



UNIVERSITAS INDONESIA

**KAJIAN SIMULASI BEBAN *THERMAL* DAN ANALISIS
ENERGI PADA RANCANGAN GEDUNG *MANUFACTURING
RESEARCH CENTER* FT-UI DENGAN SISTEM TATA UDARA
PACKAGED TERMINAL AIR CONDITIONER DAN *FAN COIL
UNIT* MENGGUNAKAN *ENERGYPLUS***

SKRIPSI

**YUSUF PRIYAMBODO
0706163584**

**FAKULTAS TEKNIK
DEPARTEMEN TEKNIK MESIN
DEPOK
JUNI 2011**



UNIVERSITAS INDONESIA

**KAJIAN SIMULASI BEBAN *THERMAL* DAN ANALISIS
ENERGI PADA RANCANGAN GEDUNG *MANUFACTURING
RESEARCH CENTER* FT-UI DENGAN SISTEM TATA UDARA
PACKAGED TERMINAL AIR CONDITIONER DAN *FAN COIL
UNIT* MENGGUNAKAN *ENERGYPLUS***

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana teknik

**YUSUF PRIYAMBODO
0706163584**

**FAKULTAS TEKNIK
DEPARTEMEN 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 Kuat Riyanto (0706166983). Sehingga harap maklum jika ada beberapa bagian dari buku ini yang memiliki kesamaan.

Nama : Yusuf Priyambodo

NPM : 0706163584

Tanda Tangan :

Tanggal : 27 Juni 2011

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :
Nama : Yusuf Priyambodo
NPM : 0706163584
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 *PACKAGED TERMINAL AIR CONDITIONER* DAN *FAN COIL UNIT* 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

KATA PENGANTAR

Puji syukur saya panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa, atas berkat rahmat, dan hidayah-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 saya ucapkan sebesar-besarnya kepada:

- 1) Orang tua dan keluarga saya atas segala dukungan, doa semangat yang tidak pernah henti diberikan pada saya;
- 2) Dr-Ing. Nasruddin, M.Eng selaku dosen pembimbing yang telah bersedia meluangkan waktu memberikan pengarahan, diskusi, dan bimbingan serta persetujuan sehingga skripsi ini dapat diselesaikan dengan baik;
- 3) Dosen Teknik Pendingin dan Sistem Mekanikal Gedung atas segala bantuan, bimbingan dan masukan-masukan yang bermanfaat selama skripsi.
- 4) Dr. Ir. Harinaldi, M.Eng selaku kepala Departemen Teknik Mesin FTUI.
- 5) Semua dosen DTM FTUI yang telah memberi saran dan masukan-masukan yang berharga;
- 6) Kuat Riyanto sebagai teman skripsi bersama dan seluruh teman-teman teknik mesin UI 2007.
- 7) 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 2010

Penulis

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

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

Nama : Yusuf Priyambodo
NPM : 0706163584
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 *PACKAGED TERMINAL AIR CONDITIONER* DAN *FAN COIL UNIT* MENGGUNAKAN *ENERGYPLUS*

beserta 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

(Yusuf Priyambodo)

ABSTRAK

Nama : Yusuf Priyambodo
Program Studi : Teknik Mesin
Judul : Kajian Simulasi Beban *Thermal* Dan Analisis Energi Pada Rancangan Gedung *Manufacturing Research Center* FT-UI Dengan Sistem Tata Udara *Packaged Terminal Air Conditioner* dan *Fan Coil Unit* Menggunakan *EnergyPlus*

Rancangan gedung *Manufacturing Research Center* FTUI yang dikatakan sebagai gedung hemat energi perlu adanya pembuktian secara sistematis. Pembuktian tersebut salah satunya dengan dilakukan simulasi pemakaian energi menggunakan *software EnergyPlus*. Tujuan lain dari penelitian ini selain melakukan pengkajian pemakaian energi, juga dilakukan pemilihan upaya-upaya atau metode-metode penghematan pemakaian energi terutama pada sistem *mechanical* dan *electrical* yang digunakan pada gedung. Dengan simulasi *software* ini, akan didapatkan sebuah sistem *mechanical* dan *electrical* gedung yang paling hemat energi sehingga dapat menambah efisiensi bangunan pada sektor biaya energi.

Kata kunci :

Manufacturing research center, EnergyPlus, mechanical dan electrical, efisiensi

ABSTRACT

Name : Yusuf Priyambodo
Field of Study : Mechanical Engineering
Title : *Study Of Energy Analysis And Thermal Load Simulation For Building Design Of Manufacturing Research Center FT-UI With Packaged Terminal Air Conditioning System And Fan Coil Unit System Using EnergyPlus*

Manufacturing Research Center FTUI building design which is claimed by the designer as a green building has to be proved systematically. One of the methods to prove that the building design is a green building is by auditing the energy consumption of the building by using EnergyPlus software simulation. Beside the energy consumption audit of the building, this research also focus on searching the methods especially for mechanical and electrical building to get better energy efficiency. The result of this research is a mechanical and electrical system of the building which has the best efficiency energy consumption so that the building also has better energy cost efficiency.

Key word :

Manufacturing research center, EnergyPlus, mechanical and electrical, efficiency

DAFTAR ISI

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS.....	ii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iii
KATA PENGANTAR	iv
PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS	v
ABSTRAK.....	vi
ABSTRACT.....	vii
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR TABEL.....	x
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR ISTILAH DAN SIMBOL.....	xv
DAFTAR LAMPIRAN.....	xvi
BAB I.....	1
PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah.....	2
1.3 Tujuan Penelitian.....	2
1.4 Pembatasan Masalah	3
1.5 Metodologi Penelitian	3
1.6 Sistematika Penulisan.....	4
BAB 2	6
TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 Green building	6
2.1.1 Definisi dan Tujuan <i>Green building</i>	6
2.1.2 Building and Construction Assosiation (BCA).....	6
2.2 Audit Energi Bangunan	7
2.2.1 Definisi Audit.....	7
2.2.2 Tujuan Audit	8

2.3.1	Menjalankan <i>EnergyPlus</i>	10
2.3.3	Skema Metode Penggunaan <i>EnergyPlus</i>	13
2.3.4	<i>EnergyPlus</i> Input Data File Editor (IDF Editor)	16
2.3.5	Parameter didalam <i>EnergyPlus</i>	18
2.4	Google SketchUp	29
2.5	Sistem Tata Udara Pada Bangunan	30
2.5.1	<i>Fan Coil Unit</i> (FCU).....	32
2.5.2	Packaged terminal air conditioner (PTAC).....	36
BAB 3	42
AUDIT ENERGI BANGUNAN DENGAN SIMULASI <i>ENERGYPLUS</i>		42
3.1	Deskripsi dan Fasilitas Bangunan	42
3.1.1	Pembagian Ruangan Gedung	44
3.2	Data dan Parameter Gedung.....	45
BAB 4	65
HASIL SIMULASI DAN ANALISA.....		65
4.1	Hasil simulasi HVAC Template <i>IdealLoadAirSystem</i>	65
4.2	Hasil Simulasi PTAC dan <i>Fan Coil Unit</i>	72
4.3	Metode-Metode Optimasi Penghematan Energi	94
4.4	Penggunaan Energi Alternatif	100
4.4.1	Turbin Angin dan Photovoltaic.....	100
4.4.2	Hasil Simulasi Energi Alternatif.....	101
BAB 5	102
KESIMPULAN DAN SARAN.....		102
5.1	Kesimpulan.....	102
5.2	Saran.....	103
DAFTAR PUSTAKA		104
LAMPIRAN.....		112

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 BCA Green mark rating [3]	7
Tabel 2.2 Tingkat Kesalahan dan Tindakannya[5]	12
Tabel 2.3 jenis jenis permukaan (<i>surface</i>) dan kategorinya.[5]	15
Tabel 2.4 Elemen konstruksi bangunan berdasarkan ASHRAE 2005 <i>HOF_ material dataset</i>	15
Tabel 2.5 Contoh <i>internal gain</i> pada suatu zona.....	16
Tabel 2.6 Jenis-jenis kondisi daerah[5].....	19
Tabel 2.7 <i>Nomenclature List Of Variable MoWiTT</i>	21
Tabel 2.8 <i>MoWiTT Coefficient</i> (Yazdian and Klems 1994)[5].....	22
Tabel 2.9 <i>Nomenclature list of Variable</i> [5]	22
Tabel 2.10 Standar temperatur dan RH kondisi nyaman[16].....	31
Tabel 3.1 Heat Gain People Activity[9].....	53
Tabel 3.2 Luninare Configuration, Fluorescent Lighting[5].....	54
Tabel 3.3 kebutuhan udara ventilasi mekanis	57
Tabel 3.4 Continues Exhaust Airflow rates	57
Tabel 3.5 Tarif dasar listrik 2010[13]	61
Tabel 4.1 Site and Source Energy Gedung dengan IdealLoadAirSystem	65
Tabel 4.2 Luas Bangunan.....	66
Tabel 4.3 End Uses Gedung dengan IdealLoadAirSystem	66
Tabel 4.4 Utility per Total Floor Area Gedung dengan IdealLoadAirSystem.....	67
Tabel 4.5 Weather File	67
Tabel 4.6 Zone Summary	69
Tabel 4.7 Biaya Energi Gedung dengan <i>IdealLoadAirSystem</i>	72
Tabel 4.8 Perbandingan Total Pemakaian Energi antara Gedung dengan PTAC dan <i>Fan Coil Unit</i>	72
Tabel 4.9 <i>End Uses</i> Gedung dengan PATC dan <i>Fan Coil Unit</i>	73
Tabel 4.10 PTAC <i>Sizing Summary</i>	75
Tabel 4.11 DXcoil <i>Sizing Summary</i>	76

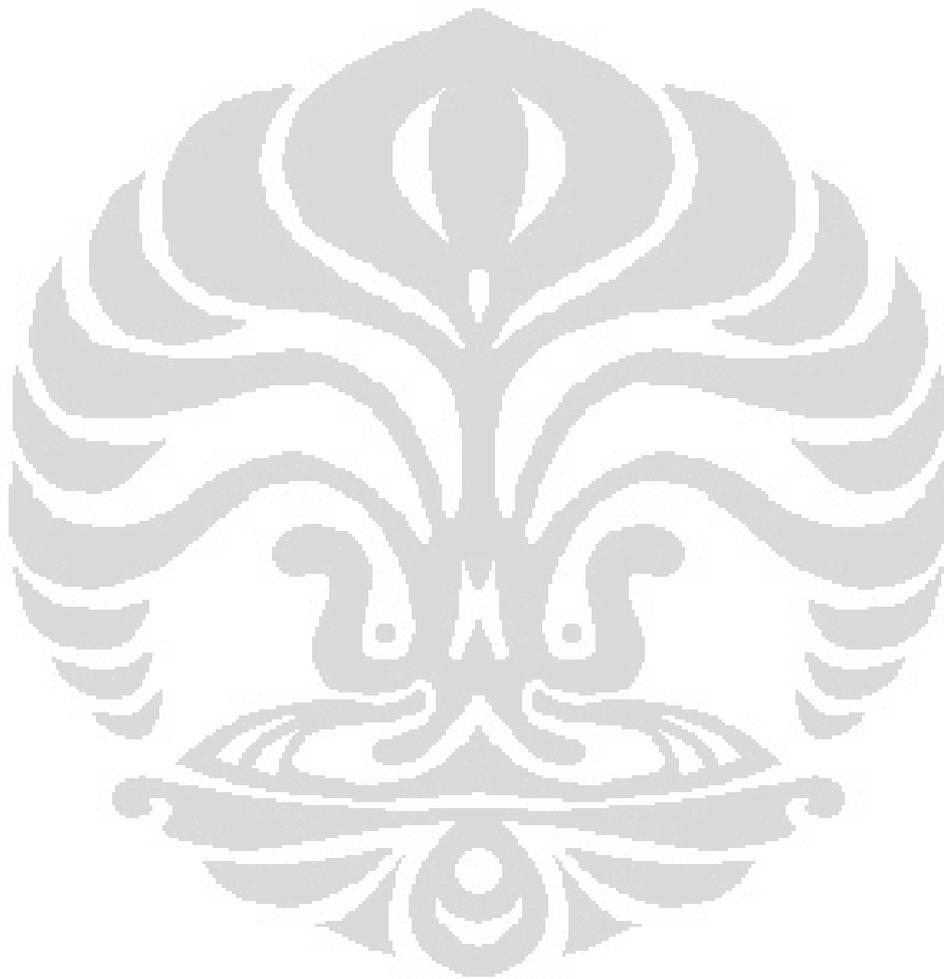
Tabel 4.12 <i>Cooling Coil Sizing Summary</i>	78
Tabel 4.13 <i>Plant Sizing Summary</i>	79
Tabel 4.14 <i>Pump Sizing Summary</i>	80
Tabel 4.15 <i>Ringkasan Data Cuaca</i>	82
Tabel 4.16 <i>Tarif Energi Dengan Sistem Fan Coil Unit</i>	83
Tabel 4.17 <i>Tarif Energi dengan Sistem PTAC</i>	84
Tabel 4.18 <i>End Uses Gedung Sistem Fan Coil Unit biasa dengan Fan Coil Unit+Daylighting</i>	95
Tabel 4.19 <i>Biaya Energi Gedung dengan Fan Coil Unit+Daylighting</i>	96
Tabel 4.20 <i>End Uses Gedung Sistem PTAC biasa dengan PTAC+Daylighting</i> ..	96
Tabel 4.21 <i>Biaya Energi Gedung dengan PTAC+Daylighting</i>	97
Tabel 4.22 <i>End Uses Gedung Sistem Fan Coil Unit biasa dengan Fan Coil Unit+Daylighting+EMS</i>	98
Tabel 4.23 <i>Biaya Energi Gedung dengan Fan Coil Unit+Daylightin+EMS</i>	98
Tabel 4.24 <i>End Uses Gedung Sistem PTAC biasa dengan PTAC+Daylighting+EMS</i>	99
Tabel 4.25 <i>Biaya Energi Gedung dengan PTAC+Daylighting+EMS</i>	99
Tabel 4.26 <i>Hasil Simulasi Energi Alternatif</i>	101
Tabel <i>Pemakaian Air rata-rata Bangunan</i> [10].....	113
Tabel <i>Equivalent Length HDPE Pipe</i> [8].....	115

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Diagram Alir Simulasi Energi pada Bangunan	8
Gambar 2.2 Gambaran umum sistem <i>EnergyPlus</i> [5]	10
Gambar 2.3 Elemen internal <i>EnergyPlus</i> [5]	10
Gambar 2.4 Layar <i>EP-Launch</i> [5].....	11
Gambar 2.5 Status selesai simulasi[5]	12
Gambar 2.6 Ilustrasi posisi bangunan terhadap arah utara	16
Gambar 2.7 Layar <i>IDF Editor</i>	17
Gambar 2.8 Layar Google Sketchup 7	29
Gambar 2.9 Grafik zona kenyamanan berdasarkan	31
ANSI/ASHRAE Standars 55-2004[16]	31
Gambar 2.10 Diagram psikometrik proses pendinginan udara ruangan.....	32
Gambar 2.11 Chiller (air cooled)[8].....	33
Gambar 2.12 Skema sistem tata udara dengan <i>Fan Coil Unit</i> [8]	34
Gambar 2.13 Sistem <i>Fan Coil Unit</i> dengan empat pipa[8].....	35
Gambar 2.14 sistem <i>Rooftop Packaged Unit</i> [4]	36
Gambar 2.15 Indoor packaged unit[4]	40
Gambar 2.16 Split packaged unit[4]	40
Gambar 3.1 Denah Gedung Manufacturing Research Center FTUI (Site Plan)...	42
Gambar 3.2 Gambar 3D gedung <i>Manufacturing Research Center</i> menggunakan <i>Sketchup+OpenStudio</i> (a) tampak depan serong kanan, (b) tampak depan, (c)tampak belakang serong kiri.....	43
Gambar 3.3 Lokasi Gedung dari <i>Google Earth</i>	43
Gambar 3.4 Layar <i>IDF Editor</i> untuk <i>Special Days</i>	48
Gambar 3.5 Layar <i>IDF Editor</i> untuk <i>ScheduleTypeLimits</i>	49
Gambar 3.6 Layar <i>IDF Editor</i> untuk <i>Schedule Compact</i>	49
Gambar 3.7 Grafik Office Occupancy Schedule (Revit Autodesk).....	50
Gambar 3.8 Grafik Warehouse Occupancy Schedule (Revit Autodesk)	51
Gambar 3.9 Layar <i>IDF Editor</i> untuk material	51
Gambar 3.10 Layar <i>IDF Editor</i> untuk <i>Material Air Gap</i>	52

Gambar 3.11 Layar IDF Editor untuk <i>Internal Gain People</i>	52
Gambar 3.12 Layar IDF Editor untuk <i>Internal Gain Lighting</i>	53
Gambar 3.13 Overhead Fluorescent Luminaire Configuration[5]	54
Gambar 3.14 Layar IDF Editor untuk <i>Electric Equipment</i>	54
Gambar 3.15 Layar IDF Editor untuk <i>Zone Infiltration</i>	55
Gambar 3.16 Layar IDF Editor untuk Ventilasi.....	56
Gambar 3.17 Layar IDF Editor untuk HVAC <i>IdealLoadAirSystem</i>	58
Gambar 3.18 Layar IDF Editor untuk HVAC <i>Fan Coil Unit</i>	58
Gambar 3.19 Layar IDF Editor untuk <i>Chilled Water Loop</i>	59
Gambar 3.20 Layar IDF Editor untuk HVAC PTAC	60
Gambar 3.21 Layar IDF Editor untuk <i>Output Variable</i>	62
Gambar 3.22 Layar IDF Editor untuk <i>Output Meter</i>	63
Gambar 3.23 Warning Message PTAC.....	63
Gambar 3.24 Warning Message <i>IdealLoadAirSystem</i>	64
Gambar 3.25 Warning Message <i>Fan Coil Unit</i>	64
Gambar 4.1 Daya <i>supply fan</i> pada sistem PTAC.....	74
Gambar 4.2 Daya <i>supply fan</i> pada sistem <i>Fan Coil Unit</i>	74
Gambar 4.3 Grafik Pemakaian Listrik Gedung dengan Sistem HVAC <i>Fan Coil Unit</i>	81
Gambar 4.4 Grafik Pemakaian Listrik Gedung dengan Sistem HVAC PTAC.....	84
Gambar 4.5 (a) Grafik Temperature udara ruang otomotive (b) Titik Maksimum (c) Titik Minimum	86
Gambar 4.6 Grafik Temperature Udara Rata-Rata Lab Spectometer	87
Gambar 4.7 Grafik Temperatur udara pada saat mencapai maksimal (PTAC)	88
Gambar 4.8 Grafik Temperature Udara Rata-Rata Lab Spectometer (PTAC)	89
Gambar 4.9 Grafik Relative humidity Zone LoadingMaterial.....	90
Gambar 4.10 Grafik <i>relative humidity</i> Lab Spectometer (PTAC)	91
Gambar 4.11 Grafik <i>Relatif Humidity</i> Lab Spectometer (<i>Fan Coil Unit</i>).....	92
Gambar 4.12 Effect of sensible heat ratio of space conditioning line on the determination of the condition of supply air[7]	93
Gambar 4.13 Daylighting Control	95
Gambar 4.15 (a) Turbin Angin (b) Photovoltaic.....	100

Gambar Pompa Air Wasser[11]	113
Gambar Head Pompa[12].....	114
Gambar Grafik Friction Loss for <i>Water</i> in Plastic Pipe (Schedule 80)[8].....	115

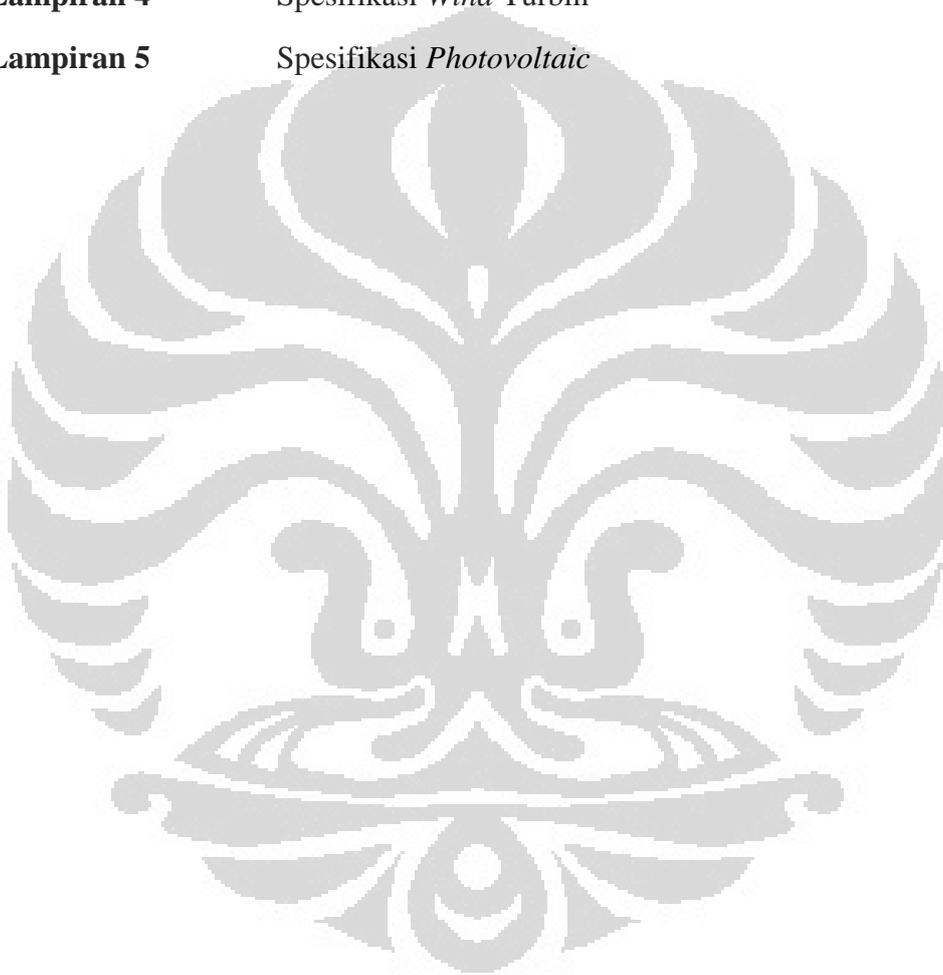


DAFTAR ISTILAH DAN SIMBOL

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

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1	Perhitungan Daya Pompa
Lampiran 2	Autodesk Revit
Lampiran 3	<i>Green Mark for Non Residential Building</i>
Lampiran 4	Spesifikasi <i>Wind Turbin</i>
Lampiran 5	Spesifikasi <i>Photovoltaic</i>



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*.

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[1]. 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 praktiknya, 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[1]. 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 energi 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 *Packaged Terminal Air Conditioner* dan *Fan Coil Unit*.
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

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

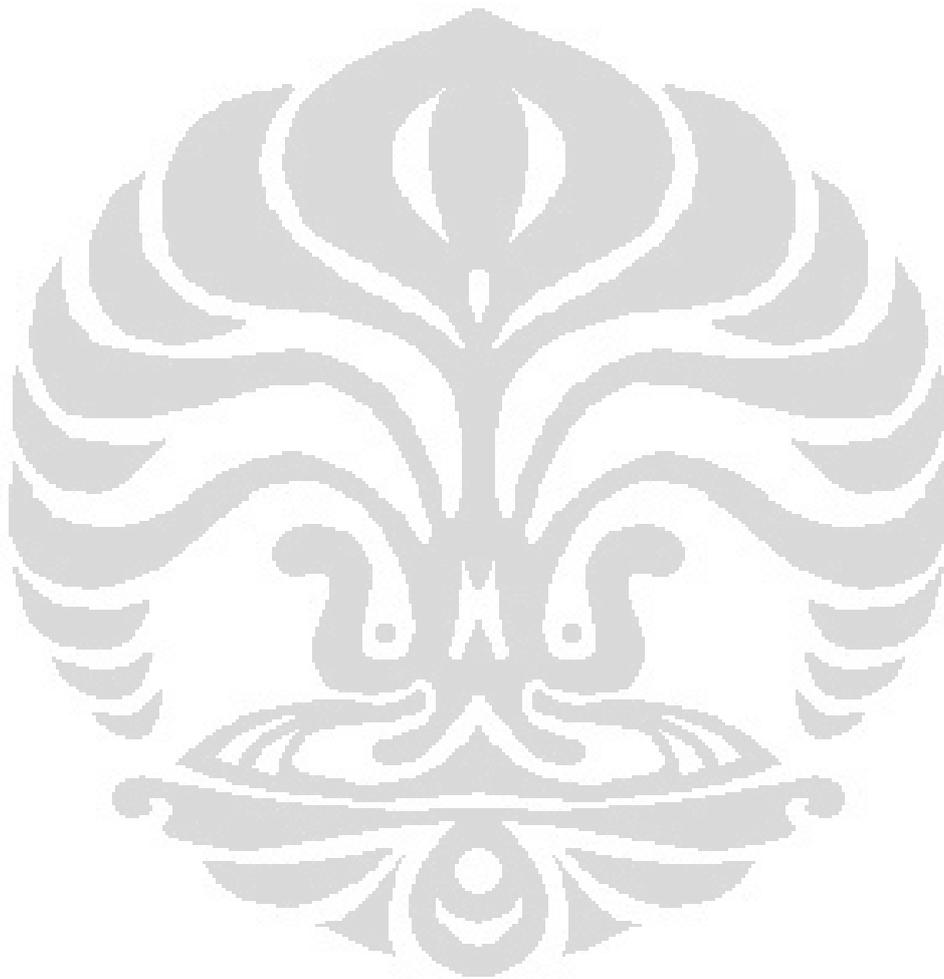
Bab ini menjelaskan langkah-langkah yang dilakukan dalam penelitian, deskripsi gedung, data-data dan parameter yang digunakan serta pemilihan sistem pengkondisian udara untuk dilakukan simulasi.

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 praktik peningkatan efisiensi pada bangunan dengan mengusahakan konsumsi dan produksi energi berasal dari bangunan itu sendiri, efisiensi air dan mengurangi dampak gedung bagi kesehatan manusia dan lingkungan sekitar, melalui penentuan letak, desain, konstruksi, pemeliharaan, pengoperasian, lengkap dengan siklus hidup bangunan. [2]. Konsep ini diperluas dengan tetap memperhatikan aspek aspek ekonomi, utilitas, daya tahan dan juga kenyamanan.

Saat ini berbagai perkembangan teknologi terus diupayakan guna melengkapi dan menunjang konsep bangunan hijau tersebut. Peranan 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*

Asosiation (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* [3].

- *Energy Efficiency* Indeks
 - Kategori bangunan Tropis : <math><150 \text{ kWh/m}^2</math>
 - Gedung kantor/ perpustakaan/ sekolah : 200 kWh/m²
 - Retail / Mall : 240 kWh/m²
 - Hotel : 300 kWh/m²
 - Rumah Sakit : 400 kWh/m²
- Pengaturan temperatur A/C area
 - Temperatur antara 21 °C – 26 °C
 - RH antara 55% - 70 %

Tabel 2.1 BCA Green mark rating [3]

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 poin penilaiannya terdapat pada *BCA Green Mark for Non-Residual Building* (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

2.2.1 Definisi Audit

Audit energi adalah suatu teknik yang dipakai untuk menghitung konsumsi energi pada bangunan dan mengenali cara-cara untuk penghematannya[4]. Maksud dari audit energi ini adalah untuk memberikan gambaran profil penggunaan energi untuk selanjutnya dapat

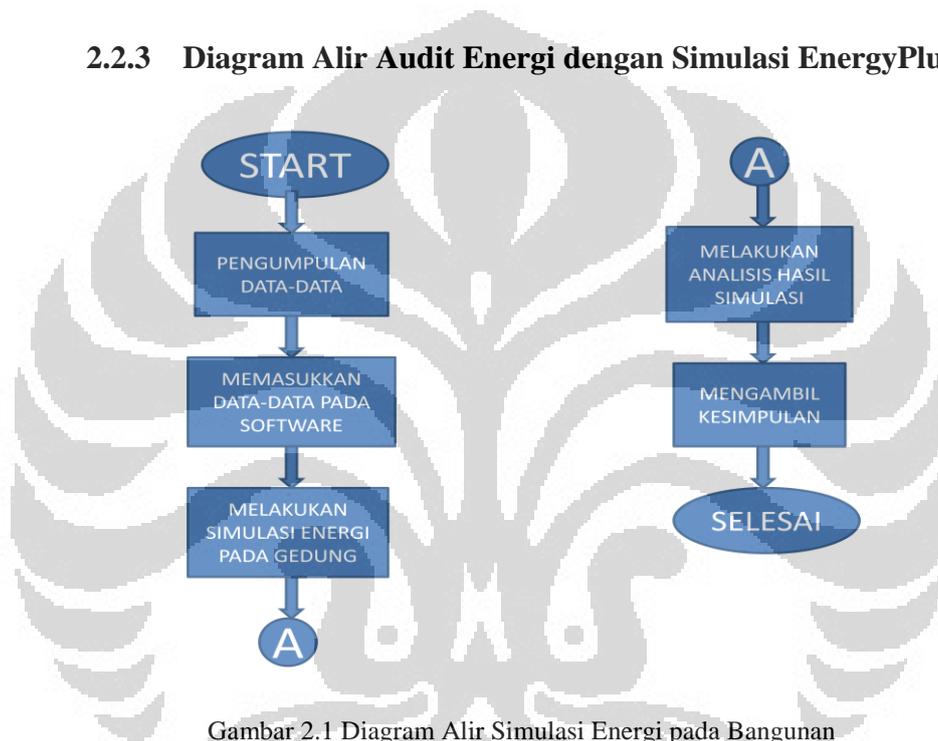
Universitas Indonesia

digunakan untuk diajukan kepada program sertifikasi seperti *Green Building Certification* atau sejenisnya.

2.2.2 Tujuan Audit

Tujuan audit energi bangunan adalah untuk mengidentifikasi peluang-peluang penghematan energi dan menghasilkan rekomendasi langkah langkah penghematan energi yang dapat ditindaklanjuti oleh pihak pengelola gedung yang akan dibangun.

2.2.3 Diagram Alir Audit Energi dengan Simulasi EnergyPlus



Gambar 2.1 Diagram Alir Simulasi Energi pada Bangunan

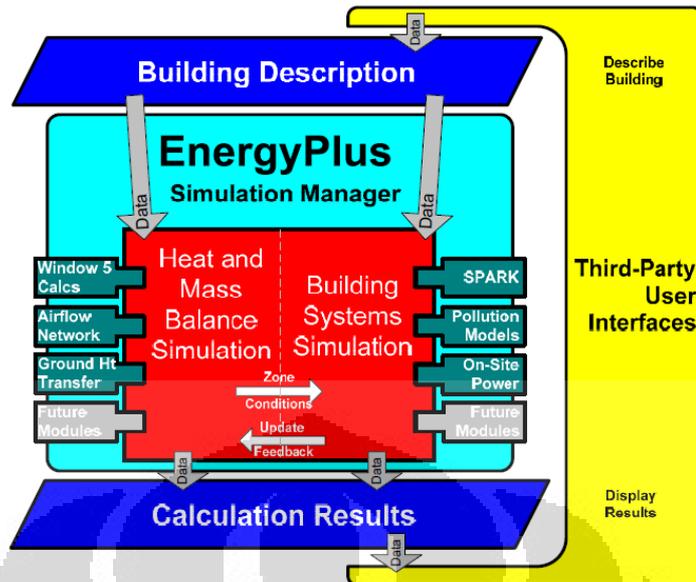
2.3 EnergyPlus

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

mengembangkan program tersebut guna memecahkan masalah penggunaan energi.[5]

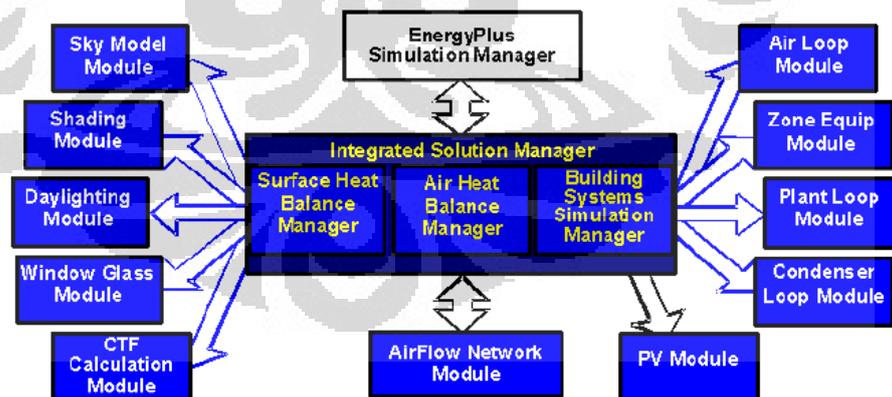
Sama halnya dengan program induknya, *EnergyPlus* adalah suatu program yang melakukan simulasi beban termal serta analisis energi berdasarkan deskripsi penggunaan bangunan, serta sistem mekanik – elektrik yang digunakan untuk pengkondisian udara di dalam bangunan. Dengan *EnergyPlus*, selain dapat menghitung 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 didalamnya.

Secara umum, *EnergyPlus* merupakan program integrasi dari BLAST dan DOE-2 dimana kedua program tersebut memiliki keunggulan dan kelemahan masing masing, sehingga dengan dikembangkannya *EnergyPlus* ini menjadi program simulasi yang lengkap dan kompeten untuk melakukan simulasi energi pada bangunan dengan fitur – fitur yang modern. Selain itu, *EnergyPlus* juga dapat diintegrasikan dengan program program lainnya sebagai *Third-Party User Interfaces*, program integrasi ini dapat digunakan untuk melakukan deskripsi bangunan (*Building Description*) dan juga memvisualisasikan hasil perhitungan (*Calculations Results*)



Gambar 2.2 Gambaran umum sistem *EnergyPlus*[5]

Seperti pada Gambar 2.2 di atas, *EnergyPlus* merupakan *software* yang tidak “*user interface*” sehingga untuk lebih memudahkan dalam simulasi, kita bisa menggunakan *software* lain yang sudah direkomendasikan oleh tim pengembang *EnergyPlus* itu sendiri, seperti Google SketchUp dengan *plugin* Open Studio. Semua *software* di atas adalah gratis, dan bisa diunduh di internet dengan mudah.

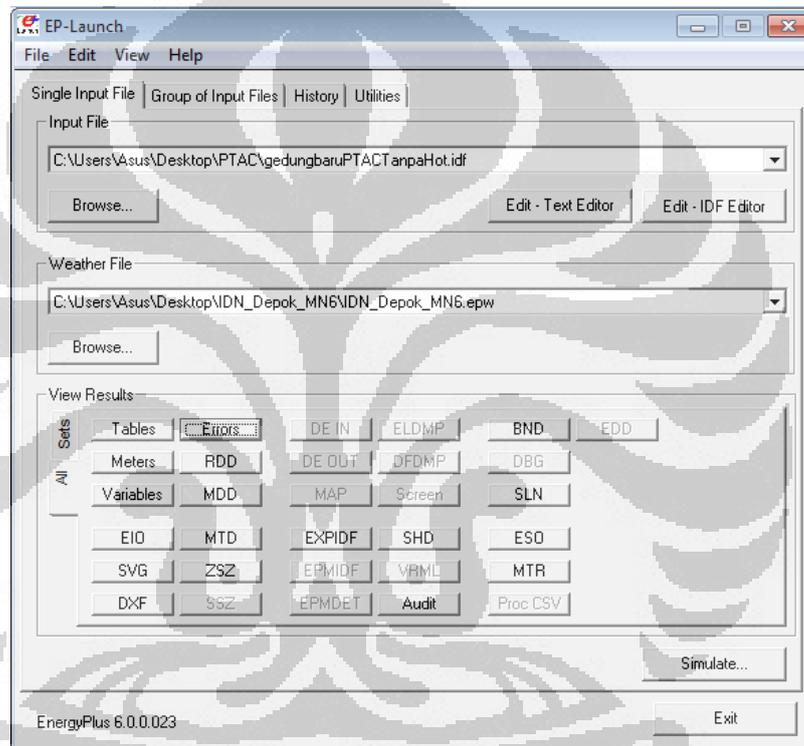


Gambar 2.3 Elemen internal *EnergyPlus*[5]

2.3.1 Menjalankan *EnergyPlus*

Layaknya semua program simulasi, *EnergyPlus* terdiri dari sekedar sebuah *file* eksekusi. *EnergyPlus* membutuhkan berbagai *input file* yang

menggmabarkan bangunan yang akan dimodelkan dalam simulai 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*).



Gambar 2.4 Layar *EP-Launch*[5]

EP-Launch seperti terlihat pada Gambar 2.4 merupakan komponen opsional instalasi Windows yang dapat digunakan untuk dengan cara sederhana memilih *file* dan menjalankan *EnergyPlus*. Disamping itu, *EP-Launch* dapat membantu membuka editor teks untuk *file input* dan *output*, 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

Universitas Indonesia

melakukan simulasi yang diperlukan adalah *input file* berupa *file.idf* dan juga weather data *file* (data cuaca) berupa *file.epw*. kemudian simulasi dapat dilakukan dengan menekan tombol “simulasi”.

2.3.2 Hasil Simulasi

Setelah simulasi berjalan dengan sukses, akan muncul *status box* hasil *running* simulasi seperti pada Gambar 2.5. 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[5]

Tabel 2.2 Tingkat Kesalahan dan Tindakannya[5]

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

2.3.3 Skema Metode Penggunaan *EnergyPlus*

Langkah 1: Perencanaan

Langkah awal dalam melakukan proses design atau merancang adalah mengumpulkan informasi. Dan informasi – informasi tersebut tentu saja dibutuhkan dalam menjalankan simulasi dengan *EnergyPlus*. Adapun informasi yang harus disiapkan sebelum melakukan simulasi adalah sebagai berikut :

- Informasi tentang lokasi dan desain iklim cuaca kota dan tempat dimana 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 (listrik, 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 (*surface*) 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 didefinisikan 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 disetiap zona untuk setiap jam setiap harinya , dengan kata lain melakukan keseimbangan panas (termal) pada zona. Oleh karena itu langkah awal yang dilakukan dalam mempersiapkan deskripsi bangunan adalah memecah bangunan ke dalam zona – zona tertentu. [5]

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 diestimasi 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 – zonanya. Informasi informasi geometrik dan permukaan suatu bangunan sangat dibutuhkan sebelum sebuah model dapat dibangun, diantaranya adalah :

- Menentukan permukaan perpindahan panas (*heat transfer*) dan penyimpanan panas (*heat storage*)

- 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)

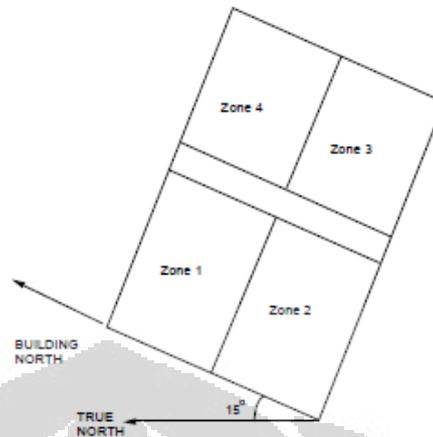
Tabel 2.3 jenis jenis permukaan (*surface*) dan kategorinya.[5]

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 2.4 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
		G01a 19mm gypsum board
Roof	Medium Roof/Ceiling	M14a 100mm heavyweight concrete
		F05 Ceiling air space resistance
		F16 Acoustic tile
Floor	Medium Floor	F16 Acoustic tile
		F05 Ceiling air space resistance
		M14a 100mm heavyweight concrete

... (captioned here), illustrates specification of the building model as



Gambar 2.6 Ilustrasi posisi bangunan terhadap arah utara
Langkah 4: Kompilasi Data *Space Internal Gain*

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

Tabel 2.5 Contoh *internal gain* pada suatu zona.

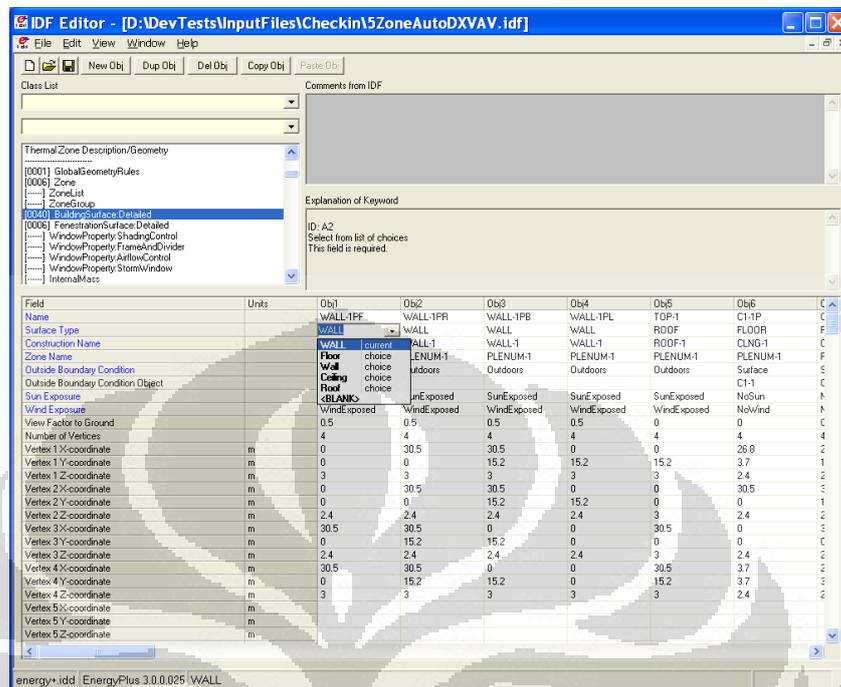
Zone	Gain Type	Size	Schedule
1	People	205	Office occupancy
	Lights	26360 W	Office lighting
	ZoneInfiltration	.75 m ³ /sec	Constant

2.3.4 *EnergyPlus* Input Data File Editor (IDF Editor)

EnergyPlus memiliki beberapa pilihan dalam meng-*input file* 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). Editor IDF merupakan komponen opsional instalasi *EnergyPlus*. Untuk pengguna yang ingin cara sederhana membuat atau mengedit data *EnergyPlus* input file (IDF), *IDF Editor* menyediakan layanan ini. Selain *IDF Editor*, *Input Data File* juga dapat dilakukan dengan menggunakan

Universitas Indonesia

teks editor seperti “notepad”. Gambar layar *IDF Editor* tampak seperti pada Gambar 2.7.



Gambar 2.7 Layar *IDF Editor*

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

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

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

- *Field*

Daftar ini merupakan variabel – variabel dan parameter – parameter yang ada disetiap daftar kelas *IDF*. Setiap kelas memiliki beberapa *field* yang dapat diisi sesuai parameter – parameter yang dibutuhkan didalam simulasi.

- *Object*

Object merupakan daftar parameter yang akan diisi oleh pengguna *EnergyPlus*. Parameter yang ada disetiap *field* ini tidak

harus diisi semuanya , namun hanya sebatas yang akan digunakan didalam simulasi. Jika field tersebut kosong (tidak ada objek) maka didalam simulasi akan diabaikan.

2.3.5 Parameter didalam *EnergyPlus*

Parameter – parameter yang digunakan *EnergyPlus* dikategorikan kedalam beberapa grup / kelas dimana disetiap grup memiliki parameter yang saling berhubungan, yang kemudian dapat diintegrasikan dengan grup – grup lainnya.

Di bawah ini adalah beberapa grup objek yang umum digunakan didalam simulasi menggunakan *EnergyPlus*.

- *Group Simulation parameter*

Grup ini terdiri dari beberapa parameter *object* yang mempengaruhi simulasi dalam berbagai cara. Mulai dari versi *EnergyPlus* yang digunakan, timestep simulasi, informasi bangunan, dan juga metode – metode dan algoritma perhitungan konveksi permukaan , heat balance dan bayangan yang terjadi di bangunan.

a. *Version*

Parameter ini berisi mengenai versi ke berapa *software EnergyPlus* yang kita gunakan.

b. *Timestep*

Parameter ini digunakan pada perhitungan *Zone Heat Balance Model* sebagai pengendali langkah waktu untuk perpindahan panas dan perhitungan beban.

c. *Building*

Parameter ini berisi tentang deskripsi gedung seperti :

- *Name*

Nama gedung yang akan disimulasi.

- *North Axis*

Arah utara bangunan ditentukan relatif terhadap arah utara sebenarnya. Sebuah bangunan sering tidak segaris dengan arah utara sebenarnya. Ilustrasinya ada pada Gambar 2.5 diatas.

- *Terrain*

Daerah sekitar bangunan mempengaruhi bagaimana angin mengenai bangunan, seperti halnya ketinggian bangunan.

Tabel 2.6 Jenis-jenis kondisi daerah[5]

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

- *Solar distribution*

Parameter ini menentukan bagaimana *EnergyPlus* memperlakukan gelombang radiasi matahari dan pantulan dari permukaan luar yang mengenai bangunan dan yang masuk ke dalam zone.

Ada 5 jenis perlakuan yaitu :

MinimalShadowing : Pada kasus ini 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, FullExteriorWithReflections : Pada kasus ini, semua bayangan dari luar ikut dihitung, begitu juga radiasi matahari yang masuk dalam ruangan dihitung seperti pada *MinimalShadowing*.

FullInteriorAndExterior,

FullInteriorAndExteriorWithReflection : Pada kasus ini, sama seperti *FullExterior* kecuali pada sinar yang masuk ke zone tidak hanya diserap oleh lantai, namun juga dipantulkan dan

Universitas Indonesia

diserap oleh dinding, dan benda-benda yang ada di dalam ruangan.

d. *SurfaceConvectionAlgorithm:inside*

- *SimpleCombined : constant value natural convection (ASHRAE)*
Algoritma ini menggunakan kekasaran permukaan dan kecepatan angin lokal untuk menghitung *koefisien exterior heat transfer*. Persamaan dasar yang digunakan adalah :

$$h = D + EV_z + FV_z^2 \quad (2.1)[5]$$

Dimana,

h = koefisien perpindahan panas

V_z = kecepatan angin lokal yang dihitung pada ketinggian diatas tanah.

D,E,F = koefisien kekasaran material.

- *TARP : variable natural convection based on temperature difference (ASHRAE, Walton)*

TARP, atau *Thermal Analisis Program*, merupakan pendahulu penting *EnergyPlus* (Walton 1983). 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 : dynamic selection of convection models based on conditions.*

Algoritma ini memiliki struktur yang memungkinkan kontrol yang lebih baik atas model yang digunakan untuk permukaan tertentu. Algoritma untuk permukaan luar dikembangkan untuk

EnergyPlus tapi meminjam konsep dan nama dari penelitian yang dilakukan oleh Beausoleil-Morrison (2000, 2002) untuk konveksi pada permukaan dalam.

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 dan memiliki bentuk persamaan :

$$h_c = \sqrt{\left[C_t (\Delta T)^{\frac{1}{3}} \right]^2 + [aV_z^b]^2} \quad (2.2)[5]$$

Tabel 2.7 *Nomenclature List Of Variable MoWiTT*

Variable	Description	Units	Range
A	Constant	W/(m ² K(m/s) ^b)	-
B	Constant	-	-
C _t	Turbulent natural convection constant	W/(m ² K ^{4/3})	-
h _c	Surface exterior convective heat transfer coefficient	W/(m ² K)	-
T _{so}	Outside surface temperature	°C/K	-
ΔT	Temperature difference between the surface and air	°C/K	-

Tabel 2.8 *MoWiTT Coefficient* (Yazdian and Klems 1994)[5]

Wind Direction	Ct	a	b
Unit	$W/m^2K^{4/3}$	$W/m^2K(m/s)^b$	-
Windward	0.84	2.38	0.89
Leeward	0.84	2.86	0.617

- *DOE-2* : correlation from measurements by Klems and Yazdian for rough surfaces.

Model konveksi DOE-2 merupakan kombinasi dari MoWiTT dan model konveksi BLAST (LBL 1994). Koefisien konveksi permukaan sangat halus (misalnya kaca) dihitung sebagai:

$$h_{c,glass} = \sqrt{h_n^2 + [aV_z^b]^2} \quad (2.3)[5]$$

Tabel 2.9 *Nomenclature list of Variable*[5]

Variable	Description	Unit	Range
A	Constan	$W/m^2K(m/s)^b$	-
B	Constan	-	-
Hc	Surface exterior convective heat transfer coefficient	$W/(m^2K)$	-
$h_{c,glass}$	Convective heat transfer coefficient for very smooth surface (glass)	$W/(m^2K)$	-
H_n	Natural convective heat transfer coefficient	$W/(m^2K)$	-
R_f	Surface roughness multiplier	-	-
T_{so}	Outside surface temperature	$^{\circ}C/K$	-
ΔT	Temperature difference between the surface and	$^{\circ}C/K$	-

	<i>air</i>		
\emptyset	<i>Angle between the ground outward normal and the surface outward normal</i>	radian	-

- *AdaptiveConvectionAlgorithm* = *dynamic selection of correlations based on condition*

f. *HeatBalanceAlgorithm*

- *CTF (Conduction Transfer Functions),*
- *EMPD (Effective Moisture Penetration Depth with Conduction Transfer Functions).*
- *Advanced/Research Usage: CondFD (Conduction Finite Difference)*
- *Advanced/Research Usage: Conduction Finite Difference 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*

Grup ini 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 *ground* (tanah) tempat lokasi bangunan.

a. *Location*

Berisi parameter-parameter seperti :

- *Name* : Nama Lokasi
- *Latitude* : Letak pada Garis Lintang
- *Longitude* : Letak pada Garis Bujur
- *Time Zone* : Zona waktu terhadap GMT
- *Elevation* : Tinggi daerah dari permukaan laut

b. *SizingPeriod:DesignDay*

Parameter ini menggambarkan parameter yang mempengaruhi simulasi “*design day*”. 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. Temperatur tanah dapat kita peroleh dengan menggunakan *Slab Processor* atau *Basement Processor* yang ada pada *software EnergyPlus*.

- *Group Schedules*

Grup ini 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 objek ini menggambarkan sifat fisik dan konfigurasi untuk selubung bangunan dan elemen interiornya. 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 di deskripsikan tentang karakteristik material – material yang akan digunakan untuk membangun gedung / bangunan, yaitu material untuk konstruksi dinding, konstruksi atap, konstruksi lantai, konstruksi jendela dan juga pintu.

a. *Material*

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

b. *Material:AirGap*

Objek ini 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:Gas*

Parameter ini berisi propertis dari gas yang digunakan pada jendela atau pintu kaca.

d. *Construction*

Parameter ini 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 objek 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. *Zone*

Parameter ini berisikan deskripsi Zone yang sudah kita buat. Dengan menggunakan *software* Google SketchUp, maka membuat zone akan lebih mudah.

b. *BuildingSurface:Detailed*

Objek ini berisi tentang deskripsi detail dari permukaan bangunan yang kita buat.

c. *FenestrationSurface:Detailed*

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

d. *Shading:Building:Detailed*

Objek ini 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 di pengaruhi oleh kondisi kamar dan selubung bangunan, tetapi juga sangat dipengaruhi oleh beban internal seperti orang, lampu, dan juga berbagai peralatan.

a. *People*

Parameter *people* berisi deskripsi zone yang berisi orang, jumlah orang, dan aktivitas orang.

b. *Lights*

Objek ini berisi tentang penggunaan lampu dalam gedung. Pada parameter ini berisikan besarnya daya lampu yang digunakan tiap zone, *shchedule* lampu dan *fraction-fraction* yang mempengaruhi perhitungan beban.

c. *ElectricEquipment*

Objek ini berisi tentang penggunaan alat-alat elektronik pada gedung, misalnya komputer, printer, alat-alat laboratoridum dll. Pada parameter ini berisikan besarnya daya alat elektronik yang digunakan tiap zone, *shchedule* alat dan *fraction-fraction* yang mempengaruhi perhitungan beban.

- *Group Airflow*

1. *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*

HVAC Template merupakan strategi khusus bagi pengguna untuk menspesifikasikan sistem HVAC yang akan digunakan, caranya adalah dengan melakukan runing simulasi menggunakan template ini, kemudian buka *file .expidf* nya, lalu modifikasi objek objek 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 *input* nama *file*.

Berikut ini adalah beberapa kombinasi dari HVAC Template yang digunakan :

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

HVACTemplate:Thermostat

HVACTemplate:Zone:IdealLoadAirSystem

b. *Packaged terminal air conditioner (PTAC)*

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

HVACTemplate:Thermostat

HVACTemplate:Zone:Unitary

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 Unit System with Boilers and Chiller*

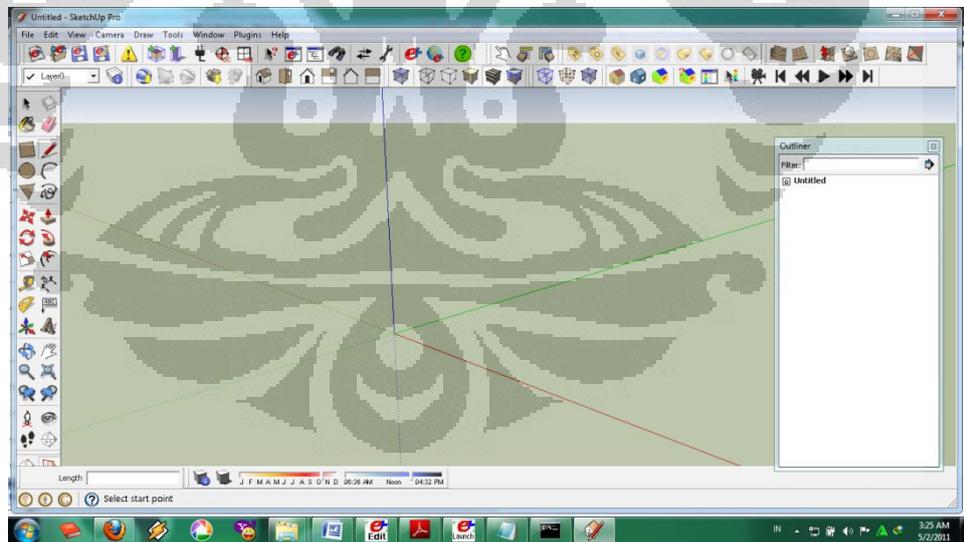
- *Group – Reports*

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

- a. *Variable Dictionary Report*
- b. *Output:Surface:List*
- c. *Output:Surface:Drawing*
- d. *Output:Variable*
- e. *Output:Meter*
- f. *Output:MeterFileOnly*
- g. *Output:SQLite*
- h. *Output:Diagnostiscs*

2.4 Google SketchUp

Google Sketchup merupakan salah satu program integrasi *EnergyPlus* yang digunakan untuk membuat bentuk geometri suatu bangunan. Dengan bantuan *software* ini kita dapat dengan mudah membentuk zona – zona pada suatu bangunan beserta permukaan (*surfaces*) dan juga fenestrasi (jendela, pintu). *Software* ini dapat di unduh secara gratis dari internet. Gambar penampang Google SketchUp seperti pada Gambar 2.8.



Gambar 2.8 Layar Google Sketchup 7

2.5 Sistem Tata Udara Pada Bangunan

Sistem pengkondisian udara (*Air Conditioning*) yang modern pertama kali dibuat pada tahun 1902 oleh seorang insinyur Amerika dengan nama Willis Carrier. Alat tersebut pada waktu itu disebut "*Apparatus for Treating Air*" dan dibangun untuk Lithographing Sackett-Wilhelms dan Publishing Co di Brooklyn, New York. *Chilled coils* digunakan dalam mesin untuk mendinginkan udara dan menurunkan kelembaban udara menjadi 55%. Alat dibuat dengan presisi yang cukup sehingga tingkat kelembaban yang diinginkan sudah dapat disesuaikan[6].

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 dari pusat plant (*central plant*) atau unit atap. Tujuan sistem pengkondisian udara adalah mengontrol dan mempertahankan suhu, 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. [7]

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

Adapun tingkat kenyamanan termal untuk kondisi *summer* (panas) berdasarkan Standar ANSI/ASHRAE Standars 55-2004 : *Thermal Environmental Conditons For Humans Occupancy* adalah berada pada interval 73° F - 79° F dengan tingkat kelembaban (*relatife 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

Universitas Indonesia

temperatur udara lingkungan dan temperatur *mean radiant* nya [16]. 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 2.10 Standar temperatur dan RH kondisi nyaman[16]

	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	30–60
Commercial and public buildings	20–60
Health care buildings	30–60

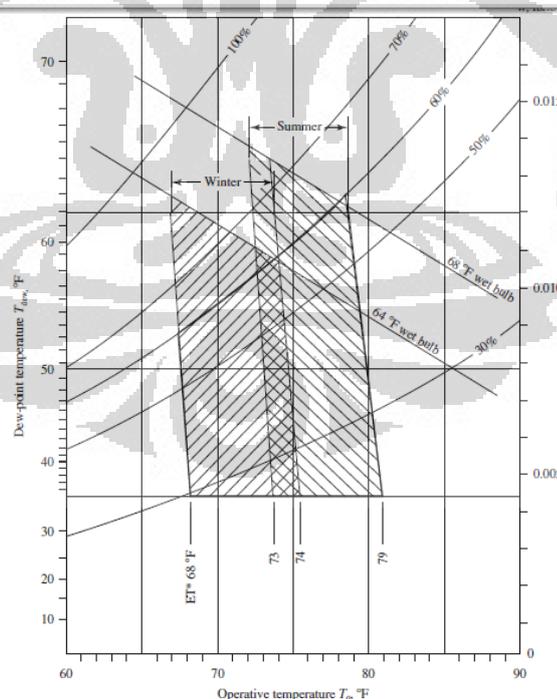


FIGURE 4.6 ASHRAE comfort zones. (Adapted with permission from ANSI/ASHRAE Standard, 55–1992.)

Gambar 2.9 Grafik zona kenyamanan berdasarkan ANSI/ASHRAE Standars 55-2004[16]

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 di kondisikan (didinginkan) dan “s” merupakan titik udara masukan (*supply* udara) 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.

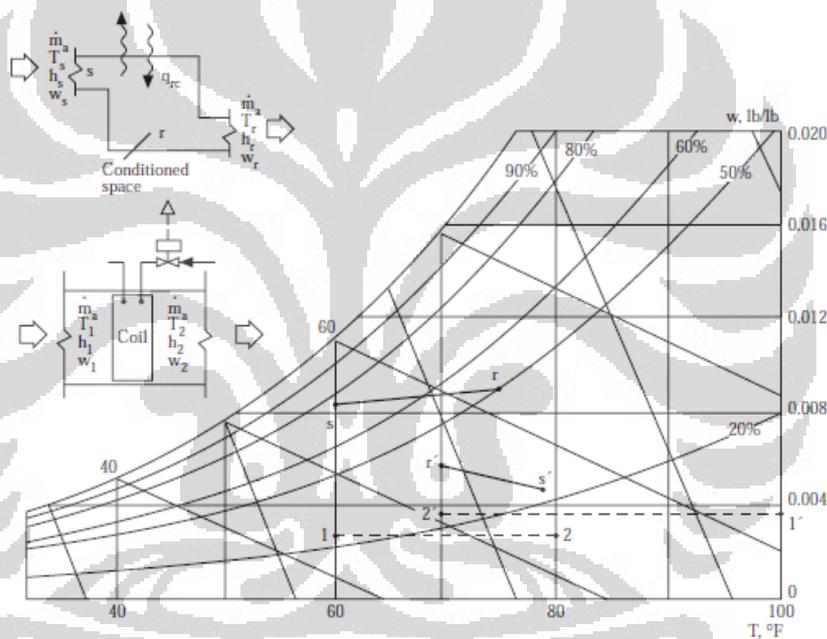


FIGURE 9.3.1 Supply conditioning, sensible heating, and sensible cooling processes.

Gambar 2.10 Diagram psikometrik proses pendinginan udara ruangan.

Ada beberapa jenis sistem pengkondisian udara, diantaranya adalah yang akan dilakukan simulasi menggunakan *EnergyPlus* yaitu : *Fan Coil Unit* dan *PTAC(Package Terminal Air Conditioner)*.

2.5.1 *Fan Coil Unit (FCU)*

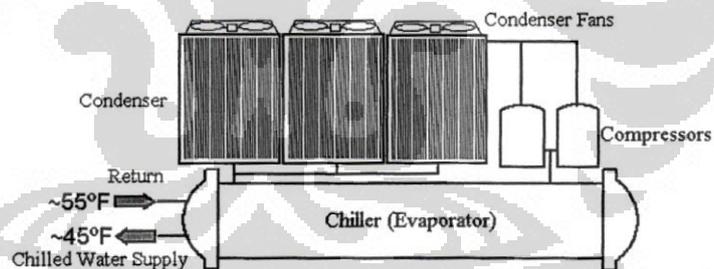
Sistem pengkondisian udara dengan menggunakan *Fan Coil Unit* yang tergolong dalam *Chilled Water System*, membutuhkan komponen

utama yaitu *fan*, *cooling coil*, kadang juga dipasang *heating coil* dan *chiller*. Penggunaan sistem pengkondisian udara dengan menggunakan *chiller* biasanya pada bangunan dengan ukuran menengah dan besar.[8]

A. Chiller

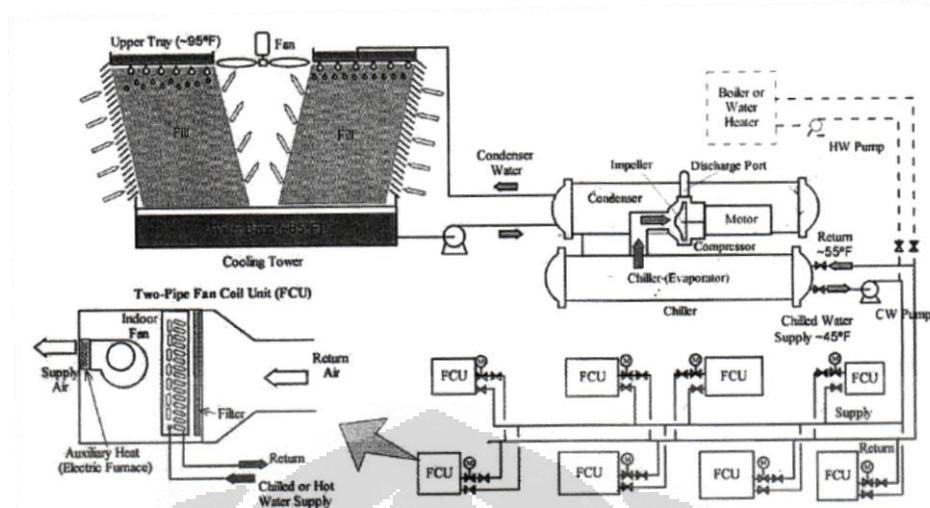
Chiller merupakan sebuah kompresor, bisa berupa kompresor *scroll*, *reciprocating*, *screw* atau *centrifugal* yang mempunyai “*water to refrigerant evaporator*”. *Chiller* dengan *water to refrigerant condenser* diklasifikasikan ke dalam *water cooled*. Sering kali *condenser water* didinginkan dengan *cooling tower*.

Tipe *chiller* berikutnya adalah *air-cooled chillers* dengan *air-to-refrigerant condenser* seperti pada Gambar 2.11. Kelemahan dari sistem ini adalah efisiensi operasi yang rendah dari pada *water cooled* pada saat cuaca panas. Sedangkan kelebihan sistem *air cooled* adalah *maintenance* yang lebih mudah dan lebih sedikit. Tipe *air cooled* biasa digunakan pada bangunan komersial ukuran sedang.



Gambar 2.11 Chiller (air cooled)[8]

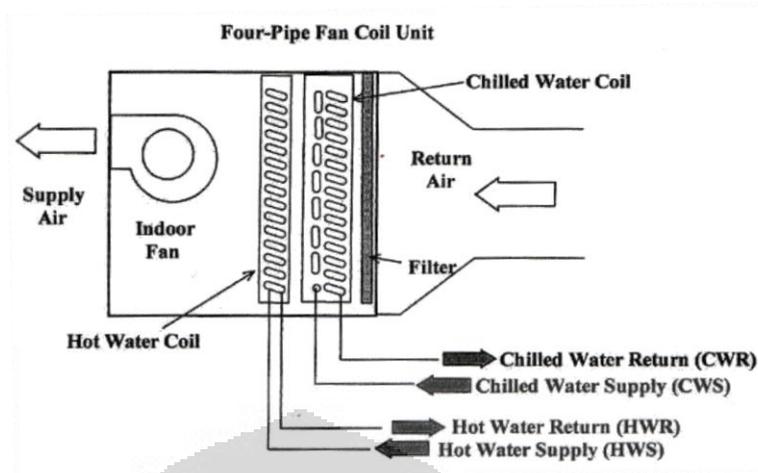
Gambar Skema sistem tata udara dengan *Fan Coil Unit* ada pada gambar 2.12 dibawah ini.



Gambar 2.12 Skema sistem tata udara dengan *Fan Coil Unit*[8]

Gambar diatas menunjukkan sistem *Fan Coil Unit* dengan dua pipa sebagai cooled water atau hot water. Pipa pertama sebagai *chilled* atau *water supply*, sedangkan pipa kedua sebagai *return pipe*. Pada aplikasi dengan *heating* load yang kecil, dapat digunakan elektronik coil pada kabinet untuk pemanas udara. Namun, untuk untuk beban pemanasan yang tinggi misalnya pada musim dingin, maka *Fan Coil Unit* dengan dua pipa biasanya di *switch* dari *chilled water* menjadi *hot water* yang diproduksi dari *boiler* atau pemanas air dengan bahan bakar fosil. Kelemahan dengan sistem *switch* ini adalah pada saat musim semi atau gugur dimana saat itu pemanasan ruangan diperlukan pada beberapa zone, sedangkan pendinginan tetap diperlukan pada zon-zon lainnya.

Sistem pengkondisian udara *Fan Coil Unit* dengan empat pipa seperti gambar dibawah ini.



Gambar 2.13 Sistem *Fan Coil Unit* dengan empat pipa[8]

Pada *chilled water system*, terdapat dua macam aliran air yang digunakan. Aliran air yang pertama adalah “*direct return*”. Skema aliran *direct return* ada pada gambar 2.12 diatas. Dengan sistem aliran *direct return*, maka FCU yang terletak paling jauh dari *chiller* akan cenderung untuk mendapatkan aliran air yang lebih sedikit daripada FCU yang dekat dengan *chiller*. Dengan demikian, kita harus melakukan *testing and balancing* (TAB) untuk *throttle balancing* atau kita dapat menggunakan katup kontrol aliran yang otomatis pada unit yang dekat dengan *chiller* untuk memastikan FCU yang lebih jauh dari *chiller* mendapatkan aliran air yang cukup.

B. *Cooling tower*

Cooling tower pada sistem pengkondisian udara *Fan Coil Unit* digunakan untuk mendinginkan air kondenser. Suhu air yang didinginkan bisa turun sebesar 5 °F sampai 10°F terhadap *wet-bulb temperature* karena kecepatan air yang tinggi menginduksi kecepatan laju evaporasi dari luas permukaan yang besar yang diciptakan oleh butiran-butiran air yang kecil.

Cooling tower sangat efektif untuk mendinginkan air kondenser, namun demikian, *cooling tower* membutuhkan maintenance yang serius untuk mencegah terjadinya legionella dan masalah kualitas air lainnya.

2.5.2 Packaged terminal air conditioner (PTAC)

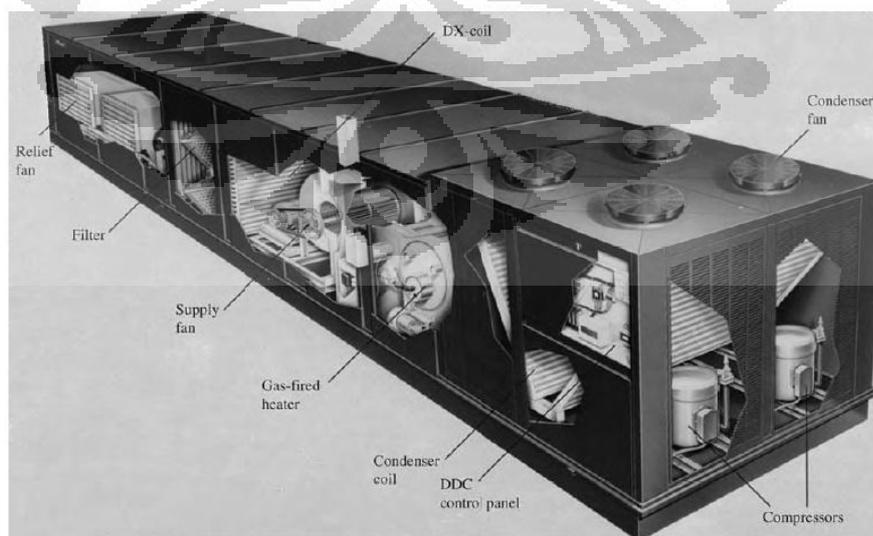
PTAC merupakan salah satu jenis alat pengkondisian udara yang berupa satu kesatuan unit. PTAC tidak hanya mengkondisikan udara untuk pendinginan, namun juga dapat memberikan pemanasan ruangan dengan gas ataupun dengan listrik.

Sebuah *Packaged unit* selalu dilengkapi dengan *DX coil* untuk pendinginan. *Packaged unit* biasanya sudah dalam satu paket langsung dari pabrik, sehingga kita tidak perlu memilih komponen-komponen lain dalam sistem tersebut.

Packaged unit dapat berupa satu kesatuan tertutup, atau dibagi menjadi dua kesatuan, yaitu *air handler* bagian dalam dan *condensing unit* pada bagian luar. Selain itu *packaged unit* dapat juga berupa *packaged heat pump*. Pada *heat pump* komponen-komponennya adalah *fan*, *DX coil*, *filter*, kompresor, kondenser, katup ekspansi dan kontrol, serta katup 4 jalur untuk merubah arah aliran refrigeran.

A. Rooftop packaged unit

Rooftop packaged unit dipasang diatas atap dari ruangan yang dikondisikan. Sistem ini biasanya diselubungi dengan *casing* yang tahan air. Gambar penampang *rooftop packaged unit* seperti tampak pada gambar 2.14 dibawah ini :



Gambar 2.14 sistem *Rooftop Packaged Unit*[4]

Berdasarkan tipe sumber pendinginan dan pemanasan, *rooftop packaged unit* dibagi menjadi :

1. *Gas/electric rooftop packaged unit*. Pemanasan dengan menggunakan tungku gas, sedangkan pendinginan menggunakan kompresor elektrik tipe *reciprocating* atau *scroll*.
2. *Electric/electric rooftop packaged unit*. Pemanasan dengan menggunakan listrik dan pendinginan menggunakan kompresor elektrik tipe *scroll* atau *reciprocating*.
3. *Rooftop packaged heat pump*. Pemanasan dan pendinginan dengan menggunakan heat pump, dengan tambahan pemanas elektrik jika diperlukan.

Rooftop packaged unit memiliki kapasitas pendinginan dari 3 sampai 220 tons (10 sampai 774 kW) dan suplai volume udara mencapai 1200 cfm sampai 80000 cfm. *Rooftop packaged unit* terdiri dari komponen-komponen :

1. Curb/ pemegang

Komponen ini berfungsi untuk memegang dan mensupport unit. *Curb* sering dibuat dengan baja galvanis atau baja paduan dengan aluminium.

2. DX coil

DX coil biasanya terdiri dari 2,3, dan 4 baris dengan jarak fin 12-17 fins/in. Untuk unit yang besar, 2 sirkuit refrigeran yang terpisah dengan *coilnya* sendiri, dan dihubungkan dengan katup ekspansi sering digunakan untuk mendapatkan kontrol kapasitas yang lebih baik.

3. Supply, Return, and Relief or Exhaust Fan

Untuk *rooftop packaged unit* yang memiliki kapasitas pendinginan 10 tons (35 kW) atau kurang, sering hanya ada satu suplai *fan* bagian dalam. Untuk *rooftop packaged unit* yang memiliki kapasitas pendinginan antara 15-30 tons (53-105 kW), ada suplai *fan* dan *exhaust fan*. Beberapa pabrik *rooftop packaged unit* menawarkan

supply fan dan *return fan* untuk unit yang memiliki kapasitas pendinginan 60 tons (210 kW) atau lebih.

Supply dan *return fans* di *rooftop packaged unit* biasanya berupa *belt-driven*. Untuk setiap ton pendinginan (3,5 kW) dari kapasitas pendinginan, *rooftop unit* biasanya memiliki laju aliran volume suplai sebesar 350-450 cfm / ton (47 sampai 60 L /s.kW). Namun kecepatan *supply fan* dan *return fan* dapat bervariasi untuk menyediakan berbagai laju aliran volume dan tekanan total *fan* untuk model dan ukuran tertentu. Sebagian besar *rooftop packaged unit* dapat memvariasikan volume laju aliran suplai pada kisaran antara 200 dan 500 cfm / ton (27 dan 67 L /s. kW). Total tekanan statis *fan* maksimal 6-in. (1500 Pa) atau tekanan eksternal sebesar 4-in. (1000-Pa) dapat diberikan oleh suplai *fan* pada *rooftop packaged unit* dengan kapasitas 30 ton (105 kW) atau lebih.

4. *Gas-Fired Furnace and Electric Heating Coil.*

Pembakar gas di *rooftop packaged unit* dari kapasitas pemanasan 40.000 Btu / h (11.720 W) atau lebih besar adalah sumber daya pembakaran dari tipe pembakaran induksi. Sebuah *blower sentrifugal* digunakan untuk mengekstrak udara hasil pembakaran dan hasil pembakaran lainnya menuju ventilasi.

5. *Humidifier*

Humidifier adalah opsional. *Packaged unit* dalam untuk ruang komputer dan sistem pengolahan data sering dipasang dengan *humidifier* uap atau elemen pemanas pada posisi antara bagian kumparan dan suplai *fan*. Seperti dalam AHU, *input* dari bagian luar *rooftop unit* harus terlindung dari pengaruh angin dan terletak sejauh mungkin dari sumber udara yang terkontaminasi, dan bagian bawah dari *louvers* harus dipasang sekurang-kurangnya 3 ft (0,9 m) dari atap.

6. *Compressor*

Kompresor *reciprocating* semihermetic dan hermetic serta kompresor *scroll* sering digunakan. Kompresor *scroll* lebih efisien dalam pemakaian energi daripada *reciprocating* kompresor karena

kompressor *scroll* membutuhkan part yang lebih sedikit dan lebih tenang. Untuk *rooftop unit* ukuran sedang dan besar, dua, tiga, atau empat kompresor dengan daya yang sama atau kadang-kadang tidak sama banyak digunakan untuk kontrol kapasitas yang lebih baik.

7. *Condensers*

Kondenser yang digunakan adalah berupa tabung tembaga 10 mm dan sirip aluminium dengan banyak baris yang didinginkan dengan udara.

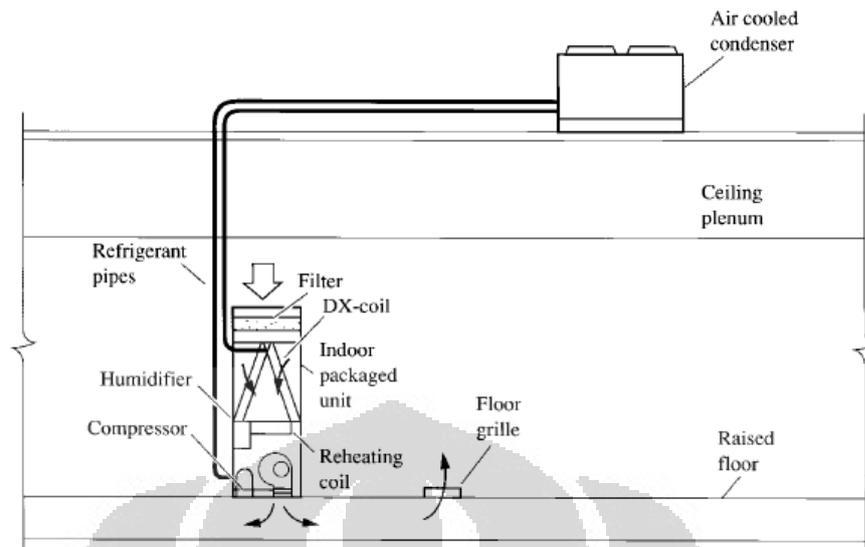
B. *Indoor Packaged unit*

Packaged unit dalam ruangan juga merupakan satuan paket alat yang dibuat di pabrik. Unit ini biasanya dipasang dalam ruangan di bagian ruangan kipas atau ruang mesin, seperti terlihat pada gambar 2.15. Unit berkapasitas kecil atau menengah dipasang langsung di dalam ruang ber-AC dengan atau tanpa membutuhkan saluran udara yang terhubung, seperti *indoor packaged unit* di ruang komputer. Kapasitas pendinginan dari *indoor packaged unit* dapat bervariasi 3-100 ton (10-350 kW), dan pasokan volume dari 1200 sampai 40.000 cfm (565 sampai 18.880 L/s).

Indoor packaged unit dapat diklasifikasikan menjadi :

1. *Indoor packaged cooling unit*. Khusus untuk tujuan *cooling* saja.
2. *Indoor packaged heating/cooling unit*. Bisa untuk *cooling* atau *heating*. *Heating* didapatkan dari *hot water coil*, *steam coil* atau pemanas elektrik.
3. *Indoor packaged heat pump*.

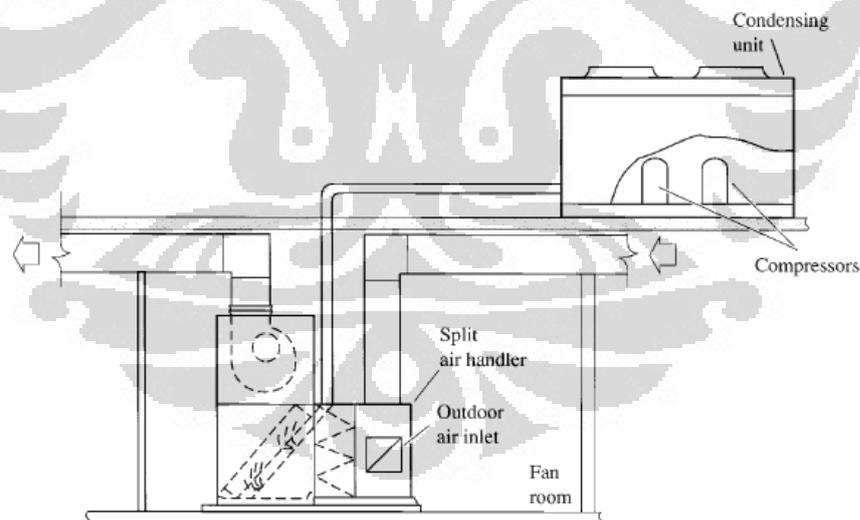
Pada *Indoor packaged unit*, biasanya hanya ada satu *fan* dipasang pada unit-unit kecil. Untuk unit yang besar, ada tambahan *return fan* untuk mengekstrak udara dari ruang yang dikondisikan melalui saluran kembali.



Gambar 2.15 Indoor packaged unit[4]

C. Split Packaged unit

Split packaged unit kadang-kadang disebut sistem *split*, dibagi menjadi *handler udara indoor* dan unit kondensasi *outdoor*. Sistem ini dapat dipasang di luar ruangan, di atap, di podium, atau di beberapa tempat lain yang berdekatan, seperti yang ditunjukkan pada Gambar. 2.16.



Gambar 2.16 Split packaged unit[4]

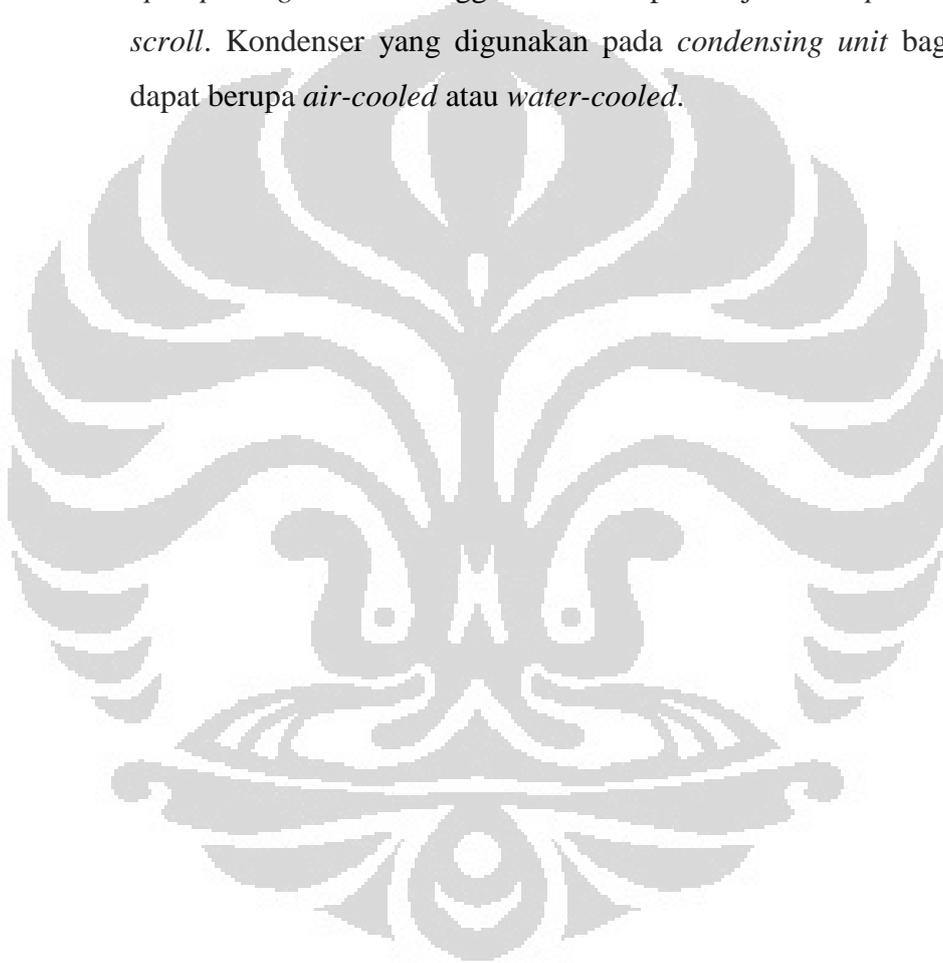
Pengendali udara dalam ruangan dan unit kondensasi diluar dihubungkan dengan pipa refrigeran.

Pengendali udara di *split packaged unit* mirip dengan pengendali udara di *rooftop unit* kecuali pada pengendali udara yang lebih besar di

split packaged unit biasanya dipasang di *fan room*, sedangkan pengendali udara yang kecil dapat dipasang dibawah *ceiling*.

Pengendali udara untuk *split packaged unit* biasanya memiliki kapasitas pendinginan 3-80 ton (10-280 kW), volume pasokan 1200 sampai 32.000 cfm (565 sampai 15.100 L / s), dan tekanan total *fan* maksimum 5.0 in. Untuk unit dengan ukuran medium dan besar tekanannya 1250 Pa.

Split packaged unit menggunakan kompresor jenis *reciprocating* dan *scroll*. Kondenser yang digunakan pada *condensing unit* bagian luar dapat berupa *air-cooled* atau *water-cooled*.



BAB 3

AUDIT ENERGI BANGUNAN DENGAN SIMULASI *ENERGYPLUS*

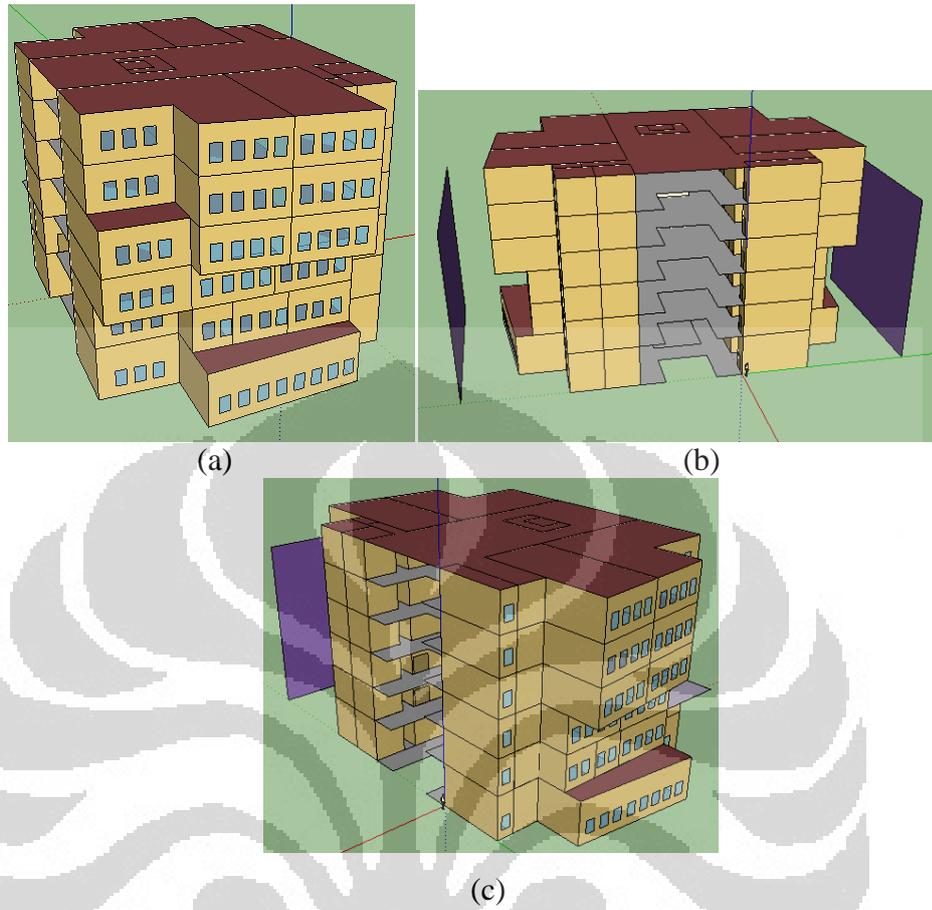
3.1 Deskripsi dan Fasilitas Bangunan

Gedung *Manufacturing research center* FTUI yang akan diaudit memiliki enam lantai. Gedung ini terletak pada $6^{\circ}21'46.53''$ Lintang Selatan dan $106^{\circ}49'24.35''$ Bujur Timur (Gambar 3.2). Dari permukaan laut, gedung ini memiliki ketinggian 78 m. Gambar detail mengenai gedung tersebut ada pada beberapa gambar di bawah ini.

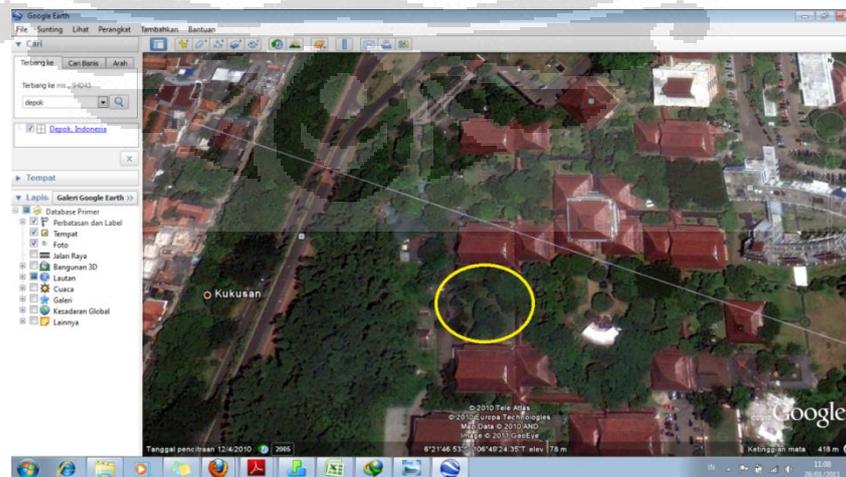


Gambar 3.1 Denah Gedung Manufacturing Research Center FTUI (Site Plan)

Dari gambar denah diatas, kemudian dilakukan penggambaran ulang dengan menggunakan *software* Google SketchUp 7. Gambarnya tampak seperti pada gambar 3.2 dibawah ini.



Gambar 3.2 Gambar 3D gedung *Manufacturing Research Center* menggunakan *Sketchup+OpenStudio* (a) tampak depan serong kanan, (b) tampak depan, (c) tampak belakang serong kiri.



Gambar 3.3 Lokasi Gedung dari *Google Earth*

3.1.1 Pembagian Ruangan Gedung

Gedung *Manufacturing research center* FTUI terdiri dari enam lantai. Tiap lantai terdiri dari beberapa ruangan berdasarkan fungsinya, yang kemudian ditetapkan menjadi sebuah zone. Pembagian fungsi-fungsi ruangan tiap lantai adalah sebagai berikut.

A. Lantai 1

- Janitor dan toilet
- Ruang *loading material*
- Ruang *otomotive, miling dan turning*
- Ruang ME
- Selasar
- Ruang teknisi dan operator
- Ruang *welding workshop*

B. Lantai 2

- Janitor dan toilet
- Ruang laboratorium *advance manufaktur*
- Ruang laboratorium *manufaktur dan otomasi*
- Ruang laboratorium nano dan micro
- Ruang laboratorium
- Ruang laboratorium spectrometer
- Ruang ME
- Ruang kerja dosen, *supervisor* dan administrasi
- Ruang penelitian
- Ruang rapat
- Selasar

C. Lantai 3

- Ruang laboratorium *integrated computasion*
- Janitor dan toilet
- Ruang laboratorium *casting design*
- Ruang laboratorium *rapid precision*
- Ruang mekatronik dan robotik

- Ruang ME
- Ruang multimedia
- Selasar
- Ruang *engineer*

D. Lantai 4

- Ruang laboratorium *dynamic vibration*
- Ruang experiment mekanik
- Janitor dan toilet
- Ruang laboratorium *mechanical design dan biomechanical*
- Ruang ME
- Ruang *researcher*
- Ruang seminar
- Selasar

E. Lantai 5

- Janitor dan toilet
- Ruang laboratorium *air conditioner*
- Ruang laboratorium composite
- Ruang laboratorium *polymer*
- Ruang ME
- Selasar

F. Lantai 6

- Janitor dan toilet
- Ruang laboratorium *heat transfer*
- Ruang laboratorium *solar cell*
- Ruang ME
- Ruang dosen dan *researcher*
- Selasar

3.2 Data dan Parameter Gedung.

Data-data dan parameter gedung *Manufacturing Research Center* FTUI disajikan dalam bentuk terintegrasi dengan *software EnergyPlus*.

1. *Version*

Versi yang digunakan pada penelitian ini adalah *EnergyPlus* versi 6.0

2. *Simulation Control*

- *Do zone sizing calculation* : *Yes*

Input dari parameter ini adalah *yes/no*. *Zone sizing calculation* adalah perhitungan khusus, menggunakan sistem zona teoritis yang ideal, dan menentukan laju aliran dan beban *heating/cooling* pada zona tersebut.

- *Do system sizing calculation* : *Yes*

Input dari parameter ini adalah *yes/no*. *System sizing calculation* adalah melakukan perhitungan khusus yang menyederhanakan/meringkas hasil dari *zone sizing calculation*.

- *Do plant sizing calculation* : *Yes*

Input dari parameter ini adalah *yes/no*. *Plant sizing calculation* adalah perhitungan khusus dimana diambil data yang maksimum dari laju aliran komponen misalnya *coil*. Data laju aliran komponen ini dibuat dan disimpan secara otomatis tanpa kita melakukan perintah *Do zone sizing calculation* atau *System sizing calculation*.

- *Run simulation for sizing periods* : *Yes*

Input dari parameter ini adalah *yes/no*. Simulasi akan dijalankan pada semua yang termasuk dalam objek *SizingPeriod*(*SizingPeriod:DesignDay*, *SizingPeriod:WeatherFileDays*, and *SizingPeriod:WeatherFileType*).

- *Run simulation for Weather file run periods* : *Yes*

Input dari parameter ini adalah *yes/no*. Simulasi akan dijalankan pada semua objek yang termasuk dalam *RunPeriod*.

3. *Building*

- *Name* : *Manufacture Research Center*
- *North Axis* : 270

Universitas Indonesia

- *Terrain* : Suburbs
- *Load Convergence Tolerance Value* : 0,04 (default)
- *Temperature Convergence Tolerance value* : 0,4 (default)
- *Solar distribution* : FullExterior
- 4. ***SurfaceConvectionAlgorithm:Inside*** : ***TARP***
- 5. ***SurfaceConvectionAlgorithm:Outside*** : ***DOE-2***
- 6. ***HeatBalanceAlgorithm*** : ***ConductionTransfer***
- 7. ***ZoneAirHeatBalanceAlgorithm*** : ***ThirdOrderBackward***
- 8. ***TimeStep*** : **6**
- 9. ***Site:Location***
 - Nama lokasi : Depok
 - letak terhadap lintang : -6,395
 - letak terhadap bujur : 106,806
 - zona waktu : +7
 - ketinggian dari laut : 78 m

Data-data diatas, termasuk data keadaan cuaca pada daerah ini di peroleh dengan meminta langsung kepada *EnergyPlus* dengan cara mengirimkan koordinat lintang dan bujur daerah tersebut. Hal ini dikarenakan di dalam simulasi dibutuhkan file khusus untuk kondisi cuaca yang harus di inputkan ke dalam *EP-Launch*.

10. ***SizingPeriod:DesignDay***

DesignDay yang digunakan adalah *DesignDay* dari *Singapore Ann. Cooling 1%* yang tidak jauh berbeda dengan kondisi di Indonesia karena Indonesia tidak mempunyai parameter *DesignDay*. (Djunaedy, Ery).

- *Name* : SINGAPORE
- *Maximum Dry-Bulb Temperature* : 32,8 °C
- *Daily Temperature Range* : 5,5
- *Humidity Indicating Condition at*

Universitas Indonesia

Maximum Dry-Bulb : 25,3
 - *Barometric Pressure* : 101133 Pa
 - *Wind Speed* : 4,1 m/s
 - *Wind Direction* : 30 deg
 - *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*

11. RunPeriod

- *Name* : *periode2011*
 - *Begin Month* : 1
 - *Begin Day of Month* : 1
 - *End Month* : 12
 - *End Day of Month* : 31
 - *Day of Week for Start Day* : *SATURDAY*
 - *Use Weather File Holidays and Special Days* : *Yes*
 - *Use Weather File Daylight Saving Period* : *Yes*
 - *Use Weekend Holiday Rule* : *No*
 - *Use Weather File Rain Indicator* : *Yes*
 - *Use Weather File Snow Indicator* : *No*

12. RunPeriodControl:SpecialDays

Field	Units	Obj1	Obj2	Obj3
Name		New Years Day	tahun baru imlek	Christ
Start Date		January 1	February 15	Dece
Duration	days	1	1	2
Special Day Type		Holiday	Holiday	Holid.

Gambar 3.4 Layar IDF Editor untuk *Special Days*

Special days yang digunakan adalah hari-hari libur nasional yang diambil dari kalender tahun 2011.

13. Site:GroundTemperature:BuildingSurface

Temperatur tanah didapat dengan cara mengurangi temperatur ruangan yang dikondisikan dengan 2. Jadi karena ruangan dikondisikan 24,5°C, maka temperatur tanah selama satu tahun adalah 22,5 °C.

14. ScheduleTypeLimits

Field	Units	Obj1	Obj2	Obj3
Name		Any Number	Fraction	Tempe
Lower Limit Value	varies		0	-60
Upper Limit Value	varies		1	200
Numeric Type			CONTINUOUS	CONTI
Unit Type				

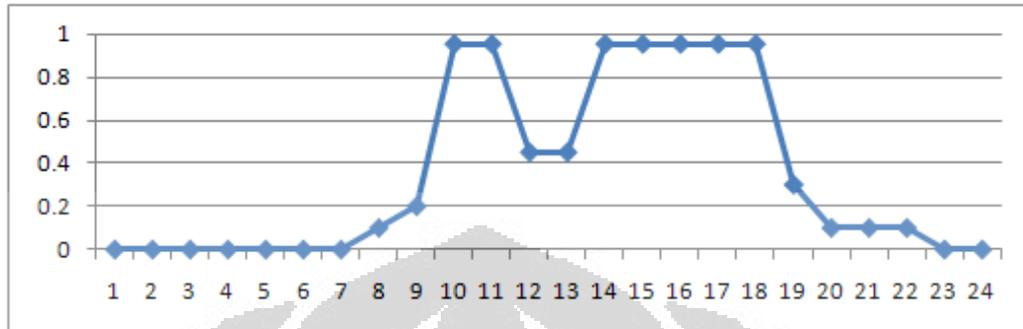
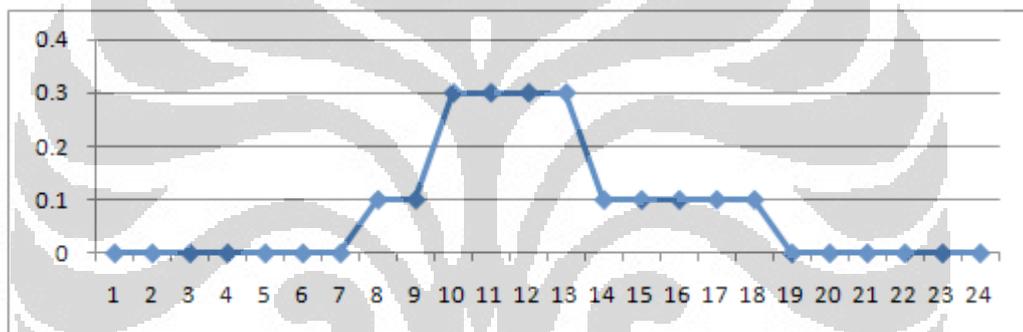
Gambar 3.5 Layar IDF Editor untuk *ScheduleTypeLimits*

15. Schedule:Compact

Field	Units	Obj1	Obj2	Obj3	Obj4
Name		ALWAYS_ON	Htg-SetP-Sch	ActSchd- light work	ActSchd- mo
Schedule Type Limits Name		Fraction	Temperature	Any Number	Any Number
Field 1	varies	Through: 12/31	Through: 12/31	Through: 12/31	Through: 12/
Field 2	varies	For: AllDays	For: AllDays	For: AllDays	For: AllDays
Field 3	varies	Until: 24:00	Until: 24:00	Until: 24:00	Until: 24:00
Field 4	varies	1	0	160	140
Field 5	varies				
Field 6	varies				

Gambar 3.6 Layar IDF Editor untuk *Schedule Compact*

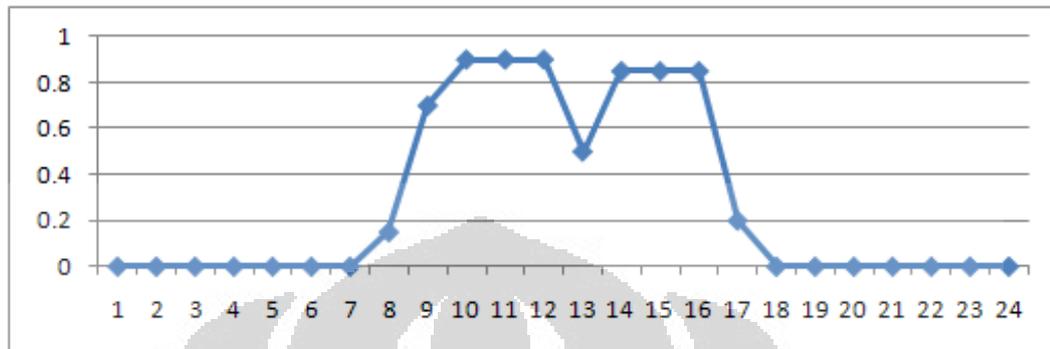
Standar dalam pemilihan occupancy schedule dan activity schedule mengambil dari Revit Autodesk. Sedangkan standar lain seperti *Fan Availability Schedule* diambil dari data set *EnergyPlu*.

↓Occupancy-Office**Office schedule on weekdays****Office schedule on Saturday**

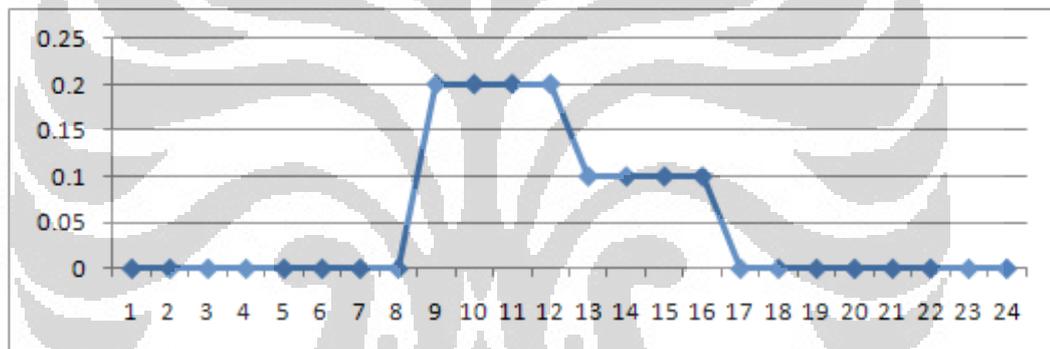
Gambar 3.7 Grafik Office Occupancy Schedule (Revit Autodesk)

↓Occupancy-Warehouse

Warehouse schedule on weekdays



Warehouse schedule on Saturday



Gambar 3.8 Grafik Warehouse Occupancy Schedule (Revit Autodesk)

16. Material

Field	Units	Obj1	Obj2	Obj3	Obj4
Name		F08 Metal surface	I01 25mm insulation	I02 50mm insulation	G01e
Roughness		Smooth	MediumRough	MediumRough	Medi
Thickness	m	0,0008	0,0254	0,0508	0,015
Conductivity	W/m-K	45,28	0,03	0,03	0,16
Density	kg/m3	7824	43	43	800
Specific Heat	J/kg-K	500	1210	1210	1090
Thermal Absorptance					
Solar Absorptance					
Visible Absorptance					

Gambar 3.9 Layar IDF Editor untuk material

Data material didapatkan dari DataSet *Software EnergyPlus*.

17. Material: AirGap

Field	Units	Obj1	Obj2
Name		F04 Wall air space r	F05 Ceiling air spac
Thermal Resistance	m ² -K/W	0,15	0,18

Gambar 3.10 Layar IDF Editor untuk *Material Air Gap*.

Data *material air gap* didapatkan dari Data*Set Software EnergyPlus*.

18. People

Field	Units	Obj1	Obj2	Obj3
Name		people 2a	people 2b	peopl
Zone or ZoneList Name		2-ruangME	2-janitorandtoilet	2-ruar
Number of People Schedule Name		Office Occupancy	Office Occupancy	Office
Number of People Calculation Method		People/Area	People/Area	Peopl
Number of People				
People per Zone Floor Area	person/m ²	0,03	0,1	0,05
Zone Floor Area per Person	m ² /person			
Fraction Radiant		0,3	0,3	0,3
Sensible Heat Fraction				
Activity Level Schedule Name		ActSchd-very light v	ActSchd-very light v	ActSc

Gambar 3.11 Layar IDF Editor untuk *Internal Gain People*

Objek ini termasuk dalam grup internal gain, yaitu sumber-sumber beban dalam gedung.

- *Number of People Schedule Name*

Jadwal kepadatan orang dalam gedung didapatkan dari Revit Autodesk tengang Office and Warehouse Occupancy Schedule (Gambar 3.6 dan 3.7)

- *People per Zone Floor Area*

Kepadatan orang per luas tiap lantai didapatkan dari standard Revit Autodesk (Lampiran 2)

- *Fraction Radiant*

Standar-standar fraction radiant diambil dari Revit Autodesk (Lampiran 2)

- *Activity Level Schedle Name*

Tipe aktivitas orang dalam gedung, kami buat sendiri berdasarkan standar ASHRAE.

Tabel 3.1 Heat Gain People Activity[9]

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		

19. Light

Field	Units	Obj1	Obj2	Obj3
Name		1b	1c	1d
Zone or ZoneList Name		1-weldingworkshop	1-teknisidanoperato	1-janitc
Schedule Name		Warehouse Lighting	Office Lighting	Office
Design Level Calculation Method		Watts/Area	Watts/Area	Watts/
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		0	0	0
End-Use Subcategory		GeneralLights	GeneralLights	Gener
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 3.12 Layar IDF Editor untuk *Internal Gain Lighting*

- *Schedule Name*

Jadwal nyala penerangan pada warehouse kami dapatkan dari standar *software EnergyPlus*

- *Watts per Zone Floor Area*

Besarnya daya lampu per area ruangan untuk tiap-tiap tipe ruangan, seperti warehouse, office, selasar, kami dapatkan dari Revit Autodesk (Lampiran 1)

- *Return Air Fraction* : 0

- *Fraction Radiant* : 0,72

- *Fraction Visible* : 0,18

- *Fraction Replaceable* : 1

Keempat parameter diatas didapatkan dari tabel dibawah ini.

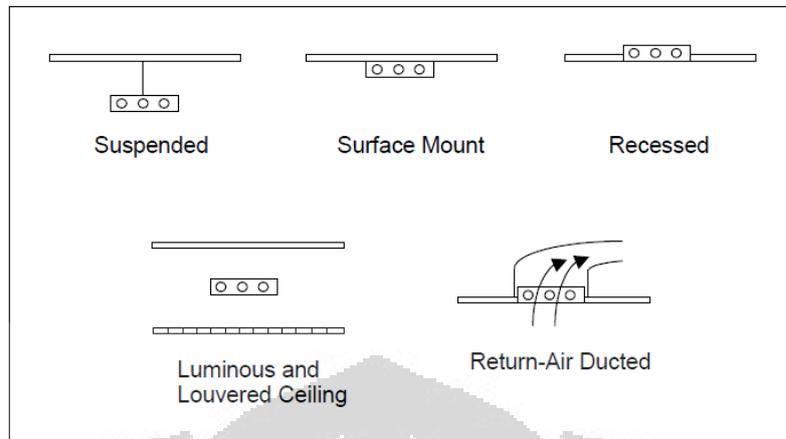


Figure 41. Overhead fluorescent luminaire configurations.

Gambar 3.13 Overhead Fluorescent Luminaire Configuration[5]

Dari tabel diatas, penerangan yang digunakan di gedung *Manufacturing Research Center* diasumsikan berupa *Surface Mount*, sehingga berdasarkan tabel dibawah ini, maka didapatkan nilai-nilai tersebut.

Tabel 3.2 Luninare Configuration, Fluorescent Lighting[5]

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

20. Electric Equipment

Field	Units	Obj1	Obj2	Obj3
Name		1b	1c	1d
Zone or ZoneList Name		1-weldingworkshop	1-teknisidanoperato	1-janitor
Schedule Name		EQUIP-1	EQUIP-1	EQUIP-1
Design Level Calculation Method		Watts/Area	Watts/Area	Watts/A
Design Level	W			
Watts per Zone Floor Area	W/m2	10,75	16,12	3,225
Watts per Person	W/person			
Fraction Latent				
Fraction Radiant		0,5	0,3	0,5
Fraction Lost				
End-Use Subcategory		General	General	General

Gambar 3.14 Layar IDF Editor untuk *Electric Equipment*

Universitas Indonesia

- *Schedule Name*

Jadwal penggunaan peralatan pada gedung ini didapatkan dari standar pada *Software EnergyPlus*.

- *Watts per Zone Floor Area*

Besarnya watt per zone floor area tergantung pada kegunaan ruangan/zone. Data-data besarnya densitas daya peralatan listrik tiap zone didapatkan dari Revit Autodesk (Lampiran 1) yang mengacu pada standar ASHRAE

Peralatan listrik yaitu Lift, besar dayanya 5000 W, didapatkan dari konsultasi ke dosen.

Peralatan listrik pompa air, dibagi menjadi dua pompa, yaitu pompa air untuk suplai air gedung (toilet dan perlengkapan dapur) dan pompa air untuk suplai air laboratorium. Pompa yang dibutuhkan dua buah dengan daya pompa masing-masing 500W. Perhitungan pompa ada pada lampiran 1.

- *Fraction Radiant*

Data-data besarnya Fraction Radiant peralatan listrik tiap zone didapatkan dari Revit Autodesk (Lampiran 2).

21. Zone Infiltration Design Flow Rate

Field	Units	Obj1	Obj2	Obj3
Name		infiltrasi 1h	infiltrasi 1a	infiltrasi
Zone or ZoneList Name		1-lift	1-ruangME	1-weld
Schedule Name		INFIL-SCH	INFIL-SCH	INFIL-SCH
Design Flow Rate Calculation Method		Flow/Area	Flow/Area	Flow/Area
Design Flow Rate	m ³ /s			
Flow per Zone Floor Area	m ³ /s-m ²	0,0001919	0,0001919	0,0001
Flow per Exterior Surface Area	m ³ /s-m ²			
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 3.15 Layar IDF Editor untuk *Zone Infiltration*

Besarnya nilai dari infiltration didapatkan dari Revit Autodesk (Lampiran 2)

22. Zone Ventilation: Design Flow Rate

Field	Units	Obj1	Obj2	Obj3
Name		ventilasi1	ventilasi2	ventilasi3
Zone or ZoneList Name		1-janitorantoilet	2-janitorantoilet	3-janitorde
Schedule Name		ALWAYS_ON	ALWAYS_ON	ALWAYS_
Design Flow Rate Calculation Method		AirChanges/Hour	AirChanges/Hour	AirChange
Design Flow Rate	m3/s			
Flow Rate per Zone Floor Area	m3/s-m2			
Flow Rate per Person	m3/s-person			
Air Changes per Hour		10	10	10
Ventilation Type		Exhaust	Exhaust	Exhaust
Fan Pressure Rise	Pa			
Fan Total Efficiency		1	1	1
Constant Term Coefficient		1	1	1
Temperature Term Coefficient				
Velocity Term Coefficient				
Velocity Squared Term Coefficient				
Minimum Indoor Temperature	C	-100	-100	-100
Minimum Indoor Temperature Schedule Name				
Maximum Indoor Temperature	C	100	100	100
Maximum Indoor Temperature Schedule Name				

Gambar 3.16 Layar IDF Editor untuk Ventilasi

- *Zone or ZoneList Name*

Beberapa zone yang dipasang ventilasi yaitu : janitor dan toilet, welding workshop, loading material, dan lift.

- *Schedule Name*

Schedule yang digunakan ada dua macam yaitu ALWAYS_ON dan EQUIP-1. ALWAYS_ON digunakan pada ventilasi di zone janitor dan toilet. Sedangkan EQUIP_1 digunakan pada zone lift.

- *Air Changes per Hour*

Data-data air changers per hour didapatkan dari ASHRAE dan SNI.

Tabel 3.3 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 3.4 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

- *Ventilation Type*

Tipe ventilasi ada yang berupa ventilasi normal dan exhaust

23. *HVACTemplate:Thermostat*

Objek ini memungkinkan setpoint ditentukan baik sebagai konstan untuk simulasi seluruh atau sebagai jadwal. Jadwal harus didefinisikan di tempat lain di IDF tersebut. Objek ini dapat diabaikan dan pengguna dapat menentukan zona kontrol termostat langsung menggunakan obyek standar *EnergyPlus* (ZoneControl: Thermostat dan obyek terkait)

- *Name* : *single thermostat*
- *Heating Setpoint Schedule Name* : *Htg-SetP-Sch*
- *Cooling Setpoint Schedule Name* : *Clg-SetP-Sch*

24. *HVACTemplate:Zone:IdealLoadsAirSystem*

Objek ini menyediakan sebuah sistem ideal untuk suplai AC ke zona yang memenuhi semua persyaratan beban dan tidak mengkonsumsi energi. Hal ini sering digunakan untuk perhitungan beban, evaluasi dimana komponen-komponen beban bangunan semua yang sedang

diselidiki, atau sebagai langkah pertama untuk model yang lebih realistis dari sebuah bangunan.

Field	Units	Obj1	Obj2	Obj3
Zone Name		1-teknisidanoperato	1-otomotivdanmiling	2-ruar
Template Thermostat Name		single termostat	single termostat	single

Gambar 3.17 Layar IDF Editor untuk HVAC *IdealLoadAirSystem*

- *Name*

Hampir semua zone dikondisikan, kecuali selasar, janitor dan toilet, welding workshop, lift dan ruang loading material.

25. *HVACTemplate:Zone:FanCoil*

Objek ini mensimulasikan 4 unit pipa *fan coil* dengan koil pemanas air panas, *coil* air dingin untuk pendingin, dan mixer udara luar. *Coil* didukung langsung oleh *HVACTemplate: Plant: ChilledWaterLoop* dan *HVACTemplate: Plant: HotWaterLoop*. *HVACTemplate: Sistem objek* tidak diperlukan.

Field	Units	Obj1	Obj2	Obj3
Zone Name		1-teknisidanoperato	1-otomotivdanmiling	2-ruangpe
Template Thermostat Name		single termostat	single termostat	single terr
Supply Air Maximum Flow Rate	m3/s	autosize	autosize	autosize
Zone Heating Sizing Factor				
Zone Cooling Sizing Factor				
Outdoor Air Method		flow/person	flow/person	flow/pers
Outdoor Air Flow Rate per Person	m3/s	0,00944	0,00944	0,00944
Outdoor Air Flow Rate per Zone Floor Area	m3/s-m2	0	0	0
Outdoor Air Flow Rate per Zone	m3/s	0	0	0
System Availability Schedule Name		FanAvailSched	FanAvailSched	FanAvailS
Supply Fan Total Efficiency		0,7	0,7	0,7
Supply Fan Delta Pressure	Pa	75	75	75
Supply Fan Motor Efficiency		0,9	0,9	0,9
Supply Fan Motor in Air Stream Fraction		1	1	1
Cooling Coil Type		ChilledWater	ChilledWater	ChilledW
Cooling Coil Availability Schedule Name				
Cooling Coil Design Setpoint	C	12,5	12,5	12,5

Gambar 3.18 Layar IDF Editor untuk HVAC *Fan Coil Unit*

- *Zone Name*

Dalam simulasi ini tidak semua zone yang dikondisikan. Zone-zone yang tidak dikondisikan yaitu selasar, toilet, welding workshop dan loading material.

26. *HVACTemplate:Plant:ChilledWaterLoop*

Sistem perpipaan yang menghubungkan kumparan air dingin di obyek HVAC template dengan chillers dan menara pendingin (jika ada) dijelaskan dengan objek ini. Sistem perpipaan disebut loop dan objek ini menggambarkan kontrol dan pompa di loop.

Field	Units	Obj1
Name		Chilled Water Loop
Pump Schedule Name		
Pump Control Type		INTERMITTENT
Chiller Plant Operation Scheme Type		Default
Chiller Plant Equipment Operation Schemes Name		
Chilled Water Setpoint Schedule Name		
Chilled Water Design Setpoint	C	7,22
Chilled Water Pump Configuration		ConstantPrimaryNoS
Primary Chilled Water Pump Rated Head	Pa	179352
Secondary Chilled Water Pump Rated Head	Pa	179352
Condenser Plant Operation Scheme Type		Default

Gambar 3.19 Layar IDF Editor untuk *Chilled Water Loop*

27. *HVACTemplate:Plant:Chiller*

Chiller dipilih setelah mengetahui hasil beban pendinginan dari IdealLoadAirSystem. Pemilihan Tipe-tipe chiller dan kapasitas chiller ada pada data set *EnergyPlus*.

- *Name* : *ElectricEIRChiller*
- *Chiller Type* : *ElectricCetrifugalChiller*
- *Capacity* : *autosize*
- *Nominal COP* : *7,03 W/W*
- *Condenser Type* : *WaterCooled*
- *Sizing Factor* : *1*

28. *HVACTemplate:Plant:Tower*

Objek ini menjelaskan sebuah menara pendingin.

- *Name* : *Main Tower*
- *Tower Type* : *SingleSpeed*
- *High Speed Nominal Capacity* : *autosize*

Universitas Indonesia

- *High Speed Fan Power* : *autosize*
- *Low Speed Nominal Capacity* : *autosize*
- *Low Speed Fan Power* : *autosize*
- *Free Convection Capacity* : *autosize*
- *Priority* : 1

29. HVAC Template: Zone: PTAC

Field	Units	Obj1	Obj2	Obj3
Zone Name		1-teknisidanoperato	1-otomotivdanmiling	2-ruangp
Template Thermostat Name		single termostat	single termostat	single ter
Cooling Supply Air Flow Rate	m3/s	autosize	autosize	autosize
Heating Supply Air Flow Rate	m3/s	autosize	autosize	autosize
No Load Supply Air Flow Rate	m3/s			
Zone Heating Sizing Factor				
Zone Cooling Sizing Factor				
Outdoor Air Method		Flow/Person	Flow/Person	Flow/Pei
Outdoor Air Flow Rate per Person	m3/s	0,00944	0,00944	0,00944
Outdoor Air Flow Rate per Zone Floor Area	m3/s-m2			
Outdoor Air Flow Rate per Zone	m3/s			
System Availability Schedule Name				
Supply Fan Operating Mode Schedule Name		Cycling	Cycling	Cycling
Supply Fan Placement		DrawThrough	DrawThrough	DrawThr
Supply Fan Total Efficiency		0,7	0,7	0,7
Supply Fan Delta Pressure	Pa	75	75	75
Supply Fan Motor Efficiency		0,9	0,9	0,9
Cooling Coil Type		SingleSpeedDX	SingleSpeedDX	SingleSp

Gambar 3.20 Layar IDF Editor untuk HVAC PTAC

- *Zone Name*

Dalam simulasi ini tidak semua zone yang dikondisikan. Zone-zone yang tidak dikondisikan yaitu selasar, toilet, welding workshop dan loading material.

30. CurrencyType

Objek ini menjelaskan tentang mata uang yang kita gunakan.

- *Monetary Unit* : USD

31. UtilityCost:Tariff

Objek ini Mendefinisikan nama tarif, jenis tarif, dan rincian lainnya tentang tarif secara keseluruhan.

- *Name* : *tariff*
- *Output Meter Name* : *Electricity:Facility*

Universitas Indonesia

- *Conversion Factor Choice* : kWh
- *Monthly Charge or Variable Name*: 9,16

Angka 9,16 didapatkan dari biaya bulanan listrik dari sumber *website* resmi PLN dan dikonversi dalam USD.

Tabel 3.5 Tarif dasar listrik 2010[13]

**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	780
3.	P-1/TR	1.300 VA	*)	880	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 bebannya sebesar Rp. 77.880 (\$ 9.16)

32. *UtilityCost:Charge:Simple*

Objek ini merupakan salah satu objek yang paling sering digunakan untuk perhitungan tarif. Objek ini digunakan untuk menghitung biaya energi dan permintaan yang sangat sederhana. Objek ini juga dapat digunakan untuk perhitungan pajak, biaya tambahan dan semua biaya lainnya yang terjadi pada tagihan utilitas.

- *Chrg Variable Name* : *FlatEnergyCharge*
- *Tariff Name* : *tariff*
- *Source Variable* : *totalEnergy*

Universitas Indonesia

- *Season* : *Annual*
- *Category Variable Name* : *EnergyCharges*
- *Cost per Unit Value or Variable Name* : 0,104

Nilai 0,104 adalah biaya per kWh yang harus dibayar pengguna listrik PLN. Diambil dari tabel 3.8 diatas.

33. *Output:Surfaces:Drawing*

Objek ini menentukan tipe laporan gambar seperti apa yang kita inginkan.

- *Report Type* : dxf

34. *Output:Table:SummaryReports*

Objek ini menentukan ringkasan laporan yang mana yang kita inginkan. Ada bermacam-macam pilihan seperti : laporan tahunan, bulanan, cuaca, HVAC dll

- *Report 1 Name* : AllSummary

35. *OutputControl:Table:Style*

Objek ini menentukan jenis tabel apa yang akan kita gunakan. Ada beberapa format, seperti : HTML, comma, tab, dan fixed.

- *Column Separator* : HTML

36. *Output:Variable*

Objek ini menentukan jenis-jenis variable apa yang akan kita tampilkan.

Field	Units	Obj1	Obj2	Obj3
Key Value		*	*	*
Variable Name		Outdoor Dry Bulb	Zone/Sys Air Temp	Zone
Reporting Frequency		hourly	hourly	hourly
Schedule Name				

Gambar 3.21 Layar IDF Editor untuk *Output Variable*

37. Output: Meter: MeterFileOnly

Objek ini menentukan variable apa yang akan kita lihat hasil pengukurannya.

Field	Units	Obj1	Obj2	Obj3
Name		Electricity:Facility	Electricity:Building	Interior
Reporting Frequency		monthly	monthly	month

Gambar 3.22 Layar IDF Editor untuk *Output Meter*

38. Output: SQLite

Output dari *EnergyPlus* dapat ditulis ke SQLite file untuk pemrosesan lebih lanjut (seperti spreadsheet).

- *Option Type* : SimpleAndTubular

39. Output: Diagnostic

Objek ini menentukan jenis laporan peringatan apa saja yang akan kita tampilkan.

- *Key 1* : DisplayAllWarnings

3.3 Simulasi dan Warning

Simulasi PTAC berjalan baik dengan beberapa *warning* yang dapat diabaikan seperti pada gambar 3.23 dibawah ini.

```

MRC-FTUI-PTACPALINGBETUL.err
1 Program Version,EnergyPlus 6.0.0.023, 05/06/2011 21:51,IDD Version 6.0.0.023
2 ***** Beginning Zone Sizing Calculations
3 ** Warning ** Calculated design heating load for zone=1-TEKNISIDANOPERATOR is zero.
4 ** ~~~ ** Check Sizing:Zone and ZoneControl:Thermostat inputs.
5 ** Warning ** Calculated design heating load for zone=2-RUANGPENELITIAN is zero.
6 ** ~~~ ** Check Sizing:Zone and ZoneControl:Thermostat inputs.
7 ** Warning ** Calculated design heating load for zone=2-LABSPECTOMETER is zero.
8 ** ~~~ ** Check Sizing:Zone and ZoneControl:Thermostat inputs.
9 ** Warning ** Calculated design heating load for zone=2-RUANGRAPAT is zero.
10 ** ~~~ ** Check Sizing:Zone and ZoneControl:Thermostat inputs.
11 ** Warning ** Calculated design heating load for zone=2-RUANGKERJADASENSUPERVISORDANADMINI
12 ** ~~~ ** Check Sizing:Zone and ZoneControl:Thermostat inputs.
13 ** Warning ** Calculated design heating load for zone=2-LABNANODANMICRO is zero.
14 ** ~~~ ** Check Sizing:Zone and ZoneControl:Thermostat inputs.
15 ** Warning ** Calculated design heating load for zone=2-LABADVANCEMANUFAKTUR is zero.
16 ** ~~~ ** Check Sizing:Zone and ZoneControl:Thermostat inputs.
17 ** Warning ** Calculated design heating load for zone=2-LABMANUFAKTURROTOMASI is zero.
18 ** ~~~ ** Check Sizing:Zone and ZoneControl:Thermostat inputs.
19 ** Warning ** Calculated design heating load for zone=2-LABORATORIUM is zero.
20 ** ~~~ ** Check Sizing:Zone and ZoneControl:Thermostat inputs.
21 ** Warning ** Calculated design heating load for zone=3-LABCASTINGDESIGN is zero.
22 ** ~~~ ** Check Sizing:Zone and ZoneControl:Thermostat inputs.

```

Gambar 3.23 Warning Message PTAC

Sedangkan untuk simulasi *IdealLoadAirSystem*, menghasilkan *warning message* yang dapat diabaikan seperti pada gambar 3.26 dibawah ini.

```

MRC-FTUI-idealloadsystemPALINGBETUL.err
1 Program Version,EnergyPlus 6.0.0.023, 05/06/2011 14:06,IDD_Version 6.0.0.023
2 ** Warning ** ManageSizing: For a zone sizing run, there must be at least 1 Sizing:Zone input object. Simulat:
3 ** Warning ** ManageSizing: For a plant sizing run, there must be at least 1 Sizing:Plant object input. Simulat:
4 ** Warning ** Output:Meter:MeterFileOnly: invalid Name="ELECTRICITY:HVAC" - not found.
5 ** Warning ** Output:Meter:MeterFileOnly: invalid Name="ELECTRICITY:PLANT" - not found.
6 ** Warning ** Output:Meter:MeterFileOnly: invalid Name="ELECTRICITY:HVAC" - not found.
7 ** Warning ** Output:Meter:MeterFileOnly: invalid Name="ELECTRICITY:PLANT" - not found.
8 ***** Testing Individual Branch Integrity
9 ***** All Branches passed integrity testing
10 ***** Testing Individual Supply Air Path Integrity
11 ***** All Supply Air Paths passed integrity testing
12 ***** Testing Individual Return Air Path Integrity

```

Gambar 3.24 Warning Message *IdealLoadAirSystem*

Sedangkan untuk simulasi *Fan Coil Unit*, menghasilkan *warning message* yang dapat diabaikan seperti pada gambar 3.25 dibawah ini.

```

MRC-FTUI-FanCoilPALINGBETUL.err
1 Program Version,EnergyPlus 6.0.0.023, 05/06/2011 15:12,IDD_Version 6.0.0.023
2 ***** Beginning Zone Sizing Calculations
3 ** Warning ** Calculated design heating load for zone=1-TEKNISIDANOPERATOR is zero.
4 ** ~~~ ** Check Sizing:Zone and ZoneControl:Thermostat inputs.
5 ** Warning ** Calculated design heating load for zone=2-RUANGPENELITIAN is zero.
6 ** ~~~ ** Check Sizing:Zone and ZoneControl:Thermostat inputs.
7 ** Warning ** Calculated design heating load for zone=2-LABSPECTOMETER is zero.
8 ** ~~~ ** Check Sizing:Zone and ZoneControl:Thermostat inputs.
9 ** Warning ** Calculated design heating load for zone=2-RUANGRAPAT is zero.
10 ** ~~~ ** Check Sizing:Zone and ZoneControl:Thermostat inputs.
11 ** Warning ** Calculated design heating load for zone=2-RUANGKERJADOSENSUPERVISORDANAI
12 ** ~~~ ** Check Sizing:Zone and ZoneControl:Thermostat inputs.
13 ** Warning ** Calculated design heating load for zone=2-LABNANODANMICRO is zero.
14 ** ~~~ ** Check Sizing:Zone and ZoneControl:Thermostat inputs.
15 ** Warning ** Calculated design heating load for zone=2-LABADVANCEMANUFAKTUR is zero.
16 ** ~~~ ** Check Sizing:Zone and ZoneControl:Thermostat inputs.
17 ** Warning ** Calculated design heating load for zone=2-LABMANUFAKTURO TOMASI is zero.
18 ** ~~~ ** Check Sizing:Zone and ZoneControl:Thermostat inputs.
19 ** Warning ** Calculated design heating load for zone=2-LABORATORIUM is zero.
20 ** ~~~ ** Check Sizing:Zone and ZoneControl:Thermostat inputs.
21 ** Warning ** Calculated design heating load for zone=3-LABCASTINGDESIGN is zero.

```

Gambar 3.25 Warning Message *Fan Coil Unit*

BAB 4

HASIL SIMULASI DAN ANALISA

4.1 Hasil simulasi HVAC Template *IdealLoadAirSystem*

Simulasi dengan *HVAC Template IdealLoadSystem* dilakukan untuk mengetahui bagaimana beban pendinginan yang terdapat pada gedung *Manufacturing Reseach Center FTUI* dan seberapa besar pemakaian energi standarnya (*energy baseline*). Dengan kata lain template ini merupakan gambaran mendasar pemakaian energi pada gedung.

A. *Site and Source Energy*

Tabel 4.1 Site and Source Energy Gedung dengan *IdealLoadAirSystem*

	<i>Total Energy [GJ]</i>	<i>Energy Per Total Building Area [MJ/m²]</i>	<i>Energy Per Conditioned Building Area [MJ/m²]</i>
<i>Total Site Energy</i>	2564.64	497.22	1052.50
<i>Total Source Energy</i>	4723.53	915.78	1938.49

Tabel 4.1 diatas menunjukkan gambaran energi yang ada pada gedung. *Total Site Energy* adalah jumlah total energi yang dikonsumsi oleh gedung. Sedangkan *Total Source Energy* adalah total sumber energi yang ada pada gedung tersebut. Nilai *total source energy* didapatkan dari konversi total site energy dengan nilai faktor konversi tertentu.

B. Building Area

Tabel 4.2 Luas Bangunan

	Area [m ²]
Total Building Area	5157.96
Net Conditioned Building Area	2436.70
Unconditioned Building Area	2721.26

Tabel 4.2 diatas menjelaskan tentang luas bangunan. Bangunan dibagi menjadi dua bagian yaitu bagian yang dikondisikan udaranya dan yang tidak dikondisikan.

C. End Uses

Tabel 4.3 End Uses Gedung dengan IdealLoadAirSystem

	Electricity [GJ]	Natural Gas [GJ]	Other Fuel [GJ]	District Cooling [GJ]	District Heating [GJ]	Water [m3]
Heating	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Cooling	0.00	0.00	0.00	1609.73	0.00	0.00
Interior Lighting	534.08	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Exterior Lighting	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Interior Equipment	417.71	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Exterior Equipment	3.11	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Fans	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Pumps	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Heat Rejection	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Humidification	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Heat Recovery	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Water Systems	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Refrigeration	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Generators	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Total End Uses	954.91	0.00	0.00	1609.73	0.00	0.00

Tabel diatas menjelaskan mengenai pembagian penggunaan energi pada gedung, seperti interior lighting, exterior lighting, dll. Dalam simulasi dengan *IdealLoadAirSystem*, tidak semua parameter alat-alat dalam gedung digunakan sehingga menghasilkan nilai 0. Pada

IdealLoadAirSystem hanya ada tiga alat yang memakai energi yaitu *Interior Lighting*, *Exterior Lighting*, dan *Interior Equipment*.

D. Utility per Total Floor Area

Tabel 4.4 Utility per Total Floor Area Gedung dengan *IdealLoadAirSystem*

	<i>Electricity Intensity [MJ/m²]</i>	<i>Natural Gas Intensity [MJ/m²]</i>	<i>Other Fuel Intensity [MJ/m²]</i>	<i>District Cooling Intensity [MJ/m²]</i>	<i>District Heating Intensity [MJ/m²]</i>	<i>Water Intensity [m³/m²]</i>
<i>Lighting</i>	103.55	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<i>HVAC</i>	0.00	0.00	0.00	312.09	0.00	0.00
<i>Other</i>	81.59	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<i>Total</i>	185.13	0.00	0.00	312.09	0.00	0.00

Tabel 4.4 menjelaskan tentang densitas penggunaan energi pada gedung dengan penggunaan metode simulasi *IdealLoadAirSystem*. Dari tabel diatas, tampak bahwa penggunaan energi untuk pendinginan adalah yang paling besar. Dengan parameter simulasi *IdealLoadAirSystem*, maka pendinginan berasal dari sistem pendinginan sekitar (*District Cooling*) sehingga tidak diperlukan alat HVAC khusus.

E. Weather file

Tabel 4.5 Weather File

	<i>Value</i>
<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°

Universitas Indonesia

<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>	Tropical wet
<i>Köppen Recommendation</i>	Heating may not be required
<i>ASHRAE Climate Zone</i>	1A
<i>ASHRAE Description</i>	Very Hot-Humid

Tabel 4.5 diatas menjelaskan tentang kondisi cuaca dan data-data cuaca untuk wilayah Depok. Data diatas didapatkan dari group *EnergyPlus*.

F. Zone Summary

Tabel 4.6 Zone Summary

Zone	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	80.00	100.00	18264	16.0000	33.33	3.2250
1-WELDINGWORKSHOP	205.20	No	1026.00	286.89	36861	20.0000	20.00	10.750
1-TEKNISIDANOPERATOR	57.60	Yes	288.00	152.00	18354	12.0000	20.00	16.1200
1-JANITORDANTOILET	41.60	No	275.37	165.50	0.00	10.0000	10.00	3.2250
1-OTOMOTIVDANMILINGTURNING	205.20	No	1026.00	286.89	36861	20.0000	5.00	10.750
1-LOADINGUNLOADINGMATERIAL	57.60	No	288.00	152.00	18354	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	1822.60	101.00	0.00	5.0000	10.00	3.2250
2-RUANGME	16.00	No	64.00	80.00	18264	16.0000	33.33	3.2250
2-JANITORDANTOILET	34.10	No	229.88	132.40	0.00	10.0000	10.00	3.2250
2-RUANGPENELITIAN	46.00	Yes	184.00	124.00	36586	15.0000	20.00	16.1200
2-LABSPECTOMETER	39.10	Yes	156.40	119.20	36586	15.0000	20.00	16.1200
2-RUANGRAPAT	66.50	Yes	219.33	168.00	36678	14.0000	2.0	10.7500
2-RUANGKERJADOSENSUPERVISORDANADMINISTRASI	36.00	Yes	71.73	175.20	18354	12.0000	20.00	16.1200
2-LABNANODANMICRO	57.60	Yes	230.40	121.60	18354	15.0000	20.00	16.1200
2-LABADVANCEMANUFAKTUR	40.25	Yes	161.00	120.00	36586	23.0000	10.00	10.7500
2-LABMANUFAKTUROTOMASI	57.50	Yes	230.00	132.00	18354	23.0000	10.00	10.7500
2-LABORATORIUM	67.85	Yes	271.40	139.20	18354	15.0000	20.00	16.1200

3-RUANGME	16.00	No	64.00	80.00	18264	16.0000	33.33	3.2250
3-LABCASTINGDESIGN	82.80	Yes	331.20	149.60	36678	15.0000	20.00	16.1200
3-RUANGMULTIMEDIA	82.80	Yes	331.20	149.60	36678	14.0000	2.0	10.7500
3-RUANGENGINEER	57.60	Yes	230.40	121.60	18354	12.0000	20.00	16.1200
3-INTEGRATEDCMPUTASION	82.80	Yes	331.20	149.60	18354	15.0000	20.00	16.1200
3-MEKATRONIKROBOTIK	82.80	Yes	331.20	149.60	36678	15.0000	20.00	16.1200
3-LABRAPIDPRECISION	82.80	Yes	331.20	149.60	36678	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	18264	16.0000	33.33	3.2250
4-LABMECHDESIGNBIOMECH	105.30	Yes	421.20	174.76	36678	15.0000	20.00	16.1200
4-EXPERIMENTMEKANIK	99.90	Yes	399.60	168.76	36678	15.0000	20.00	16.1200
4-RUANGRESEARCHER	57.60	Yes	230.40	121.60	18354	12.0000	20.00	16.1200
4-DYNAMICVIBRATION	82.80	Yes	331.20	149.60	18354	15.0000	20.00	16.1200
4-RUANGSEMINAR	205.20	Yes	586.40	286.51	36861	14.0000	2.0	3.2250
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	18264	16.0000	33.33	3.2250
5-LABCOMPOSITE	157.50	Yes	839.07	258.36	18537	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	18537	15.0000	20.00	16.1200
5-LABAIRCONDITIO	105.30	Yes	2035.80	349.51	36861	15.0000	20.00	16.1200
6-RUANGME	16.00	No	64.00	80.00	18264	16.0000	33.33	3.2250
6-RUANGLECTURERDANRESEARCH	105.30	Yes	421.20	174.76	36678	12.0000	20.00	16.1200
6-LABSOLARCELL	157.50	Yes	630.00	226.36	18537	15.0000	20.00	16.1200

6-LABHEATTRANSFER	262.80	Yes	1285.60	344.11	16.50	15.0000	20.00	16.1200
6-SELASAR	328.28	No	711.24	81.55	0.00	5.0000	10.00	3.2250
6-JANITORDANTOILET	34.10	No	72.01	132.40	0.00	10.0000	10.00	3.2250
3-SELASAR	311.21	No	1244.86	80.80	0.00	5.0000	10.00	3.2250
2-SELASAR	311.21	No	1244.86	80.80	0.00	5.0000	10.00	3.2250
Total	5157.96		23267.33	7467.50	207.00	11.3413	9.18	10.4094
Conditioned Total	2436.70		11717.52	4633.47	169.50	14.7887	8.51	15.1233
Unconditioned Total	2721.26		11549.80	2834.03	37.50	8.2544	9.87	6.1884

Tabel 4.6 diatas memberi gambaran mengenai zone yang ada pada gedung, data-data luas area, volume tiap zone, luas jendela dan luas dinding didapatkan dari perhitungan *software*, sedangkan data-data *lighting density* dan *power density* didapatkan dari Revit Autodesk.

G. Biaya Energi

Tabel 4.7 Biaya Energi Gedung dengan *IdealLoadAirSystem*

	<i>Electric</i>	<i>Gas</i>	<i>Other</i>	<i>Total</i>
<i>Cost (\$)</i>	27698.33	0.00	0.00	27698.33
<i>Cost per Total Building Area (\$/m²)</i>	5.37	0.00	0.00	5.37
<i>Cost per Net Conditioned Building Area (\$/m²)</i>	11.37	0.00	0.00	11.37

Tabel 4.7 diatas menjelaskan total biaya selama 1 tahun. Total biaya yang dikeluarkan berasal dari pemakaian energi selama satu tahun dan ditambah dengan biaya abonemen setiap bulan selama satu tahun. Kalau dikonversi ke Rupiah dengan nilai tukar terhadap US Dollar sebesar Rp. 8500,00 maka dalam setahun biaya listrik adalah Rp.235.435.805,00.

4.2 Hasil Simulasi PTAC dan *Fan Coil Unit*

A. *Site and source energy*

Tabel 4.8 Perbandingan Total Pemakaian Energi antara Gedung dengan PTAC dan *Fan Coil Unit*

	PTAC			<i>Fan Coil Unit</i>		
	<i>Total Energy [GJ]</i>	<i>Energy Per Total Building Area [MJ/m²]</i>	<i>Energy Per Conditioned Building Area [MJ/m²]</i>	<i>Total Energy [GJ]</i>	<i>Energy Per Total Building Area [MJ/m²]</i>	<i>Energy Per Conditioned Building Area [MJ/m²]</i>
<i>Total Site Energy</i>	1633.16	316.63	670.24	1408.58	273.09	578.07
<i>Total Source Energy</i>	5172.23	1002.77	2122.64	4460.96	864.87	1830.74

Tabel 4.8 memberi gambaran mengenai perbandingan penggunaan energi pada gedung dengan sistem HVAC *Fan Coil Unit* dan PTAC. Pada tabel tampak bahwa sistem *Fan Coil Unit* lebih hemat energi daripada sistem PTAC. perbedaan penggunaan energi cukup besar yaitu 224,58 GJ.

B. End uses

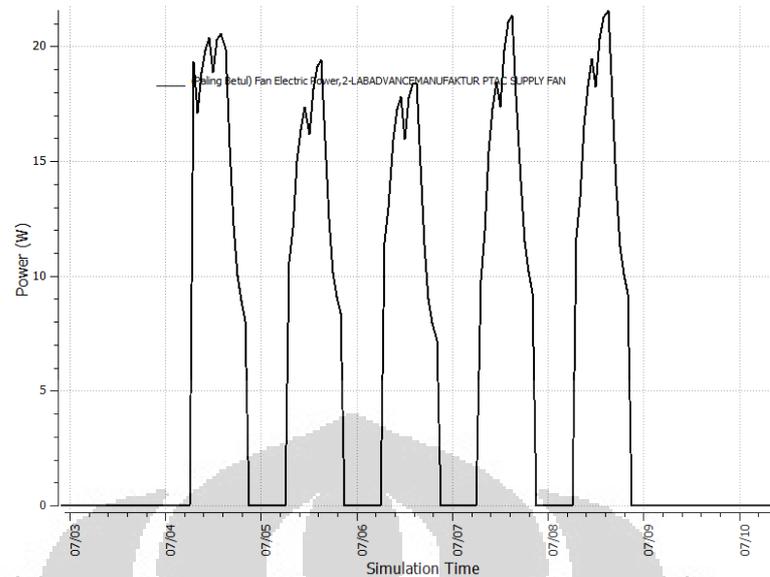
Tabel 4.9 *End Uses* Gedung dengan PATC dan *Fan Coil Unit*

	PTAC	<i>Fan Coil Unit</i>
	<i>Electricity [GJ]</i>	<i>Electricity [GJ]</i>
<i>Heating</i>	0.00	0.00
<i>Cooling</i>	666.85	325.99
<i>Interior Lighting</i>	534.08	534.08
<i>Exterior Lighting</i>	0.00	0.00
<i>Interior Equipment</i>	417.71	417.71
<i>Exterior Equipment</i>	3.11	3.11
<i>Fans</i>	11.41	15.25
<i>Pumps</i>	0.00	80.99
<i>Heat Rejection</i>	0.00	31.44
<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>	1633.16	1408.58

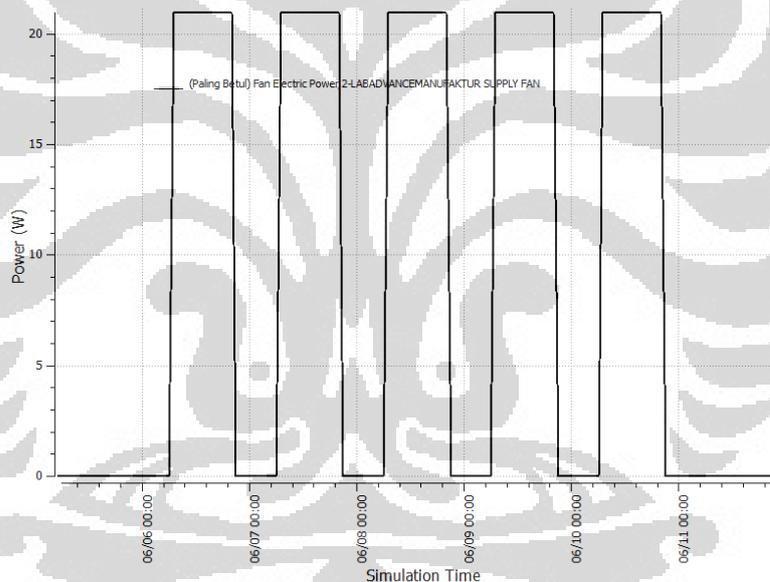
Tabel 4.9 menunjukkan pembagian penggunaan energi pada gedung, seperti *interior lighting*, *exterior lighting*, dll. Dalam simulasi dengan PTAC dan *Fan Coil Unit* tidak semua parameter alat-alat dalam gedung digunakan sehingga menghasilkan nilai 0.

Pada simulasi menggunakan PTAC, energi yang paling besar digunakan untuk pendinginan ruangan (*cooling*), yaitu sebesar 666,85 GJ. Sedangkan pada *Fan Coil Unit*, energi untuk *cooling* adalah 325.99 GJ. Jika dibandingkan, maka besarnya energi untuk pendinginan dengan menggunakan sistem PTAC 2 kali energi yang digunakan untuk pendinginan dengan menggunakan sistem *Fan Coil Unit*.

Untuk energi yang digunakan pada *fans*, PTAC lebih hemat energi jika dibandingkan dengan *Fan Coil Unit*. Dari hasil simulasi, didapatkan grafik daya *fan* pada PTAC dan *Fan Coil Unit* seperti pada Gambar 4.1 dan Gambar 4.2 dibawah.



Gambar 4.1 Daya *supply fan* pada sistem PTAC



Gambar 4.2 Daya *supply fan* pada sistem *Fan Coil Unit*

Dengan tipe daya *fan* pada sistem PTAC akan memungkinkan total energi yang digunakan pada *fan* menjadi lebih kecil jika dibandingkan dengan total energi yang digunakan pada *fan* sistem *Fan Coil Unit*. *Fan Coil Unit supply fan* menggunakan tipe *constant volume* sehingga daya motor *fan* juga akan konstan.

C. PTAC sizing summary

Tabel 4.10 PTAC Sizing Summary

	<i>Supply Air Flow Rate During Cooling Operation [m³/s]</i>	<i>Outdoor Air Flow Rate During Cooling Operation [m³/s]</i>
1-TEKNISIDANOPERATOR PTAC	0.245849	0.027187
2-RUANGPENELITIAN PTAC	0.247175	0.021712
2-LABSPECTOMETER PTAC	0.210011	0.018455
2-RUANGRAPAT PTAC	0.438700	0.313880
2-RUANGKERJADOSENSUPERVISORDANADMINISTRASI PTAC	0.193136	0.016992
2-LABNANODANMICRO PTAC	0.206846	0.027187
2-LABADVANCEMANUFAKTUR PTAC	0.225072	0.037996
2-LABMANUFAKTURO TOMASI PTAC	0.310669	0.054280
2-LABORATORIUM PTAC	0.327123	0.032025
3-LABCASTINGDESIGN PTAC	0.386457	0.039082
3-RUANGMULTIMEDIA PTAC	0.598044	0.390816
3-RUANGENGINEER PTAC	0.263831	0.027187
3-INTEGRATEDCMPTASION PTAC	0.405827	0.039082
3-MEKATRONIKROBOTIK PTAC	0.271403	0.039082
3-LABRAPIDPRECISION PTAC	0.286734	0.039082
4-LABMECHDESIGNBIOMECH PTAC	0.550128	0.049702
4-EXPERIMENTMEKANIK PTAC	0.453208	0.047153
4-RUANGRESEARCHER PTAC	0.341668	0.027187
4-DYNAMICVIBRATION PTAC	0.363146	0.039082
4-RUANGSEMINAR PTAC	1.14	0.968544

5-LABCOMPOSITE PTAC	0.924347	0.074340
5-LABPOLYMER PTAC	0.835656	0.074340
5-LABAIRCONDITIO PTAC	0.858466	0.049702
6-RUANGLECTURERDANRESEARCH PTAC	0.660845	0.049702
6-LABSOLARCELL PTAC	1.02	0.074340
6-LABHEATTRANSFER PTAC	1.39	0.124042

Tabel 4.10 menjelaskan tentang sizing pada sistem PTAC. Dari perhitungan oleh *software* didapatkan aliran suplai udara ke ruangan pada saat pendinginan dan aliran udara luar pada saat pendinginan. Dari tabel diatas, suplai udara paling kecil adalah pada zone ruang kerja dosen, sedangkan suplai udara paling besar pada zone Lab Heat transfer. Lab heat transfer berada di lantai 6 dekat dengan atap sehingga beban pendinginan tentu lebih besar karena selain mendapat panas dari dinding, ruang lab heat transfer juga mendapat panas dari atap. Luas zone lab heat transfer juga lebih besar dari ruang-ruang lain karena merupakan gabungan dari dua ruang. Sedangkan zone ruang kerja dosen memiliki suplai udara paling kecil dikarenakan ruang ini berada pada lantai dua, dengan *internal gain* bertipe *Office*. *Internal gain* dari *office* tentu lebih kecil dari *internal gain* bertipe laboratorium atau *workshop*.

D. DXcoil Single Speed Sizing (PTAC)

Tabel 4.11 DXcoil Sizing Summary

	<i>Rated Air Flow Rate [m³/s]</i>	<i>Rated Total Cooling Capacity (gross) [W]</i>
1-TEKNISIDANOPERATOR PTAC COOLING COIL	0.245849	4529.80
2-RUANGPENELITIAN PTAC COOLING COIL	0.247175	4341.67
2-LABSPECTOMETER PTAC COOLING COIL	0.210011	3774.09

2-RUANGRAPAT PTAC COOLING COIL	0.438700	10893.96
2-RUANGKERJADOSENSUPERVISORDANADMINISTRASI PTAC COOLING COIL	0.193136	3344.50
2-LABNANODANMICRO PTAC COOLING COIL	0.206846	4198.95
2-LABADVANCEMANUFAKTUR PTAC COOLING COIL	0.225072	5051.41
2-LABMANUFAKTURO TOMASI PTAC COOLING COIL	0.310669	7055.63
2-LABORATORIUM PTAC COOLING COIL	0.327123	6031.69
3-LABCASTINGDESIGN PTAC COOLING COIL	0.386457	7183.82
3-RUANGMULTIMEDIA PTAC COOLING COIL	0.598044	14850.85
3-RUANGENGINEER PTAC COOLING COIL	0.263831	4808.41
3-INTEGRATEDCMPUTASION PTAC COOLING COIL	0.405827	7445.97
3-MEKATRONIKROBOTIK PTAC COOLING COIL	0.271403	5707.51
3-LABRAPIDPRECISION PTAC COOLING COIL	0.286734	5932.99
4-LABMECHDESIGNBIOMECH PTAC COOLING COIL	0.550128	9986.53
4-EXPERIMENTMEKANIK PTAC COOLING COIL	0.453208	8891.97
4-RUANGRESEARCHER PTAC COOLING COIL	0.341668	5865.93
4-DYNAMICVIBRATION PTAC COOLING COIL	0.363146	6985.75
4-RUANGSEMINAR PTAC COOLING COIL	1.14	28335.43
5-LABCOMPOSITE PTAC COOLING COIL	0.924347	16497.47
5-LABPOLYMER PTAC COOLING COIL	0.835656	15326.44
5-LABAIRCONDITIO PTAC COOLING COIL	0.858466	14294.82
6-RUANGLECTURERDANRESEARCH PTAC COOLING COIL	0.660845	11241.02
6-LABSOLARCELL PTAC COOLING COIL	1.02	17521.84
6-LABHEATTRANSFER PTAC COOLING COIL	1.39	25164.09

Tabel 4.11 menjelaskan tentang *sizing* pada *DX coil*. Dari suplai udara yang diberikan pada tiap zone maka akan sebanding dengan besarnya daya yang dibutuhkan *DX coil* tersebut. Daya paling besar adalah pada zone lab heat transfer, sedangkan daya paling kecil ada pada zone ruang kerja dosen.

E. Cooling Coil Sizing (Fan Coil Unit)

Tabel 4.12 Cooling Coil Sizing Summary

	Type	Nominal Total Capacity [W]	Nominal Sensible Capacity [W]	Nominal Latent Capacity [W]	Nominal Coil Surface Area [m ²]
1-TEKNISIDANOPERATOR COOLING COIL	Coil:Cooling:Water	5239.93	3643.23	1596.70	5.93
2-RUANGPENELITIAN COOLING COIL	Coil:Cooling:Water	5115.42	3590.65	1524.77	5.76
2-LABSPECTOMETER COOLING COIL	Coil:Cooling:Water	4405.20	3078.79	1326.42	4.97
2-RUANGRAPAT COOLING COIL	Coil:Cooling:Water	13232.72	8320.39	4912.32	18.74
2-RUANGKERJADOSENSUPERVISORDANADMINISTRASI COOLING COIL	Coil:Cooling:Water	3988.19	2801.54	1186.65	4.49
2-LABNANODANMICRO COOLING COIL	Coil:Cooling:Water	4671.13	3189.14	1481.98	5.37
2-LABADVANCEMANUFAKTUR COOLING COIL	Coil:Cooling:Water	5386.66	3612.61	1774.05	6.34
2-LABMANUFAKTURO TOMASI COOLING COIL	Coil:Cooling:Water	7485.17	5009.83	2475.34	8.83
2-LABORATORIUM COOLING COIL	Coil:Cooling:Water	6971.87	4847.72	2124.15	7.89
3-LABCASTINGDESIGN COOLING COIL	Coil:Cooling:Water	8288.55	5751.71	2536.84	9.40
3-RUANGMULTIMEDIA COOLING COIL	Coil:Cooling:Water	17772.15	11216.34	6555.81	24.69
3-RUANGENGINEER COOLING COIL	Coil:Cooling:Water	5592.32	3895.22	1697.10	6.32
3-INTEGRATEDCMPUTASION COOLING COIL	Coil:Cooling:Water	8638.21	6008.93	2629.28	9.78
3-MEKATRONIKROBOTIK COOLING COIL	Coil:Cooling:Water	6237.91	4235.52	2002.39	7.21

Universitas Indonesia

3-LABRAPIDPRECISION COOLING COIL	Coil: Cooling: Water	6530.99	4446.98	2084.02	7.53
4-LABMECHDESIGNBIOMECH COOLING COIL	Coil: Cooling: Water	11618.63	8102.42	3516.20	13.14
4-EXPERIMENTMEKANIK COOLING COIL	Coil: Cooling: Water	10038.25	6895.62	3142.63	11.49
4-RUANGRESEARCHER COOLING COIL	Coil: Cooling: Water	6998.99	4928.99	2070.01	7.88
4-DYNAMICVIBRATION COOLING COIL	Coil: Cooling: Water	7948.10	5480.15	2467.95	9.06
4-RUANGSEMINAR COOLING COIL	Coil: Cooling: Water	35309.49	22064.08	13245.41	51.98
5-LABCOMPOSITE COOLING COIL	Coil: Cooling: Water	19361.76	13538.57	5823.20	21.88
5-LABPOLYMER COOLING COIL	Coil: Cooling: Water	17771.62	12366.10	5405.52	20.13
5-LABAIRCONDITIO COOLING COIL	Coil: Cooling: Water	17302.96	12247.79	5055.17	19.41
6-RUANGLECTURERDANRESEARCH COOLING COIL	Coil: Cooling: Water	13473.73	9502.78	3970.95	15.15
6-LABSOLARCELL COOLING COIL	Coil: Cooling: Water	20855.60	14674.54	6181.05	23.50
6-LABHEATTRANSFER COOLING COIL	Coil: Cooling: Water	29365.91	20482.59	8883.32	33.21

Tabel 4.12 adalah hasil *sizing* untuk *cooling coil* pada sistem *Fan Coil Unit*. Seperti pada penjelasan PTAC diatas, daya yang paling besar adalah pada zone lab heat transfer. Sedangkan daya paling kecil ada pada zone ruang kerja dosen.

F. Plant Sizing

Tabel 4.13 Plant Sizing Summary

	Type	Nominal Capacity [W]	Nominal Efficiency [W/W]
ELECTRICEIRCHILLER MCQUAY PEH 703KW/7.03COP/VANES	Chiller: Electric: EIR	300863.22	40609
MAIN BOILER	Boiler: Hot Water	164391.41	0.80
MAIN TOWER	Cooling Tower: Single Speed	274928.22	

Tabel 4.13 merupakan hasil dari *plant sizing*. Plant terdiri dari tiga komponen, yaitu *chiller*, *boiler*, dan *cooling tower*. *Chiller* yang digunakan yaitu bertipe *elektrik reciprocating*. Sedangkan boiler juga dilakukan *sizing*, namun pada simulasi tidak digunakan karena tidak ada pemanasan pada ruangan.

G. Pump Sizing

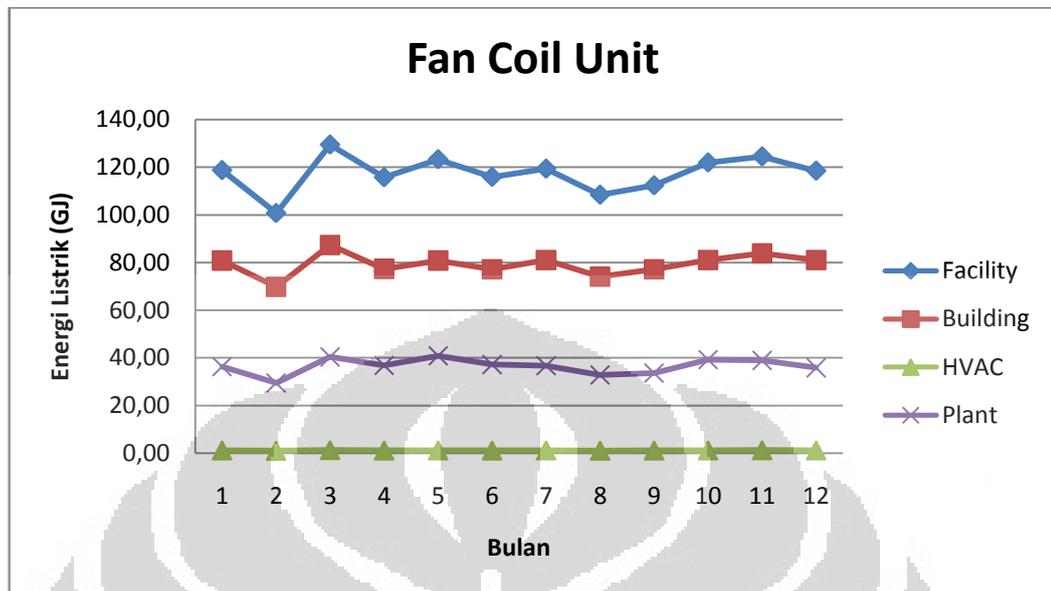
Tabel 4.14 Pump Sizing Summary

	Type	Control	Head [pa]	Power [W]	Motor Efficiency [W/W]
HOT WATER LOOP HW SUPPLY PUMP	Pump:ConstantSpeed	Intermittent	179352.00	913.44	0.90
CHILLED WATER LOOP CHW SUPPLY PUMP	Pump:ConstantSpeed	Intermittent	179352.00	2757.00	0.90
CHILLED WATER LOOP CNDW SUPPLY PUMP	Pump:VariableSpeed	Intermittent	179352.00	3750.89	0.90

Tabel 4.14 menjelaskan tentang *pump sizing*. Pompa digunakan untuk mengalirkan *chilled water* ke masing-masing zone, dan juga mengalirkan air untuk ke *cooling tower*. Pompa untuk *hot water loop* tidak digunakan dalam simulasi karena tidak ada pemanasan ruangan..

H. Pemakaian Energi Listrik per Bulan

1. Gedung Dengan *Fan Coil Unit*



Gambar 4.3 Grafik Pemakaian Listrik Gedung dengan Sistem HVAC *Fan Coil Unit*

Grafik 4.3 menunjukkan bagaimana pemakaian energi pada gedung dengan sistem HVAC *Fan Coil Unit*. Jika kita perhatikan, maka terjadi fluktuasi pemakaian energi tiap bulannya. Fluktuasi pemakaian energi dikarenakan ada beberapa faktor. Faktor-faktor yang berpengaruh terhadap pemakaian energi ini saling berkaitan satu dengan yang lainnya, tidak bisa berdiri sendiri-sendiri, sehingga kita dalam melihat faktor-faktor tersebut harus secara menyeluruh. Faktor-faktor yang berpengaruh adalah : *dry bulb temperature*, *Relative humidity*, kecepatan angin, arah angin, arah sinar matahari, dan jumlah hari kerja pada gedung.

Untuk mempermudah melihat faktor-faktor yang mempengaruhi pemakaian energi pada gedung, kita dapat melihat pada tabel 4.15 tentang ringkasan data cuaca dibawah ini.

Tabel 4.15 Ringkasan Data Cuaca

<i>Month</i>	<i>Mean Dry Bulb Temp. (°C)</i>	<i>Max Dry Bulb Temp. (°C)</i>	<i>RH (%)</i>	<i>Max Dew Point Temp. (°C)</i>	<i>Mean Wind Speed (m/s)</i>	<i>Solar Radiation (Wh/m²)</i>	<i>Working Day</i>
<i>Jan</i>	27.5	34.5	79	27.4	2.3	2297	20
<i>Feb</i>	27.1	32.9	80	27.3	2.3	2519	18
<i>Marc</i>	27.9	34.8	77	27.4	2.2	2612	23
<i>Apr</i>	28.0	34.5	78	27.4	1.9	2512	20
<i>May</i>	28.6	34.3	75	27.4	1.7	2233	21
<i>Jun</i>	27.8	34.0	75	26.9	1.8	2228	20
<i>Jul</i>	27.8	33.3	73	26.8	1.8	2220	21
<i>Aug</i>	28.3	33.7	69	27.2	1.9	2556	19
<i>Sept</i>	28.5	34.3	69	26.4	2.1	2743	20
<i>Okt</i>	28.7	34.8	71	26.8	2.0	2950	20
<i>Nov</i>	27.9	35.6	76	26.8	2.2	2816	22
<i>Dec</i>	28.1	35.5	74	27.0	2.7	2457	21

Pada grafik 4.1 terlihat bahwa pemakaian energi paling tinggi terjadi pada bulan Maret. Sedangkan pemakaian energi paling rendah terjadi pada bulan Februari. Jika kita perhatikan tabel 4.15 diatas, maka faktor yang sangat mempengaruhi perbedaan pemakaian energi adalah jumlah hari kerja. Pada bulan Maret, jumlah hari kerja adalah 23 hari dan ini merupakan jumlah hari kerja paling banyak diantara bulan-bulan lain. Sedangkan pada bulan Februari, jumlah hari kerjanya paling sedikit yaitu 18 hari.

Pada bulan dengan jumlah hari kerja yang sama juga terjadi fluktuasi pemakaian energi. Hal ini lebih dikarenakan adanya pengaruh dari cuaca. Misalnya pada bulan September dan Oktober yang masing-masing memiliki 20 hari kerja. Pada bulan Oktober, pemakaian energi lebih besar daripada bulan September. Jika kita perhatikan tabel 4.15, maka terlihat bahwa pada bulan Oktober *dry*

bulb temperatur, relative humidity, dan solar radiation lebih besar daripada bulan September.

TARIF ENERGI

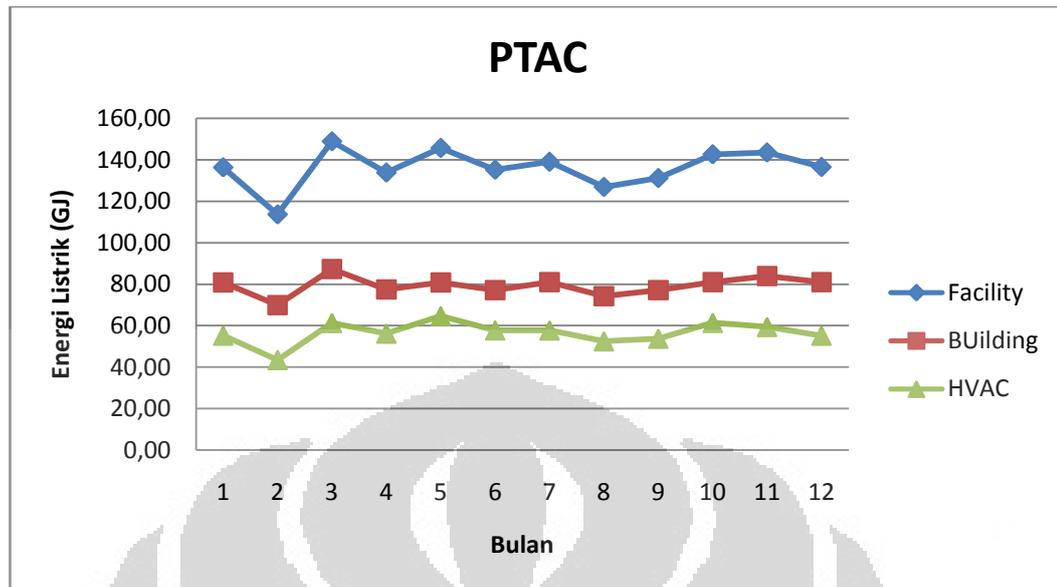
Tabel 4.16 Tarif Energi Dengan Sistem *Fan Coil Unit*

Bulan	Energy Charges (\$)	Service Charges (\$)	Total (\$)
Januari	3429.62	9.16	3438.78
Februari	2909.25	9.16	2918.41
Maret	3739.52	9.16	3748.68
April	3343.04	9.16	3352.20
Mei	3561.16	9.16	3570.32
Juni	3347.59	9.16	3356.75
Juli	3447.67	9.16	3456.83
Agustus	3131.85	9.16	3141.01
September	3245.74	9.16	3254.90
Oktober	3521.86	9.16	3531.02
November	3595.55	9.16	3604.71
Desember	3422.58	9.16	3431.74
Jumlah	40695.44	9.16	40805.36

Tabel 4.16 menjelaskan besarnya biaya yang dikeluarkan oleh pemilik gedung, untuk membayar penggunaan energi yaitu energi listrik. Jika dilihat dengan teliti, maka terjadi fluktuasi biaya pemakaian energi, yang tentu saja berbanding lurus dengan pemakaian energi.

Jumlah biaya yang harus dikeluarkan oleh pemilik gedung selama 1 tahun adalah sebesar \$US 40805,36. Jika dikonversi ke Rupiah dengan nilai tukar rupiah terhadap \$US Rp. 8500,00 per dolar, maka biaya yang harus dibayar adalah Rp.346.845.560,00.

2. Gedung dengan PTAC



Gambar 4.4 Grafik Pemakaian Listrik Gedung dengan Sistem HVAC PTAC

Pemakaian energi pada gedung dengan sistem HVAC PTAC secara total terlihat lebih besar dibandingkan dengan *Fan Coil Unit*. Bagian yang cukup besar perbedaannya terletak pada pemakaian energi untuk HVAC. Sedangkan untuk pola pemakaian keseluruhan energi terlihat sama antara PTAC dengan *Fan Coil Unit*. Pada bulan Maret, pemakaian energi paling tinggi, sedangkan paling rendah pada bulan Februari.

TARIF ENERGI

Tabel 4.17 Tarif Energi dengan Sistem PTAC

Bulan	Energy Charges (\$)	Service Charges (\$)	Total (\$)
Januari	3938.15	9.16	3947.31
Februari	3281.14	9.16	3290.30
Maret	4302.26	9.16	4311.42
April	3866.19	9.16	3875.35
Mei	4209.54	9.16	4218.70

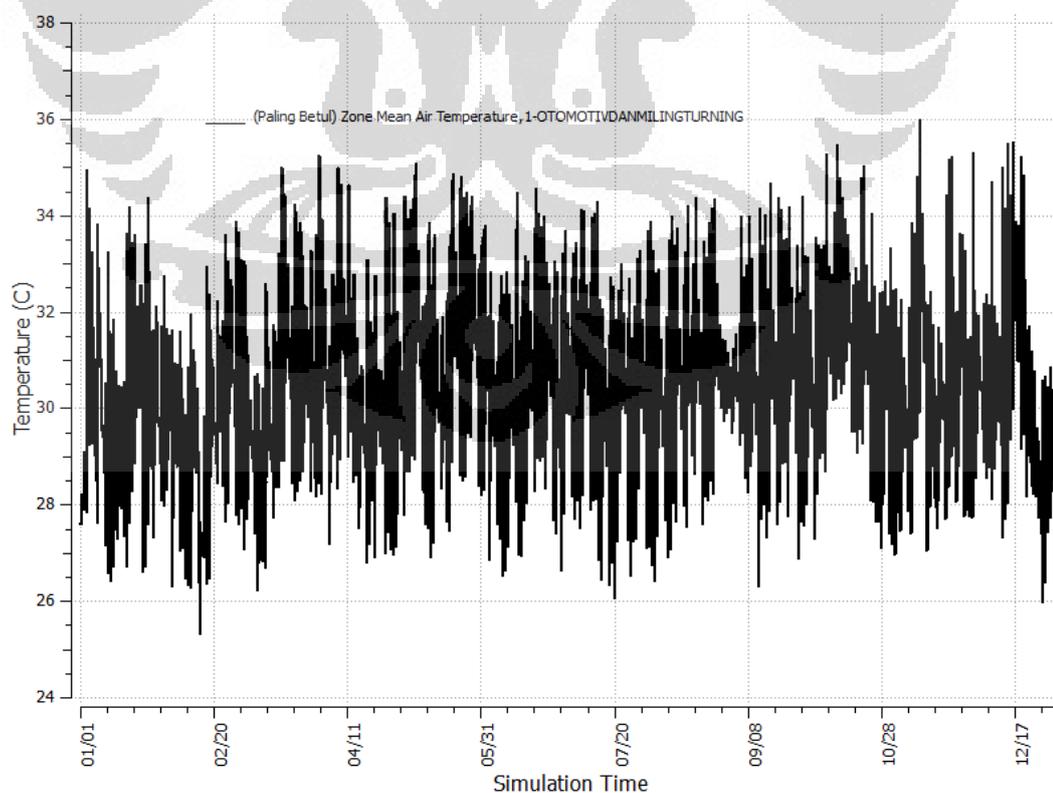
Juni	3905.36	9.16	3914.52
Juli	4015.83	9.16	4024.99
Agustus	3664.93	9.16	3674.09
September	3789.50	9.16	3798.66
Oktober	4121.19	9.16	4130.35
November	4146.52	9.16	4155.68
Desember	3943.43	9.16	3952.59
Jumlah	47184.06	9.16	47293.98

Jumlah biaya yang harus dikeluarkan oleh pemilik gedung selama 1 tahun adalah sebesar \$US 47293,98. Jika dikonversi ke Rupiah dengan nilai tukar rupiah terhadap \$US Rp. 8500,00 per dolar, maka biaya yang harus dibayar adalah Rp.401.998.830,00.

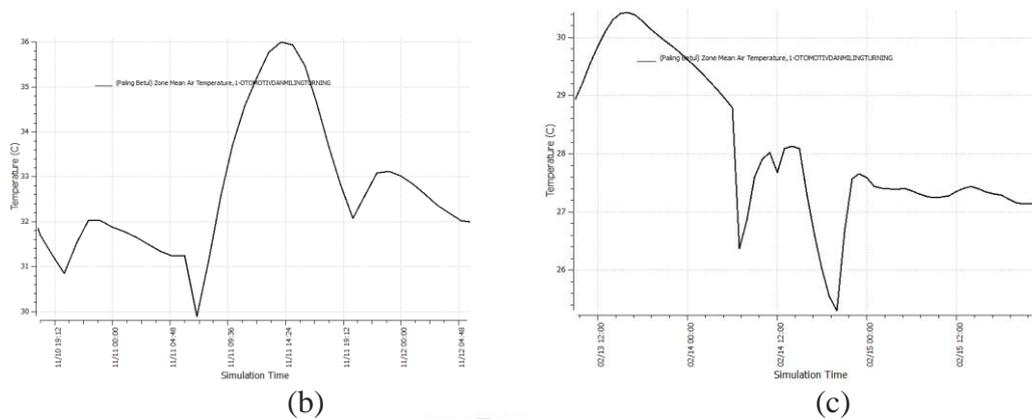
4.3 Kondisi Udara pada Gedung

A. Zone mean air temperature

1. Grafik Temperature udara Ruang Otomotive miling



Universitas Indonesia

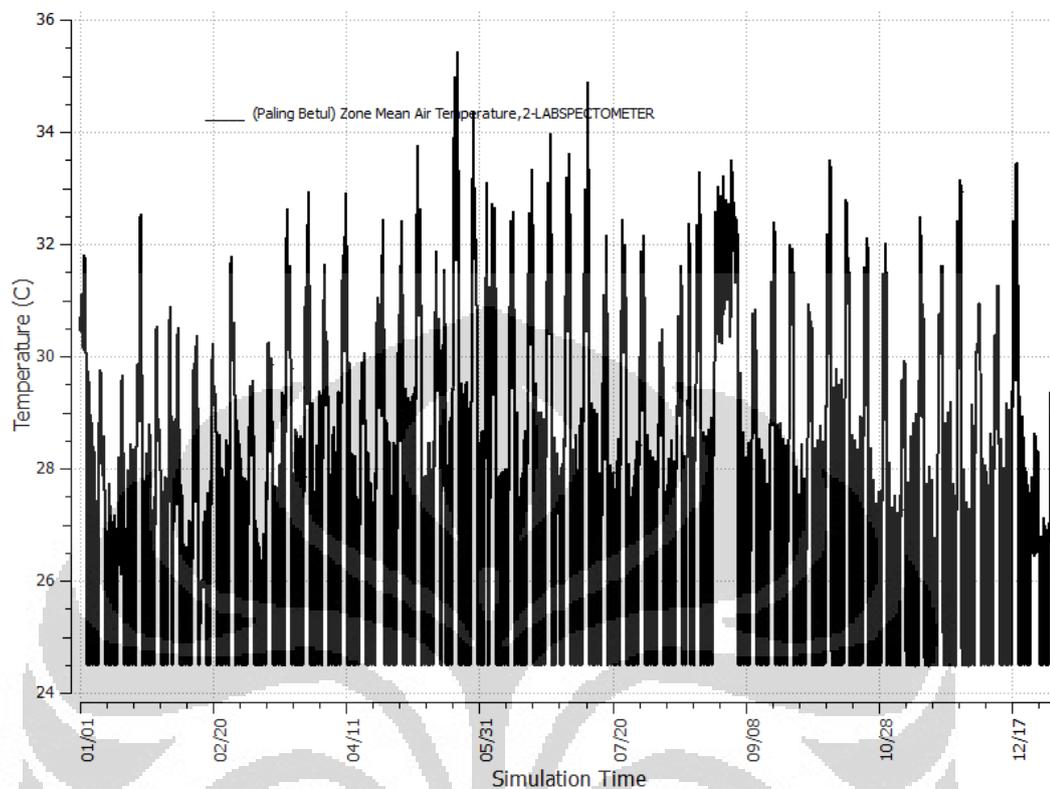


Gambar 4.5 (a) Grafik Temperature udara ruang otomotive (b) Titik Maksimum (c) Titik Minimum

Gambar 4.5 (a) memberikan gambaran mengenai temperatur udara pada ruang otomotive, milling dan turning selama satu tahun. Dari grafik diatas, tampak bahwa temperature udara pada ruangan tersebut tidak konstan, namun berfluktuatif. Ruang otomotive, milling dan turning berada di lantai satu, dan pada ruangan tersebut tidak dikondisikan dengan sistem HVAC apapun, hanya diberikan *exhaust fan* saja. Dengan demikian, maka temperatur dalam ruangan akan sangat dipengaruhi oleh temperatur udara luar dan juga aktivitas yang dilakukan di dalam ruangan.

Pada Gambar 4.5 (b) diatas, dapat dilihat bahwa temperature udara paling tinggi terjadi pada bulan November yang mencapai 36 °C. Jika kita perhatikan tabel 4.15 mengenai ringkasan data cuaca, maka terlihat bahwa pada bulan November *dry bulb temperature* mencapai 35,6 °C, dan itu merupakan nilai yang paling tinggi dari semua bulan. Sedangkan temperatur terendah terjadi pada bulan Februari (Gambar 4.3 c) dimana temperatur ruangan mencapai 25,3°C. Dari data cuaca, bulan Februari memiliki rata-rata *dry bulb temperatur* yang rendah yaitu 27,1 °C. Nilai ini merupakan nilai yang paling rendah dari semua bulan.

2. Grafik Temperatur Udara Ruang Lab Spectrometer (*Fan Coil Unit*)



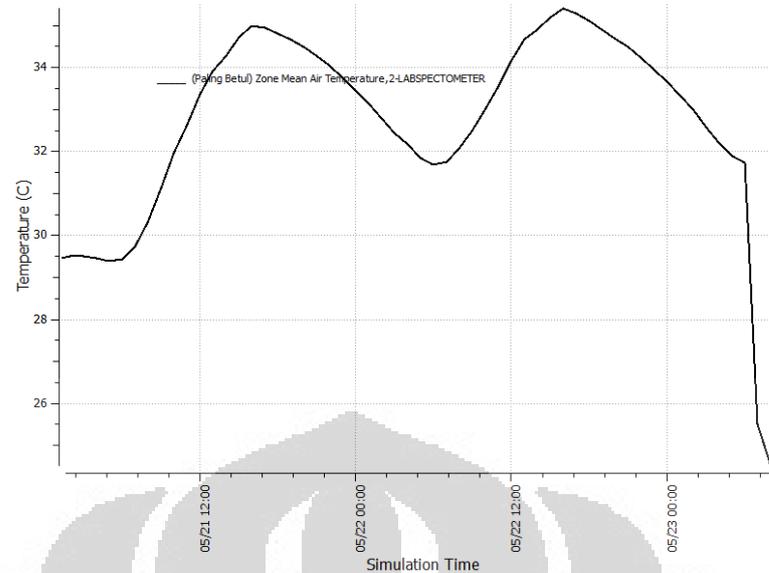
Gambar 4.6 Grafik Temperature Udara Rata-Rata Lab Spectrometer

Gambar 4.6 menjelaskan tentang temperatur udara pada zone Lab Spectrometer selama satu tahun. Pada grafik terlihat bahwa temperatur udara minimum adalah 24,5 °C, hal ini dikarenakan ruangan Lab spectrometer dikondisikan dengan sistem HVAC. Pada grafik diatas, sistem HVAC yang digunakan adalah *Fan Coil Unit*.

Tidak setiap saat ruangan bersuhu 24,5 °C, hal ini dikarenakan jadwal nyala *Fan Coil Unit* adalah pada jam kerja yaitu dari pukul 07.00 sampai pukul 21.00. setelah pukul 21.00 sampai pukul 07.00 suhu ruangan akan sedikit demi sedikit dipengaruhi suhu lingkungan sekitar, sehingga temperaturnya bisa naik atau turun, namun tidak pernah lebih rendah dari 24,5 °C.

Suhu ruangan paling tinggi terjadi pada bulan Mei yaitu mencapai 35,5 °C. Jika grafik diatas diperbesar pada bagian temperatur tertingginya maka hasilnya tampak pada gambar 4.5 berikut.

Universitas Indonesia

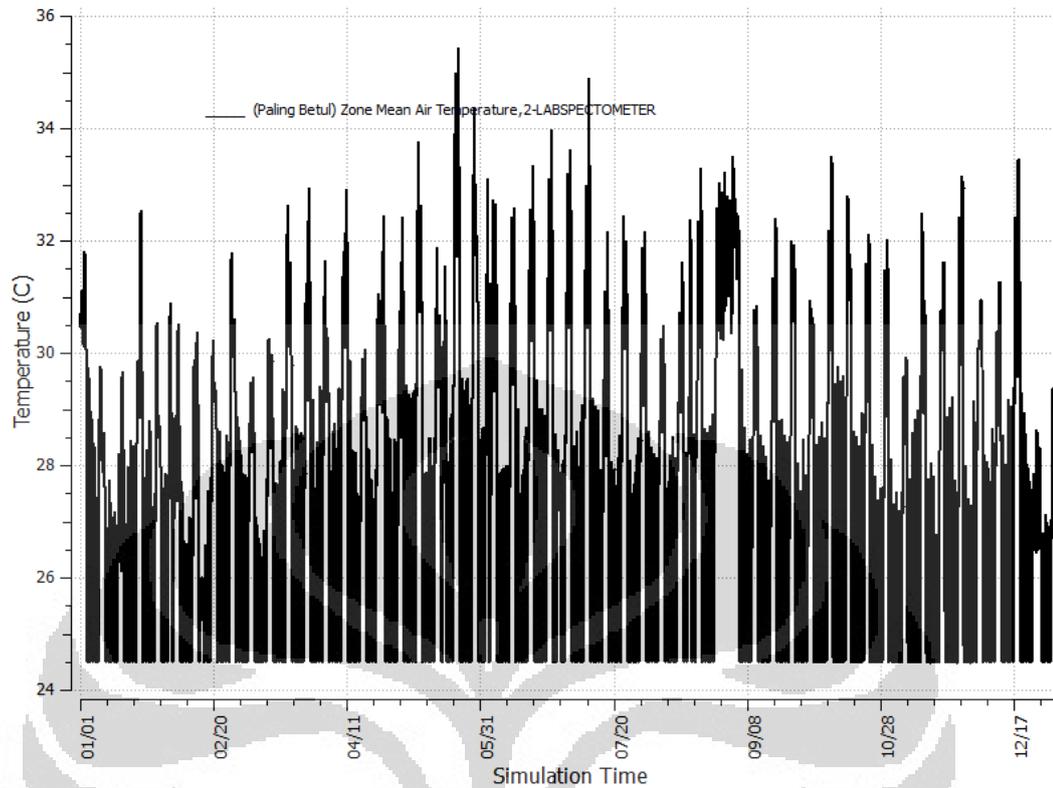


Gambar 4.7 Grafik Temperatur udara pada saat mencapai maksimal (PTAC)

Gambar 4.7 menunjukkan grafik puncak temperatur terjadi pada tanggal 22 Mei. Tanggal 21 Mei adalah hari Sabtu, sehingga HVAC pada gedung mati. Dengan demikian, suhu udara ruangan pada hari Sabtu tidak terlalu dingin dan dipengaruhi suhu udara sekitar. Pada hari Minggu, suhu udara gedung yang tidak terlalu dingin, kembali dipengaruhi oleh udara luar, sehingga suhu udara mencapai maksimum.

Jika kita perhatikan kembali grafik 4.6, maka pada bulan Agustus akhir, suhu ruangan tidak pernah mencapai $24,5^{\circ}\text{C}$. Dengan demikian, dapat diartikan bahwa sistem HVAC gedung sedang tidak beroperasi. Agustus akhir adalah hari libur nasional yaitu libur idul fitri selama lima hari, sehingga gedung tidak digunakan.

3. Grafik Temperatur Udara Ruang Lab Spectrometer (PTAC)

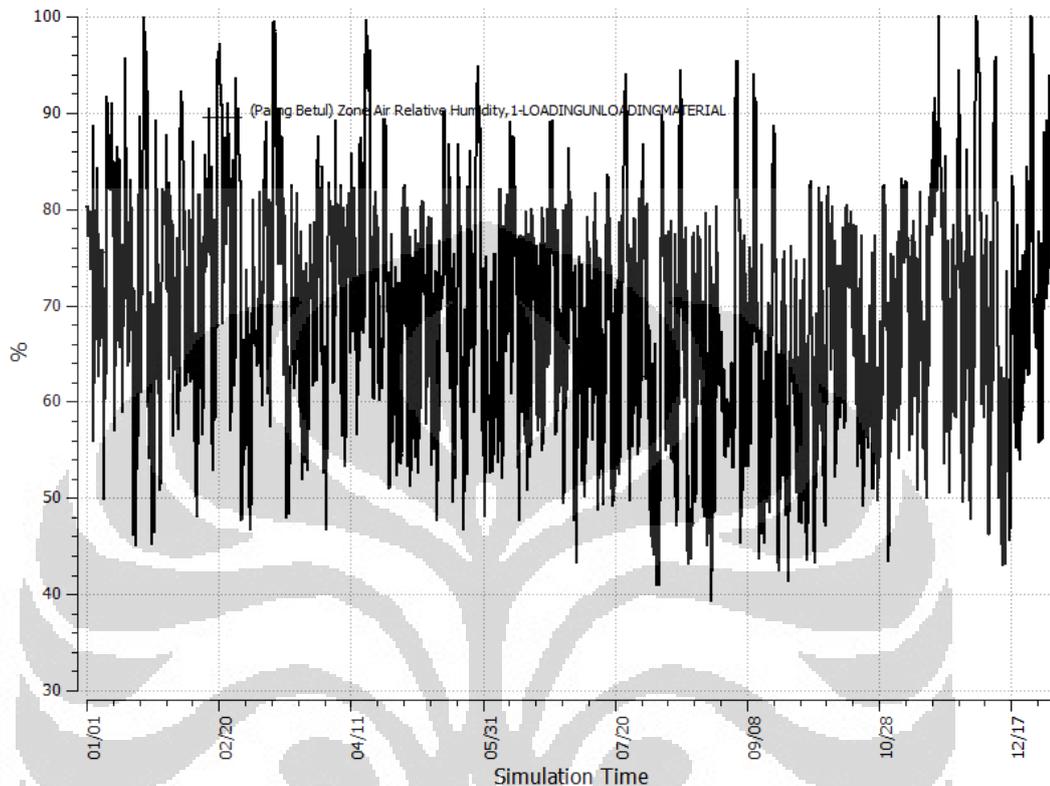


Gambar 4.8 Grafik Temperature Udara Rata-Rata Lab Spectrometer (PTAC)

Jika kita bandingkan antara grafik 4.8 dan grafik 4.6 maka untuk ruangan yang sama dengan sistem HVAC yang berbeda akan menghasilkan grafik temperatur ruangan yang sama. Hal ini dikarenakan sistem kedua sistem HVAC tersebut mengikuti *setpoint thermostat* yang sama yaitu $24,5^{\circ}\text{C}$ dan keduanya dapat memenuhi temperatur yang diinginkan.

B. Zone Air Relative humidity

1. Grafik *Relative humidity* Ruang Loading Material (*Ideal Load Air System*)



Gambar 4.9 Grafik Relative humidity Zone LoadingMaterial

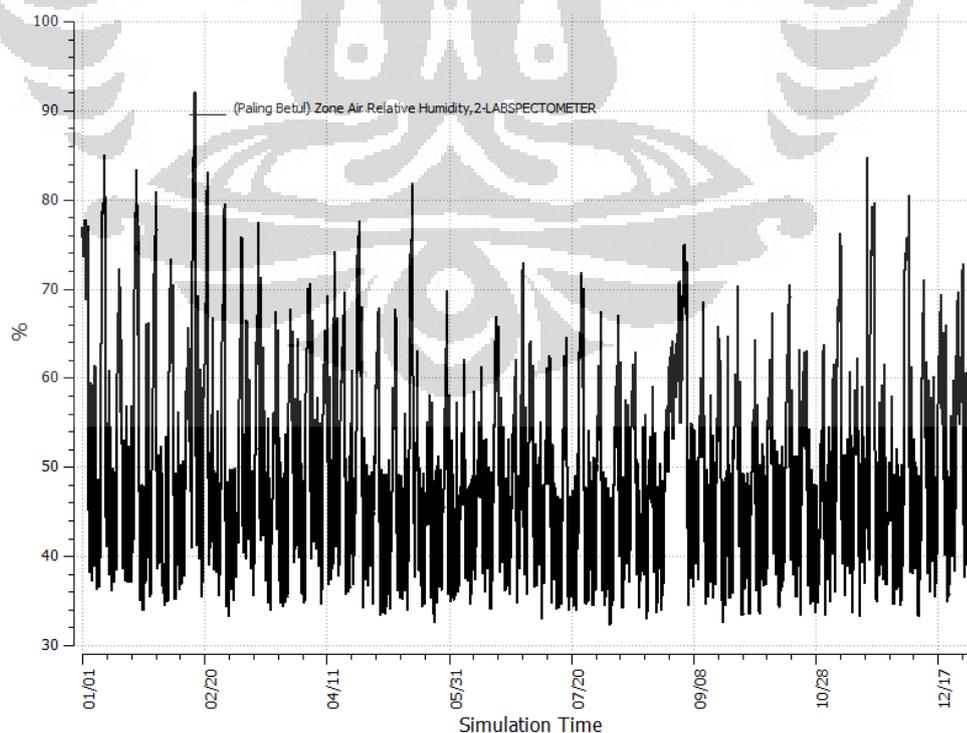
Grafik 4.9 memberikan gambaran tentang kondisi *relative humidity* pada zone LoadingMaterial. *relative humidity* adalah jumlah uap air pada udara dibandingkan dengan jumlah uap air yang dapat ditampung oleh udara pada temperature tersebut[relhum]. Ketika udara tidak dapat menampung semua uap air, maka kemudian uap akan berkondensasi menjadi embun.

Jika udara secara terus-menerus didinginkan dan jumlah kandungan uap air dijaga konstan, maka *relative humidity* akan meningkat mencapai 100%. Temperature ini pada saat kandungan uap air akan menjenuhkan udara. Pada titik ini disebut *dew point*. Jika udara didinginkan lebih lanjut, beberapa uap air akan berkondensasi.[14]

Pada grafik 4.9 diatas, terlihat bahwa terdapat beberapa titik dimana *Relative humidity* mencapai 100%. *Relative humidity* yang tinggi bisa terjadi karena adanya pengaruh dari lingkungan sekitar karena ruangan *LoadingMaterial* tidak dikondisikan dengan sistem HVAC apapun. *Relative humidity* 100% dapat terjadi pada saat hujan.

Manusia sangat sensitif terhadap humiditas, karena kulit manusia tergantung pada udara untuk menghilangkan uap air. Proses berkeringat pada tubuh kita adalah sebuah usaha tubuh untuk menjaga agar suhu tubuh konstan pada temperatur normalnya. Jika udara mencapai 100% *relative humidity*, maka keringat tidak akan menguap ke udara. Sebagai hasilnya maka kita akan merasa temperature lingkungan sekitar menjadi lebih panas daripada temperatur sesungguhnya ketika *relative humidity* tinggi. Sebaliknya ketika *relative humidity* rendah, maka kita akan merasa lebih dingin dari temperatur udara sekitar karena keringat kita akan menguap dengan mudah. [15]

2. Grafik Zone Air Relative Humidity Ruang Lab Spectrometer (PTAC)



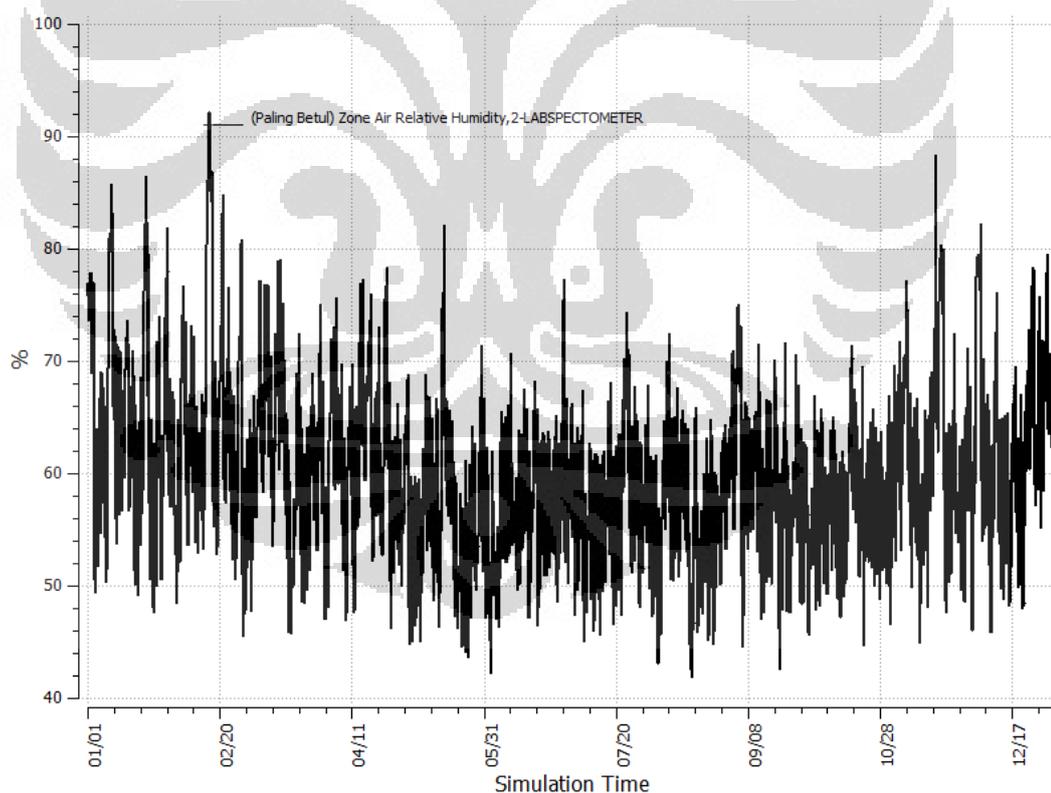
Gambar 4.10 Grafik *relative humidity* Lab Spectrometer (PTAC)

Universitas Indonesia

Grafik 4.10 memberikan gambaran tentang *relative humidity* pada zone Lab Spectometer. Lab spectometer pada grafik diatas dikondisikan dengan sistem HVAC Packaged Terminal Air Conditioner. Secara kasat mata dapat terlihat bahwa *relative humidity* tidak pernah mencapai 100%. Selain karena ruangan dikondisikan, tidak adanya udara luar yang masuk (natural ventilation) menyebabkan kondisi *relative humidity* ruangan tersebut terlihat lebih stabil daripada ruangan *LoadingMaterial* pada grafik 4.9.

Jika grafik diatas dilihat sekilas, maka rata-rata *relative humidity* berada pada kisaran 40-50%. Kadar *relative humidity* tersebut bisa tercapai karena pada sistem PTAC yang digunakan pada simulasi ini menerapkan *electrical heating*.

3. Grafik Zone Air Relative Humidity Ruang Lab Spectometer (Fan Coil Unit)

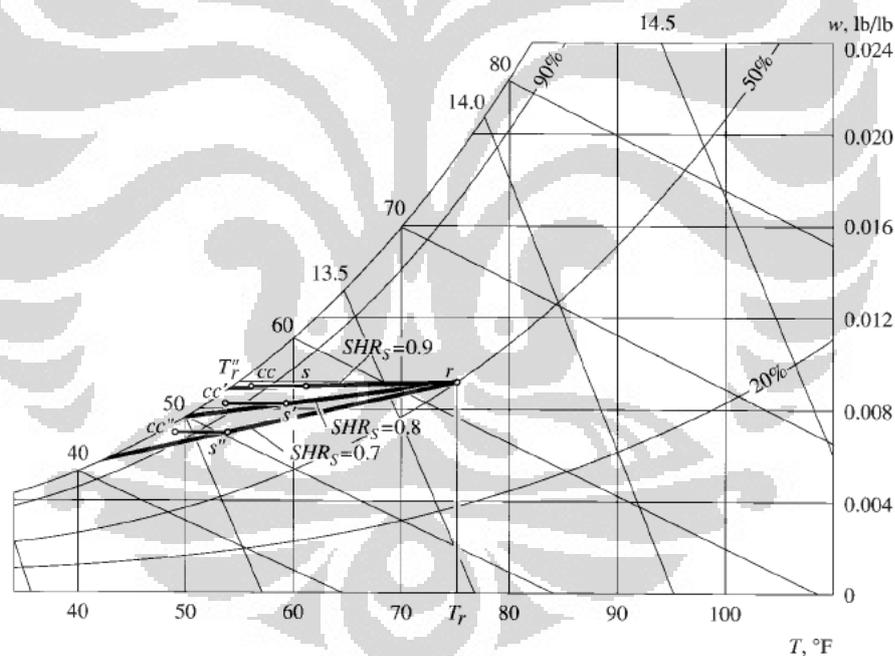


Gambar 4.11 Grafik *Relatif Humidity* Lab Spectometer (Fan Coil Unit)

Grafik 4.11 menjelaskan tentang kondisi *relative humidity* pada Lab Spectometer dengan sistem HVAC *Fan Coil Unit*. Jika

dibandingkan dengan grafik 3.5 maka bentuk kedua grafik memiliki tipikal yang sama. Perbedaan hanya pada rata-rata *relative humidity* yang tidak terlihat dengan jelas seperti pada grafik 4.9. Rata-rata *relative humidity* pada grafik 4.11 lebih besar daripada rata-rata *relative humidity* pada grafik 4.9. Perbedaan *relative humidity* pada kedua sistem *air conditioner* diatas dapat disebabkan karena adanya perbedaan tipe *cooling coil* yang digunakan. Untuk PTAC digunakan *cooling coil* berupa *Dxcoil* yang berisi refrigeran. Sedangkan *Fan Coil Unit* menggunakan *cooling coil* yang berisi *chilled water*. Kedua tipe *cooling coil* tersebut mempunyai *sensible heat ratio* yang berbeda sehingga terjadi perbedaan tipe *relative humidity*.

Sensible heat ratio adalah perbandingan antara *sensible heat* dan total *heat*. Total *heat* terdiri dari *sensible heat* dan *laten heat*.



Gambar 4.12 Effect of sensible heat ratio of space conditioning line on the determination of the condition of supply air[7]

Untuk desain tertentu T_r dan ϕ *sensible heat ratio* dari garis ruang pengkondisian SHR_s memiliki efek signifikan pada T_s dan TCC. Gambar. 4.12 menunjukkan pengaruh dari kondisi tersebut. Ketika SHR_s menjadi lebih kecil, demi menjaga T_r dan ϕ_r yang diperlukan, suhu udara AC yang meninggalkan Dxcoil T_{cc} harus

Universitas Indonesia

diturunkan. Hal ini memerlukan T_{WE} rendah atau suhu penguapan lebih rendah T_{EV} dalam *Dxcoil*, yang akhirnya meningkatkan masukan energi untuk kompresor pendingin, tetapi mengurangi volume aliran udara yang harus disediakan. Untuk QRC pendinginan beban ruang tertentu, SHR_s rendah selalu menunjukkan Q_{RS} lebih kecil dan ΔT s lebih besar. ΔT s yang lebih tinggi mengakibatkan volume pasokan aliran udara yang lebih rendah, ukuran peralatan yang lebih kecil, lebih rendah dalam menggunakan kipas, dan konstruksi berkurang begitu juga biaya operasional.

Dalam Gambar 4.12, ketika SHR_s 0,7, titik embun udara pada ruangan 75°F (23,9°C), dengan kelembaban relative 50 persen pada 55°F (12,8 °C), yang lebih tinggi dari 54 F (12,2°C) suhu udara suplai. Dalam keadaan seperti itu, kondensasi dapat terjadi di outlet *supply* bila kontak rangka logam dingin dengan udara ruang pada titik embun 55°F (12,8°C) atau lebih tinggi.

4.3 Metode-Metode Optimasi Penghematan Energi

Simulasi gedung *Manufacturing Reseach Center-FTUI* yang sudah dilakukan merupakan simulasi pada kondisi gedung dengan fasilitas standar, seperti sistem pencahayaan lampu yang standar-standar saja dan juga sistem HVAC yang biasa-biasa saja. Untuk itu pada simulasi selanjutnya, digunakan metode-metode untuk melakukan otomasi dan penghematan. Metode-metode itu adalah :

1. Menggunakan *Daylighting Control* pada pencahayaan.

Dengan metode ini, level pencahayaan alami dihitung dan kemudian digunakan untuk menentukan seberapa banyak pencahayaan yang berasal dari listrik dapat dikurangi intensitasnya. Pencahayaan alami pada sebuah zone tergantung pada banyak faktor termasuk kondisi langit, posisi matahari, titik perhitungan, lokasi, ukuran dan tingkat transmisi cahaya matahari oleh kaca, bayangan pada kaca dan pantulan dari permukaan dalam. Pengurangan pencahayaan listrik

Universitas Indonesia

tergantung pada level pencahayaan, *set point* pencahayaan, dan tipe dari *lighting control*. Gambar *daylighting control* seperti tampak pada Gambar 4.12 dibawah ini.



Gambar 4.13 Daylighting Control

Daylighting control diterapkan pada semua zone, kecuali zone janitor dan toilet karena pada zone ini tidak digunakan jendela, hanya digunakan ventilasi tipe *exhaust fan*.

Tabel 4.18 End Uses Gedung Sistem *Fan Coil Unit* biasa dengan *Fan Coil Unit+Daylighting*

	<i>Fan Coil Unit</i> (biasa)		<i>Fan Coil Unit+Daylighting</i>	
	<i>Electricity [GJ]</i>	<i>Water (m³)</i>	<i>Electricity[GJ]</i>	<i>Water (m³)</i>
<i>Heating</i>	0.00	0	0.00	0
<i>Cooling</i>	325.99	0	319.73	0
<i>Interior Lighting</i>	534.08	0	468.84	0
<i>Exterior Lighting</i>	0.00	0	0.00	0
<i>Interior Equipment</i>	417.71	0	417.71	0
<i>Exterior Equipment</i>	3.11	0	3.11	0
<i>Fans</i>	15.25	0	14.63	0
<i>Pumps</i>	80.99	0	79.14	0
<i>Heat Rejection</i>	31.44	1580.03	30.80	1549.05
<i>Humidification</i>	0.00	0	0.00	0
<i>Heat Recovery</i>	0.00	0	0.00	0
<i>Water Systems</i>	0.00	0	0.00	0
<i>Refrigeration</i>	0.00	0	0.00	0
<i>Generators</i>	0.00	0	0.00	0
<i>Total End Uses</i>	1408.58	1580.03	1333.96	1549.05

Dari tabel 4.18 diatas, terlihat penurunan pemakaian energi yang cukup signifikan yaitu sebesar 74.62 GJ atau turun 5,3% . Penurunan pemakaian energi terjadi pada peralatan-peralatan seperti interior

lighting dan sistem HVAC. Sistem HVAC mengalami penurunan pemakaian energi karena terjadi penurunan *internal gain* pada tiap zone yang diberikan sistem *daylighting*. Dengan menurunnya daya lampu yang dibutuhkan, maka besarnya panas lampu yang diberikan ke zone akan semakin menurun.

Tabel 4.19 Biaya Energi Gedung dengan *Fan Coil Unit+Daylighting*

	<i>Electric</i>	<i>Gas</i>	<i>Other</i>	<i>Total</i>
<i>Cost (\$)</i>	38649.75	0.00	0.00	38649.75
<i>Cost per Total Building Area (\$/m2)</i>	7.49	0.00	0.00	7.49
<i>Cost per Net Conditioned Building Area (\$/m2)</i>	15.86	0.00	0.00	15.86

Biaya pemakaian energi listrik gedung dengan sistem *Fan Coil Unit+Daylighting* control adalah sebesar \$US 38649.75. Atau sebesar Rp. 328.522.875,00. Dengan demikian, maka jika dibandingkan dengan sistem *Fan Coil Unit* biasa, maka ada penghematan sebesar Rp. 18.322.685,00..

Tabel 4.20 *End Uses* Gedung Sistem PTAC biasa dengan PTAC+*Daylighting*

	PTAC (biasa)	PTAC+ <i>Daylighting</i>
	<i>Electricity [GJ]</i>	<i>Electricity[GJ]</i>
<i>Heating</i>	0.00	0.00
<i>Cooling</i>	666.85	652.78
<i>Interior Lighting</i>	534.08	468.84
<i>Exterior Lighting</i>	0.00	0.00
<i>Interior Equipment</i>	417.71	417.71
<i>Exterior Equipment</i>	3.11	3.11
<i>Fans</i>	11.41	11.04
<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>	1633.16	1553.48

Dengan menerapkan sistem PTAC+*Delighting control*, terjadi penurunan pemakaian energi, terutama pada interior lighting. Sedangkan pada sistem HVAC juga mengalami penurunan dikarenakan adanya penurunan *internal gain*. Total penurunan energi adalah 4,94%.

Tabel 4.21 Biaya Energi Gedung dengan PTAC+*Daylighting*

	<i>Electric</i>	<i>Gas</i>	<i>Other</i>	<i>Total</i>
<i>Cost (\$)</i>	44991.77	0.00	0.00	44991.77
<i>Cost per Total Building Area (\$/m2)</i>	8.72	0.00	0.00	8.72
<i>Cost per Net Conditioned Building Area (\$/m2)</i>	18.46	0.00	0.00	18.46

Biaya yang dikeluarkan setelah menerapkan sistem PTAC+*Daylighting control* adalah sebesar \$US 44991,77 atau Rp. 382.430.945,00. Jika dibandingkan dengan sistem PTAC biasa, maka terdapat penghematan biaya sebesar Rp. 19.568.785,00.

2. Menggunakan *Daylighting Control* dan *Energy Management System*

Energy Management System (EMS) adalah salah satu metode *control* tingkat tinggi yang tersedia di *EnergyPlus*. EMS dapat mengakses berbagai macam data "sensor" dan menggunakan data ini untuk langsung mengatur berbagai jenis tindakan kontrol. Konsep ini untuk meniru sistem pengelolaan energi digital yang digunakan dalam bangunan nyata.

Dalam simulasi ini, sensor *sensible load* diletakkan pada setiap zone yang dikondisikan. Kemudian perangkat yang dikontrol adalah *supply fan* yang menyuplai udara ke setiap zone yang dikondisikan. Sensor *sensible load* dipilih dikarenakan *sensible load* adalah beban ruangan yang sangat mempengaruhi terjadinya perubahan temperature.

Sedangkan *laten load* hanya mempengaruhi kondisi kualitas udara seperti *relative humidity*.

Input dari sensor EMS kemudian diolah dan digunakan untuk mengatur *supply fan* sehingga besarnya daya *supply fan* tergantung dari *sensible load* yang ada pada ruangan.

Tabel 4.22 *End Uses* Gedung Sistem *Fan Coil Unit* biasa dengan *Fan Coil Unit+Daylighting+EMS*

	<i>Fan Coil Unit</i> (biasa)		<i>Fan Coil Unit+Daylighting+EMS</i>	
	<i>Electricity [GJ]</i>	<i>Water (m³)</i>	<i>Electricity[GJ]</i>	<i>Water (m³)</i>
<i>Heating</i>	0.00	0	0.00	0
<i>Cooling</i>	325.99	0	256.57	0
<i>Interior Lighting</i>	534.08	0	468.84	0
<i>Exterior Lighting</i>	0.00	0	0.00	0
<i>Interior Equipment</i>	417.71	0	417.71	0
<i>Exterior Equipment</i>	3.11	0	3.11	0
<i>Fans</i>	15.25	0	10.99	0
<i>Pumps</i>	80.99	0	79.15	0
<i>Heat Rejection</i>	31.44	1580.03	26.88	1296.40
<i>Humidification</i>	0.00	0	0.00	0
<i>Heat Recovery</i>	0.00	0	0.00	0
<i>Water Systems</i>	0.00	0	0.00	0
<i>Refrigeration</i>	0.00	0	0.00	0
<i>Generators</i>	0.00	0	0.00	0
<i>Total End Uses</i>	1408.58	1580.03	1263.26	1296.40

Dari tabel 4.22 diatas, terlihat penurunan pemakaian energi yang cukup signifikan yaitu sebesar 145,32 GJ atau 10,3%. Penurunan pemakaian energi hanya terjadi pada peralatan-peralatan yang berhubungan dengan pengkondisian udara saja, sedangkan interior lighting dan exterior equipment tidak berubah pemakaiannya.

Tabel 4.23 Biaya Energi Gedung dengan *Fan Coil Unit+Daylighting+EMS*

	<i>Electric</i>	<i>Gas</i>	<i>Other</i>	<i>Total</i>
<i>Cost (\$)</i>	36606.99	0.00	0.00	36606.99
<i>Cost per Total Building Area (\$/m²)</i>	7.10	0.00	0.00	7.10
<i>Cost per Net Conditioned Building Area (\$/m²)</i>	15.02	0.00	0.00	15.02

Universitas Indonesia

Biaya pemakaian energi listrik gedung dengan sistem *Fan Coil Unit+Daylighting control+EMS* adalah sebesar \$US 36606.99. Atau sebesar Rp. 311.159.415,00. Dengan demikian, maka jika dibandingkan dengan sistem *Fan Coil Unit* biasa, maka ada penghematan sebesar Rp. 35.686.145,00

Tabel 4.24 *End Uses* Gedung Sistem PTAC biasa dengan PTAC+*Daylighting+EMS*

	PTAC (biasa)	PTAC+ <i>Daylighting+EMS</i>
	<i>Electricity [GJ]</i>	<i>Electricity[GJ]</i>
<i>Heating</i>	0.00	0.00
<i>Cooling</i>	666.85	504.77
<i>Interior Lighting</i>	534.08	468.84
<i>Exterior Lighting</i>	0.00	0.00
<i>Interior Equipment</i>	417.71	417.71
<i>Exterior Equipment</i>	3.11	3.11
<i>Fans</i>	11.41	12.63
<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>	1633.16	1407.06

Dengan menerapkan sistem PTAC+*Delighting control+EMS*, terjadi penurunan pemakaian energi sebesar 226,1 GJ atau 13,8% dari pemakaian energi semula.

Tabel 4.25 Biaya Energi Gedung dengan PTAC+*Daylighting+EMS*

	<i>Electric</i>	<i>Gas</i>	<i>Other</i>	<i>Total</i>
<i>Cost (\$)</i>	40761.68	0.00	0.00	40761.68
<i>Cost per Total Building Area (\$/m2)</i>	7.90	0.00	0.00	7.90
<i>Cost per Net Conditioned Building Area (\$/m2)</i>	16.73	0.00	0.00	16.73

Biaya energi yang dikeluarkan setelah menerapkan sistem PTAC+*Daylighting* control+EMS adalah sebesar \$ 40761.68 atau Rp. 346.474.280,00 Jika dibandingkan dengan sistem PTAC biasa, maka terdapat penghematan biaya sebesar Rp. 55.524.550,00.

4.4 Penggunaan Energi Alternatif

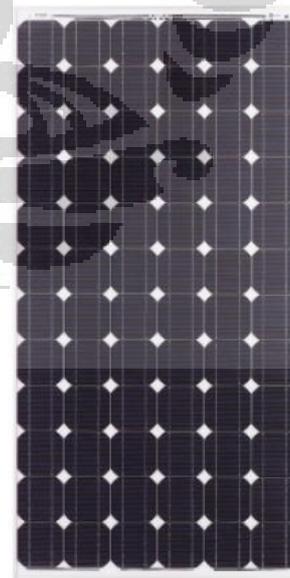
4.4.1 Turbin Angin dan Photovoltaic

Turbin angin seperti ditunjukkan pada Gambar 4.14 dapat digunakan pada gedung MRC FT-UI dikarenakan kecepatan angin yang mencukupi untuk menggerakkan turbin. Turbin angin yang digunakan pada gedung berupa turbin *horizontal axis* berjumlah 5 buah dengan spesifikasi pada Lampiran 4. Turbin ini menghasilkan listrik yang disimpan dalam penyimpanan untuk selanjutnya dapat digunakan pada gedung.

Photovoltaic seperti ditunjukkan pada Gambar 4.15 merupakan alat untuk mengubah energi cahaya matahari menjadi energi listrik. Photovoltaic dipadang pada seluruh atap bangunan dengan jumlah module 736 buah. Spesifikasi modul yang digunakan ada pada Lampiran 5.



(a)



BP 2150S

(b)

Gambar 4.15 (a) Turbin Angin (b) Photovoltaic

Universitas Indonesia

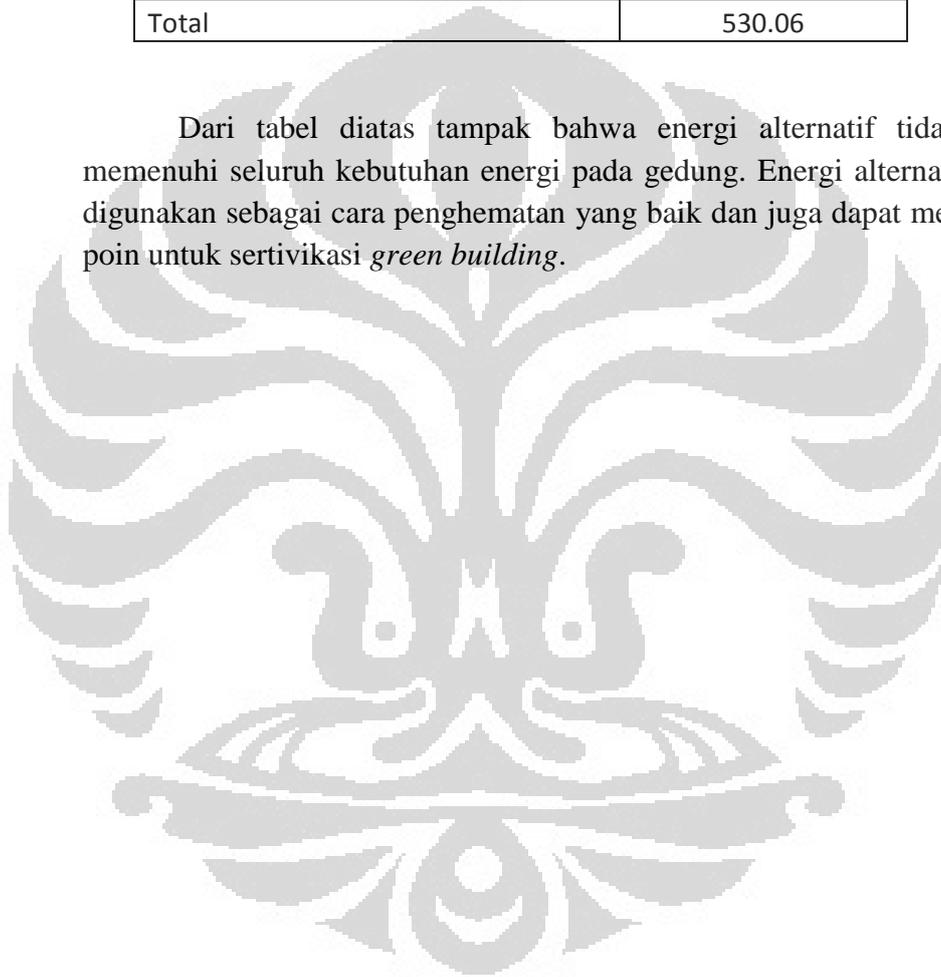
4.4.2 Hasil Simulasi Energi Alternatif

Simulasi energi alternatif dengan menggunakan Photovoltaic dan Turbin angin menghasilkan energi sebesar :

Tabel 4.26 Hasil Simulasi Energi Alternatif

	Electricity [GJ]
Photovoltaic Power	525.69
Wind Power	4.37
Total	530.06

Dari tabel diatas tampak bahwa energi alternatif tidak dapat memenuhi seluruh kebutuhan energi pada gedung. Energi alternatif dapat digunakan sebagai cara penghematan yang baik dan juga dapat menambah poin untuk sertifikasi *green building*.



BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Setelah dilakukan audit energi menggunakan simulasi *software EnergyPlus*, pada dua sistem pendingin udara *Packaged Terminal Air Conditioner* dan *Fan Coil Unit*, dapat diambil kesimpulan sebagai berikut.

1. Penggunaan energi tahunan dengan menggunakan sistem HVAC *Packaged Terminal Air Conditioner* adalah sebesar 1633.16 GJ. Sedangkan dengan menggunakan sistem HVAC *Fan Coil Unit*, penggunaan energinya lebih rendah yaitu sebesar 1408.58 GJ.
2. Faktor cuaca dan keadaan sekitar gedung dapat mempengaruhi penggunaan energi.
3. Dalam satu tahun (2011) penggunaan energi paling tinggi terjadi pada bulan Maret, dan paling rendah terjadi pada bulan Februari.
4. Kondisi temperatur ruangan diseting pada 24.5 °C dan pada *Fan Coil Unit* dan PTAC dapat menjaga kondisi ini dengan baik selama jam kerja.
5. Biaya pemakaian energi listrik untuk sistem PTAC adalah sebesar \$ 47293,98 atau Rp.401.998.830,00 per tahun. Sedangkan sistem *Fan Coil Unit* memerlukan biaya sebesar \$US 40805,36 atau Rp.346.845.560,00 per tahun.
6. Bangunan gedung MRC FT-UI tersebut telah memenuhi kriteria bangunan hemat energi dengan menggunakan *Fan Coil Unit* maupun menggunakan sistem PTAC berdasarkan BCA yaitu dengan efisiensi energi indeksnya sebesar 174.14 kWh.
7. Penggunaan *Daylighting control* pada sistem PTAC dapat memberikan penghematan sebanyak 4,94%. Sedangkan penggunaan *daylighting*

control pada *Fan Coil Unit* memberikan penghematan energi sebanyak 5,3 %

8. Penggunaan *Energy Management System* disertai dengan *Daylighting control* pada sistem PTAC dapat menurunkan penggunaan energi sebesar 13,8%. Sedangkan pada sistem *Fan Coil Unit*, terjadi penurunan sebesar 10,3%.
9. Penggunaan energi alternatif yaitu photovoltaic dan turbin angin dapat menghasilkan energi sebesar 530.06 GJ per tahun.

5.2 Saran

Dalam simulasi energi ini masih cukup banyak ketidakakuratan 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 *Fan Coil Unit* 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 serta menerapkan *Energy Management System*.

DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Introduction to BCA Green Mark
- [2]. <http://www.ctenergyinfo.com/greenbuildings.htm> -diakses tanggal 11 Juni 2011 pukul 20:15.
- [3]. www.bdg.nus.edu.sg/BuildingEnergy/news/eeba.pdf - diakses tanggal 6 Juni 2011.
- [4]. SNI_03-6196-2000_Audit Energi pada Bangunan Gedung.pdf
- [5]. EnergyPlus Documentation Version 06, October 2010.
- [6]. http://www.facstaff.bucknell.edu/mvigeant/therm_1/ac_final/bg.htm - diakses pada tanggal 11 Juni 2011 pukul 15:10
- [7]. Wang, Shan K, *Handbook of air conditioning and refrigeration*, McGraw-Hill, USA, 2001.
- [8]. Kavanaugh, Stephen P, *HVAC Simplified*.ASHRAE,USA,2006
- [9]. _____2009. ASHRAE Handbook - Nonresidual *Cooling and Heating Loads Calculations* .Atlanta, GA: ASHRAE
- [10]. Soufyan, Moh. *Noerbambang, Perancangan dan Pemeliharaan Sistem Plumbing*, Taeko Morimura, 1993.
- [11]. <http://sinar-electric.com/POMPAAIR/POMPAAIRWASSERPC-500EA.htm> - diakses tanggal 11 Juni 2011 pukul 20:00.
- [12]. Lecture's note. Fluid System 04, Centrifugal Pump. Dr.Ir. Harinaldi, M.Eng.
- [13]. <http://www.pln.co.id/?p=49> – diakses tanggal 11 Juni 2011 pukul 21:00.
- [14]. <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/kinetic/relhum.html> - diakses tanggal 6 Juni 2011 pukul 21:30.
- [15]. <http://science.howstuffworks.com/dictionary/meteorological-terms/question651.htm> diakses tanggal 6 Juni 2011 pukul 21:40.
- [16]. ANSI/ASHRAE Standard 55-1992, *Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy*.

LAMPIRAN

1. Perhitungan Pompa

- Pompa Air 1 untuk suplai air toilet dan dapur.

1. Mencari banyaknya orang yang ada pada gedung.

Dari standar yang digunakan pada Objek People, didapatkan kepadatan orang/luas lantai. Dengan demikian dapat dihitung jumlah orang yang ada pada gedung. Misalnya pada zone WeldingWorkshop. Luas zone tersebut adalah 205,20 m², sedangkan kepadatan orang adalah 0,05 orang/m². Sehingga jumlah orang maksimum pada zone tersebut adalah 205,20 x 0,05 = 10,26 orang = 10 orang.

Perhitungan dilakukan pada zone-zone lain kecuali toilet dan selasar, sehingga didapatkan total jumlah orang pada gedung adalah 350 orang.

2. Menentukan konsumsi air pada gedung.

Dari tabel pemakaian air rata-rata diambil pemakaian air untuk gedung perkantoran, yaitu sebesar 100 Liter/hari/orang. Dengan demikian, jumlah konsumsi air pada gedung = 100 x 350 orang = 35.000 Liter/hari.

3. Menentukan kapasitas pompa

Debit air yang keluar dari pipa *supply* adalah :

$$\frac{35000}{(8 \times 60 \text{ menit})} = 72,91 \text{ Liter/menit}$$

Dari referensi internet (Gambar pompa air wessel), didapatkan kapasitas pompa sebesar 110 Liter/menit.

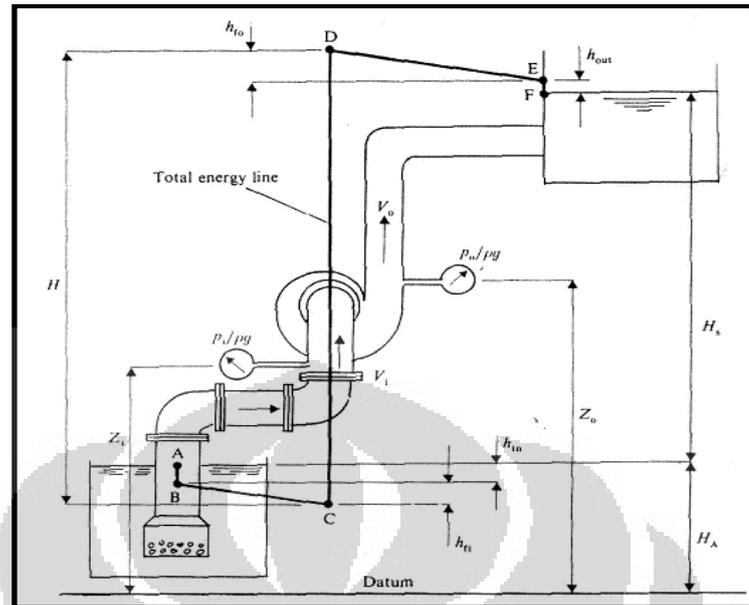
Tabel Pemakaian Air rata-rata Bangunan[10]

No	Jenis Gedung	Pemakaian air rata-rata sehari (liter)	Jangka waktu pemakaian air rata-rata sehari (jam)	Perbandingan luas lantai efektif/total (%)	Keterangan
1	Perumahan mewah	250	8 – 10	42 – 45	Setiap penghuni
2	Rumah biasa	160 – 250	8 – 10	50 – 53	Setiap penghuni
3	Apartement	200 – 250	8 – 10	45 – 50	Mewah 250 liter Menengah 180 liter Bujangan 120 liter
4	Asrama	120	8		Bujangan
5	Rumah sakit	Mewah > 1000 Menengah > 500-1000 Umum 350-500	8 – 10	45 – 48	Setiap tempat tidur pasien Pasien luar : 8 liter Staf/pegawai : 120 liter Keluarga pasien : 160 liter
6	Sekolah dasar	40	5	58 – 60	Guru : 100 liter
7	SLTP	50	6	58 – 60	Guru/dosen : 100 liter
8	SLTA dan PT	80	6		Penghuninya : 160 liter
9	Rumah toko	100 – 200	8		Setiap pegawai
10	Gedung kantor	100	8	60 – 70	
11	Toserba		7	55 – 60	Pemakaian air hanya untuk WC, belum termasuk untuk restorannya.
12	Pabrik/industri	Buruh pria : 60 Buruh wanita : 100	8		Per orang setiap giliran
13	Stasiun/terminal	3			Setiap penumpang
14	Restoran	30	15		Untuk penghuni : 160 liter
15	Restoran umum	15	5		Untuk penghuni : 160 liter Pelayan : 100 liter
16	Gedung pertunjukan	30	7		70% dari jumlah tamu perlu 15 liter/orang
17	Gedung bioskop	10	5	53 – 35	Idem
18	Toko Pengecer	40	3		Pedagang besar : 30 ltr/tamu
19	Hotel/penginapan	250 – 300	6		120 – 150 liter per tamu
20	Gedung peribadatan	10	10		Didasarkan jumlah jamaah
21	Perpustakaan	25	2		Untuk setiap pembaca yang tinggal
22	Bar	30	6		Setiap tamu
23	Perkumpulan sosial	30	6		Setiap tamu
24	Klub malam	120 – 350			Setiap tempat duduk
25	Gedung perkumpulan	150 – 200			Setiap tamu
26	Laboratorium	100 – 200	8		Setiap staf



Gambar Pompa Air Wasser[11]

4. Menentukan Head Pompa



Gambar Head Pompa[12]

$$H = H_s + \sum losses$$

$$= H_s + h_{f1} + h_{f0} + h_{in} + h_{out} \quad (3.1)[12]$$

$H_s = 29 \text{ m.}$

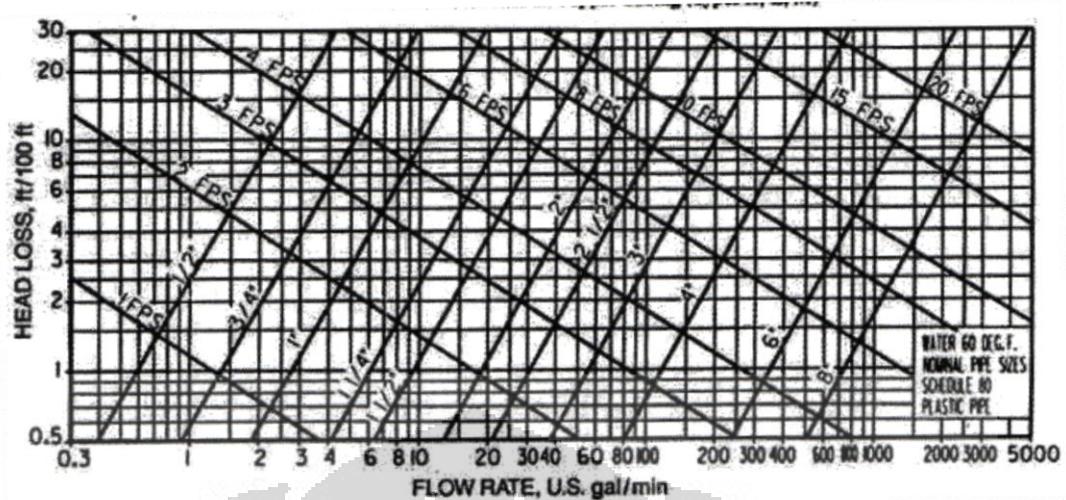
Hloses :

Kapasitas pompa adalah 110 Liter/menit atau $0,001833 \text{ m}^3/\text{s}$ atau 29,05 gallon per menit. Misal digunakan pipa dengan diameter 2 in.

Sehingga kecepatan aliran air pada pipa adalah :

$$V = \frac{Q}{A} = \frac{0,001833}{3,14 \times 0,0254^2} = 0,9165 \frac{m}{s}$$

Atau 3,0 feet per second.



Gambar Grafik Friction Loss for *Water* in Plastic Pipe (Schedule 80)[8]

Dari grafik Friction Loss for *Water* in Plastic Pipe (Schedule 80) didapatkan friction loss 2,2 feet/100 feet.

Panjang total pipa adalah 30 m atau 98,42 feet. Jadi friction loss pipa adalah 2,2 feet atau 0,67 m.

Pada desain piping ini digunakan elbow sebanyak 7 buah dan socket T branch 1 buah.

Tabel Equivalent Length HDPE Pipe[8]

Fitting	0.75 in.	1 in.	1.25 in.	1.5 in.	2 in.	3 in.	4 in.	6 in.	8 in.	10 in.	12 in.
Socket U-bend	12	6.4	11	—	—	—	—	—	—	—	—
Socket U-Do	8.5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Socket 90° L	3.4	2.5	6.3	6.5	6.8	—	—	—	—	—	—
Socket tee—Branch	4.1	5.2	6.4	10.0	13	—	—	—	—	—	—
Socket tee—Straight	1.2	1.2	0.9	2.0	2.8	—	—	—	—	—	—
Soc. reducer (1 step)	—	6.1	4.0	3.9	4.2	—	—	—	—	—	—
Soc. reducer (2 step)	—	—	4.2	—	5.1	—	—	—	—	—	—
UniCoil™	8.7	10.2	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Butt U-bend	12.4	22.4	35	43	—	—	—	—	—	—	—
Butt 90° L	7.2	10.0	18.5	10.7	12.3	32	38	51	63	75	87
Butt tee—Branch	7.5	7.1	17.2	10.7	15.2	31	37	50	62	74	86
Butt tee—Straight	4.5	2.7	5.5	2.9	4.1	6.8	7.1	7.7	8.3	9	10
Butt reducer	—	4.8	5.5	6.0	6.8	10.3	13.4	20	26	33	39
Butt joint	2.0	1.2	1.3	1.3	1.2	0.8	1.0	—	—	—	—
5 ton close header (First/last take-off)	—	17/30	—	—	—	—	—	—	—	—	—
10 ton close header	—	20/34	—	—	—	—	—	—	—	—	—

* Equivalent lengths are in feet.

Dari tabel didapatkan equivalent length adalah

$$\text{Elbow} = 6,8 \text{ feet} \times 7 = 47,6 \text{ feet} = 14,5 \text{ m}$$

T branch = 13 feet = 3,96 m

Total Head Loss friction adalah

$$0,67 \text{ m} + 14,5 \text{ m} + 3,96 \text{ m} = 19,13 \text{ m}$$

Head Pompa total adalah $29 \text{ m} + 19,13 \text{ m} = 48,13 \text{ m}$.

Dengan demikian, pompa diatas dapat dipakai.

5. Menentukan berapa kali pengisian.

Misalkan menggunakan penampung air dengan kapasitas 1000

Liter berjumlah 2 buah, maka

Debit air yang keluar dari penampungan adalah 72,91 Liter/ menit, sedangkan *supply* dari pompa adalah 110 Liter/menit sehingga ada selisih 37,09 Liter/ menit.

Maka jika tangki penyimpanan dalam keadaan kosong, dan akan diisi maka diperlukan waktu

$$\frac{2000}{37,09} = 53,92 \text{ menit}$$

Pada saat keadaan tangki penuh dan pompa mati, maka waktu untuk menghabiskan isi dalam tangki adalah

$$\frac{2000}{72,91} = 27,43 \text{ menit}$$

Jadi pompa akan menyala selama 53, 92 menit dan mati selama 27,43 menit. Dengan demikian, maka pompa akan menyala sebanyak 6 kali dalam sehari.

- Pompa Air 2 untuk suplai air laboratorium.
- 1. Mengambil asumsi pemakaian air pada laboratoruim sebesar 10.000 Liter/hari
- 2. Dengan skema pemipaan yang sama dengan perhitungan diatas, maka head total pompa yang diperlukan adalah 48 m. Maka, pompa yang dipilih adalah sama dengan pompa 1 diatas.
- 3. Menghitung debit air yang keluar dari reservoir

Misalkan digunakan 2 reservoir air dengan kapasitas masing-masing 1000 Liter. Maka, debit air yang keluar dari reservoir adalah :

$$\frac{10.000}{8 \times 60 \text{ menit}} = 20,83 \text{ m}^3/\text{s}$$

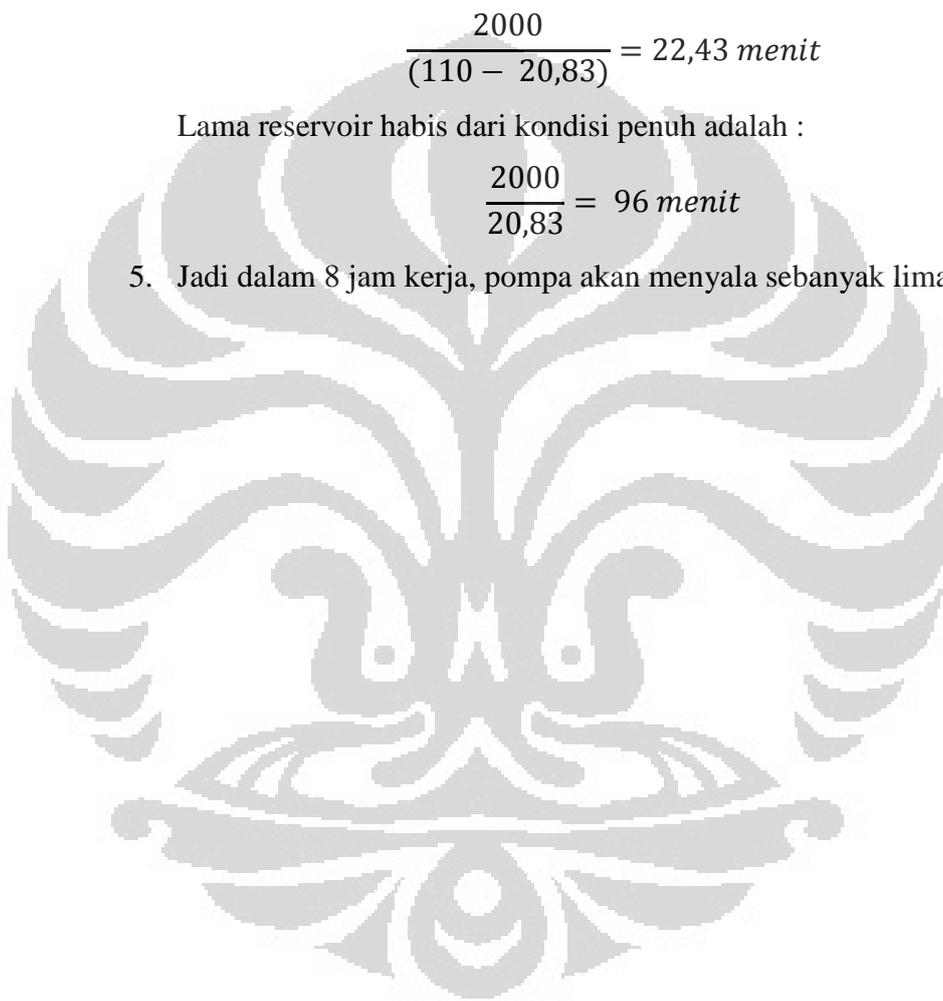
4. Pompa air yang dipilih memiliki debit 110 Liter/menit, maka lama pengisian reservoir adalah :

$$\frac{2000}{(110 - 20,83)} = 22,43 \text{ menit}$$

Lama reservoir habis dari kondisi penuh adalah :

$$\frac{2000}{20,83} = 96 \text{ menit}$$

5. Jadi dalam 8 jam kerja, pompa akan menyala sebanyak lima kali.



2. Autodesk Revit

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

3. Poin untuk tiap bagian dari *green 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 1-6 to 1-11		61	
Category Score for Part 1 – Energy Efficiency Prorate Subtotal (A) + Prorate Subtotal (B) + Prorate Subtotal (C)		118 (Max)	
(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 5 : Other Green Features			
NRB 5-1 Green Features & Innovations		7	
Category Score for Part 5 – Other Green Features		7	
Green Mark Score :		180 (Max)	

4. Spesifikasi Turbin Angin



1.3 kW Wind Turbine System Specification Sheet

Wind is a naturally occurring and abundant resource and is one of the cleanest ways to produce electricity. Very little processing needs to be done to convert it into clean, free energy. Operation of our wind turbines produces no pollution with no emissions, excessive noise or waste heat by-products. Wind can be harvested with minimal impact on the environment, a very important factor in meeting our increasing energy needs.

Synergy

- Solar
- Biomass
- Diesel Generator
- Hydroelectric
- Geothermal

Applications

- Commercial and Industrial
- Residential and Resort
- Agricultural
- Remote Communities
- Off-Grid Power
- Institutional and Public

Key Benefits

- Energy cost savings from wind generated power
- No scheduled maintenance
- Designed to reliably operate in harsh cold & hot climates
- Operation creates virtually no environmental impact
- Cost-effective and financially viable
- Warranty

Turbine

Rated Power Output	1.3 kW
Energy Production*	200 kWh/month
Type	3 blades, horizontal axis
Generator	Gearless, brushless, permanent magnet
Swept Area	6.8 m ²
Blade Diameter	2.9 m
Blade Material	Fibreglass reinforced plastic
Total Turbine Mass	39 kg
Voltage/Phase @ Rated Power	125 Vac peak
Current/Phase @ Rated Power	3.6 Aac peak
Generator NEMA Rating	Class B, 2 HP
Life Expectancy	> 25 years

*5.0 m/s (18 km/h) average wind speed, Rayleigh Distribution, Sea Level elevation



Operational Data

Rated Wind Speed	11 m/s (39 km/h)
Start-up Wind Speed	3 m/s (11 km/h)
Furling Start-up Wind Speed	10 m/s (36 km/h)
Furling Method	Spring/hinge-based tilt-up
RPM at Rated Power	800 RPM
Survival Wind Speed	45 m/s (162 km/h)
Survival RPM	1,400 RPM

Conversion Table

m/s	km/h	mph
4	14	9
6	22	13
8	29	18
10	36	22
12	43	27
18	65	40
25	90	56
45	162	101

5. Spesifikasi Photovoltaic

Typical Electrical Characteristics ⁽¹⁾	BP 2140S	BP 2150S
Maximum Power (P_{max}) ⁴	140W	150W
Voltage at P_{max} (V_{mp})	34.0V	34.0V
Current at P_{max} (I_{mp})	4.16A	4.45A
Warranted minimum P_{max}	130W	140W
Short-circuit current (I_{sc})	4.48A	4.75A
Open-circuit voltage (V_{oc})	42.8V	42.8V
Temperature coefficient of I_{sc}	(0.065±0.015)%/°C	
Temperature coefficient of V_{oc}	-(1.60±20)mV/°C	
Temperature coefficient of power	-(0.5±0.05)%/°C	
NOCT ²	47±2°C	
Maximum system voltage ³	600V	

Notes

- These data represent the performance of typical BP 2140S and BP 2150S modules as measured at their output connections. The data are based on measurements made in accordance with ASTM E1106-85 corrected to SRC (Standard Reporting Conditions, also known as STC or Standard Test Conditions), which are:
 - Illumination of 1 kW/m^2 (1 sun) at spectral distribution of AM 1.5 (ASTM G99-87 global spectral irradiance);
 - cell temperature of 25°C.
- U.S. NEMA rating.
- The cells in an illuminated module operate hotter than the ambient temperature. NOCT (Nominal Operating Cell Temperature) is an indicator of this temperature differential, and is the cell temperature under Standard Operating Conditions: ambient temperature of 20°C, solar irradiation of 0.8 kW/m^2 , and wind speed of 1 m/s.
- During the stabilization process which occurs during the first few months of deployment, module power may decrease approximately 3% from typical P_{max} .

BP 2150 I-V Curves

