Default Coil Type		None	None	None

Gambar 3.23 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		VAVsystem
System Availability Schedule Name		FanAvailSched
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
Cooling Coil Availability Schedule Name		
Cooling Coil Setpoint Schedule Name		
Cooling Coil Design Setpoint	C	12.8
Heating Coil Type		None

Gambar 3.24 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		chillerwaterloop
Pump Schedule Name		FanAvailSched
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		ConstantPrimaryNoC
Primary Chilled Water Pump Rated Head	Pa	179352
Secondary Chilled Water Pump Rated Head	Pa	179352
Condenser Plant Operation Scheme Type		Default
Condenser Equipment Operation Schemes Name		
Condenser Water Temperature Control Type		
Condenser Water Setpoint Schedule Name		
Condenser Water Design Setpoint	C	29.4
Condenser Water Pump Rated Head	Pa	179352

Gambar 3.25 Layar *IDF Editor* untuk HVAC Template:Plant;ChillerWaterLoop object

- HVAC Template plant : Chiller

Properties chiller yang digunakan

Field	Units	Obj1
Name		chiller
Chiller Type		ElectricCentrifugalCl
Capacity	W	autosize
Nominal COP	W/W	7.03
Condenser Type		WaterCooled
Priority		
Sizing Factor		1

Gambar 3.26 Layar *IDF Editor* untuk HVAC Template:Plant:Chiller object

- HVAC template plant : Tower

Properties Cooling tower yang digunakan

Field	Units	Obj1
Name		tower
Tower Type		SingleSpeed
High Speed Nominal Capacity	W	autosize
High Speed Fan Power	W	autosize
Low Speed Nominal Capacity	W	autosize
Low Speed Fan Power	W	autosize
Free Convection Capacity	W	autosize
Priority		
Sizing Factor		1

Gambar 3.27 Layar *IDF Editor* untuk HVAC Template:Plant:Tower object

Sama halnya dengan simulasi Ideal Load System, pada HVAC Template *VAV system* ini diperlakukan untuk 26 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 Simulasi HVAC Template – Ideal Load System

Simulasi dengan *HVAC Template Ideal Load System* dilakukan untuk mengetahui bagaimana beban pendinginan yang terdapat pada gedung MRC 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 4.1 Luas bangunan

	<i>Area [m2]</i>
<i>Total Building Area</i>	5157,96
<i>Net Conditioned Building Area</i>	2436,70
<i>Unconditioned Building Area</i>	2721,26

Dalam simulasi ini tidak semua zona atau ruangan yang dikondisikan, yaitu hanya 26 zona yang dikondisikan dari 48 zona yang membentuk

bangunan, sedangkan sisanya hanya menggunakan ventilasi dan *exhaust fan* untuk pertukaran udara.

Tabel 4.2 Total dan distribusi energi pada *Ideal Load System*

	<i>Total Energy [GJ]</i>	<i>Energy Per Total Building Area [MJ/m²]</i>				<i>Energy Per Conditioned 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>	2564,64	103,55	District Cooling 312,09	81,59	185,13	219,18	District Cooling 660,62	172,70	391,89
<i>Total Source Energy</i>	4723,53	1938,49				915,78			

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 MRC FT-UI. 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]
1- RUANGME	16.00	No	80.0	100.00	1.50	16.0000	33.33	3.2250
1- WELDING WORKSHOP	205.20	No	1026.0	286.89	12.00	20.0000	20.00	10.7500
1- TEKNISIDAN OPERATOR	57.60	Yes	288.0	152.00	4.50	12.0000	20.00	16.1200
1- JANITOR DANTOILET	41.60	No	275.37	165.50	0.00	10.0000	10.00	3.2250
1- OTOMOTIV MILING TURNING	205.20	No	1026.0	286.89	12.00	20.0000	5.00	10.7500
1- LOADING UNLOADING	57.60	No	288.0	152.00	4.50	15.0000	10.00	3.2250
1-LIFT	7.50	No	187.50	275.00	0.00	6.0000	10.00	666.6667
1-SELASAR	364.52	No	1822.6	101.00	0.00	5.0000	10.00	3.2250
2-	16.00	No	64.00	80.00	1.50	16.0000	33.33	3.2250

RUANGME								
2- JANITORDA NTOILET	34.10	No	229.8 8	132.40	0.00	10.0000	10.00	3.2250
2- RUANGPEN ELITIAN	46.00	Yes	184.0	124.00	3.00	15.0000	20.00	16.1200
2- LABSPECTO METER	39.10	Yes	156.4 0	119.20	3.00	15.0000	20.00	16.1200
2- RUANGRAP AT	66.50	Yes	219.3 3	168.00	6.00	14.0000	2.00	10.7500
2- R.KERJADO SENADMINI STRASI	36.00	Yes	71.73	175.20	4.50	12.0000	20.00	16.1200
2- LABNANOD ANMICRO	57.60	Yes	230.4 0	121.60	4.50	15.0000	20.00	16.1200
2- LABADVAN CEMANUFA KTUR	40.25	Yes	161.0 0	120.00	3.00	23.0000	10.00	10.7500
2- LABMANUF AKTUROTO MASI	57.50	Yes	230.0 0	132.00	4.50	23.0000	10.00	10.7500
2- LABORATO RIUM	67.85	Yes	271.4 0	139.20	4.50	15.0000	20.00	16.1200
3- RUANGME	16.00	No	64.00	80.00	1.50	16.0000	33.33	3.2250
3- LABCASTIN GDESIGN	82.80	Yes	331.2 0	149.60	6.00	15.0000	20.00	16.1200
3- RUANGMUL TIMEDIA	82.80	Yes	331.2 0	149.60	6.00	14.0000	2.00	10.7500
3- RUANGENG INEER	57.60	Yes	230.4 0	121.60	4.50	12.0000	20.00	16.1200
3- INTEGRATE DCMPUTASI ON	82.80	Yes	331.2 0	149.60	4.50	15.0000	20.00	16.1200
3- MEKATRON	82.80	Yes	331.2 0	149.60	6.00	15.0000	20.00	16.1200

IKROBOTIK								
3-LABRAPIDPRECISION	82.80	Yes	331.20	149.60	6.00	15.0000	20.00	16.1200
3-JANITORDANTOILET	34.10	No	229.88	132.40	0.00	10.0000	10.00	3.2250
4-RUANGME	16.00	No	64.00	80.00	1.50	16.0000	33.33	3.2250
4-LABMECHDESIGNBIOMECH	105.30	Yes	421.20	174.76	6.00	15.0000	20.00	16.1200
4-EXPERIMENTMEKANIK	99.90	Yes	399.60	168.76	6.00	15.0000	20.00	16.1200
4-RUANGRESEARCHER	57.60	Yes	230.40	121.60	4.50	12.0000	20.00	16.1200
4-DYNAMICVIBRATION	82.80	Yes	331.20	149.60	4.50	15.0000	20.00	16.1200
4-RUANGSEMINAR	205.20	Yes	586.40	286.51	12.00	14.0000	2.00	10.7500
4-JANITORDANTOILET	34.10	No	72.01	132.40	0.00	10.0000	10.00	3.2250
4-SELASAR	311.21	No	1244.86	80.80	0.00	5.0000	10.00	3.2250
5-RUANGME	16.00	No	64.00	80.00	1.50	16.0000	33.33	3.2250
5-LABCOMPOSITE	157.50	Yes	839.07	258.36	10.50	15.0000	20.00	16.1200
5-JANITORDANTOILET	34.10	No	229.88	132.40	0.00	10.0000	10.00	3.2250
5-SELASAR	311.21	No	1244.86	80.80	0.00	5.0000	10.00	3.2250
5-LABPOLYMER	157.50	Yes	838.39	258.36	10.50	15.0000	20.00	16.1200
5-LABAIRCONDITIO	105.30	Yes	2035.80	349.51	12.00	15.0000	20.00	16.1200

6- RUANGME	16.00	No	64.00	80.00	1.50	16.0000	33.33	3.2250
6- RUANGLEC TURERRESE ARCH	105.3 0	Yes	421.2 0	174.76	6.00	12.0000	20.00	16.1200
6- LABSOLAR CELL	157.5 0	Yes	630.0 0	226.36	10.50	15.0000	20.00	16.1200
6- LABHEATT RANSFER	262.8 0	Yes	1285. 60	344.11	16.50	15.0000	20.00	16.1200
6-SELASAR	328.2 8	No	711.2 4	81.55	0.00	5.0000	10.00	3.2250
6- JANITORDA NTOILET	34.10	No	72.01	132.40	0.00	10.0000	10.00	3.2250
3-SELASAR	311.2 1	No	1244. 86	80.80	0.00	5.0000	10.00	3.2250
2-SELASAR	311.2 1	No	1244. 86	80.80	0.00	5.0000	10.00	3.2250
<i>Total</i>	5157. 96		23267 .33	7467.5 0	207.00	11.3413	9.18	10.4094
<i>Conditione d Total</i>	2436. 70		11717 .52	4633.4 7	169.50	14.7887	8.51	15.1233
<i>Unconditio ned Total</i>	2721. 26		11549 .80	2834.0 3	37.50	8.2544	9.87	6.1884

4.1.3 Report: Demand End Use Components Summary

Report ini menyajikan hasil perhitungan simulasi berupa total beban pendinginan pada gedung MRC FT-UI dan bagaimana penggunaan energi pada setiap komponennya. Dapat dilihat pada tabel, puncak dari beban pendinginan gedung adalah 586.471,3 W (*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.

Tabel 4.5 Demand component summary

	<i>Electricity [W]</i>	<i>District Cooling [W]</i>
<i>Time of Peak</i>	03-JAN-09:00	05-DEC-07:10
<i>Heating</i>	0.00	0.00
<i>Cooling</i>	0.00	586471,30
<i>Interior Lighting</i>	52648,18	0.00
<i>Exterior Lighting</i>	0.00	0.00
<i>Interior Equipment</i>	48322,03	0.00
<i>Exterior Equipment</i>	1000,00	0.00
<i>Fans</i>	0.00	0.00
<i>Pumps</i>	0.00	0.00
<i>Heat Rejection</i>	0.00	0.00
<i>Humidification</i>	0.00	0.00
<i>Heat Recovery</i>	0.00	0.00
<i>Water Systems</i>	0.00	0.00
<i>Refrigeration</i>	0.00	0.00
<i>Generators</i>	0.00	0.00
<i>Total End Uses</i>	101970,21	586471,30

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 4.6 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 MRC FT-UI, 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. Terlebih dahulu dilakukan konversi mata uang ,Rp 8500,- menjadi \$ 1,-.

Tabel 4.7 Biaya energi per bulan

<i>MONTH</i>	<i>FLATENERGY CHARGE (\$)</i>	<i>MONTH</i>	<i>FLATENERGY CHARGE (\$)</i>
<i>Jan</i>	2343,25	<i>Jul</i>	2349,29
<i>Feb</i>	2024,89	<i>August</i>	2149,12
<i>Mar</i>	2531,35	<i>Sep</i>	2237,13
<i>Apr</i>	2243,16	<i>Oct</i>	2349,29
<i>May</i>	2343,25	<i>Nov</i>	2431,26
<i>Jun</i>	2237,13	<i>Dec</i>	2349,29
<i>Sum</i>			27588,41
<i>Max</i>			2531,35
<i>Category</i>			<i>EnergyCharges</i>

4.2 Hasil Simulasi *HVAC Template – Unitary system dan 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 dilakukan 2 jenis sistem pendinginan yaitu *unitary system* dan *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 4.8 Total dan distribusi konsumsi energi pada *Unitary system dan VAV system*

<i>Energy</i>	<i>Unitary system</i>			<i>VAV system</i>			
	<i>Total Energy [GJ]</i>	<i>Energy/ Total Building Area [MJ/m²]</i>		<i>Energy/ Conditioned Building Area [MJ/m²]</i>	<i>Total Energy [GJ]</i>	<i>Energy/ Total Building Area [MJ/m²]</i>	
<i>Total Site</i>	1633,40	lighting	103,55	219,18	1386,67	103,55	219,18
		HVAC	131,54	278,45		83,71	177,19
		Other	81,59	172,70		81,59	172,70
		Total	316,68	670,33		268,84	569,08
<i>Total Source</i>	5172,98	1002,91		2122,95	4391,59	851,42	1802,27

Dengan membandingkan hasil yang di peroleh dari hasil simulasi yang ada pada tabel, dapat di ketahui bahwa dengan penggunaan sistem pendingin *unitary system* energi yang total energi yang digunakan adalah sebesar 1633,40 GJ sedangkan menggunakan *VAV system* jumlah penggunaan energinya adalah lebih rendah yaitu sebesar 1386,67 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 hal ini dikarenakan konsumsi energi untuk sistem pendinginannya lebih rendah dan efisien dibanding *unitary system*.

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 dilakukan *sizing* dan pemilihan komponen yang sesuai.

Tabel 4.9 Demand component summary Unitary system dan VAV system

	<i>Unitary system</i>		<i>VAV system</i>	
	<i>Electricity [W]</i>	<i>District Cooling [W]</i>	<i>Electricity [W]</i>	<i>District Cooling [W]</i>
<i>Time of Peak</i>	11-APR-13:00	-	11-APR-13:00	-
<i>Heating</i>	0.00	0.00	0.00	0.00
<i>Cooling</i>	88820,28	0.00	45567,80	0.00
<i>Interior Lighting</i>	52648,18	0.00	52648,18	0.00
<i>Exterior Lighting</i>	0.00	0.00	0.00	0.00
<i>Interior Equipment</i>	48322,03	0.00	48322,03	0.00
<i>Exterior Equipment</i>	500,00	0.00	500,00	0.00
<i>Fans</i>	1342,28	0.00	1143,40	0.00
<i>Pumps</i>	0.00	0.00	7357,13	0.00

<i>Heat Rejection</i>	0.00	0.00	4079,32	0.00
<i>Humidification</i>	0.00	0.00	0.00	0.00
<i>Heat Recovery</i>	0.00	0.00	0.00	0.00
<i>Water Systems</i>	0.00	0.00	0.00	0.00
<i>Refrigeration</i>	0.00	0.00	0.00	0.00
<i>Generators</i>	0.00	0.00	0.00	0.00
<i>Total End Uses</i>	191632,77	0.00	169594,31	0.00

Dari hasil simulasi masing-masing sistem pendinginan dengan kondisi yang sama (pencahayaannya, peralatan dan *occupancy*) diperoleh hasil yang jauh berbeda untuk masing-masing sistemnya. Pada *unitary system*, energi listrik yang digunakan untuk mendinginkan gedung pada kondisi puncaknya adalah sebesar **88820,28W** dengan tambahan penggunaan *fan* sebesar 1342,28W. Dan pada *VAV system*, untuk penggunaan energinya pada kondisi puncak tersebut adalah **45567,80W** untuk energi yang digunakan untuk pendinginan ruangan dan tambahan energi lainnya untuk setiap komponen yaitu 1143,40 W untuk *fan*, 7357,13 W untuk pompa dan 4079,32 W untuk *heat rejection*.

Dengan membandingkan dua jenis sistem pendingin tersebut, energi pendinginan pada *VAV system* adalah mendekati 50% lebih rendah dibanding dengan *unitary system*. Hal ini dikarenakan perbedaan mendasar cara kerja dan sistem yang digunakan pada kedua alat pendingin tersebut.

Pada *unitary system*, yang didinginkan adalah udara yaitu dengan *DX coil* menggunakan *refrigerant* yang kemudian ditiupkan ke dalam ruangan. Pada *unitary system* jarang yang menggunakan *ducting*, dan biasanya udara dingin tersebut dialirkan langsung menggunakan *fan* yang terdapat di bagian dalam ruangan. Sedangkan komponen *kondensing unit* nya berada di luar ruangan (*split system*).

Sedangkan pada *VAV system* menggunakan air dingin (*chilled water*) yang di alirkan ke *cooling coil* untuk mendinginkan udara. Pada *VAV system* terjadi 2 kali pendinginan yaitu yang pertama mendinginkan

air dari *cooling tower* kemudian air dingin tersebut mendinginkan udara pada *cooling coil*. Kemudian udara yang didinginkan tersebut di tiupkan ke dalam ruangan menggunakan *variable fan* yang dapat mengontrol jumlah aliran udara berdasarkan beban pendinginan di dalam ruangan.

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 *VAV system*.

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

Tabel 4.10 *Equipment summary VAV system : Central plant (tower & chiller) and Pump*

	Type	Nominal Capacity [W]	Nominal Efficiency [W/W]
CHILLER	Chiller:Electric:EIR	340124,57	7,03
TOWER	CoolingTower:SingleSpeed	310805,16	
CHILLERWATERLOOP CHW SUPPLY PUMP	Pump:Constant Speed	Head 179352 Pa	Motor eff 0,9 (W/W)
	Intermittent	Power 3116,77 W	
CHILLERWATERLOOP CNDW SUPPLY PUMP	Pump:Variable Speed	Head 179352 Pa	Motor eff 0,9 (W/W)
	Intermittent	Power 4240,36 W	

Chiller yang digunakan dalam simulasi adalah standar *centrifugal 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*

Tabel 4.11 *Equipment summary Unitary system :cooling DX dan Fan*

Zone	Coil:Cooling:DX:SingleSpeed							Fan:OnOff			
	Nominal Total Capacity [W]	Nominal Sensible Capacity [W]	Nominal Latent Capacity [W]	Nominal Sensible Heat Ratio	SEER in SI Units [W/W]	EER in SI Units [W/W]	IEER in SI Units [W/W]	Total Efficiency [W/W]	Delta Pressure [pa]	Max Flow Rate [m3/s]	Rated Power [W]
2-RUANGPENELITIAN COOLING COIL	4796.92	3511.64	1285.27	0.73	2.75	2.59	2.68	0.70	600.00	0.24	203.39
2-LABSPECTOMETER COOLING COIL	4144.85	3008.72	1136.13	0.73	2.76	2.60	2.69	0.70	600.00	0.20	172.15
2-RUANGRAPAT COOLING COIL	10300.33	6963.88	3336.45	0.68	2.82	2.66	2.79	0.70	600.00	0.41	355.54
2-RUANGKERJADOSENSUPERVISOR DANADMINISTRASI COOLING COIL	3508.89	2568.48	940.41	0.73	2.75	2.59	2.68	0.70	600.00	0.17	148.75
2-LABNANODANMICRO COOLING COIL	4624.62	3226.82	1397.81	0.70	2.79	2.63	2.74	0.70	600.00	0.20	173.74
2-LABADVANCEMANUFAKTUR COOLING COIL	5564.47	3764.37	1800.10	0.68	2.82	2.66	2.79	0.70	600.00	0.22	192.40
2-LABMANUFAKTURO TOMASI COOLING COIL	7698.73	5204.98	2493.75	0.68	2.82	2.66	2.79	0.70	600.00	0.31	265.74

2-LABORATORIUM COOLING COIL	6823.96	4927.82	1896.14	0.72	2.76	2.60	2.70	0.70	600.00	0.33	279.80
3-LABCASTINGDESIGN COOLING COIL	7977.94	5730.95	2247.00	0.72	2.77	2.60	2.70	0.70	600.00	0.38	322.87
3-RUANGMULTIMEDIA COOLING COIL	14172.18	9581.58	4590.61	0.68	2.82	2.66	2.79	0.70	600.00	0.57	489.18
3-RUANGENGINEER COOLING COIL	5154.35	3713.59	1440.77	0.72	2.76	2.60	2.70	0.70	600.00	0.25	210.14
3-INTEGRATEDCMPUTASION COOLING COIL	8353.02	6036.96	2316.06	0.72	2.76	2.60	2.69	0.70	600.00	0.40	343.20
3-MEKATRONIKROBOTIK COOLING COIL	6308.45	4354.56	1953.88	0.69	2.80	2.64	2.76	0.70	600.00	0.27	230.36
3-LABRAPIDPRECISION COOLING COIL	6571.43	4560.35	2011.08	0.69	2.80	2.64	2.75	0.70	600.00	0.28	243.38
4-LABMECHDESIGNBIOMECH COOLING COIL	10782.94	7791.85	2991.10	0.72	2.76	2.60	2.69	0.70	600.00	0.52	442.85
4-EXPERIMENTMEKANIK COOLING COIL	9433.58	6620.88	2812.69	0.70	2.79	2.63	2.74	0.70	600.00	0.42	359.84
4-RUANGRESEARCHER COOLING COIL	6380.52	4701.76	1678.76	0.74	2.74	2.58	2.67	0.70	600.00	0.32	274.88

4-DYNAMICVIBRATION COOLING COIL	7769.59	5522.88	2246.71	0.71	2.78	2.61	2.72	0.70	600.00	0.36	306.21
4-RUANGSEMINAR COOLING COIL	28237.17	19090.68	9146.49	0.68	2.82	2.66	2.79	0.70	600.00	1.14	974.67
5-LABCOMPOSITE COOLING COIL	17777.55	12909.94	4867.60	0.73	2.75	2.59	2.69	0.70	600.00	0.86	739.10
5-LABPOLYMER COOLING COIL	17089.77	12343.07	4746.70	0.72	2.76	2.60	2.70	0.70	600.00	0.82	701.01
5-LABAIRCONDITIO COOLING COIL	16106.21	12040.81	4065.40	0.75	2.73	2.57	2.65	0.70	600.00	0.84	718.14
6-RUANGLECTURERDANRESEARCH COOLING COIL	12282.03	9084.45	3197.58	0.74	2.74	2.58	2.66	0.70	600.00	0.62	533.90
6-LABSOLARCELL COOLING COIL	18126.80	13256.60	4870.20	0.73	2.75	2.59	2.68	0.70	600.00	0.89	766.72
6-LABHEATTRANSFER COOLING COIL	28140.37	20427.33	7713.04	0.73	2.76	2.60	2.69	0.70	600.00	1.36	1168.79
1-TEKNISIDANOPERATOR COOLING COIL	4598.24	3276.34	1321.90	0.71	2.77	2.61	2.71	0.70	600.00	0.21	182.32

Tabel 4.12 *Equipment summary VAV system : cooling coil dan fan variable volume*

Zone	Coil: Cooling: Water						Fan: Variable Volume		
	Nominal Total Capacity [W]	Nominal Sensible Capacity [W]	Nominal Latent Capacity [W]	Nominal Sensible Heat Ratio	Nominal Coil UA Value [W/C]	Nominal Coil Surface Area [m ²]	Total Efficiency [W/W]	Max Flow Rate [m ³ /s]	Rated Power [W]
1-TEKNISIDANOPERATOR COOLING COIL	6117.78	4314.58	1803.20	0.71	662.22	6.72	0.70	0.26	374.56
2-RUANGPENELITIAN COOLING COIL	6026.49	4282.89	1743.60	0.71	648.56	6.58	0.70	0.26	378.30
2-LABSPECTOMETER COOLING COIL	5187.37	3672.06	1515.31	0.71	560.26	5.68	0.70	0.22	321.42
2-RUANGRAPAT COOLING COIL	15638.73	9929.67	5709.07	0.63	2070.65	21.00	0.70	0.47	669.31
2-RUANGKERJADOSENSUPERVISOR DANADMINISTRASI COOLING COIL	4681.31	3328.32	1352.99	0.71	503.83	5.11	0.70	0.21	294.24
2-LABNANODANMICRO COOLING COIL	5466.53	3782.24	1684.28	0.69	599.78	6.08	0.70	0.22	314.89
2-LABADVANCEMANUFAKTUR COOLING COIL	6342.41	4309.37	2033.04	0.68	709.88	7.20	0.70	0.24	344.41

2-LABMANUFAKTUR TOMASI COOLING COIL	8814.41	5976.55	2837.86	0.68	989.24	10.03	0.70	0.33	475.39
2-LABORATORIUM COOLING COIL	8193.66	5775.20	2418.46	0.70	887.89	9.01	0.70	0.35	500.64
3-LABCASTINGDESIGN COOLING COIL	9741.86	6852.58	2889.28	0.70	1056.87	10.72	0.70	0.41	591.44
3-RUANGMULTIMEDIA COOLING COIL	21013.00	13403.02	7609.99	0.64	2733.09	27.72	0.70	0.64	915.14
3-RUANGENGINEER COOLING COIL	6539.49	4618.17	1921.32	0.71	707.56	7.18	0.70	0.28	402.06
3-INTEGRATEDCOMPUTASION COOLING COIL	10155.08	7160.02	2995.06	0.71	1100.52	11.16	0.70	0.43	621.09
3-MEKATRONIKROBOTIK COOLING COIL	7297.59	5021.34	2276.25	0.69	804.38	8.16	0.70	0.29	412.98
3-LABRAPIDPRECISION COOLING COIL	7642.77	5273.54	2369.23	0.69	840.32	8.52	0.70	0.31	436.42
4-LABMECHDESIGNBIOMECH COOLING COIL	13671.80	9660.10	4011.70	0.71	1479.33	15.00	0.70	0.59	841.94
4-EXPERIMENTMEKANIK COOLING COIL	11789.90	8200.66	3589.24	0.70	1289.64	13.08	0.70	0.48	690.58
4-RUANGRESEARCHER COOLING COIL	8258.81	5884.97	2373.84	0.71	887.46	9.00	0.70	0.37	522.92
4-DYNAMICVIBRATION COOLING COIL	9349.75	6533.07	2816.68	0.70	1018.61	10.33	0.70	0.39	555.75
4-RUANGSEMINAR COOLING COIL	41953.46	26437.41	15516.05	0.63	5752.24	58.34	0.70	1.22	1742.9 9

5-LABCOMPOSITE COOLING COIL	22812.23	16147.17	6665.07	0.71	2465.51	25.01	0.70	0.99	1412.9 2
5-LABPOLYMER COOLING COIL	20899.14	14732.14	6166.99	0.70	2266.01	22.98	0.70	0.89	1277.2 2
5-LABAIRCONDITIO COOLING COIL	20434.99	14620.02	5814.97	0.72	2192.01	22.23	0.70	0.92	1310.7 9
6-RUANGLECTURERDANRESEARCH COOLING COIL	15906.29	11349.14	4557.14	0.71	1707.98	17.32	0.70	0.71	1011.4 2
6-LABSOLARCELL COOLING COIL	24647.46	17539.71	7107.75	0.71	2652.09	26.90	0.70	1.09	1553.6 7
6-LABHEATTRANSFER COOLING COIL	34567.24	24425.90	10141.34	0.71	3740.74	37.94	0.70	1.49	2129.1 2

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 *VAV system*. Parameter yang dihitung dilihat pada keadaan puncaknya berdasarkan *Design day* yang digunakan. Berikut ini disajikan distribusi beban pendinginan pada setiap zona beserta jumlah aliran dan juga *humidity ratio* nya.

Tabel 4.13 HVAC Sizing summary : Zone cooling

				HVAC sizing Summary Unitary system		HVAC sizing Summary VAV system			
	Humidity Ratio at Peak [kgWater/kgAir]	Date/Time Of Peak	Temperature at Peak [C]	Design Load [W]	Design Air Flow [m3/s]	Design Load [W]		Design Air Flow [m3/s]	
						Calculated	User	Calculated	User
1-TEKNISIDAN OPERATOR	0.01903	6/21 15:40:00	32.58	2977.30	0.245	2977.05	3572.46	0.218	0.262
2-RUANGPENELITIAN	0.01903	6/21 14:00:00	32.80	3006.93	0.247	3006.73	3608.08	0.221	0.265
2-LABSPECTOMETER	0.01903	6/21 14:00:00	32.80	2554.67	0.210	2554.44	3065.32	0.187	0.225
2-RUANGRAPAT	0.01903	6/21 16:00:00	32.47	5315.56	0.437	5314.20	6377.04	0.390	0.469
2-RUANGKERJADSENSUPERVISORDAN ADMINISTRASI	0.01903	6/21 17:10:00	31.94	2338.73	0.192	2338.56	2806.28	0.172	0.206
2-LABNANODAN MICRO	0.01903	6/21 16:00:00	32.47	2502.66	0.206	2502.22	3002.66	0.184	0.220
2-LABADVANCE MANUFACTUR	0.01903	6/21 16:00:00	32.47	2736.43	0.225	2735.72	3282.86	0.201	0.241

2- LABMANUFA KTUROTOMA SI	0.01903	6/21 16:00: 00	32.47	3776.9 7	0.311	3775.9 5	4531.1 4	0.277	0.333
2- LABORATORI UM	0.01903	6/21 15:20: 00	32.69	3979.0 2	0.327	3978.5 6	4774.2 8	0.292	0.350
3- LABCASTING DESIGN	0.01903	6/21 16:00: 00	32.47	4700.6 6	0.386	4700.0 8	5640.1 0	0.345	0.414
3- RUANGMULT IMEDIA	0.01903	6/21 16:00: 00	32.47	7268.4 8	0.598	7266.6 1	8719.9 4	0.534	0.641
3- RUANGENGI NEER	0.01903	6/21 16:00: 00	32.47	3195.7 2	0.263	3195.4 3	3834.5 1	0.235	0.281
3- INTEGRATED CMPUTASIO N	0.01903	6/21 16:00: 00	32.47	4936.2 5	0.406	4935.6 6	5922.7 9	0.362	0.435
3- MEKATRONI KROBOTIK	0.01903	6/21 14:00: 00	32.80	3282.4 3	0.270	3281.8 6	3938.2 4	0.241	0.289
3- LABRAPIDPR ECISION	0.01903	6/21 14:20: 00	32.80	3468.5 9	0.285	3467.9 9	4161.5 9	0.255	0.305
4- LABMECHDE SIGNBIOMECH H	0.01903	6/21 15:20: 00	32.69	6691.4 1	0.550	6690.6 5	8028.7 8	0.491	0.589
4- EXPERIMENT MEKANIK	0.01903	6/21 16:00: 00	32.47	5487.8 9	0.451	5486.8 4	6584.2 1	0.403	0.483
4- RUANGRESE ARCHER	0.01903	6/21 16:00: 00	32.47	4156.2 5	0.342	4155.9 4	4987.1 3	0.305	0.366
4- DYNAMICVI BRATION	0.01903	6/21 16:00: 00	32.47	4416.8 0	0.363	4416.1 0	5299.3 2	0.324	0.389
4- RUANGSEMI NAR	0.01903	6/21 15:50: 00	32.52	13839. 21	1.139	13835. 12	16602. 15	1.017	1.220
5- LABCOMPOSI TE	0.01903	6/21 16:00: 00	32.47	11229. 56	0.923	11228. 15	13473. 78	0.824	0.989
5- LABPOLYME R	0.01903	6/21 15:40: 00	32.58	10151. 16	0.835	10149. 77	12179. 72	0.745	0.894

5- LABAIRCON DITIO	0.01903	6/21 15:30: 00	32.63	10419. 84	0.856	10418. 75	12502. 51	0.765	0.918
6- RUANGLECT URERDANRE SEARCH	0.01903	6/21 16:00: 00	32.47	8038.7 5	0.661	8038.1 6	9645.7 9	0.590	0.708
6- LABSOLARC ELL	0.01903	6/21 16:00: 00	32.47	12347. 63	1.015	12346. 42	14815. 70	0.906	1.088
6- LABHEATTR ANSFER	0.01903	6/21 16:00: 00	32.47	16921. 94	1.391	16919. 88	20303. 86	1.242	1.490

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.

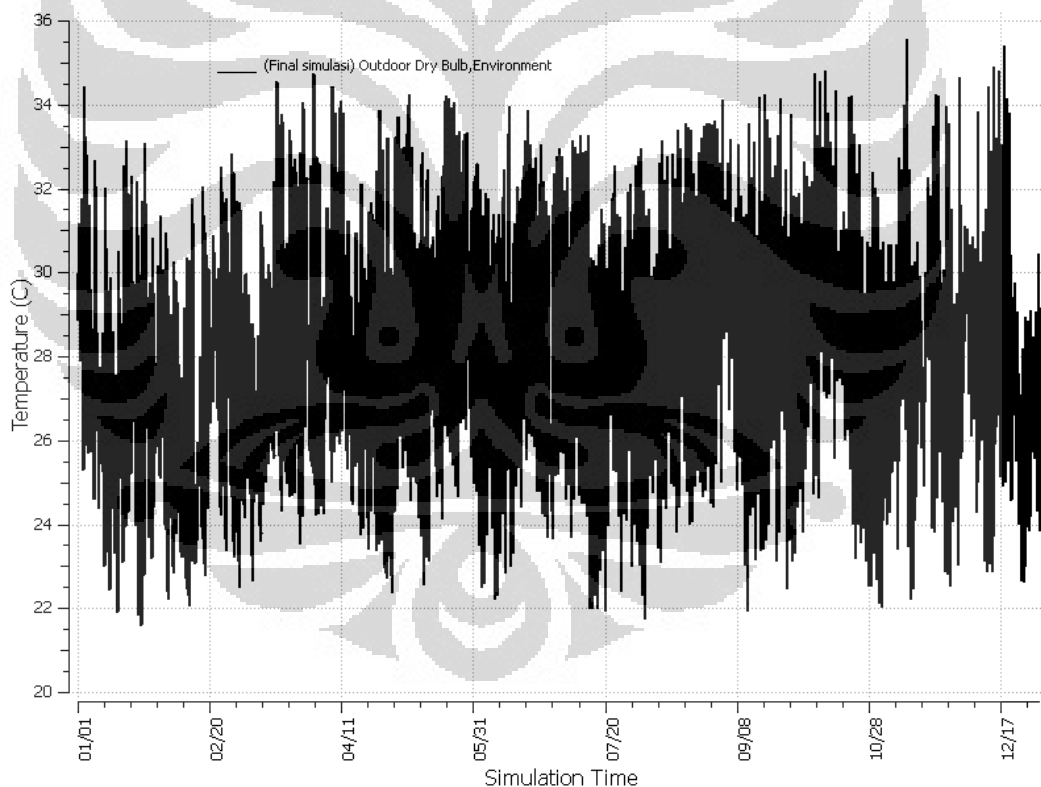
Tabel 4.15 Biaya energi per bulan

	<i>VAV system</i>	<i>Unitary system</i>
<i>Month</i>	<i>Flat energy charge (\$)</i>	<i>Flat energy charge (\$)</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 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 MRC FT-UI dalam periode *annual* yang fluktuatif. Data- data temperatur ini diperoleh dari *weather data file* dari *EnergyPlus*.



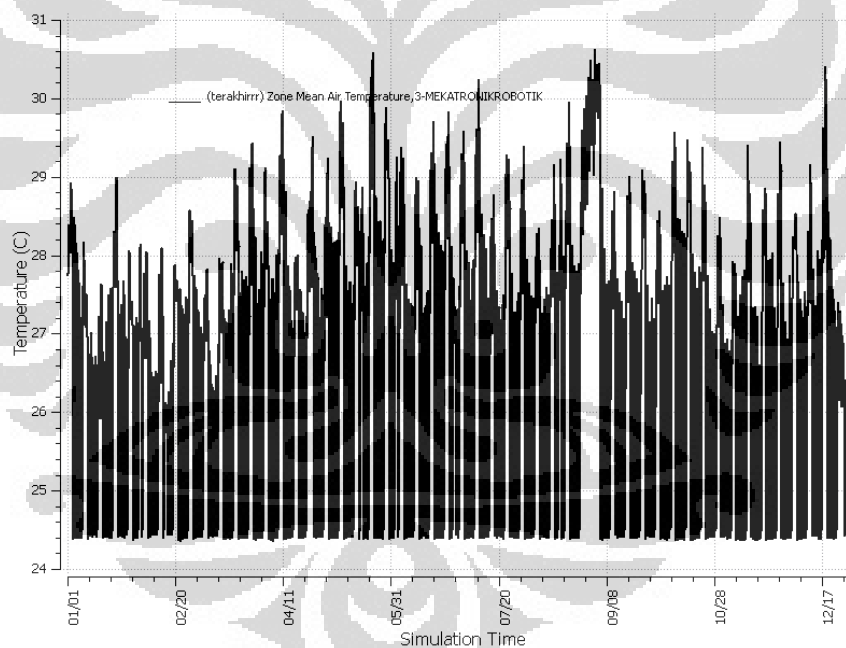
Gambar 4.1 Grafik temperatur udara lingkungan (*outdoor air temperature*)

Dari grafik diatas diketahui bahwa temperatur udara lingkungan di daerah Depok berdasarkan data cuaca yang diperoleh dari *EnergyPlus*, yaitu bulan November merupakan bulan terpanas dengan temperatur

maksimum *dry bulb* mencapai 35,6 °C dan bulan Januari merupakan bulan terdingin dengan temperatur minimum 21,6 °C.

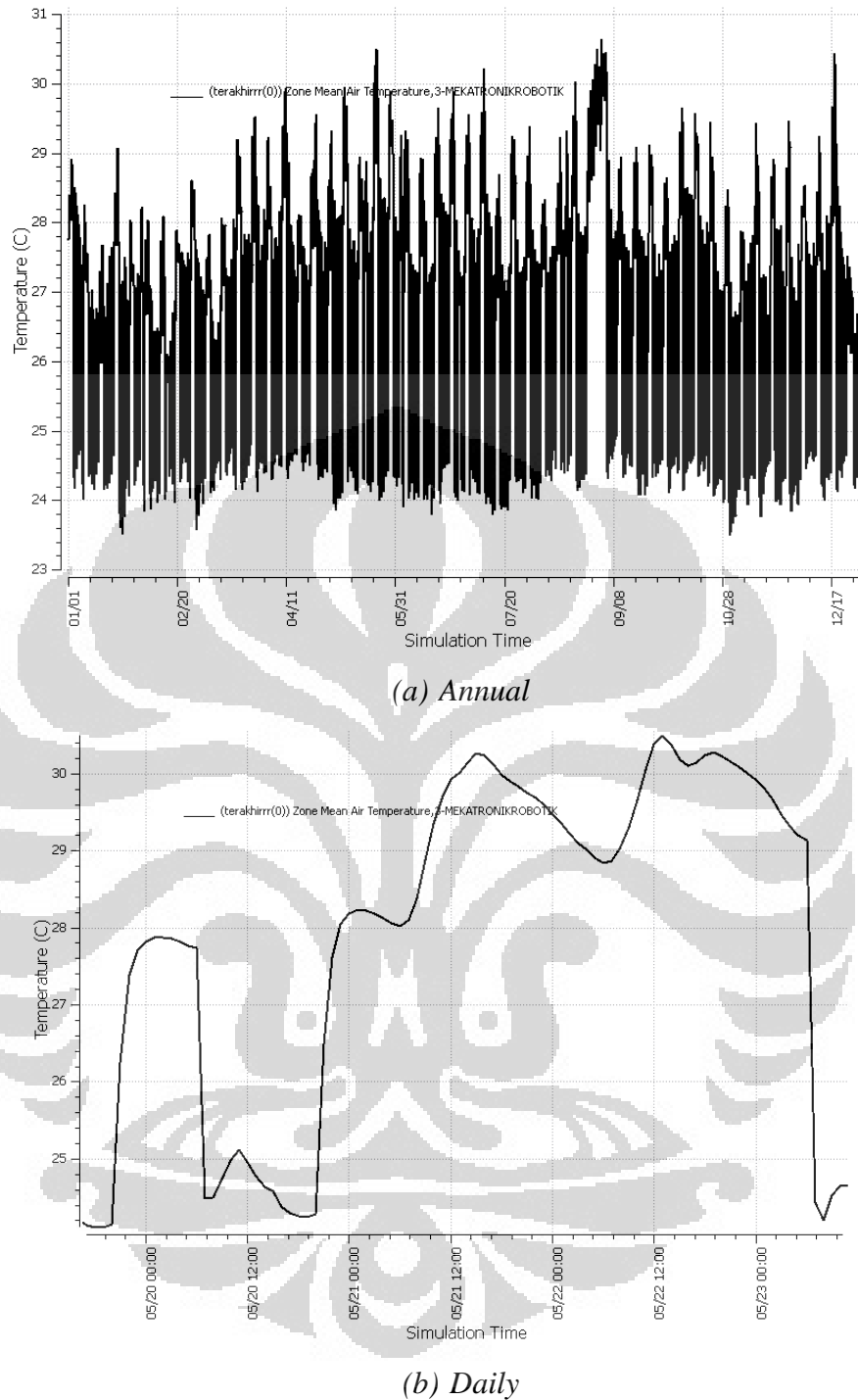
4.3.1 Zone Mean Air Temperature

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.



Gambar 4.2 Grafik *annual zone mean air temperature* pada *Ideal load asir system*

Pada sistem ini merupakan kondisi ideal yang didinginkan dalam memenuhi keadaan nyaman di dalam ruangan yaitu pada temperatur 24,5 °C selama jam kerja yang dijadwalkan.



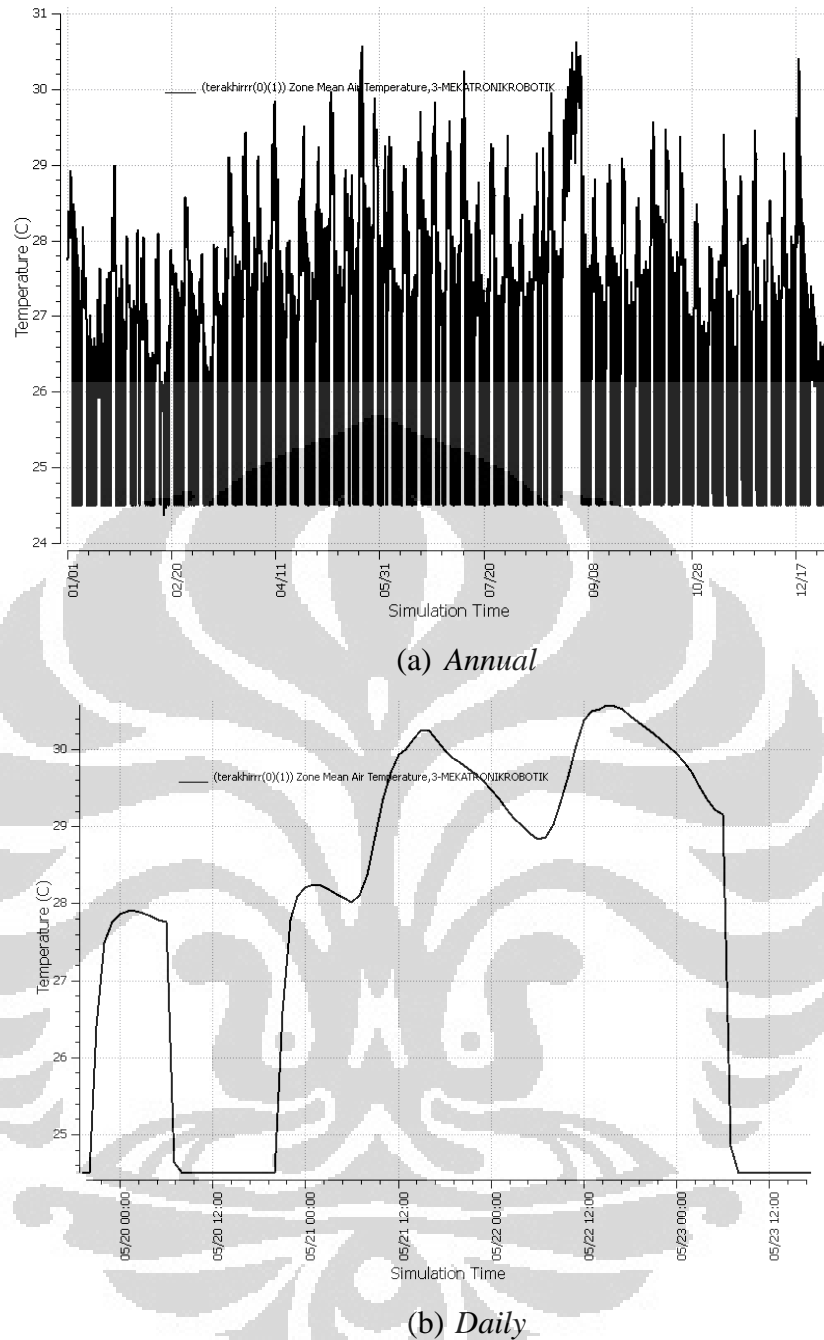
Gambar 4.3 Grafik zone mean air temperature unitary system (a) annual, (b) daily

Pada *unitary system*, seperti yang terlihat pada grafik temperatur diatas bahwa kondisi di dalam ruangan tidak dapat dipertahankan pada temperatur $24,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ melainkan berubah-ubah. Perubahan tersebut seiring dengan *occupancy* yang terjadi di dalam ruangan, semakin banyak orang

di dalam ruangan tersebut maka temperatur ruangan akan menjadi naik dan semakin panas dan kemudian akan turun kembali ketika ruangan dikosongkan. Hal ini dikarenakan pada *unitary system* meskipun temperatur keluaran *cooling coil* nya diatur pada suhu tertentu, namun aliran udara ke dalam ruangnya juga diatur konstan sehingga dengan temperatur keluaran *cooling coil* dan aliran udara yang konstan tidak dapat menjaga kondisi temperatur ruangan ketika terdapat banyak orang di dalamnya.

Hal ini sangat berbeda dengan *VAV system* yang dapat menjaga kondisi ruangan pada temperatur yang konstan sesuai dengan temperatur nyaman yaitu 24,5 °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 *VAV 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*.

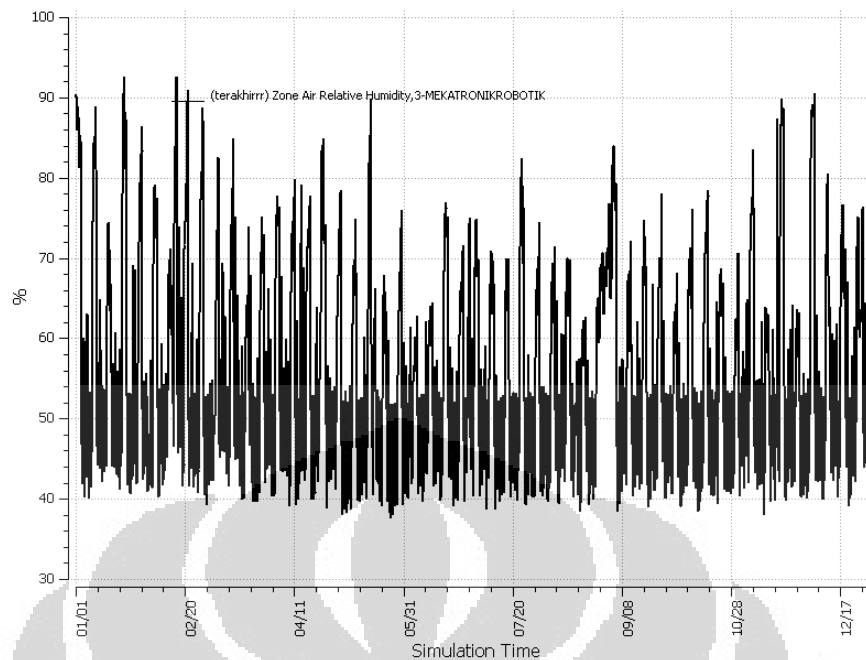
Pada grafik *daily temperature unitary system* dan *VAV system* memperlihatkan kondisi temperatur ruangan tertinggi mencapai 30,5 °C pada tanggal 22 Mei. Hal ini dikarenakan pada hari itu merupakan hari minggu dimana tidak ada aktivitas di dalam ruangan dan sistem pendingin yang digunakan juga mati (*off*) 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.



Gambar 4.4 Grafik zone mean air temperature VAV system (a) annual, (b) daily

4.3.2 Relative Humidity

Selain keadaan temperatur, tingkat kelembaban (*relative humidity*) juga sangat berpengaruh terhadap kondisi nyaman di dalam ruangan. Di bawah ini adalah grafik yang menggambarkan bagaimana keadaan RH pada zona yang dikondisikan dengan *ideal load system*.

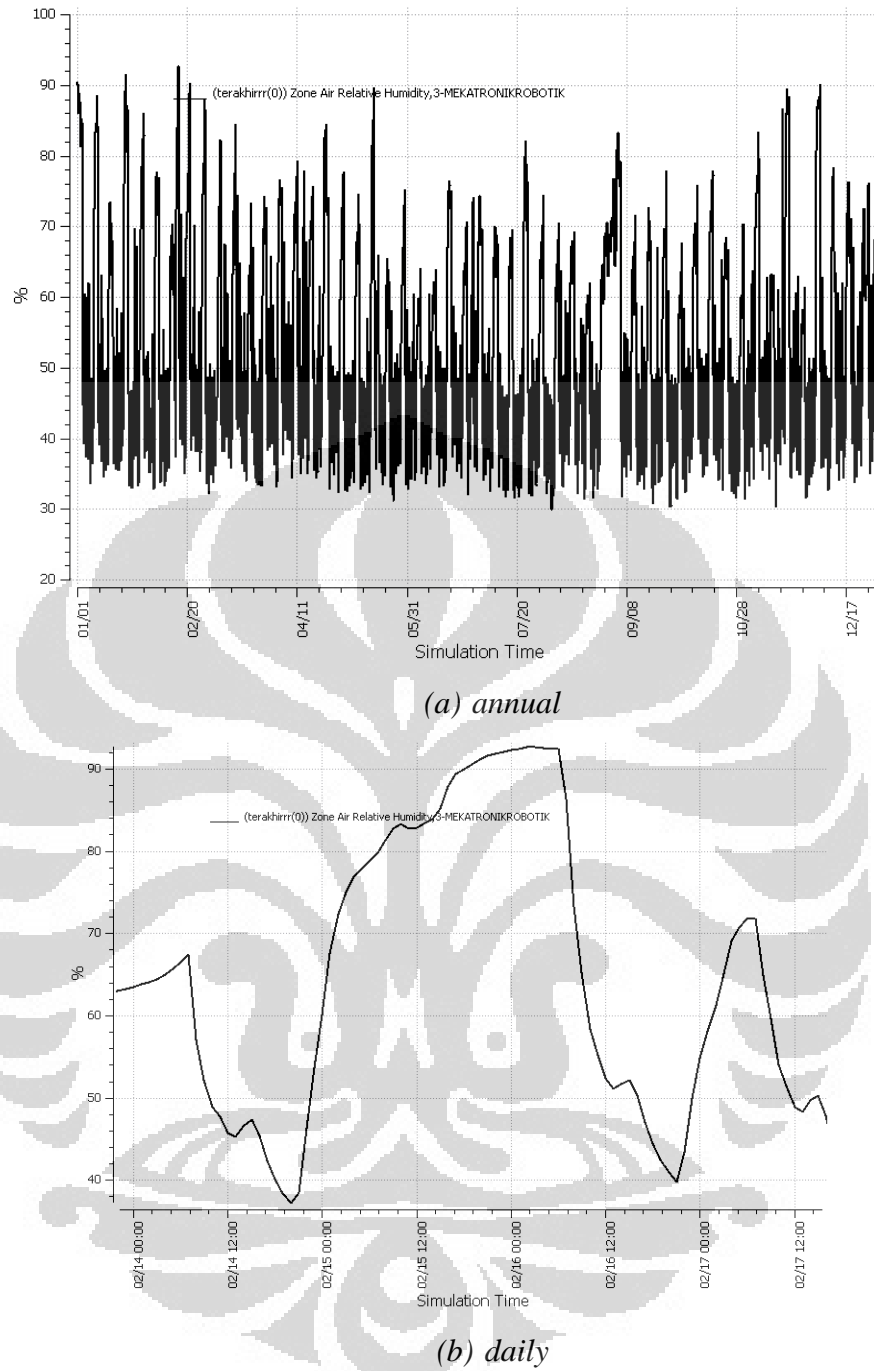


Gambar 4.5 Grafik RH *Ideal load air system*

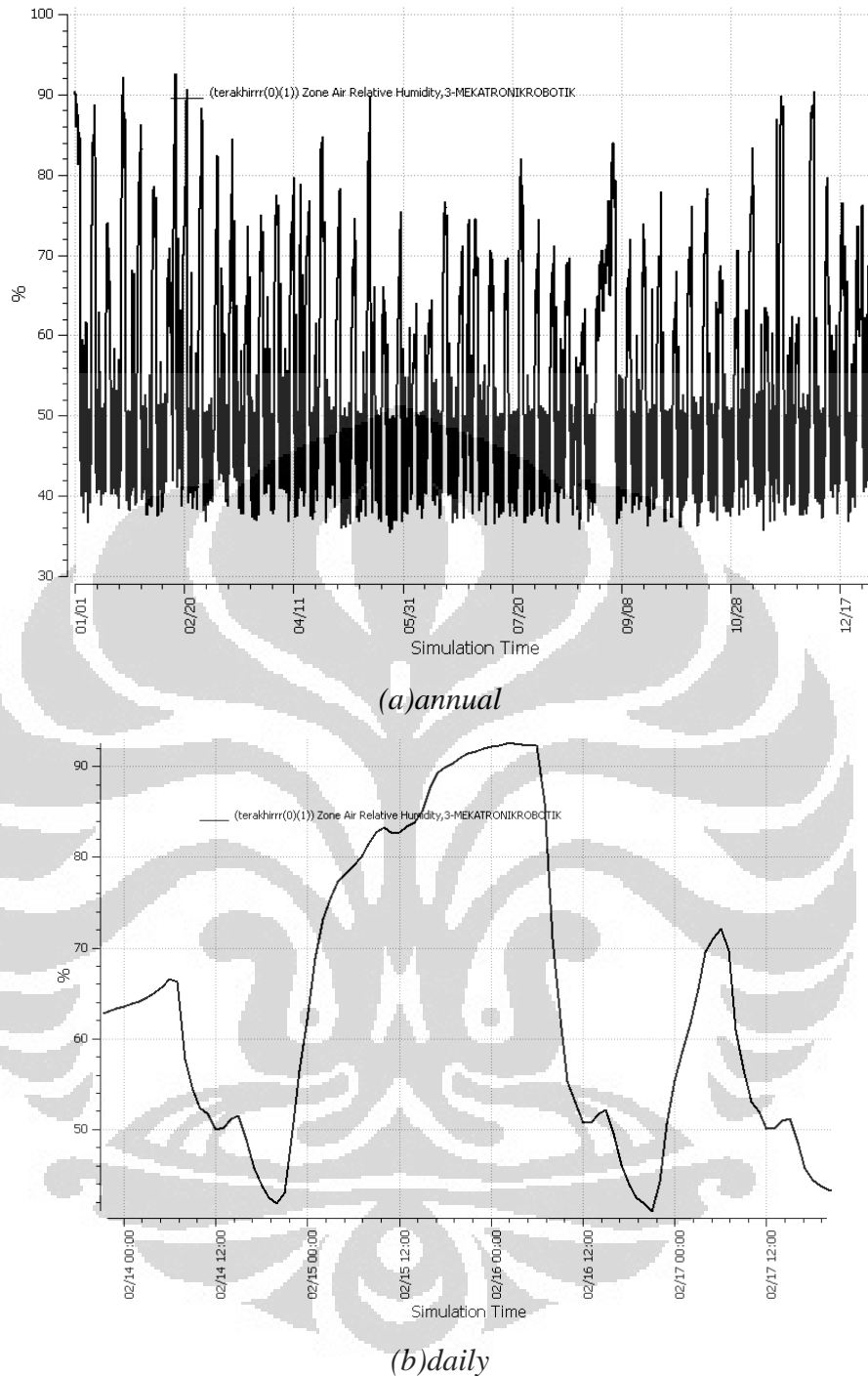
Pada kondisi ideal RH yang diinginkan adalah 55 % Hal ini sesuai dengan kondisi kenyamanan dari standar ASHRAE 55 tentang kondisi nyaman zona yaitu memenuhi RH antara 30% - 65%.

Pada *unitary system*, seperti yang digambarkan pada grafik di bawah ini. Besarnya nilai RH yang didapatkan pada jam kerja harian yaitu sekitar 35% - 65%. Sedikit berbeda dengan VAV system yang kondisi RH pada jam kerja hariannya adalah sekitar 45% - 65%. Hal ini dikarenakan temperatur di dalam ruangan yang juga berbeda dimana pada *Unitary system* temperatur ruangnya dapat berubah lebih tinggi dibanding pada VAV system sehingga kondisi RH pada ruangan *Unitary system* akan lebih rendah. Keadaan ini masih sesuai dengan kondisi kenyamanan standar ASHRAE 55.

Dapat dilihat bagaimana distribusi RH pada grafik daily, puncaknya terjadi pada sekitar pukul 13:00 yang merupakan termasuk pada keadaan dimana temperatur lingkungan nya tinggi. Sedangkan pada tanggal 16 Februari dapat dilihat kondisi RH yang sangat tinggi. Hal ini diasumsikan pada saat itu terjadi hujan sehingga menambah kelembaban pada ruangan.



Gambar 4.6 Grafik RH unitary system (a) annual, (b) daily



Gambar 4.7 Grafik RH VAV system (a) annual, (b) daily

4.4 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

Universitas Indonesia

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 4.16 Perbedaan konsumsi energi untuk masing-masing sistem pendingin

	<i>Ideal Load System</i>	<i>Unitary system</i>	<i>VAV system</i>
<i>Total Energy (GJ)</i>	2564,64	1633,40	1386,67
<i>Energy/Total Floor Area (MJ/m²)</i>	497,22	316,68	268,84
<i>Energy/Total Conditioned Area (MJ/m²)</i>	1052,50 = 292,361 kW.h	670,33=186,203 kW.h	569,08=158,078 kW.h
<i>Electricity:interior lighting (GJ)</i>	534,08	534,08	534,08
<i>Electricity:interior equipment (GJ)</i>	417,71	417,71	417,71
<i>Electricity:Cooling(GJ)</i>	<i>District Cooling</i> 1609,73	668,05	299,25
<i>Electricity:Fan (GJ)</i>	0.00	10,44	9,57
<i>Electricity:Pumps (GJ)</i>	0.00	0.00	91,59
<i>Electricity:exterior Equipment (GJ)</i>	3,11	3,11	3,11

Tabel di atas memberikan perbedaan disetiap 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 pencahayaan dan peralatan adalah sama untuk kedua sistem yang digunakan, namun berbeda untuk energi pendinginan. Energi untuk pendinginan menggunakan *VAV system* adalah 299,25GJ

sedangkan *unitary system* adalah 668,05GJ untuk mendinginkan beban *annual* sebesar 1609,73 GJ. Namun terdapat beberapa tambahan penggunaan energi lainnya yaitu untuk *fan* pada *unitary system*, *fan* dan pompa untuk *VAV system* yang nilainya cukup besar.

Dari konsumsi total energi tahunan tersebut dapat dilihat bahwa total penggunaan energi yang paling rendah adalah dengan menggunakan *VAV system* yaitu sebesar **1386,67** GJ sedangkan untuk *unitary system* adalah **1633,40**GJ. Dengan nilai tersebut, maka dapat disimpulkan bahwa *VAV system* lebih hemat energi dibandingkan dengan *unitary system* untuk sistem pendinginan gedung MRC FT-UI.

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.

Tabel dibawah ini menggambarkan bagaimana pendistribusian konsumsi energi pada setiap bulannya yang terdiri dari konsumsi energi *building* dan juga HVAC nya. Konsumsi energi *facility* merupakan penjumlahan konsumsi energi pada *building* dan juga komponen sistem pendingin (HVAC). Sedangkan komponen di dalam *building* itu sendiri sudah termasuk konsumsi energi untuk *lighting* dan peralatan

Tabel 4.17 Ringkasan kondisi setiap bulannya

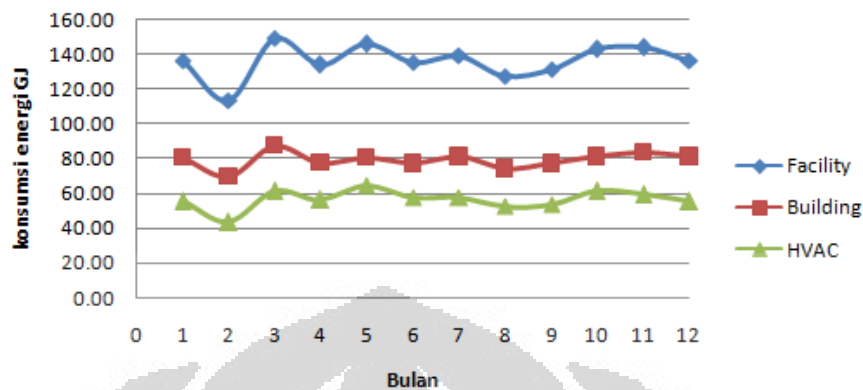
	Jan	Feb	Ma r	Apr	Ma y	Jun	Jul	Au g	Sep	Oct	No v
Rata-rata Dry Bulb Temperature (°C)	27.5	27.1	27.9	28.0	28.6	27.8	27.8	28.3	28.5	28.7	27.9
Maksimum Dry Bulb Temperature (°C)	34.5	32.9	34.8	34.5	34.3	34.0	33.3	33.7	34.3	34.8	35.6
Kecepatan	2.3	2.3	2.2	1.9	1.7	1.8	1.8	1.9	2.1	2.0	2.2

Angin (m/s)											
Arah Angin Terhadap Utara (°)	19	14	16	17	10	8	6	10	11	10	12
Radiasi Matahari (Wh/m ²)	2297	2519	2612	2512	2233	2228	2220	2556	2743	2950	2816
Libur Pemakaian Gedung	1	2	1	1	1	2	0	4	2	0	0
Relative Humidity	79	80	77	78	75	75	73	69	69	71	76
Hari kerja	21	18	23	20	21	20	21	19	20	21	22

Tabel 4.18 Distribusi konsumsi energi per bulan masing masing sistem

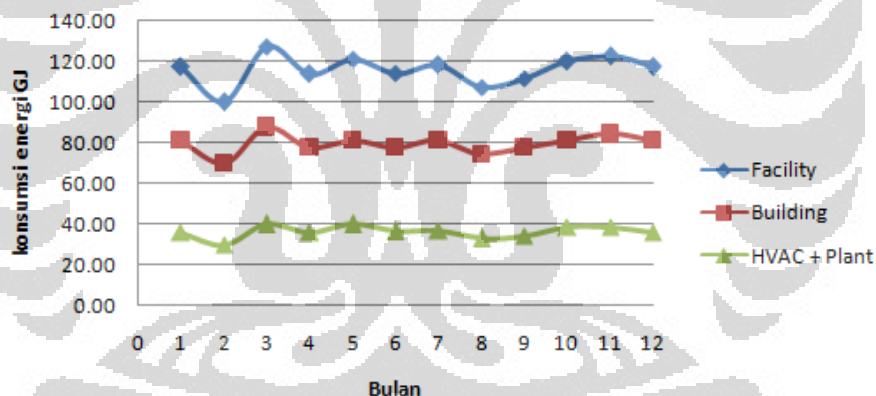
<i>Month</i>	<i>Unitary system</i>			<i>VAV system</i>			
	<i>Facility</i>	<i>Building</i>	<i>HVAC</i>	<i>Facility</i>	<i>Building</i>	<i>HVAC</i>	<i>Plant</i>
<i>Jan</i>	136,31	80,84	55,20	117,09	80,84	0,80	35,18
<i>Feb</i>	113,52	69,86	43,44	99,51	69,86	0,65	28,77
<i>Mar</i>	148,85	87,33	61,23	127,26	87,33	0,87	38,77
<i>Apr</i>	133,76	77,39	56,12	113,46	77,39	0,77	35,04
<i>May</i>	145,74	80,84	64,64	120,76	80,84	0,87	38,78
<i>Jun</i>	135,19	77,18	57,75	113,71	77,18	0,79	35,49
<i>Jul</i>	139,07	81,05	57,75	117,83	81,05	0,83	35,69
<i>Aug</i>	126,99	74,15	52,60	107,17	74,15	0,75	32,04
<i>Sep</i>	131,27	77,18	53,84	111,18	77,18	0,77	32,98
<i>Oct</i>	142,64	81,05	61,33	119,49	81,05	0,83	37,34
<i>Nov</i>	143,52	83,88	59,37	122,32	83,88	0,84	37,33
<i>Dec</i>	136,54	81,05	55,22	116,91	81,05	0,80	34,80
<i>Sum</i>	1633,40	951,79	678,49	1386,67	951,79	9,57	422,20
<i>Max</i>	148,85	87,33	64,64	127,26	87,33	0,87	38,78

Grafik konsumsi energi dengan unitary system



Grafik 4.8 Distribusi konsumsi energi per bulan pada *unitary system*

Grafik konsumsi energi dengan VAV system



Grafik 4.9 Distribusi konsumsi energi per bulan pada *VAV system*

Dari data distribusi konsumsi energi di atas dapat dilihat bahwa konsumsi total energi terbesar adalah pada bulan Maret. Hal ini dikarenakan pada bulan Maret terdapat total hari kerja yang lebih banyak diantara bulan-bulan lainnya yaitu sebanyak 23 hari kerja setelah di potong hari libur dan *weekends*. Sehingga total konsumsi energi *building* nya paling tinggi diantara bulan lainnya.

Sedangkan untuk konsumsi energi terbesar untuk sistem pendinginnya saja terjadi pada bulan Mei. Hal ini dikarenakan pada bulan

Mei memiliki 21 hari kerja dengan rata-rata temperatur *drybulb*nya 28,6 °C. Temperatur udara luar tersebut berpengaruh besar terhadap sistem pendingin yang digunakan. Semakin tinggi temperatur udara luar maka semakin besar daya yang dibutuhkan untuk mendinginkan temperatur tersebut agar dapat digunakan untuk mengkondisikan udara di dalam ruangan.

Walaupun bulan terpanas adalah bulan November, namun rata-rata temperatur pada bulan tersebut adalah 27,9 °C, lebih rendah dibanding pada bulan Mei. Sehingga konsumsinya lebih tinggi sedikit pada bulan Mei dibanding bulan November.

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

Tabel 4.19 Perbedaan biaya *annual* setiap sistem pendingin yang digunakan

<i>Annual Cost</i>	<i>IdealLoad system</i>	<i>Unitary system</i>	<i>VAV system</i>
	<i>Electric</i>	<i>Electric</i>	<i>Electric</i>
<i>Cost (\$)</i>	27698,33	47300,84	40172,56
<i>Cost /Total Building Area(\$/m2)</i>	5,37	9,17	7,79
<i>Cost /Net Conditioned Building Area (\$/m2)</i>	11,37	19,41	16,49

Semakin hemat nilai konsumsinya, maka biaya yang dikeluarkan akan semakin rendah. Seperti yang terlihat pada tabel di atas, untuk *ideal load system* yang tidak menggunakan sistem pendingin *annual cost* nya sebesar \$ 27698,33, sedangkan dengan adanya penggunaan sistem pendingin otomatis *annual cost* nya bertambah. Dan tentu saja sistem yang diinginkan adalah sistem yang *annual cost* nya minimum. Sehingga dapat diambil kesimpulan bahwa gedung yang menggunakan *VAV system* untuk mengkondisikan udara akan lebih hemat dibanding dengan yang menggunakan *unitary system*. *Annual cost* untuk *VAV system* adalah \$ 40.172,56 atau setara dengan Rp 341.466.760,- per tahun.

Dengan demikian rekomendasi sistem pendingin yang digunakan untuk gedung MRC FT-UI 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 MRC FT-UI ini telah memenuhi persyaratan tersebut jika menggunakan VAV system sebagai sistem pengkondisian udaranya. Yaitu energi per luas area yang dikondisikan adalah $569,08 \text{ MJ/m}^2 = 158,078 \text{ kW.h /m}^2$. Sedangkan kriteria dari BCA untuk gedung *office* adalah 200 kW.h/m^2 .

4.5 Metode Optimasi Penghematan Energi

Dengan menggunakan simulasi energi menggunakan *EnergyPlus*, selain dapat mensimulasikan penggunaan sistem pendingin udara pada bangunan juga dapat digunakan untuk uji coba mencari celah –celah untuk lebih mengoptimalkan efisiensi dari sistem pendingin yang digunakan. Dalam simulasi sebelumnya telah diketahui bahwa *VAV system* merupakan yang paling efisien dan hemat konsumsi energinya. Namun ternyata konsumsi energi pada sistem tersebut dapat lebih diminimalkan lagi nilainya. Diantaranya adalah dengan menambahkan *daylighting control* sebagai pengatur pencahayaan pada siang hari di dalam gedung tersebut. Ruangan diberikan pengaturan illuminance (pencahayaan) sebesar 500 lux untuk setiap zona berupa ruang *office*. Sedangkan kontrol yang digunakan adalah *control type 3* yaitu ketika *minimum dimming point* telah tercapai maka lampu akan mati.

Field	Units	Obj1	Obj2	Obj
Zone Name		6-ruanglecturerdarr	6-labhealtransfer	6-la
Total Daylighting Reference Points		1	1	1
X-Coordinate of First Reference Point	m	2.280795	-2.361703	-0.7
Y-Coordinate of First Reference Point	m	-0.441073	-4.411611	1.31
Z-Coordinate of First Reference Point	m	0.762	0.762	0.71
X-Coordinate of Second Reference Point	m			
Y-Coordinate of Second Reference Point	m			
Z-Coordinate of Second Reference Point	m			
Fraction of Zone Controlled by First Reference Point		1	1	1
Fraction of Zone Controlled by Second Reference Point		0	0	0
Illuminance Setpoint at First Reference Point	lux	500	500	500
Illuminance Setpoint at Second Reference Point	lux	500	500	500
Lighting Control Type		3	3	3
Glare Calculation Azimuth Angle of View Direction Clock	deg	22	22	22
Minimum Allowable Discomfort Glare Index		22	22	22

Gambar 4.10 Layar *IDF Editor* untuk *Daylighting control object*

Simulasi yang dilakukan dengan tambahan *daylighting control* pada setiap zona yang dikondisikan dapat mengurangi konsumsi energi *lighting* pada gedung. Konsumsi energi *annualnya* menjadi 1386,42 GJ.

Tabel 4.20 Konsumsi energi tahunan dengan tambahan *daylighting control*.

	Unitary		VAV	
	Tanpa <i>daylighting</i>	Dengan <i>daylighting</i>	Tanpa <i>daylighting</i>	Dengan <i>daylighting</i>
Total Site Energy (GJ)	1633,40	1561,35	1386,67	1311,93
Cooling (GJ)	668,05	658,94	299,25	292,98
Interior Lighting (GJ)	534,08	468,84	534,08	468,84
Fans (GJ)	10,44	12,74	9,57	9,20

Persentase pengurangan konsumsi energi jika dengan tambahan *daylighting control* adalah :

$$\% \text{konsumsi energi lighting} = \frac{534,08 \text{ GJ} - 468,84 \text{ GJ}}{534,08 \text{ GJ}} \times 100\% = 12,2 \%$$

$$\% \text{konsumsi energi total VAV} = \frac{1386,67 \text{ GJ} - 1311,93 \text{ GJ}}{1386,67 \text{ GJ}} \times 100\% = 5,38 \%$$

$$\% \text{penghematan biaya pada VAV} = \frac{\$40172,56 - 38013,25}{\$40172,56} \times 100\% = 5,38 \%$$

Setara dengan \$ 2159,31 = Rp. 18.354.135,-

Dengan demikian dapat direkomendasikan kepada pengelola gedung untuk menggunakan sistem pengkondisian udara berupa *VAV system* dan dapat di optimalkan lagi dengan menambahkan *daylighting control* pada setiap ruangan yang dikondisikan.

4.6 Alternatif Energi Pada Bangunan.

Selain dapat melakukan optimasi penghematan energi. Dengan simulasi *EnergyPlus* ini juga dapat dilakukan upaya untuk energi alternatif seperti penggunaan *wind turbine* dan *photovoltaic* karena di daerah lokasi gedung mempunyai potensi untuk hal tersebut.



Gambar 4.11 teknologi *wind turbine* dan *photovoltaic*

Untuk *wind turbine* digunakan jenis *horizontal axis* yang memiliki power output maximum nya adalah 1,3 kW dengan *blade diameter* 2,9 m. *Wind turbine* ini dipasang 5 buah pada atap gedung. Dan dari hasil simulasi selama periode waktu satu tahun diperoleh energi dari *wind turbine* ini yaitu sebesar 4,37 GJ atau setara dengan 1213,89 kW.h.

Sedangkan untuk penggunaan *photovoltaic* adalah jenis BP2150S dengan *rated power* 150 W. *Photovoltaic* ini dipasang di seluruh luasan atap gedung. Dan disimulasi selama periode waktu satu tahun. Total energi yang di *generated* dari *photovoltaic* ini adalah sebesar 525,69 GJ atau setara dengan 146.025 kW.h.

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 menggunakan *unitary system* adalah sebesar 1633,40 dan dengan *VAV system* adalah lebih rendah yaitu sebesar 1386,67 GJ/tahun
- Untuk energi pendinginannya, konsumsi energi *VAV system* dapat lebih rendah 50% dibandingkan dengan *unitary system* yaitu sebesar 299,25 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*.
- Kondisi temperatur ruangan yang nyaman yaitu diseting pada thermostat 24,5 °C dan pada *VAV system* dapat menjaga kondisi ini dengan baik selama jam kerja. Berbeda halnya dengan *unitary system* yang temperatur ruangnya dapat berubah seiring dengan penambahan jumlah orang di dalam ruangan.
- Kondisi kelembaban di dalam ruangan (*relative humidity*) pada *unitary system* dapat terjaga antara 35% – 65%, sedangkan pada *VAV system* dapat menjaga kondisi Rh antara 45%-65%. Kondisi ini masih sesuai dengan kondisi kenyamanan standar ASHRAE 55.
- Distribusi konsumsi energi perbulannya tertinggi terjadi pada bulan Maret dan terendah terjadi pada bulan Februari. Hal ini dikarenakan jumlah hari kerja pada bulan Maret merupakan yang paling banyak selama setahun. Sedangkan untuk konsumsi energi pendinginannya saja, yang paling tinggi terjadi pada bulan Mei, dikarenakan rata-rata temperatur pada bulan ini merupakan yang paling tinggi, dan

kecepatan angin yang paling rendah sehingga membutuhkan daya yang lebih besar bagi sistem pendingin untuk mendinginkan udaranya.

- Dengan konsumsi energi tahunan yang lebih rendah, maka biaya yang dikeluarkan pada gedung dengan *VAV system* juga rendah yaitu sebesar \$ 40172,56 atau setara dengan Rp 341.466.760,- per tahun.
- Bangunan gedung MRC FT-UI tersebut telah memenuhi kriteria bangunan hemat energi dengan menggunakan *VAV system* berdasarkan BCA yaitu dengan efisiensi energi indeksnya sebesar **158,078** kW.h/m²
- Dengan penambahan *daylighting control* pada bangunan dengan *VAV system* dapat lebih menghemat konsumsi energi sebesar 5,38 % dari konsumsi energi awal.
- Alternatif sumber energi yang dapat diupayakan adalah dengan *wind turbine* yang dapat menghasilkan energi sebesar 1213,89 kW.h dan *photovoltaic* sebesar 146.025 kW.h dalam periode waktu satu 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 MRC FT-UI adalah sebaiknya menggunakan sistem pendingin *VAV 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.

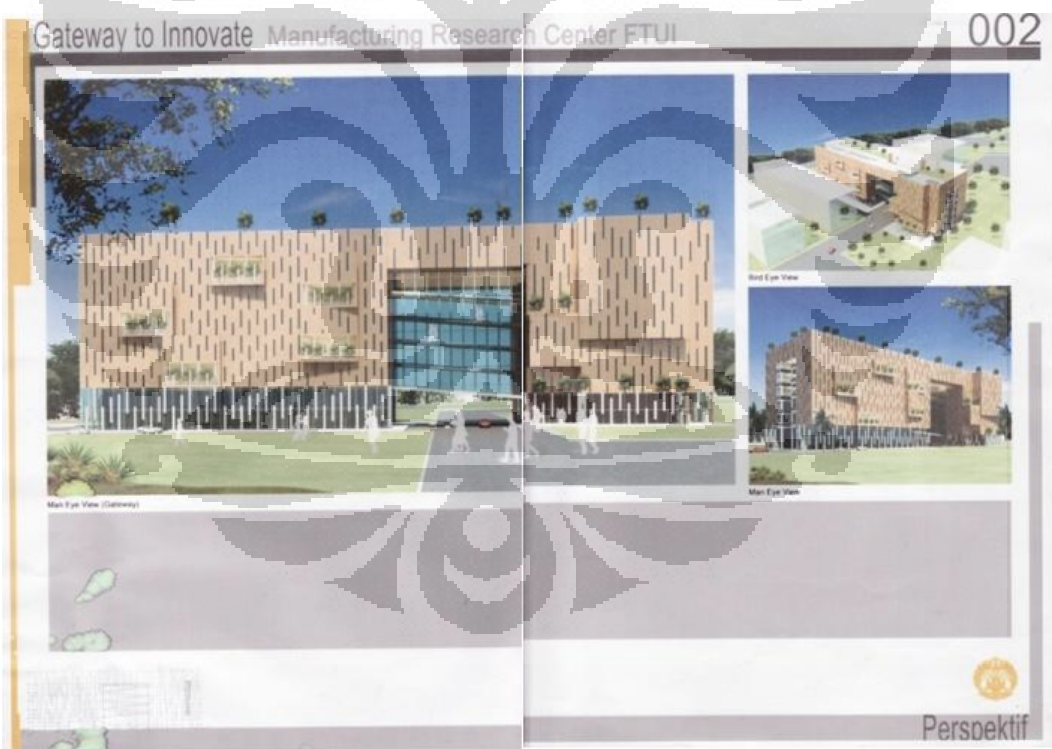
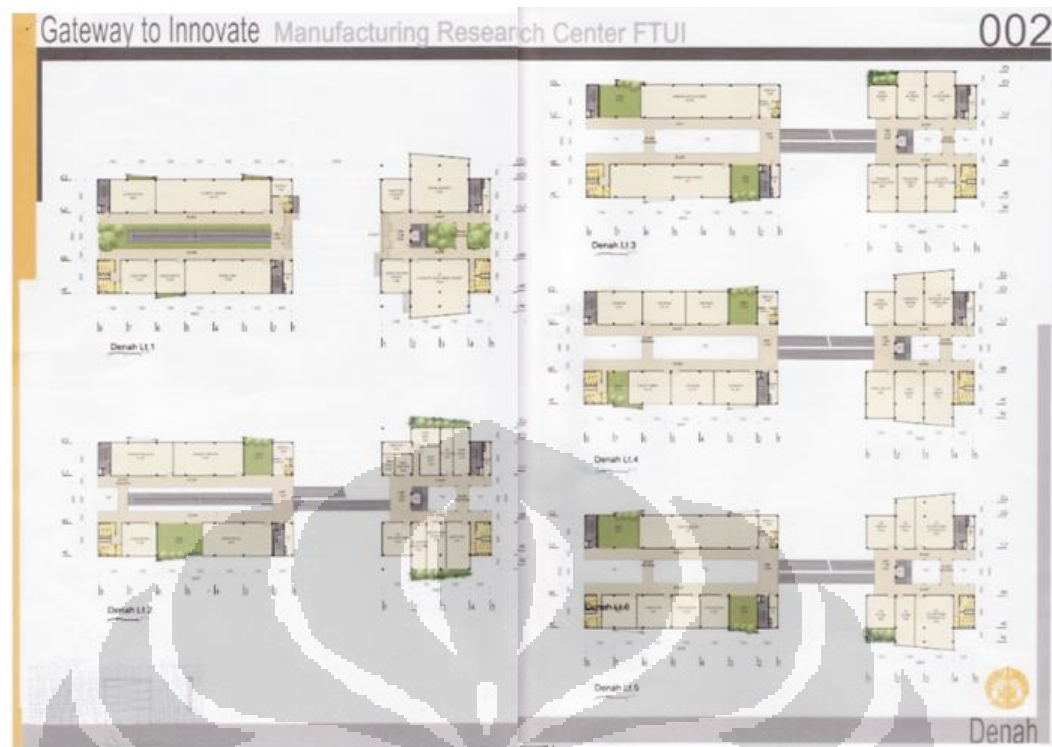
DAFTAR PUSTAKA

- [1]. *EnergyPlus Documentation Version 06*, October 2010
- [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 VAV System*. SYS-APM008-EN. . La Crosse, WI: AVS Group
- [12]. <http://docs.autodesk.com/subscription/REVIT/2011/ENU/filesUsersGuide/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
- [16]. *BCA Green Mark for New Non-Residential Buildings Version NRB/4.0*. pdf

LAMPIRAN

Lampiran 1 : Denah Gedung MRC FT UI





Lampiran 2 : Weather File Depok

Statistics for IDN_Depok_MN6

Location -- Depok - IDN

{S 6° 23'} {E 106° 48'} {GMT +7.0 Hours}

Elevation -- 78m above sea level

Standard Pressure at Elevation -- 100391Pa

Data Source -- MN6

WMO Station 999

- Using Design Conditions calculated from this weather file.
- The following design temperature statistics are calculated based on THIS weather file ONLY
- and may not be representative of a long-term period of record normally used for
- design temperatures. Also, note that dew point temperatures are listed where
- wet-bulb temperatures are normally presented.

Design Stat	Coldest Month	HDB 99.6%	HDB 99%				
Units	{}	{C}	{C}				
Heating	1	21.8	22.0				
Design Stat	Hottest Month	CDB .4%	CDB 1%	CDB 2%	CDP .4%	CDP 1%	CDP 2%
Units	{}	{C}	{C}	{C}	{C}	{C}	
Cooling	11	34.9	34.6	34.3	27.4	27.4	27.4

Design Stat	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
Units	{m/s}	{m/s}	{m/s}	{m/s}	{m/s}	{m/s}	{m/s}	{m/s}	{m/s}	{m/s}	{m/s}	{m/s}
Max WS	16.9	16.7	16.2	13.9	12.5	13.2	13.2	14.0	15.4	14.7	16.1	13.3

- Monthly Statistics for Dry Bulb temperatures °C

	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
Maximum	34.5	32.9	34.8	34.5	34.3	34.0	33.3	33.7	34.3	34.8	35.6	35.5
Day:Hour	3:15	28:15	31:15	7:15	6:15	13:15	10:15	30:15	16:15	7:15	11:15	18:15
Minimum	21.6	22.0	22.4	22.3	22.5	22.1	21.8	21.6	21.9	22.5	22.0	22.6

Day:Hour	25:05	12:06	3:06	30:06	12:06	8:06	14:06	4:06	12:05	28:05	2:05	25:06
Daily Avg	27.5	27.1	27.9	28.0	28.6	27.8	27.8	28.3	28.5	28.7	27.9	28.1
- Maximum Dry Bulb temperature of 35.6°C on Nov 11												
- Minimum Dry Bulb temperature of 21.6°C on Jan 25												
- Monthly Statistics for Extreme Dry Bulb temperatures °C												
#Days	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
Max >= 32	9	3	14	12	20	14	16	23	18	20	11	11
Max <= 0												
Min <= 0												
Min <=-18												
- Monthly Statistics for Dew Point temperatures °C												
	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
Maximum	27.4	27.3	27.4	27.4	27.4	26.9	26.8	27.2	26.4	26.8	26.8	27.0
Day:Hour	1:19	20:19	2:16	2:13	15:11	19:09	22:12	15:14	1:10	1:16	7:12	3:06
Minimum	17.1	17.9	18.3	18.3	19.2	17.7	17.1	14.7	16.6	16.3	18.0	16.8
Day:Hour	25:15	11:11	4:03	30:03	13:16	4:17	5:13	5:06	30:17	3:11	13:05	25:10
Daily Avg	23.1	23.1	23.3	23.5	23.5	22.7	22.1	21.7	21.9	22.6	23.1	22.7
- Maximum Dew Point temperature of 27.4°C on Jan 1												
- Minimum Dew Point temperature of 14.7°C on Aug 5												
- Average Hourly Statistics for Dry Bulb temperatures °C												
	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
0:01- 1:00	25.6	25.5	26.1	26.0	26.4	25.8	25.7	26.1	26.2	26.4	25.7	26.1
1:01- 2:00	25.2	25.1	25.7	25.5	25.9	25.3	25.2	25.6	25.6	25.9	25.2	25.7
2:01- 3:00	25.1	24.9	25.3	25.3	25.6	24.8	24.7	25.1	25.3	25.7	25.0	25.4
3:01- 4:00	24.9	24.7	25.1	25.0	25.4	24.6	24.5	24.8	25.1	25.4	24.8	25.2
4:01- 5:00	24.7	24.5	24.9	24.8	25.2	24.4	24.3	24.6	24.8	25.2	24.6	25.0
5:01- 6:00	24.8	24.4	24.8	24.8	25.2	24.2	24.1	24.4	24.8	25.2	24.6	25.1

6:01- 7:00	25.2	24.8	25.3	25.3	25.7	24.6	24.4	24.9	25.5	26.1	25.4	25.8
7:01- 8:00	26.1	25.7	26.6	26.3	26.8	26.0	25.8	26.3	26.8	27.4	26.6	26.8
8:01- 9:00	27.2	26.8	27.7	27.5	28.0	27.4	27.3	27.8	28.2	28.7	27.7	27.8
9:01-10:00	28.1	27.7	28.8	28.7	29.3	28.7	28.6	29.2	29.5	29.9	28.9	28.8
10:01-11:00	29.1	28.4	29.7	29.7	30.4	29.8	29.7	30.4	30.6	31.0	29.8	29.8
11:01-12:00	29.8	29.0	30.4	30.4	31.3	30.7	30.6	31.3	31.4	31.7	30.6	30.4
12:01-13:00	30.2	29.5	30.8	31.0	32.0	31.3	31.3	32.0	32.0	32.2	31.1	30.9
13:01-14:00	30.4	29.7	31.1	31.4	32.3	31.6	31.7	32.4	32.4	32.3	31.4	31.2
14:01-15:00	30.5	29.8	31.1	31.5	32.4	31.6	31.7	32.4	32.4	32.3	31.4	31.2
15:01-16:00	30.3	29.8	30.9	31.2	32.1	31.3	31.4	32.0	32.1	31.9	31.1	31.0
16:01-17:00	29.8	29.4	30.3	30.7	31.4	30.5	30.7	31.3	31.4	31.2	30.5	30.6
17:01-18:00	29.2	28.7	29.5	29.8	30.5	29.5	29.6	30.2	30.5	30.4	29.6	29.8
18:01-19:00	28.5	28.1	28.9	29.2	29.9	28.9	29.1	29.7	29.9	29.8	29.0	29.2
19:01-20:00	28.0	27.6	28.4	28.7	29.4	28.4	28.5	29.1	29.2	29.2	28.5	28.7
20:01-21:00	27.5	27.2	28.0	28.1	28.7	27.8	27.9	28.5	28.6	28.6	27.8	28.1
21:01-22:00	27.0	26.8	27.5	27.5	28.1	27.3	27.3	27.9	28.0	28.0	27.2	27.6
22:01-23:00	26.5	26.3	27.1	27.0	27.5	26.7	26.7	27.3	27.3	27.4	26.7	27.0
23:01-24:00	26.1	25.8	26.5	26.4	26.9	26.2	26.2	26.7	26.7	26.7	26.1	26.5
Max Hour	15	15	15	15	15	15	15	15	15	14	15	15
Min Hour	5	6	6	6	6	6	6	6	6	6	5	5

- Average Hourly Statistics for Dew Point temperatures °C

	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
0:01- 1:00	23.3	23.4	23.1	23.6	23.7	22.7	22.2	22.1	22.2	22.7	23.0	23.2
1:01- 2:00	23.1	23.1	22.9	23.6	23.5	22.4	22.2	22.0	22.2	22.5	22.7	23.0
2:01- 3:00	23.0	23.0	23.0	23.4	23.4	22.3	22.0	21.8	22.3	22.4	22.6	22.9
3:01- 4:00	22.9	23.0	22.9	23.3	23.3	22.4	22.0	21.6	22.3	22.4	22.7	22.7
4:01- 5:00	22.9	23.0	22.8	23.2	23.4	22.2	21.9	21.5	22.2	22.6	22.6	22.7

5:01- 6:00	23.2	23.2	23.0	23.4	23.5	22.2	22.1	21.5	22.3	22.5	22.9	22.9
6:01- 7:00	23.4	23.3	23.3	23.5	23.8	22.3	22.4	21.8	22.3	22.7	23.2	23.2
7:01- 8:00	23.3	23.4	23.5	23.7	23.9	22.8	22.5	22.1	22.0	22.9	23.4	23.0
8:01- 9:00	23.2	23.5	23.8	23.9	24.2	23.4	22.5	22.0	22.1	22.7	23.6	22.7
9:01-10:00	22.6	22.9	23.1	23.3	23.4	23.0	22.0	21.1	21.5	21.9	22.9	22.2
10:01-11:00	22.6	22.6	23.1	23.2	23.2	22.9	21.7	20.9	21.2	21.7	22.9	21.9
11:01-12:00	22.5	22.6	23.1	23.1	23.0	22.9	21.7	20.6	21.2	21.9	23.0	22.0
12:01-13:00	22.5	22.6	23.4	23.2	22.9	22.6	21.7	20.8	21.1	22.1	23.0	22.1
13:01-14:00	22.8	22.6	23.1	23.4	22.8	22.7	21.6	20.9	20.8	22.7	22.8	22.2
14:01-15:00	22.9	23.0	23.4	23.3	23.0	22.5	21.8	20.8	20.6	22.3	23.2	22.0
15:01-16:00	22.8	23.1	23.3	23.4	23.2	22.5	21.7	21.2	21.2	22.3	22.9	22.4
16:01-17:00	22.8	23.0	23.3	23.3	23.3	22.5	21.9	21.5	21.3	22.5	22.9	22.4
17:01-18:00	23.3	23.1	23.2	23.4	23.3	22.5	22.0	21.6	21.5	22.3	22.9	22.5
18:01-19:00	23.3	23.3	23.5	24.2	23.9	23.2	22.9	22.5	22.4	23.0	23.7	23.2
19:01-20:00	23.7	23.7	23.8	24.1	23.9	23.2	23.0	22.6	22.6	23.1	23.6	23.3
20:01-21:00	23.7	23.6	23.7	24.1	23.9	23.1	22.8	22.5	22.6	23.2	23.4	23.2
21:01-22:00	23.6	23.5	23.5	24.0	23.8	23.0	22.6	22.6	22.6	23.1	23.3	23.2
22:01-23:00	23.5	23.4	23.5	23.8	24.0	22.9	22.4	22.4	22.2	22.9	23.3	23.2
23:01-24:00	23.5	23.2	23.2	23.8	23.9	22.9	22.3	22.1	22.1	22.9	23.0	23.1
Max Hour	20	20	20	19	9	9	20	22	20	21	19	20
Min Hour	13	12	5	12	14	6	14	12	15	11	5	11

- Monthly Statistics for Relative Humidity %

	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	
Maximum	100	100	100	100	100	100	100	100	98	100	100	99	
Day:Hour	3:04	26:03	21:05	11:02	2:05	9:06	1:07	10:06	9:05	21:02	22:05	19:06	
Minimum	41	47	44	47	44	44	40	37	39	41	46	39	
Day:Hour	25:15	11:15	17:16	1:16	22:15	4:14	5:14	25:13	12:14	3:12	27:15	14:14	
Daily Avg		79	80	77	78	75	75	73	69	69	71	76	74

- Average Hourly Relative Humidity %

	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
0:01- 1:00	87	88	84	87	85	83	81	79	79	81	85	84
1:01- 2:00	88	89	85	90	87	84	84	81	82	82	86	86
2:01- 3:00	89	90	87	90	88	86	85	82	84	83	87	86
3:01- 4:00	89	91	88	91	89	88	86	83	85	84	88	86
4:01- 5:00	90	92	88	91	90	88	87	83	85	86	89	87
5:01- 6:00	92	94	90	92	91	89	89	85	86	85	90	88
6:01- 7:00	90	92	89	90	90	88	89	84	83	82	88	86
7:01- 8:00	85	88	83	86	84	83	82	78	75	77	83	80
8:01- 9:00	79	82	79	81	80	79	75	71	70	71	79	74
9:01-10:00	73	76	72	73	71	72	68	62	63	63	71	68
10:01-11:00	69	71	69	69	66	67	62	57	58	59	67	64
11:01-12:00	66	69	66	65	62	64	60	53	55	57	65	62
12:01-13:00	65	68	66	64	59	61	57	52	54	56	63	61
13:01-14:00	65	67	63	64	58	60	55	51	51	58	62	61
14:01-15:00	66	68	65	63	59	59	56	51	50	57	63	60
15:01-16:00	66	69	66	64	60	61	57	54	53	58	63	62
16:01-17:00	68	70	68	66	63	63	60	57	56	60	65	63
17:01-18:00	72	73	70	69	66	67	64	60	60	63	68	66
18:01-19:00	74	76	74	75	71	72	70	66	65	67	74	71
19:01-20:00	78	80	77	77	73	74	73	69	69	70	76	73
20:01-21:00	80	81	78	79	75	76	74	71	71	73	77	75
21:01-22:00	82	82	80	81	78	78	76	74	73	75	80	77
22:01-23:00	84	85	82	83	81	80	77	76	75	77	82	80
23:01-24:00	86	86	82	86	84	83	80	76	77	80	83	82
Max Hour	6	6	6	6	6	6	6	6	6	5	6	6
Min Hour	13	14	14	15	14	15	14	15	15	13	14	15

- Monthly Indicators for Precipitation/Moisture (kPa)

	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
	2.8	2.8	2.9	2.9	2.8	2.7	2.6	2.5	2.4	2.7	2.9	2.7

- Monthly Wind Direction % {N=0 or 360,E=90,S=180,W=270}

	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
North	19	14	16	17	10	8	6	10	11	10	12	16
NorthEast	6	11	11	10	7	20	14	19	13	10	13	8
East	9	9	11	10	17	9	21	15	14	12	9	9
SouthEast	3	4	9	9	13	8	12	2	12	10	6	6
South	5	11	10	18	18	17	26	19	17	18	14	11
SouthWest	17	13	17	13	9	19	7	10	11	7	10	12
West		26	22	16	16	15	12	11	15	14	19	18
NorthWest	15	16	10	8	11	8	2	9	8	15	18	18

20

- Monthly Statistics for Wind Speed m/s

	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
Maximum	16.9	16.7	16.2	13.9	12.5	13.2	13.2	14.0	15.4	14.7	16.1	13.3
Day:Hour	21:13	15:11	21:21	13:24	24:03	30:12	6:16	2:16	8:15	22:13	28:18	14:13
Minimum	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Day:Hour	2:24	2:24	4:20	3:19	1:05	8:20	4:05	3:08	3:04	1:20	11:23	8:08
Daily Avg	2.3	2.3	2.2	1.9	1.7	1.8	1.8	1.9	2.1	2.0	2.2	2.7

- Maximum Wind Speed of 16.9 m/s on Jan 21

- Minimum Wind Speed of 0.0 m/s on Jan 2

- Average Hourly Statistics for Wind Speed m/s

	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
0:01- 1:00	2.3	1.7	2.0	1.6	1.4	1.2	0.9	1.5	1.8	1.3	1.7	2.5
1:01- 2:00	2.1	1.5	2.0	1.3	1.2	1.1	1.1	1.3	1.7	1.3	1.7	2.6
2:01- 3:00	2.1	1.8	2.5	1.8	1.8	1.4	1.6	1.7	1.9	1.6	2.1	3.0
3:01- 4:00	1.9	2.2	2.0	1.5	1.3	1.4	1.5	2.0	1.8	1.6	1.9	3.0

4:01- 5:00	1.8	1.7	1.7	1.2	1.1	0.9	1.0	1.5	1.4	1.5	1.7	2.5
5:01- 6:00	1.8	1.8	1.4	1.4	1.2	0.9	0.9	1.2	1.5	1.8	1.9	2.5
6:01- 7:00	1.7	1.8	1.2	1.6	1.2	1.0	0.9	1.0	1.2	1.9	2.2	2.1
7:01- 8:00	1.6	2.3	1.3	1.9	1.2	1.2	1.2	1.2	1.1	2.0	2.1	2.1
8:01- 9:00	1.7	2.6	1.7	1.8	1.4	1.4	1.6	1.4	1.5	1.8	2.3	2.5
9:01-10:00	2.1	2.2	1.5	2.3	2.0	1.9	2.0	1.4	1.4	2.2	2.4	2.9
10:01-11:00	2.0	2.7	1.9	2.1	2.2	2.2	2.3	2.1	1.9	2.6	2.5	3.1
11:01-12:00	2.2	2.7	2.0	2.2	2.5	2.5	2.6	2.4	2.3	2.7	2.3	3.0
12:01-13:00	2.9	2.7	2.2	2.6	2.3	2.5	2.9	2.7	2.1	2.9	2.3	3.2
13:01-14:00	2.7	2.7	2.4	2.6	2.8	2.3	3.4	3.1	2.7	2.8	2.7	2.9
14:01-15:00	3.0	2.8	2.6	2.6	2.7	2.5	3.1	3.0	3.5	2.9	2.7	2.8
15:01-16:00	2.9	3.1	2.8	2.3	2.5	2.7	3.0	2.7	3.2	2.6	2.8	2.8
16:01-17:00	2.7	3.0	3.2	2.5	2.5	2.7	2.9	2.6	3.1	2.7	3.1	3.1
17:01-18:00	3.6	2.7	3.0	2.3	2.5	2.7	2.5	2.5	2.8	2.7	2.7	3.0
18:01-19:00	3.4	2.5	2.8	2.2	1.9	2.5	1.9	2.3	2.7	2.3	2.4	2.9
19:01-20:00	2.6	2.7	2.6	1.7	1.5	2.2	1.8	2.1	2.7	1.7	2.1	2.7
20:01-21:00	2.2	2.4	2.7	1.6	0.9	1.7	1.2	1.9	2.3	1.4	2.1	2.4
21:01-22:00	1.9	2.2	2.6	1.8	1.1	1.6	1.2	1.6	2.2	1.2	1.9	2.3
22:01-23:00	2.1	2.1	2.4	1.5	0.9	1.6	1.1	1.5	1.7	1.3	1.8	2.3
23:01-24:00	1.9	1.7	2.4	1.8	1.2	1.4	1.1	1.4	1.9	1.3	1.6	2.5
Max Hour	18	16	17	15	14	18	14	14	15	13	17	13
Min Hour	8	2	7	5	23	6	7	7	8	22	24	8

- Monthly Statistics for Solar Radiation (Direct Normal, Diffuse, Global Horizontal) Wh/m²

	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
Direct Avg	3250	2701	3071	3244	4424	3885	4272	3536	3102	3067	2510	2290
Direct Max	9169	7567	8310	8458	7947	7615	8147	6723	8274	8567	7493	8975

Day	25	12	31	7	25	8	7	10	12	7	27	1
Diffuse Avg	2297	2519	2612	2512	2233	2228	2220	2556	2743	2950	2816	2457
Global Avg	4526	4426	4863	4779	5195	4837	5120	5087	5002	5250	4688	4070

- Maximum Direct Normal Solar of 9169 Wh/m² on Jan 25

- Monthly Calculated "undisturbed" Ground Temperatures** °C

	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	
1.0 m	28.0	27.9	27.9	27.9	27.9	28.0	28.2	28.4	28.5	28.5	28.5	28.4	28.2

- **These ground temperatures should NOT BE USED in the GroundTemperatures object to compute building floor losses.
- The temperatures for 0.5 m depth can be used for GroundTemperatures:Surface.
- The temperatures for 4.0 m depth can be used for GroundTemperatures:Deep.
- Calculations use a standard soil diffusivity of 2.3225760E-03 {m**2/day}

Lampiran 3 : Green mark for non-residential building

Point Allocations - BCA Green Mark for New Non-Residential Buildings (Version NRB/4.0)

Category		Point Allocations	
(I) Energy Related Requirements			
Minimum 30 points	Part 1 : Energy Efficiency		
	NRB 1-1 Thermal Performance of Building Envelope - ETTV	Section (A) Applicable to all-con areas	12
	NRB 1-2 Air-Conditioning System		30
	Sub-Total (A) – NRB 1-1 to 1-2		42
	NRB 1-3 Building Envelope – Design/Thermal Parameter	Section (B) Applicable to non all-con areas excluding carparks and common areas	35
	NRB 1-4 Natural Ventilation / Mechanical Ventilation		20
	Sub-Total (B) – NRB 1-3 to 1-4		55
	NRB 1-5 Daylighting	Section (C) Generally applicable to all areas	6
	NRB 1-6 Artificial Lighting		12
	NRB 1-7 Ventilation in Carparks		4
	NRB 1-8 Ventilation in Common Areas		5
NRB 1-9 Lifts and Escalators	2		
NRB 1-10 Energy Efficient Practices & Features	12		
NRB 1-11 Renewable Energy	20		
Sub-Total (C) – NRB 1-5 to 1-11		61	
Category Score for Part 1 – Energy Efficiency		118 (Max)	
Prorate Subtotal (A) + Prorate Subtotal (B) + Prorate Subtotal (C)			
(II) Other Green Requirements			
Minimum 20 points	Part 2 : Water Efficiency		
	NRB 2-1 Water Efficient Fittings		10
	NRB 2-2 Water Usage and Leak Detection		2
	NRB 2-3 Irrigation System and Landscaping		3
	NRB 2-4 Water Consumption of Cooling Towers		2
	Category Score for Part 2 – Water Efficiency		17
	Part 3 : Environmental Protection		
	NRB 3-1 Sustainable Construction		10
	NRB 3-2 Sustainable Products		8
	NRB 3-3 Greenery Provision		8
	NRB 3-4 Environmental Management Practice		7
	NRB 3-5 Green Transport		4
	NRB 3-6 Refrigerants		2
	NRB 3-7 Stormwater Management		3
	Category Score for Part 3 – Environmental Protection		42
	Part 4 : Indoor Environmental Quality		
	NRB 4-1 Thermal Comfort		1
	NRB 4-2 Noise Level		1
	NRB 4-3 Indoor Air Pollutants		2
NRB 4-4 Indoor Air Quality (IAQ) Management		2	
NRB 4-5 High Frequency Ballasts		2	
Category Score for Part 4 – Indoor Environmental Quality		8	
Part 6 : Other Green Features			
NRB 5-1 Green Features & Innovations		7	
Category Score for Part 6 – Other Green Features		7	
Green Mark Score :		180 (Max)	

Effective Date : 1 Dec 2010

NRB/2