



UNIVERSITAS INDONESIA

**Analisis Micro Climate dengan Metode Computational Fluid
Dynamics serta Perhitungan Beban Pendinginan pada Bangunan
dengan metode Carrier**

SKRIPSI

Ferdinand Yulius

0405020308

FAKULTAS TEKNIK

TEKNIK MESIN

Depok

Juni 2009



UNIVERSITAS INDONESIA

**Analisis Micro Climate dengan Metode Computational Fluid
Dynamics (CFD) serta Perhitungan Beban Pendinginan pada
Bangunan dengan metode Carrier**

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik

Ferdinand Yulius

0405020308

**FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
KEKHUSUSAN TEKNIK MESIN**

Depok

Juni 2009

Universitas Indonesia

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

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

Nama : Ferdinand Yulius

NPM : 0405020308

Tanda Tangan :

Tanggal : 20 Juni 2009

Universitas Indonesia

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh:

Nama : Ferdinand Yulius
NPM : 0405020308
Program Studi : Teknik Mesin
Judul Skripsi : Analisis Micro Climate dengan Metode Computational Fluid Dynamics (CFD) serta Perhitungan Beban Pendinginan pada Bangunan dengan Metode Carierr

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

DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Dr.Ir. Ahmad Indra Siswantara (.....)

Penguji : Dr.Ir. Warjito M.Eng (.....)

Penguji : Prof.Dr.Ir. Budiarmo (.....)

Penguji : Ir.Rusdy Malin MME (.....)

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 20 Juni 2009

Universitas Indonesia

KATA PENGANTAR

Yang pertama dan yang terutama saya mengucapkan syukur kepada Tuhan Yesus Kristus sebagai pihak penentu segala sesuatu. Karena Dialah segala hambatan dan kesulitan yang terjadi dalam penulisan karya akhir ini dapat teratasi dengan baik. Dia juga yang memberikan kemampuan dan kekuatan untuk dapat melakukan penelitian ini. Setelah itu, penulis juga berterima kasih kepada:

- kedua orang tua yang teramat sangat membantu penulis, baik itu dari segi moral maupun materiil
- dosen pembimbing skripsi yaitu Bapak Ahmad Indra yang dengan setia membantu dan mengarahkan saya dalam setiap pembuatan skripsi ini
- Pak Warjito yang meskipun bukan dosen pembimbing secara resmi namun dengan sukarela dan kesungguhan membantu penulis dalam memahami konsep Zero Energy Building
- dosen-dosen lain yang turut membantu dalam penyelesaian skripsi ini seperti Pak Rusdi ini dari segi metodologi perhitungan beban pendinginan
- untuk Suhartoyo B.U., Fery Hermawan, Bapak Hariyotejo dll yang turut membantu, memotivasi, dan menghibur saat sedang menghadapi hambatan selama penulisan skripsi ini
- mas Udi dari Departemen Teknik Mesin yang selalu setia untuk membuatkan izin permohonan peminjaman alat percobaan

Semoga Tuhan membalas segala kebaikan dan keikhlasan hati kalian dalam membantu penulis menyelesaikan karya akhir ini.

Akhir kata, penulis berharap karya akhir ini dapat berguna bagi siapa saja yang tertarik dalam hal *zero energy building*, khususnya tentang beban termal pada sebuah gedung. Penulis juga membutuhkan masukan untuk perbaikan karya tulis ini jika masih terdapat kekurangan. Masukan atau saran dapat dikirimkan ke email penulis: ferdy_the_tobz@yahoo.com.

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

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

Nama : Ferdinand Yulius
NPM : 0405020308
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 :

Analisis Micro Climate dengan Metode Computational Fluid Dynamics (CFD) serta Perhitungan Beban Pendinginan pada Bangunan dengan metode Carrierr

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 : 20 Juni 2009

Yang menyatakan

(Ferdinand Yulius Lumban Tobing)

Universitas Indonesia

ABSTRAKSI

Nama : Ferdinand Yulius
 Program Studi : Teknik Mesin
 Judul : Analisis Micro Climate dengan Metode Computational Fluid Dynamics (CFD) serta Perhitungan Beban Pendinginan pada Bangunan dengan Metode Carierr

Karakteristik udara pada suatu bangunan akan lebih mudah dianalisis apabila menggunakan metode Computational Fluid Dynamics. Dalam hal ini teranalisa dengan program EFD. Lab. Dari penelitian ini yang dimana rumah sebagai objek penelitiannya akan dianalisa karakteristik udara dan beban pendinginan pada tiap lantai rumah tersebut, dan akan terlihat berbagai faktor penentu dari bangunan rumah tersebut seperti letak ventilasi, kolam dan pendinginannya yang akan menciptakan kenyamanan termal dengan beban energy se-minimum mungkin agar tercapai Zero Energy Building. Dan perhitungan didapat hasil selisih beban pendinginan aktual dan idealnya sehingga hasil tersebut merupakan jumlah beban pendinginan yang perlu dilakukan pada rumah tersebut agar tercapai kenyamanan termal untuk para penghuni rumah.

Kata Kunci : *Zero Energy Building*, Beban Pendinginan, *Computaional Fluid Dynamics*, Kenyamanan Termal.

ABSTRACT

Name :
 Study Program :
 Title :

The characteristics of the air of a building are easy to analyze using a method named Computational Fluid Dynamics. In this case, it will be analyzed using EFD program. In this research, where a house is being the object of the research, the writer analyzed the characteristics of the air and the cooling load in each floor of the house, and the determining factors of the house, such as where the ventilation, water, and cooler which will create the thermal comfort with minimal energy burden to make a Zero Energy Building are located will be notified. From the calculation, the writer got the total cooling load that has to be made for the house to achieve the thermal comfort for the member of the house.

Key Word : Zero Energy Building, Cooling Load, Computaional Fluid Dynamics, Thermal Comfort

DAFTAR ISI

SAMPUL	i
JUDUL	ii
PERNYATAAN ORISINALITAS	iii
HALAMAN PENGESAHAN	iv
KATAPENGANTAR	v
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS	vi
ABSTRAKSI	vii
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR TABEL	x
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR LAMPIRAN	xii
BAB I. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar belakang	1
1.2 Perumusan masalah	2
1.3 Tujuan penelitian	2
1.4 Batasan penelitian	2
1.5 Metodologi penelitian	3
1.6 Sistematika penulisan	3
BAB II. LANDASAN TEORI	5
2.1 Aliran Udara	5
2.1.1 Penjelasan Umum	5
2.1.2 Mekanisme Aliran Udara	6
2.2 Ventilasi	8
2.2.1 Penjelasan Umum	8
2.2.2 Jenis-jenis Ventilasi	9
2.3 Perpindahan Panas	12
2.4 Kenyamanan Termal	15
2.4.1 Penjelasan Umum	15
2.4.2 Faktor-faktor yang Berpengaruh Terhadap Kenyamanan Termis.....	16
2.4.3 Pengukuran Tingkat Kenyamanan Termis	17
2.4.4 Permasalahan Kenyamanan Termis	19
2.4.5 Acuan Kenyamanan yang di Syaratkan	20
2.5 CFD	21
2.5.1 Penjelasan Umum	21
2.5.2 Komponen Utama CFD	22
2.6 Beban Pendinginan pada Rumah / Gedung	24
2.6.1 Beban Pendinginan Eksternal	24
2.6.2 Beban Pendinginan Internal	28
BAB III METODOLOGI PENELITIAN, PENGAMBILAN DATA, PEMODELAN DAN SIMULASI	32
3.1 Metode Penelitian	32
3.1.1 Pendahuluan	32
3.1.2 Objek, Tempat dan Waktu Penelitian	32
3.1.3 Peralatan dan Alat Ukur	32
3.1.4 Alur Keangka Penelitian	32
3.2 Pengambilan Data	34
3.2.1 Data bangunan	34

3.2.2 Pemodelan	34
3.2.3 Cara dan Hasil Pengukuran	36
3.3 Simulasi	37
3.3.1 Pembuatan Simulasi pada EFD Lab.Simulation	40
3.3.2 Validasi Model Simulasi	40
BAB IV. ANALISIS HASIL DAN PEMBAHASAN PENELITIAN	42
4.1 Validasi	42
4.1.1 Lantai 1	42
4.1.2 Lantai 2	44
4.2 Perhitungan Beban Pendinginan yang Telah Terjadi	49
4.2.1 Lantai 1	49
4.2.2 Lantai 2	52
4.3 Perhitungan Beban Pendinginan yang Ideal	57
4.3.1 Lantai 1	57
4.3.2 Lantai 2	60
4.4 Perhitungan Beban Pendinginan yang Ideal pada Pk 14.00	65
4.4.1 Lantai 1	65
4.4.2 Lantai 2	68
4.5 Perhitungan Beban Pendinginan yang Ideal pada Pk 15.00	73
4.5.1 Lantai 1	73
4.5.2 Lantai 2	76
4.6 Perhitungan Beban Pendinginan yang Ideal pada Pk 12.00	81
4.6.1 Lantai 1	81
4.6.2 Lantai 2	84
4.7 Analisis Panas Pada Dinding.....	90
BAB V. KESIMPULAN DAN PENUTUP	97
5.1 Kesimpulan	97
5.2 Saran	98
DAFTAR REFERENSI	99
LAMPIRAN	100

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 PPD.....	18
Tabel 4.1 Data & Validasi Pengukuran Lantai 1.....	42
Tabel 4.2 Data & Validasi Pengukuran Lantai 2.....	44
Tabel 4.3 Nilai Ukur dan Simulasi serta Eror Temperatur Udara	46
Tabel 4.4 Nilai Ukur dan Simulasi serta Eror Kecepatan Udara	47
Tabel 4.5 Nilai Ukur dan Simulasi serta Eror Kelmbapan Udara	48
Tabel 4.6 Beban Pendinginan Lantai 1 Terhitung dari 4 Waktu	88
Tabel 4.7 Beban Pendinginan Lantai 2 Terhitung dari 4 Waktu	89
Tabel 4.8 Pengukuran Radiasi pada Dinding	96
Tabel 5.1 Analisa Beban Pendinginan pada Rumah.....	97
Tabel 5.2 Beban Pendinginan pada 4 Waktu yang Berbeda.....	98

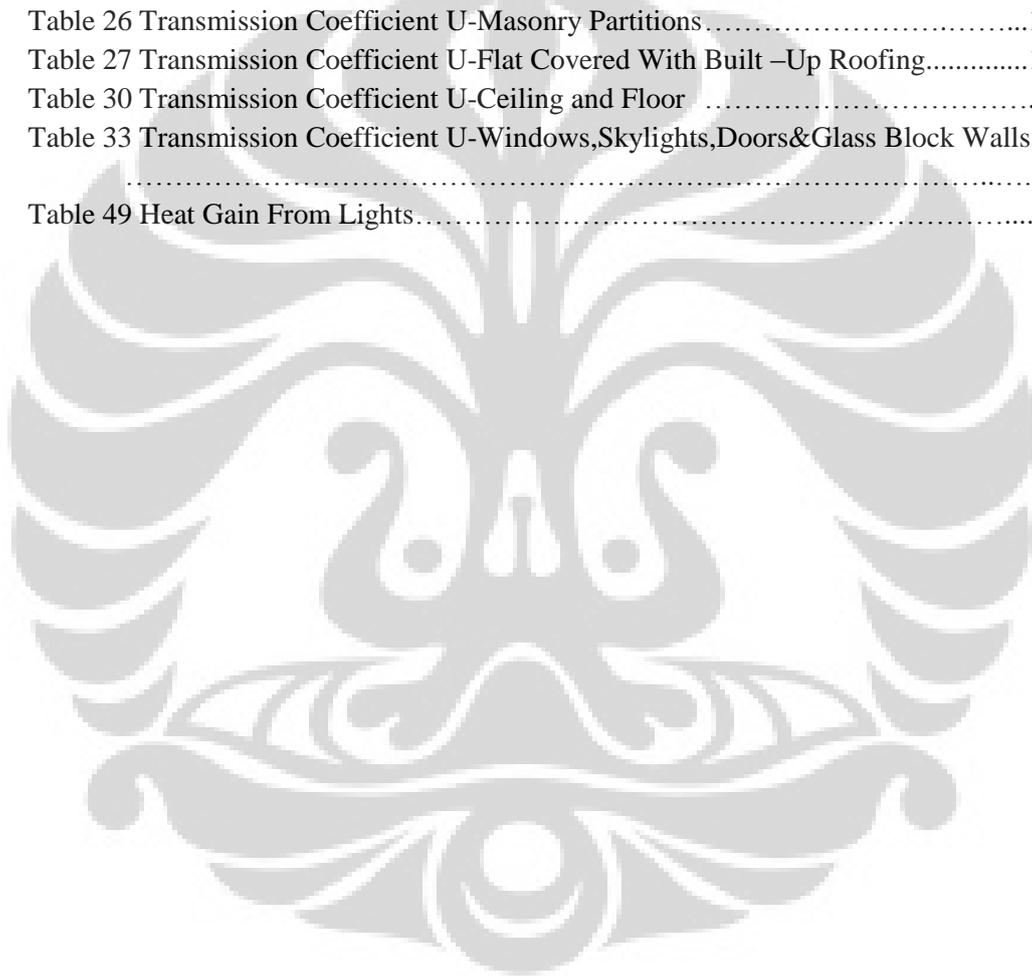


DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 PPD	18
Gambar 3.1 Skema Alur Penelitian	33
Gambar 3.2 Lokasi Pengukuran Lantai 1	34
Gambar 3.3 Lokasi Pengukuran Lantai 2	35
Gambar 3.4 Pemodelan Rumah..	35
Gambar 3.5 Skema Alur Pemodelan	36
Gambar 3.6a Skema Proses Pembuatan Geometri	38
Gambar 3.6b Skema Proses Simulasi..	39
Gambar 4.1 Distribusi Temperatur Lantai 1	43
Gambar 4.2 Distribusi Kelembapan Lantai 1	43
Gambar 4.3 Distribusi Kecepatan Lantai 1	44
Gambar 4.4 Distribusi Temperatur Lantai 2	45
Gambar 4.5 Distribusi Kelembapan Lantai 2	45
Gambar 4.6 Distribusi Kecepatan Lantai 2	45
Gambar 4.7 Distribusi Temperatur Vertikal pada Ruang Berventilasi	46
Gambar 4.8 Grafik Beban Pendinginan Lantai 1 dari 4 Waktu	88
Gambar 4.9 Grafik Beban Pendinginan Lantai 2 dari 4 Waktu	89
Gambar 4.10 Objek Simulasi Radiasi	90
Gambar 4.11 Distribusi Temperatur Dinding Lantai 2	90
Gambar 4.12 Grafik Suhu Dinding Lantai 2 selama 5 jam	91
Gambar 4.13 Grafik Radiasi yang Terpancar pada Dinding selama 5 jam	92
Gambar 4.14 Grafik Radiasi (solar) yang Terpancar pada Dinding	93
Gambar 4.15 Grafik Radiasi (termal) yang Terpancar pada Dinding	94
Gambar 4.16 Grafik Intensitas Radiasi Hasil Equation Goal	95

DAFTAR LAMPIRAN

Table 6 Peak Solar Heat Gain Thru Ordinary Glass	100
Table 11 Storage Load Factors, Solar Heat Gain Thru Glass	101
Table 12 Storage Load Factors, Heat Gain-Lights	102
Table 13 Solar Heat Gain Thru Ordinary Glass	103
Table 16 Over All Factors for Solar Heat Gain Thru Glass	104
Table 19 Equivalent Temperature Differece (Exposure)	105
Table 20 Equivalent Temperature Differece (Condition)	106
Table 20A Corrections to Equivalent Temperature (Deg F)	106
Table 21 Transmission Coefficient U-Masonry Walls	107
Table 26 Transmission Coefficient U-Masonry Partitions.....	108
Table 27 Transmission Coefficient U-Flat Covered With Built –Up Roofing.....	109
Table 30 Transmission Coefficient U-Ceiling and Floor	110
Table 33 Transmission Coefficient U-Windows, Skylights, Doors & Glass Block Walls	111
Table 49 Heat Gain From Lights.....	112



BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 LATAR BELAKANG

Bangunan yang baik, bukanlah bangunan yang sekedar indah, namun juga harus memperhatikan aspek kenyamanan. Dalam hal ini rumah sebagai tempat melakukan kegiatan sehari-hari dan kantor tempat melakukan berbagai kegiatan juga harus mempertimbangkan aspek kenyamanan tersebut dalam pembangunannya. Unsur kenyamanan meliputi kenyamanan termis, akustik, dan visual termasuk kualitas udara dalam ruangan yang dipengaruhi oleh semua elemen yang berada dalam ruangan itu sendiri, termasuk fungsi ruangan dan sistem tata udaranya.

Untuk memenuhi segala jenis nyaman tersebut, sistem tata udara pada bangunan mempunyai peran yang sangat penting dalam mengendalikan suhu, kelembaban udara, kualitas udara dan pergerakan udara dan suhu sehingga kondisi kenyamanan dalam hal ini dari segi kenyamanan termis yang dibutuhkan pada suatu ruangan dapat terpenuhi sesuai standar yang berlaku dan diinginkan.

Dengan adanya sistem tata udara dalam hal ini tata udara yang tidak dikondisikan (ventilasi alami) memungkinkan terjadinya pergerakan atau pergantian udara dari dalam ke luar ruangan atau sebaliknya yang dapat mengendalikan tingkat nyaman pada ruangan tersebut. Dengan udara yang selalu bergerak tersebut diharapkan kondisi udara di dalam ruangan akan sesuai yang standard dan diinginkan serta bertambah baik, meliputi kenyamanan dan kualitasnya. Untuk menghasilkan distribusi aliran udara dan suhu dalam ruang yang standard dan diinginkan, diperlukan analisis sifat dan pola aliran serta distribusi udara dalam ruang tersebut.

Untuk pemecahan analisis aliran udara dan perpindahan kalor dalam ruangan dapat dilakukan dengan CFD (*Computational Fluid Dynamics*). Metode CFD menggunakan analisis numerik yaitu kontrol volume sebagai elemen dari integrasi persamaan-persamaan yang terdiri atas persamaan keseimbangan massa,

momentum dan energi, sehingga penyelesaian persamaan untuk benda dua atau tiga dimensi lebih cepat dan dapat dilakukan secara simultan/bersamaan. Dalam hal ini program yang digunakan dalam CFD untuk menyelesaikan permasalahan aliran udara dan perpindahan kalor pada ruangan tersebut yang digunakan yaitu dengan program EFD Lab. Simulation.

1.2 PERUMUSAN MASALAH

Dari beberapa hal yang melatar belakangi permasalahan tersebut diatas, maka penulis ingin melakukan penelitian terhadap berbagai faktor-faktor sebagai parameter kondisi aspek kenyamanan dari segi nyaman termis pada bangunan, khususnya ventilasi alami sebagai usaha mengkondisikan udara dalam bangunan yang menjadi objek penelitian. Penelitian ini dilaksanakan melalui permodelan dengan simulasi komputer dengan menggunakan program yang berbasis CFD (Computational Fluid Dynamics) untuk mempelajari distribusi aliran udara dan temperatur serta kenyamanan termis pada ruangan.

1.3 TUJUAN PENELITIAN

Melakukan modeling dan simulasi serta menganalisis sistem tata udara (ventilasi alami) dalam hal ini distribusi udara dan temperaturnya untuk mengetahui karakteristik visualisasi pada ruangan ibadah tersebut menggunakan CFD (Computational Fluid Dynamics) dalam hal ini menggunakan program EFD Lab. Simulation.

1.4 PEMBATASAN PENELITIAN

Melakukan simulasi dan modeling distribusi udara dan temperatur, dengan objek yang menjadi penelitian adalah kediaman dosen Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Berdasarkan keadaan aktual dan pengambilan data pada tanggal 20 April 2009 sebagai input pada program CFD.

Penelitian ini penulis lakukan bersama dengan seorang mahasiswa rekan skripsi, sehingga dengan demikian terdapat beberapa kesamaan dalam laporan skripsi yang diajukan ini. Pembahasan hasil simulasi program CFD akan difokuskan pada distribusi kecepatan aliran udara, pola aliran udara, dan distribusi temperatur udara di dalam ruangan pada lantai satu, dua dan basement.

1.5 METODE PENELITIAN

Metode sumber dan pengumpulan data serta informasi sebagai berikut:

1. Sumber data dan informasi :
 - Data dan informasi primer diperoleh dari pemilik resmi sertifikat rumah.
 - Data dan informasi sekunder diperoleh dari Pengumpulan data dan informasi yang dilakukan antara lain berasal dari : pengamatan (observasi), wawancara, kuesioner, tinjauan kepustakaan yang berkaitan dengan permasalahan yang akan dibahas pada penulisan skripsi dengan membaca buku-buku, diktat, jurnal, dan literatur lainnya baik yang ada dipustaka maupun mencarinya melalui internet.
2. Pengambilan data dibagi menjadi dua yaitu: pengambilan data penelitian dan pengambilan data untuk masukkan data pada program CFD (Computational Fluids Dynamic).
3. Simulasi Numerik, simulasi dilakukan dengan menggunakan program *EFD Lab. Simulation* sebagai perangkat lunak CFD (Computational Fluids Dynamic).
4. Pehitungan beban pendinginan dengan menggunakan metode Carrierr

1.6 SISTEMATIKA PENULISAN

Sistematika penulisan skripsi ini adalah berdasarkan isi dari setiap bab yang terdapat pada skripsi ini , yaitu :

BAB I : Pendahuluan Pada bab ini memuat latar belakang permasalahan, tujuan penulisan, pembatasan masalah, metode penelitian dan sistematika penulisan yang digunakan.

BAB II : Landasan Teori Pada bab ini membahas tentang penjelasan umum dan mekanisme tentang aliran udara, penjelasan umum jenis-jenis, kerugian dan keuntungan tentang ventilasi, penjelasan umum dan jenis-jenis perpindahan panas, penjelasan umum, faktor-faktor yang berpengaruh, pengukuran tingkat kenyamanan, permasalahan kenyamanan, acuan yang disyaratkan tentang kenyamanan termis dan penjelasan umum, komponen utama CFD dan program CFD yang

digunakan dalam skripsi ini. Dan Statistik. BAB III : Metodologi Penelitian, Pengambilan data, Pemodelan dan Simulasi Pada bab ini membahas tentang bagaimana penelitian ini dilakukan, proses pengambilan data dan proses cara pembuatan model dan simulasi dilakukan.

BAB IV : Hasil dan Analisa Pada bab ini memuat hasil-hasil dari proses simulasi pada program EFD Lab. Simulation, sedangkan analisa membahas dari hasil data aktual di bandingkan dengan hasil simulasi dan standar kenyamanan yang digunakan sebagai validasi data simulasi CFD.

BAB V : Kesimpulan dan Saran Bab ini memuat kesimpulan yang diambil dari bab hasil dan analisa sehingga pada akhirnya dapat dikemukakan saran-saran penulis.

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

BAB 2

LANDASAN TEORI

2.1 Aliran Udara

2.1.1 Penjelasan Umum

Udara merupakan elemen yang sangat penting bagi kehidupan manusia. Tanpa ada udara manusia tidak dapat bertahan hidup. Ventilasi (Ventus, wind, angin) adalah aliran udara, baik di ruang terbuka maupun tertutup (di dalam ruangan), maka dengan adanya ventilasi di dalam ruangan akan memudahkan pergerakan udara dari luar ruang masuk ke dalam ruangan atau sebaliknya, sehingga ada pergantian udara, disamping itu ventilasi juga dapat mengendalikan suhu, kelembaban udara, kualitas udara dan pergerakan udara dan suhu sehingga kondisi kenyamanan termal yang dibutuhkan dapat terpenuhi. Sistem ventilasi adalah masalah pergerakan udara dimana udara dalam ruangan selalu mengalir sehingga udara yang buruk selalu berganti dengan udara yang bersih. Dengan udara yang selalu bergerak diharapkan kondisi udara di dalam ruangan akan bertambah baik, meliputi kenyamanan dan kualitasnya. Ventilasi dapat berjalan secara alami (natural) ataupun mekanikal (buatan) dengan menggunakan bantuan alat. Angin merupakan udara yang bergerak. Dan udara bergerak karena adanya gaya yang diakibatkan oleh perbedaan tekanan dan perbedaan suhu. Kedua pola ini dapat diatur dalam perancangan ruang-ruang yang harus saling mendukung dan tidak saling berlawanan. Besarnya tekanan angin pada bangunan tergantung pada banyak faktor, yaitu kecepatan angin itu sendiri, ukuran dan bentuk geometri dari bangunan serta sudut datangnya angin. Lubang ventilasi dan penempatannya harus dirancang demikian agar dapat memenuhi kebutuhan pengaturan udara dalam ruang. Gaya apung (buoyancy, stack effect) adalah gaya gerak udara ke atas akibat perbedaan suhu.

Aliran udara dalam bangunan dapat memberikan tingkat kenyamanan tanpa menggunakan sistem pendinginan udara aktif. Aliran udara mempengaruhi tingkat kenyamanan termis dengan menurunkan resiko pemanasan lokal dan

memperbaiki tingkat evaporasi keringat. Gerakan udara menimbulkan pelepasan panas oleh permukaan kulit, selama temperatur udara lebih rendah dari temperatur kulit.

2.1.2 Mekanisme Aliran udara

Mekanisme aliran udara terjadi karena adanya beberapa faktor yang menyebabkan atau membentuk aliran itu terjadi, yaitu karena :

1. Faktor angin yaitu karena adanya perbedaan tekanan.

Angin yang bertiup atau menerpa dengan kecepatan dan arah tertentu pada bangunan dapat menimbulkan perbedaan tekanan pada lokasi yang berbeda dan menghasilkan distribusi tekanan pada bangunan, yang akan mengakibatkan tekanan positif maka akan terjadi aliran udara masuk melalui bukaan atau lubang-lubang pada bangunan bidang penerima angin datang, dan mengakibatkan tekanan negatif maka akan terjadi aliran udara keluar dari bangunan bidang yang berlawanan, dan pada bidang-bidang samping.

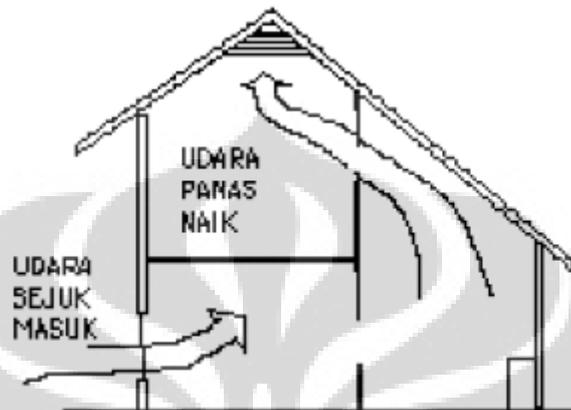


Gambar 2.1 Aliran udara karena faktor angin

2. Faktor termal yaitu karena adanya perbedaan temperatur dibawah dan atas ruangan dan diluar ruang dengan temperatur didalam ruangan.

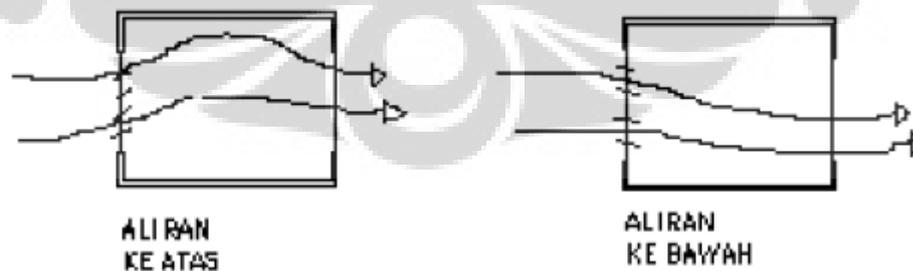
Aliran udara dalam ruang juga dapat terjadi karena perbedaan suhu udara, yang secara vertikal karena perbedaan temperatur di bawah dan diatas ruangan tersebut. Udara yang lebih dingin akan bergerak ke atas ruangan tersebut atau sebaliknya, karena perbedaan masa jenis udaranya.

Secara horizontal bila suhu udara dalam ruang lebih tinggi dari pada udara diluar, maka udara dari luar akan masuk melalui lubang-lubang atau bukaan yang ada. Bila yang terjadi adalah sebaliknya, maka udara didalam ruangan yang lebih panas ke luar bangunan melalui lubang-lubang atau bukaan yang ada.



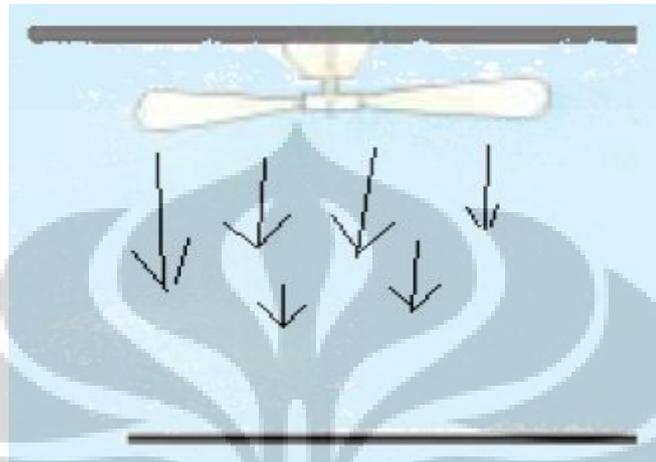
Gambar 2.2 Aliran udara karena faktor suhu

3. Faktor bentuk bangunan, yaitu karena adanya beragam bentuk yang dapat mempengaruhi atau membentuk aliran udara tersebut. Seperti contoh pada gambar 2.3 bentuk-bentuk yang berbeda pada lubang atau bukaan misalnya pada jendela akan mengasilkan pola atau mekanisme aliran udara yang berbeda-beda tergantung jenis bukaan tersebut.



Gambar 2.3 Aliran udara karena bentuk bangunan

4. Faktor atau bersumber dari peralatan mekanikal (buatan) yang digunakan pada ruangan tersebut. Misalnya kipas angin yang dipasang pada ruang akan menyebabkan atau terbentuk aliran udara dari kipas angin tersebut sesuai dari peralatan yang digunakan tersebut.



Gambar 2.4 Aliran udara karena peralatan mekanik yang digunakan

2.2 Ventilasi

2.2.1 Penjelasan Umum

Ventilasi yang dimaksud disini adalah proses pemasukan atau penggantian udara (bersih/segar) dari luar baik dan pengeluaran udara yang berkualitas buruk atau kurang baik dari dalam ruangan secara alami maupun dengan bantuan alat mekanis. Dengan udara yang selalu bergerak diharapkan kondisi udara di dalam ruangan akan bertambah baik, meliputi kenyamanan dan kualitasnya. Jadi dengan adanya Ventilasi digunakan untuk mengendalikan suhu, kelembaban udara, kualitas udara dan pergerakan udara dan suhu sehingga panas dalam ruangan dapat diminimalisir dan kondisi kenyamanan termal yang dibutuhkan dapat terpenuhi. Ventilasi terjadi jika terdapat perbedaan tekanan udara. Ventilasi dengan tekanan udara tertentu dapat mempengaruhi kecepatan pergerakan udara, arah pergerakan, intensitas dan pola aliran serta rintangan setempat. Laju ventilasi diukur dengan satuan massa udara per unit waktu. Laju ventilasi minimum pada

ruangan biasanya didasarkan pada kebutuhan pergerakan udara untuk kontrol kelembaban. Gangguan ventilasi udara berupa kurangnya udara segar yang masuk, serta buruknya distribusi udara dan kurangnya perawatan sistem ventilasi udara. Sehingga menyebabkan sirkulasi udara yang kurang lancar, suhu dan kelembaban udara yang tidak nyaman.

Dengan adanya ventilasi, dapat menciptakan atau memperoleh sensasi nyaman dan sejuk atau kualitas serta kenyamanan dalam ruangan bagi orang yang berada didalamnya karena memberikan hembusan angin yang mengenai kulitnya ataupun mengambil panas (terjadi perpindahan panas) benda atau pun badan (kulit) tersebut ke udara dengan memanfaatkan aliran atau pergerakan angin secara alami maupun dengan bantuan peralatan (mekanik). Besar/jumlah angin dan pergerakan atau aliran angin tersebut bila prosesnya berlangsung terus menerus dapat menipu atau membuat perasaan kita tentang temperatur udara tersebut agar kita merasakan lebih nyaman dan sejuk, walaupun temperatur udaranya sama atau tinggi (terhadap kondisi acuan temperatur nyaman thermal) di dalam ruangan tersebut ataupun dapat menurunkan temperatur udara dalam ruangan tersebut.

2.2.2 Jenis-Jenis Ventilasi

Ventilasi dapat berjalan secara alami (natural) ataupun mekanikal (buatan) dengan menggunakan bantuan alat.

1. Ventilasi alami

Adalah pergantian udara secara alami (tidak melibatkan peralatan mekanis, seperti mesin penyejuk udara yang dikenal dengan air conditioner (AC), kipas angin, penghisap dsb). Ventilasi alami menawarkan ventilasi yang sehat, nyaman, dan tanpa energi tambahan. Ventilasi alami dipicu oleh perbedaan tekanan karena pergerakan angin di luar bangunan dan/atau perbedaan suhu dalam ruang. Sehingga banyak tergantung pada kekuatan angin dan perbedaan tekanan udara serta temperatur di luar dan di dalam ruangan dan untuk ventilasi alami, diperlukan lubang-lubang ventilasi guna memasukan atau mengeluarkan udara

dalam ruangan. Laju pertukaran udara pada ventilasi dipengaruhi oleh total luas bukaan, arah bukaan, kecepatan angin dan perbedaan temperatur di luar dan di dalam ruangan. Sehingga mempengaruhi atau membentuk pola aliran dan distribusi udara dalam ruangan yang dapat menentukan besarnya distribusi suhu dan kelembaban udara serta temperatur dalam ruangan.

Tentang ventilasi alami dalam bangunan-bangunan tropis lembab (Indonesia), beberapa aspek yang diteliti adalah : perilaku aliran udara dalam ruangan akibat arah dan kecepatan angin di luar bangunan di zone bebas, pengaruh konfigurasi bukaan (inlet dan outlet), bentuk atap dan peletakan aksesoris bukaan seperti posisi dan jenis jendela serta bentuk dan peralatan yang ada di dalam ruangan tersebut. Kontrol manual sistem ventilasi alami dapat dilakukan dengan pembukaan dan penutupan lubang ventilasi serta pengaturan bukaan pada dinding. Pengaturan ventilasi alami agar tetap kontinyu sulit dilakukan karena proses aliran udara dipengaruhi oleh temperatur, kecepatan dan arah angin yang tidak mudah dikendalikan.

Namun untuk merancang ventilasi alami perlu dipikirkan syarat awal, yaitu : (1) tersedianya udara luar yang sehat (bebas dari bau, debu, dan polutan lain yang mengganggu), (2) suhu udara luar tidak terlalu tinggi (maksimal 28 °C), (3) tidak banyak bangunan disekitar yang akan menghalangi aliran udara horizontal (sehingga angin berhembus lancar), dan (4) lingkungan tidak bising. Jika syarat awal tidak dipenuhi, maka sebaiknya tidak dipaksakan memakai ventilasi alami karena justru akan merugikan.

Kerugian dan keuntungan ventilasi alami

Ventilasi alami mempunyai beberapa kerugian diantaranya : (1) suhu, kecepatan angin (pertukaran atau aliran udara) dan kelembaban tidak mudah diatur karena adanya pertukaran udara dan kecepatan angin yang tidak konstan/berubah-ubah (2) kualitas udara tidak mudah diatur (debu, bau, polusi lain dsb), (3) gangguan lingkungan (kebisingan, serangga, debu dsb) sulit dicegah, (4) aliran udara kedalam ruang yang terlalu dalam atau terdapat halangan dan ruang-ruang yang berjajar pada arah melebar atau arah tebal ruangan, biasanya tidak mungkin terjadi atau sampai.

Dari beberapa kerugian atau keterbatasan dari ventilasi alami diatas dapat dibantu dengan ventilasi buatan secara mekanik (dengan menggunakan peralatan), guna tetap menjaga dan mengontrol kualitas dan kenyamanan dalam ruangan tersebut. Ventilasi alami mempunyai beberapa keuntungan diantaranya : (1) biayanya relative lebih murah dibandingkan dengan ventilasi mekanik, (2) tidak dibutuhkan ruangan untuk peralatan mekanik, (3) pemeliharaan yang relative mudah dan dapat dikatakan sangat minim atau hampir tidak ada, dsb.

2. Ventilasi buatan (mekanik)

Adalah pergantian udara yang tidak secara alami atau melibatkan peralatan mekanis, (seperti mesin penyejuk udara yang dikenal dengan air conditioner (AC), fan, blower, exhaust dsb). Ventilasi buatan dapat membantu atau menyediakan dan mengontrol serta memasukan atau pun mengisap aliran udara ke dalam bangunan (ruangan) dimana ventilasi secara alami tidak dapat memberikan atau karena keterbatasannya tersebut, sehingga kualitas dan kenyamanan dalam ruangan tersebut dapat terpenuhi. Ada juga ventilasi buatan yang dapat mengurangi panas udara dalam ruangan dengan cara menghisap udara panas yang ada dalam ruangan sehingga panas tersebut dapat diminimalisir. Namun dengan ventilasi buatan ini memberikan atau memperhitungkan menambah biaya operasiaonal, biaya pemeliharaan dan biaya penggantian dalam penggunaannya.

Kerugian dan keuntungan ventilasi buatan

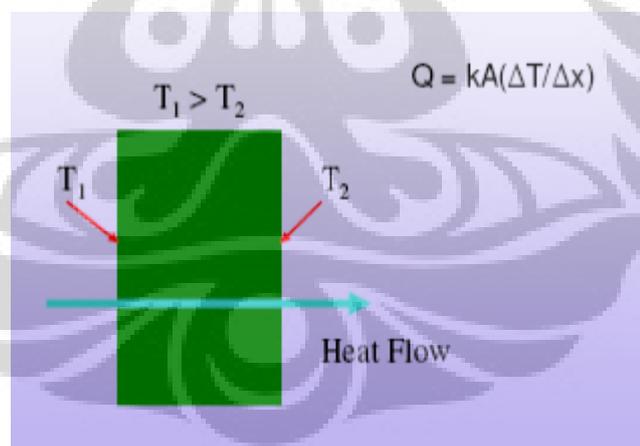
Ventilasi buatan mempunyai beberapa kerugian diantaranya : (1) Mahal dan memerlukan biaya yang lebih besar dibandingkan dengan ventilasi alami disebabkan membutuhkan peralatan mekanik/bantuan dan memperhitungkan biaya pemasangan, operasional, pemeliharaan dan pergantian dalam penggunaannya, (2) karena ventilasi buatan menggunakan atau memerlukan dinding-dinding partisi atau celing (langit-langit) dalam penggunaannya menyebabkan dapat menghalangi aliran udara dan membutuhkan ruangan untuk peralatannya dalam ruangan tersebut. Keuntungan ventilasi buatan yaitu dapat mengendalikan pertukaran atau menyediakan serta menjaga aliran udara dan temperatur sehingga kualitas dan kenyamanan dalam ruangan tersebut dapat terpenuhi.

2.3 Perpindahan panas (Heat transfer)

Adalah proses perpindahan kalor dari benda yang lebih panas ke benda lain yang kurang panas. Suatu Bangunan dalam hal ini ruangan akan mendapatkan perolehan dan kehilangan panas dan massa dari dan ke lingkungan sekitarnya melalui proses perpindahan panas dan massa secara konduksi, konveksi dan radiasi yang mengakibatkan adanya distribusi udara dan suhu dalam bangunan.

1. Perpindahan panas konduktif (Conductive heat transfer) adalah perpindahan panas dari benda yang lebih panas ke benda yang kurang panas melalui kontak (sentuhan).

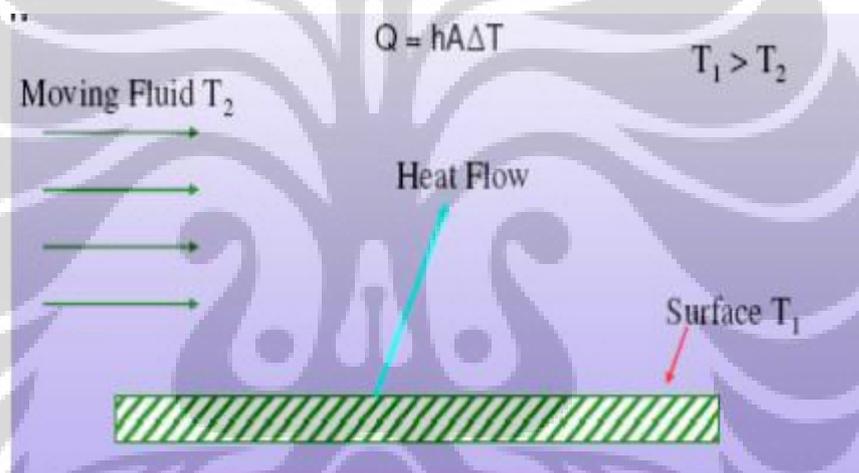
Pada bangunan Perpindahan panas secara konduksi terjadi diantaranya pada penutup/kerangka (atap, dasar/lantai, dinding, sekat/pembatas dsb) bangunan. Perpindahan panas konduksi dipengaruhi oleh konduktivitas bahan, suhu lingkungan, konduktivitas bahan, tebal bahan dan waktu. Semakin besar nilai konduktivitasnya, bahan tersebut semakin cepat merambatkan panas.



Gambar 2.5 Contoh proses perpindahan panas konduktif

2. Perpindahan panas konvektif (Convective heat transfer) adalah perpindahan panas dari benda lebih panas ke benda yang kurang panas melalui aliran angin (atau zat alir lainnya).

Pada bangunan Perpindahan panas secara konvektif terjadi diantaranya pada atap bangunan, manusia, lantai, serta bangunan penopangnya seperti dinding, kerangka dan peralatan lainnya serta aliran udara yang masuk dan keluar melalui bukaan ventilasi. Perpindahan panas konveksi dipengaruhi oleh koefisien konveksi udara, kecepatan angin, suhu lingkungan, waktu dan luasan daerah konveksi. Semakin besar nilai koefisien konveksi dan kecepatan angin, maka akan semakin cepat keseimbangan panas dalam ruangan konveksi.

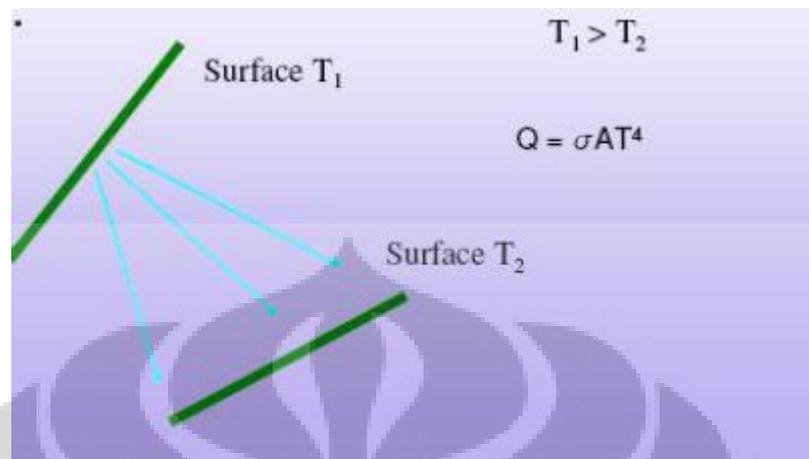


Gambar 2.6 Contoh proses perpindahan panas konvektif

3. Perpindahan panas radiatif (Radiative heat transfer) adalah perpindahan panas dari benda yang lebih panas ke benda yang kurang panas dengan cara pancaran.

Pada bangunan perpindahan panas secara radiatif terjadi diantaranya pada radiasi yang dipancarkan oleh matahari, manusia dan bangunan itu sendiri satu sama lain terhadap lingkungan di sekitarnya. Pindah panas secara radiasi dipengaruhi oleh besarnya radiasi matahari atau bahan, kecepatan angin dan suhu lingkungan. Panas lainnya yang ditimbulkan oleh penghuni atau

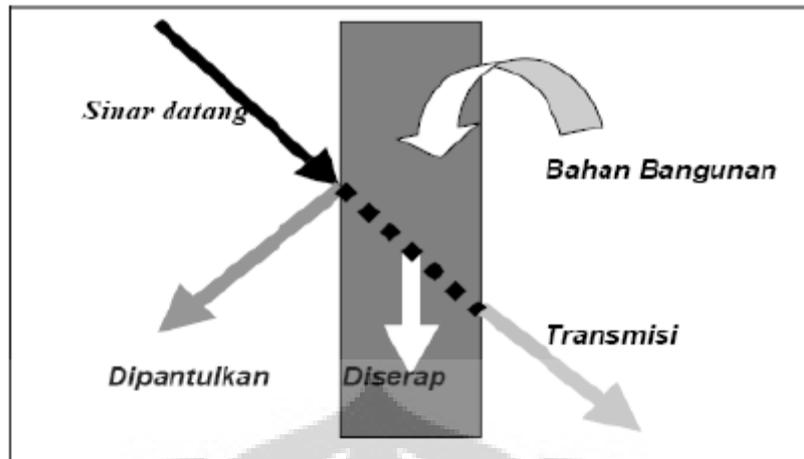
peralatan yang ada di dalam bangunan/ruangan juga harus dapat diperhitungkan.



Gambar 2.7 Contoh proses perpindahan panas radiatif

4. Absorpsi (absorption, penyerapan)

Adalah kemampuan benda menyerap radiasi matahari. Bilangan serap (α) menunjukkan berapa bagian radiasi yang datang di serap. Sebagai contoh, $\alpha=0,7$ menunjukkan bahwa 0,7 bagian radiasi akan diserap dan 0,3 akan dipantulkan. Radiasi matahari (gelombang pendek) yang diserap ini akan menjadi panas dan menyebabkan suhu benda bertambah. Panas ini akan dibuang (dipancarkan) kembali dalam bentuk gelombang panjang. Kemampuan bahan untuk memancarkan panas kembali dinamakan *emisivitas*, biasanya diberi notasi e . Misalnya, sebuah bahan memiliki $e=0,8$ berarti 0,8 panas akan dipancarkan kembali ke lingkungan sekitar. Proses ini akan menyebabkan suhu turun. Oleh karena itu, sebenarnya panas yang tertahan benda adalah $(\alpha)(1-e)$, dimana : α = Bagian radiasi yang diserap dan e = Kemampuan bahan untuk memancarkan kembali ke lingkungan (*emisivitas*).



Gambar 2.8 Contoh proses Absorpsi

2.4 Kenyamanan Termis (thermal comfort)

2.4.1 Penjelasan Umum

Dalam bahasa Inggris kata *comfort* (nyaman) diartikan sebagai bebas dari rasa sakit atau bebas dari masalah, sedangkan pengertian, kenyamanan termis (suhu) yaitu suatu kondisi perasaan (merasa tidak kepanasan atau kedinginan serta perasaan yang tidak menyebabkan ketidaknyamanan) dalam pikiran manusia yang menggambarkan kepuasan terhadap lingkungan termis disekelilingnya. Kenyamanan dan perasaan nyaman adalah penilaian komprehensif seseorang terhadap lingkungannya. Oleh karena itu, kenyamanan tidak dapat diwakili oleh satu angka (parameter atau faktor) tunggal, melainkan banyak faktor untuk dapat penilaian terhadap kondisi tersebut dan juga lebih menyangkut pada penghuni bukan pada bangunannya.

Ilmu kenyamanan termis juga hanya membatasi pada kondisi udara tidak ekstrim (*moderate thermal environment*), dimana manusia masih dapat mengantisipasi dirinya terhadap perubahan suhu udara di sekitarnya. Dalam kondisi yang tidak ekstrim ini terdapat daerah suhu dimana manusia tidak memerlukan usaha apapun, seperti halnya menggigil atau mengeluarkan keringat, dalam rangka mempertahankan suhu tubuhnya agar tetap berkisar pada 37°C.

Daerah suhu inilah yang kemudian disebut dengan suhu netral atau nyaman. Dinyatakan bahwa suhu nyaman diperlukan manusia untuk mengoptimalkan produktifitas kerja. Dalam kenyamanan termis, manusia merasakan sensasi panas atau dingin sebagai wujud respon dari sensor perasa pada kulit terhadap stimuli suhu di sekitarnya. Apabila suhu udara di sekitar tubuh manusia lebih tinggi dari suhu nyaman yang diperlukan, aliran darah pada permukaan tubuh atau anggota badan akan meningkat dan ini akan meningkatkan suhu kulit. Peningkatan suhu ini bertujuan untuk melepaskan lebih banyak panas secara radiasi dari dalam tubuh ke udara di sekitarnya. Proses pengeluaran keringat akan terjadi pada suhu udara yang lebih tinggi lagi, sebagai tindak lanjut dari usaha pelepasan panas tubuh melalui proses penguapan. Pada situasi dimana suhu udara lebih rendah dari yang diperlukan tubuh, peredaran darah ke permukaan tubuh atau anggota badan dikurangi. Hal ini merupakan usaha tubuh untuk mengurangi pelepasan panas ke udara disekitarnya. Pada situasi ini pada umumnya tangan atau kaki menjadi dingin dan pucat. Otot-otot akan berkontraksi dan tubuh akan meinggigil pada suhu udara yang lebih rendah lagi. Hal ini merupakan usaha terakhir tubuh untuk memperoleh tambahan panas melalui peningkatan proses metabolisme. Pada kondisi lebih ekstrim, baik terlalu panas ataupun terlalu dingin, manusia mungkin tidak lagi mampu bertahan untuk hidup. Dan karena tubuh manusia memiliki variasi antara satu dengan yang lainnya, seperti halnya gemuk, kurus, kekar dsb, ada kecenderungan bahwa suhu nyaman yang dimiliki oleh tiap-tiap individu berbeda. Untuk itu, secara teori tidak akan pernah terjadi bahwa sekelompok manusia dapat mearasakan nyaman.

2.4.2 Faktor-faktor yang berpengaruh terhadap kenyamanan termis.

Dalam penilaian tentang kenyamanan termis, menurut teori Fanger dinyatakan bahwa kondisi nyaman termis hanya ditentukan oleh 6 faktor kenyamanan termis (4 faktor iklim/lingkungan dan 2 faktor manusia/individu). Faktor iklim/lingkungan yang mempengaruhi terdiri dari suhu udara, kecepatan angin, kelembaban udara serta suhu rata-rata permukaan ruang (Mean Surface Radiant Temperatur), sedangkan faktor manusia/individu yang menentukan keadaan suhu nyaman yaitu laju metabolisme (jenis aktivitas) manusia tersebut

dan jenis pakaian yang dikenakan. Dan menurut teori ini bahwa diluar ke 6 faktor tersebut, semua faktor lain (seperti usia, jenis kelamin, bangsa, etnik, letak geografi, bentuk tubuh (kurus/gemuk), perubahan suhu, adaptasi dsb) tidak berpengaruh secara nyata (statistically significant) terhadap pemilihan suhu nyaman manusia. Dengan demikian pada kondisi dimana ke 6 faktor tersebut sama untuk sekelompok manusia sehat (tidak dalam keadaan sakit) tanpa memandang ke 6 faktor tersebut akan menyatakan tingkat (derajat) kenyamanan atau sensasi termis yang sama. Dengan teori ini dianggap dapat digunakan oleh siapa saja dan dimana saja atau dengan kata lain dapat digunakan secara universal untuk memprediksi tingkat kenyamanan dari sekelompok manusia yang berada pada ruang tertentu. Namun, kenyamanan dan perasaan nyaman adalah penilaian komprehensif seseorang terhadap lingkungannya. Oleh karena itu, kenyamanan tidak dapat diwakili oleh satu angka (parameter atau faktor) tunggal, melainkan banyak faktor untuk dapat penilaian terhadap kondisi tersebut agar kondisi nyaman terpenuhi diantaranya parameter-parameter lain yang mempengaruhi diantaranya yaitu aliran/pergerakan udara, kualitas udara, suara/kebisingan, bau, pencahayaan, pengaruh radiasi, area dimana berada, bahan material yang digunakan, tata letak peralatan dan konstruksi, peralatan mekanik, jumlah sumber panas yang didalam ruangan tersebut dsb.

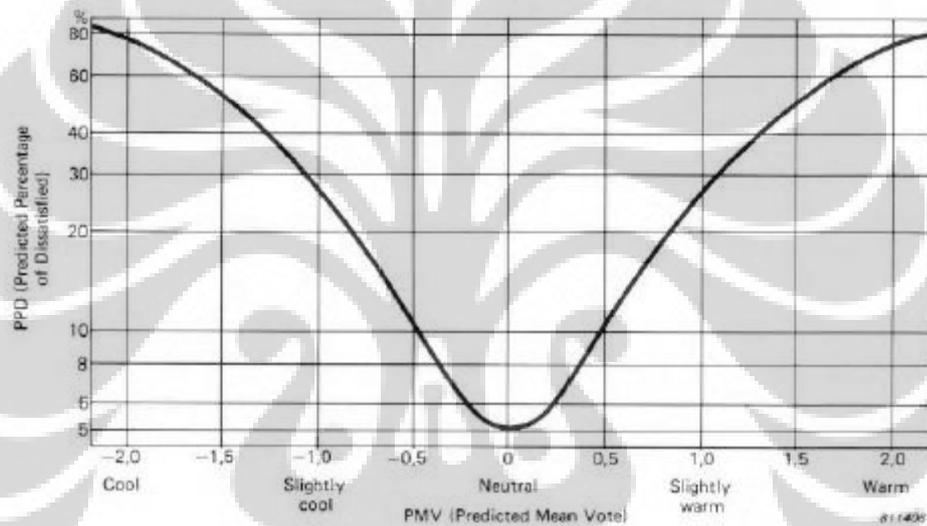
2.4.3 Pengukuran tingkat kenyamanan Termis

Untuk mengukur atau menilai dalam menyatakan tingkat kenyamanan termis suatu kondisi termis tertentu ukuran (index) atau parameter (suatu satuan/besaran (unit) dalam bentuk angka/skala dengan yang dapat digunakan untuk memperkirakan (memprediksi) dan mewakili ukuran rasa (sensasi) termis yang dialami oleh seseorang tau sekelompok orang dalam ruang atau lingkungan termis tertentu) yang digunakan yakni Prediksi Sensasi Termis Rata-rata (Predicted Mean Vote (PMV)) dan Prediksi Prosentase Ketidaknyamanan (Predicted Percentage Dissatisfied (PPD)). Skala index PMV ini digunakan untuk memperkirakan sejauh mana sensasi termik dari suatu kumpulan atau sekelompok manusia merasa nyaman atau tidak nyaman yang mengenakan pakaian sejenis atau dengan tahanan yang kurang lebih sama, melakukan aktifitas serupa atau

tertentu yang sama dan berada pada suatu ruang tertentu atau yang secara termis dianggap homogen. Nilai PMV berkisar antara -3 dan +3 (dapat berupa angka pecahan).

Hot	Warm	Slightly warm	Neutral	Slightly Cool	Cool	Cold
Panas	Agak Panas	Hangat	Netral	Sejuk	Agak Dingin	Dingin
+3	+2	+1	0	-1	-2	-3

PPD memberikan prediksi nilai dari proporsi (dalam persentase) dari sekelompok manusia yang diperkirakan akan merasa tidak nyaman secara termis ketika mereka berada dalam suatu ruang tertentu.



Berdasarkan grafik di atas pada kondisi termis apapun prosentase PPD tidak akan mencapai 0 % atau prosentase yang merasa nyaman tidak mungkin mencapai 100 %, meskipun nilai $PMV = 0$ disana masih terdapat sekitar 5 % dari populasi manusia dalam kelompok tersebut yang masih merasa tidak nyaman, secara teori mungkin disebabkan karena adanya perbedaan variasi individu seperti usia, berat badan dsb dalam kelompok tersebut. Sementara itu rentang suhu nyaman dicapai apabila nilai PMV berada diantara + 0,5 hingga - 0,5 dimana pada kondisi ini PPD mencapai 10 % atau prosentase yang nyaman mencapai 90 %.

2.4.4 Permasalahan Kenyaman Termis

Seseorang dapat merasa ketidaknyamanan (discomfort) walupun kondisi termis sekelilingnya (lingkungannya) netral untuk tercapainya udara ruang yang nyaman atau memenuhi persyaratan kenyamanan. Keadaan semacam ini biasanya disebut dengan istilah ketidaknyamanan setempat (local discomfort).

Faktor-faktor yang menyebabkan kondisi ketidaknyamanan setempat tersebut diantaranya disebabkan oleh sebagai berikut :

1. Hembusan Udara Kencang (Draught)

Jika hembusan atau aliran udara yang mengenai hanya sebagian dari tubuh atau secara lokal kita dimana bagian tubuh yang lain tidak terkena serta memiliki ambang kecepatan diatas ambang tertentu (cukup kencang) dapat mengakibatkan efek ketidaknyamanan setempat meskipun sebagian besar tubuh yang lain merasa nyaman, karena Bertambahnya kecepatan aliran udara dan menurunnya temperatur dapat menghasilkan ketidaknyamanan. fenomena ini dipengaruhi oleh besarnya kecepatan udara rata-rata yang mengalir, turbulensi aliran udara atau nilai fluktuasi kecepatan udara yang mengalir dan besarnya temperatur udara yang mengalir.

2. Radiasi Panas Tidak Merata (Asymmetric Thermal Radiation)

Radiasi yang tidak merata yang mengenai sebagian dari tubuh manusia akan menyebabkan ketidaknyamanan setempat, meskipun ruang tersebut sebetulnya nyaman. Contohnya terjadi apabila langit-langit (ceiling) menerima panas dari penutup atap dan menyebabkan suhu bahan untuk ceiling tersebut akan naik. Akibat kenaikan suhu tersebut, ceiling akan memancarkan radiasi panas pada ruang yang berada dibawahnya. Manusia yang kebetulan sedang berada pada ruang tersebut akan menerima radiasi terutama pada bagian kepala atau bagian tubuhnya. Dalam keadaan ini akan terjadi perbedaan radiasi yang diterima oleh tubuh antara bagian atas dan bagian bawah dari tubuh manusia tersebut akibat panas radiasi yang tidak mengenai bagian tubuhnya yang tidak merata dan ini akan menimbulkan ketidaknyamanan termis pada manusia tersebut. Beberapa eksperimen membuktikan bahwa konsisi dengan langit-langit yang panas dengan jendela yang dingin menyebabkan ketidaknyamanan yang paling besar, sedangkan

untuk langit-langit dingin dan jendela panas menghasilkan ketidaknyamanan yang paling kecil. Selama eksperimen, permukaan lainnya pada ruangan dibuat sedemikian rupa sehingga temperatur pada permukaan-permukaan tersebut besarnya sama.

3. Perbedaan Suhu Udara Secara Vertikal.

Secara umum dapat dikatakan bahwa suhu udara pada setiap titik dalam ruangan akan meningkat sesuai dengan ketinggian titik tersebut terhadap lantai. Ini terjadi karena udara panas akan berda diatas karena berat jenisnya lebih besar dari pada udara dingin yang berat jenisnya lebih rendah (gaya apung udara/ buoyancy).

Karena perbedaan tersebutlah terjadi perbedaan suhu seara vertical yang mengenai tubuh manusia tersebut, ini akan menyebabkan ketidaknyaman setempat, meskipun secara keseluruhan tubuh dalam keadaan nyaman. Misalnya bagian kepala manusia tersebut akan merasakan panas (tidak nyaman), sedangkan bagian kakinya akan merasa dingin (tidak nyaman). Dari penelitian didapat bahwa manusia lebih toleran terhadap ketidaknyaman apabila suhu udara dibagian kaki lebih tinggi dibandingkan udara di sekitar kepala, disbanding jika keadaan berlawanan. Eksperimen-eksperimen telah menunjukkan bahwa perbedaan temperature yang paling baik antara kepala dan kaki tidak lebih dari 3°C. Perbedaan temperatur antara kepala dan kaki sebesar 3°C hanya menghasilkan tingkat ketidakpuasan sebesar 5% dan nilai ini sebagai tingkat yang dapat diterima untuk level aktivitas dimana kebanyakan pengguna ruangan melakukan aktivitasnya dengan duduk (belajar/bekerja).

4. Temperatur Lantai (Floor Temperature)

Ketidaknyamanan setempat dapat terjadi apabila lantai terlalu dingin atau terlalu panas. Besarnya energi panas yang hilang dipengaruhi oleh konduktivitas termal dan kapasitas panas dari material lantai dan alas kaki. Perbedaan temperature lantai yang dapat diterima berkisar antara 19°C s/d 29°C yang hanya menimbulkan 10% ketidakpuasan.

2.4.5 Acuan Kenyaman yang di Syaratkan

Indonesia (tropis lembab) diantaranya mempunyai cirri-ciri iklim dan cuaca yaitu sebagai berikut Suhu udara pada umumnya tinggi diantara $24^{\circ} - 34^{\circ}\text{C}$ dengan amplitude suhu siang-malam kecil ($24^{\circ} - 32^{\circ}\text{C}$), kelembaban udara juga tinggi yaitu antara 60 - 95%, kecepatan angin rendah (terutama pada pagi dan malam hari), sedangkan siang hari pada umumnya angin berhembus cukup kencang, radiasi matahari cukup tinggi, walaupun sering juga tertutup mendung dsb.

Dan sebagai acuan untuk tingkat kenyamanan apabila memenuhi kondisi-kondisi sebagai berikut : Dalam hal kenyamanan termis (suhu) menurut Tri Harso Karyono yaitu $26,4^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ suhu udara atau $26,7^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ suhu operasi sedangkan menurut ASHRAE (American Society of Heating, Refrigeration and Air Conditioning Engineer) yaitu suhu efektif $23^{\circ}\text{C} - 27^{\circ}\text{C}$, kelembaban udara relative (RH) antara 30% – 60% dan kecepatan angin 0,1 - 1,5 m/s, dengan indeks PMV antara -0,5 s.d + 0,5 atau nila PPD berkisar diantara 0% s.d 10%.

2.5 Computational Fluid Dynamics (CFD)

2.5.1 Penjelasan Umum

Computational Fluid Dynamics (CFD) adalah suatu metode analisis sistem yang meliputi aliran fluida, pindah panas dan massa, serta fenomena lain (seperti reaksi kimia, aliran rokok, aliran aptikel dsb) dengan menggunakan simulasi berbasis komputer.

Dengan metode CFD ini dapat menganalisis dan memprediksi simulasi distribusi pola aliran udara dan temperatur di dalam maupun diluar pada suatu bangunan agar menghasilkan aliran udara dan suhu yang baik atau dapat diterima dalam merancang suatu bangunan sesuai standar dan diinginkan (efektif) di dalam maupun diluar bangunan dengan biaya murah dan waktu yang relatif singkat dibandingkan dengan metode eksperimen. Metode CFD menggunakan analisis numerik yaitu kontrol volume sebagai elemen dari integrasi persamaan-persamaan

yang terdiri atas persamaan keseimbangan massa, momentum dan energi, sehingga penyelesaian persamaan untuk benda dua atau tiga dimensi lebih cepat dan dapat dilakukan secara simultan/bersamaan.

Simulasi adalah teknik penyusunan dari kondisi nyata (sistem) dan kemudian melakukan percobaan pada model yang dibuat dari sistem. Simulasi merupakan alat yang fleksibel dari model atau kuantitatif. Simulasi cocok diterapkan untuk menganalisa interaksi masalah yang rumit dari sistem. Simulasi dapat dilakukan dengan pembuatan model persamaan matematika, program komputer, dan pembuatan model atau prototipe sehingga sistem yang akan disimulasikan dapat terwakili oleh model yang disimulasikan. Simulasi analisis distribusi suhu dan udara (ventilasi natural) pada bangunan dapat dilakukan dengan persamaan matematika, dan program komputer. Parameter yang harus diperhitungkan dalam simulasi analisis distribusi udara dan temperature pada bangunan diantaranya yaitu temperatur lingkungan (luar bangunan), temperatur udara dalam bangunan, radiasi matahari dan atau pencahayaan, kecepatan angin, sistem dan besaran (dimensi/geometri) ventilasi, bahan-bahan bangunan (konduktivitas panas, emisivitas, koefisien pindah panas, absorpsivitas), suhu manusia (jenis aktivitas) dan pakaian yang dikenakan dsb.

2.5.2 Komponen utama CFD

Computational Fluid Dynamics (CFD) mengandung tiga komponen utama, yaitu : pre-processor, solver dan post-processor.

1. Pre-processor

Komponen pre-processor merupakan komponen data input atau parameter dari permasalahan aliran ke dalam program CFD dengan menggunakan interface yang memudahkan operator (pengguna), berfungsi sebagai transformer input berikutnya ke dalam bentuk yang sesuai dengan pemecahan oleh solver. Pada tahapan pre-processor, dapat dilakukan hal-hal sebagai berikut: 1) mendefinisikan sistem dan geometri daerah yang dikehendaki (perhitungan domain dan subdomain) ; 2) pembentukan geometri dan peralatan atau sumber yang ada serta

grid (mesh) pada setiap domain dan subdomain ; 3) pemilihan fenomena fisik dan kimia (perpindahan kalor, kalor radiasi, turbulensi dsb) yang dibutuhkan ; 4) menentukan sifat-sifat fluida (konduktivitas, viskositas, panas jenis, massa jenis dsb) ; 5) menentukan kondisi batas yang sesuai dengan keperluan. Ketepatan aliran dalam geometri yang dibentuk dalam CFD ditentukan oleh jumlah sel di dalam grid yang dibangun. Semakin besar jumlah sel, ketepatan atau ketelitian dari hasil pemecahan semakin baik. Mesh optimal tidak harus selalu seragam, dapat dilakukan dengan memperhalus mesh pada bagian yang memiliki variasi cukup besar dan semakin kasar untuk bagian yang relatif tidak banyak mengalami perubahan. Proses Pre-processor inilah yang paling membutuhkan waktu yang lama dalam pengerjaan CFD dibandingkan dengan proses yang lain, walaupun proses solution (menjalankan (running)) bila proses Pre-processor telah selesai itu pun tergantung kekompleksitasan simulasi dan kesalahan yang dibuat sewaktu membuat atau dalam Pre-processor tersebut. Untuk itu untuk memaksimalkan produktifitas atau mengefisienkan waktu kita dapat menggunakan model-model yang sudah ada atau mengimport dari dari program CAD yang lain untuk membuat geometri yang kompleks atau mendownload dari website atau mengansumsikan penyederhanakan bentuk model/geometri yang akan dibuat tetapi membuat model/geometri tersebut tetap memberikan informasi yang lengkap pada tingkatan ketepatan yang diperlukan.

2. Solver

Proses pada solver merupakan proses pemecahan dalam CFD secara matematika melalui analisis numerik tiga dimensi dengan metode volume hingga melalui memisalkan variable-variabel aliran yang belum diketahui ke dalam fungsi-fungsi sederhana, diskretisasi dengan cara menggantikan pemisalan tadi menjadi persamaan aliran atur dan menguraikan persamaan matematis tersebut dan menyelesaikan persamaan matematis tersebut dengan metode iterasi (membuat sebuah tebakan nilai variabel-variabel dan terus dilakukan sampai selisih antara ruas kiri dengan ruas kanan persamaan mendekati nol (konvergen)). Solution adalah tahap penyelesaian masalah berupa proses iterasi hingga mencapai harga yang diinginkan atau mendekati nol (konvergen),

3. Post-processor

Hasil yang diperoleh dari proses yang berada dalam pre-processor dan solver akan ditampilkan dalam post-processor atau merupakan penampilan hasil serta analisa terhadap hasil yang telah diperoleh. Tampilan tersebut dapat berupa : 1) tampilan geometri domain/subdomain dan grid ; 2) plot vector, contour ; 3) plot permukaan dua dan tiga dimensi ; 4) pergerakan partikel ; 5) manipulasi pandangan; 6) output warna ; 7) validasi dan verifikasi dsb.

2.6 Beban Pendinginan Pada Rumah / Gedung

2.6.1 Beban Pendinginan Eksternal

Solar Gain (Beban pendinginan dari panas matahari) – Kaca

Kalor yang didapat dari kaca tergantung dari bermacam-macam factor yaitu lokasi gedung, waktu dan arah datangnya sinar. Komponen radiasi secara langsung menghasilkan kalor pada ruangan yang dikondisikan hanya ketika menyerap sebagian kecil dari kalor yang didapat (5% - 6%) dan memantulkan atau meneruskan sisanya.

Semakin rendah sudutnya maka jumlah kalor yang diteruskan akan semakin besar yaitu 86% atau 87% dan yang dipantulkan sekitar 8% atau 9%. Sebaliknya jika sudutnya semakin tinggi maka jumlah kalor yang dipantulkan atau diteruskan akan semakin kecil. Total kalor yang didapat yaitu jumlah kalor yang diteruskan ditambah 40% dari jumlah kalor yang diserap kaca.

Untuk mendapatkan nilai actual beban termal yang didapat dari kaca maka dibutuhkan beberapa informasi tambahan. Informasi ini meliputi luas jendela, nilai sun gain yang terdiri dari nilai factor beban penyimpanan dan nilai *peak solar heat gain*, nilai factor *over-all*. Beban termal didapat dengan mengalikan semua nilai dimana nilai tersebut dapat dilihat pada table.

Nilai *peak solar heat gain* didapat dari table 6*(terlampir) dengan melihat letak posisi gedung dan juga bulan pada saat pendesaianan. Setelah didapat kemudian nilai ini dikoreksi dengan mengalikan semua parameter yang sudah ditentukan yaitu sebagai berikut:

1. Faktor koreksi bingkai besi atau tanpa bingkai
2. Faktor koreksi kabut = -15% max
3. Faktor koreksi ketinggian = +0,7% per 1000ft
4. Faktor koreksi titik embun diatas 67F = -7% per 10F
5. Faktor koreksi titik embun dibawah 67F =+7% per 10F
6. Faktor koreksi Lintang Selatan, Desember atau Januari =+7%

Nilai beban penyimpanan didapat dari tabel 11*(terlampir) dengan memperhatikan posisi kaca yang diukur sesuai dengan posisi gedung, lamanya pengoperasian dari system AC (*Air Conditioning*), jenis *shading*, berat gedung (lb per sq ft luas area) dan waktu pendesainan.

Nilai factor *over-all* didapat dengan melihat tabel 16*(terlampir) yaitu yang disesuaikan dengan tipe kaca dan juga jenis *shading* dari kaca tersebut. Selain itu terdapat jenis warna yang dapat dipilih yaitu warna terang, warna sedang dan warna gelap.

$$\text{Solar gain} = \text{luas kaca} \times \text{sun gain} \times \text{factor koefisien over-all}$$

(*Carrier Air Conditioning Company, *Handbook of Air Conditioning System Design*, Mc Graw-Hill Book Company, New York, 1965)

Solar & Trans Gain (Beban pendinginan dari termal dan radiasi matahari) – Dinding dan Atap

Kalor yang didapat melalui dinding dan atap dihitung pada saat laju kalornya tinggi. Ini disebabkan oleh kalor yang diserap struktur dan perbedaan temperature lingkungan dan ruangan. Jumlah kalor dari kedua hal tersebut sangat bervariasi dan sulit untuk dievaluasi. Untuk mengatasinya dibutuhkan *equivalen temperature difference* (ETD) dimana ETD merupakan perbedaan temperature dimana menghasilkan laju total kalor yang disebabkan oleh bervariasinya nilai radiasi dan perbedaan temperature. Kalor yang mengalir struktur dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$q = U \times A \times \Delta t_e$, dimana:

q = laju kalor (btu/hr)

U = koefisien transmisi

A = Luas area permukaan (sq ft)

Δt_e = ETD

Nilai aktual beban pendinginan ini didapat dengan mengalikan luas area yang dihitung yang meliputi dinding ataupun atap, *sun gain* dengan factor koefisien U . Luas area bias dihitung dengan melihat denah rumah. Nilai *sun gain* dapat diperoleh dari tabel 19*(terlampir) *Equivalent Temperature Difference* (ETD) yang dibedakan untuk dinding dan atap memakai tabel 20*(terlampir). Tabel-tabel ini perlu dikoreksi karena nilai dari tabel-tabel tersebut didasari dari warna gelap, perubahan temperature lingkungan harian 20°F , bulan pendesainan dan posisi gedung pada 40° lintang utara. Koreksi-koreksi tersebut mencakup :

1. Koreksi untuk perubahan temperature lingkungan harian yang besarnya tidak 20°F dimana dalam hal ini perlu untuk melihat tabel.
2. Koreksi untuk dinding yang memiliki *shading* dimana nilainya diambil dari tabel pada posisi utara (*shading*).
3. Koreksi posisi gedung dimana posisinya bukan lintang utara 40° dan selain bulan Juli. Perubahan temperature untuk dinding dan atap ini mempunyai rumus sebagai berikut :

$$\Delta t_e = \Delta t_{es} + \frac{R_s}{R_m} (\Delta t_{em} - \Delta t_{es}) = \frac{R_s}{R_m} \Delta t_{em} + \left(1 - \frac{R_s}{R_m}\right) \Delta t_{es}$$

Dimana :

Δt_e = ETD untuk bulan dan waktu yang diinginkan

Δt_{es} = ETD untuk dinding atau atap pada waktu yang diinginkan

Δt_{em} = ETD untuk dinding atau atap yang terkena sinar matahari

R_s = *Solar heat* maksimum kaca pada bulan dan posisi yang diinginkan

R_m = *Solar heat* maksimum kaca pada Juli dan 40° LU

4. Koreksi untuk posisi, bulan dan warna cat dinding atau kaca yang berbeda mempunyai rumus yang berbeda yaitu :

Untuk warna terang :

$$\Delta t_e = 0,55 \frac{R_s}{R_m} \Delta t_{em} + \left(1 - 0,55 \frac{R_s}{R_m}\right) \Delta t_{es}$$

Untuk warna sedang :

$$\Delta t_e = 0,78 \frac{R_s}{R_m} \Delta t_{em} + \left(1 - 0,78 \frac{R_s}{R_m}\right) \Delta t_{es}$$

Untuk nilai factor koefisien U diperoleh dari tabel 21*(terlampir) dimana di dalamnya harus diketahui jenis dinding, ketebalan dan jenis interior *finish*. Begitu juga dengan bagian atap tabel 27*(terlampir) harus diketahuai jenis atap, ketebalan, jenis plafond an ketebalan insulasi.

***Solar gain* = luas dinding atau kaca x *sun gain* x factor koefisien U**

(*Carrier Air Conditioning Company, *Handbook of Air Conditioning System Design*, Mc Graw-Hill Book Company, New York, 1965)

***Trans Gain* (Beban pendinginan termal) selain Dinding dan Atap**

Dalam bagian ini mencakup didalamnya yaitu luas area dari semua kaca, partisi, plafon, dan lantai. Luas area ini bias didapat dari detail gambar denah gedung. Infiltrasi juga ikut mempengaruhi *trans gain* . Faktor koefisien U dan perbedaan temperatur antara udara luar dan ruangan diperlukan sebagai nilai pengali luas area. Nilai factor U untuk partisi dilihat dari tabel 26*(terlampir) dan untuk plafon dan lantai memakai tabel 30*(terlampir). Untuk perhitungan infiltrasi sedikit berbeda dengan yang lain karena tidak memakai luas area tetapi memakai cfm. Pemakaian cfm juga memiliki syarat yaitu jika cfm ventilasi lebih

kecil dari cfm infiltrasi. Jika terjadi sebaliknya maka perhitungan infiltrasi tidak dipakai. Nilai cfm ini dikalikan dengan perbedaan temperature dan konstanta 1,08.

Nilai cfm ventilasi = jumlah orang x 15 cfm per orang

Nilai cfm infiltrasi = luas area total ruangan *exhaust* x jumlah lantai x 2

Solar gain = luas area x perbedaan temperature x factor koefisien U

2.6.2 Beban Pendinginan Internal

Beban pendinginan internal merupakan beban yang dihasilkan oleh manusia, lampu, peralatan, mesin dll. Beban ini meliputi kalor sensible dan kalor yang dilepaskan ke dalam ruangan yang akan dikondisikan.

Kalor Sensibel

Manusia

Manusia melepaskan kalornya dari tubuhnya merupakan suatu proses oksidasi secara alami. Pelepasan kalor dari tubuh manusia ke lingkungan sekitar biasanya melalui radiasi, konveksi, evaporasi dan pernafasan. Pelepasan kalor melalui radiasi dan konveksi biasanya dipengaruhi oleh perbedaan temperatur antara tubuh manusia dengan lingkungan sekitar. Nilai faktor beban pendinginannya bias didapat dari tabel 48*(terlampir) dengan melihat tipe penggunaan aplikasi gedung dan temperature udara luar.

Solar Gain = jumlah orang x factor

Lampu

Lampu memancarkan kalornya melalui proses radiasi. Proses radiasi yang dipancarkan akan disimpan oleh ruangan. Proses konduksi biasanya diberikan lewat bahan-bahan yang berdampingan dengan lampu. Kalor yang diberikan lampu berupa kalor sensible yang berasal dari perubahan energy listrik menjadi cahaya dan kalor. Lampu mempunyai 2 tipe dimana keduanya mempunyai nilai pelepasan kalor yang berbeda-beda. Kedua tipe ini yaitu tipe *fluorescent* dan *incandescent* dimana masing-masingnya mempunyai nilai factor penyimpanan yang dapat dilihat pada tabel 12*(terlampir) dengan melihat jenis lampu dan lama pengoperasian peralatan. Pada kasus ini memakai lampu tipe *fluorescent* maka

dibutuhkan factor tambahan yaitu sebesar 1,25 yang dapat dilihat pada tabel 49*(terlampir).

Solar Gain = watt per lampu per luas area x 3,4 x factor penyimpanan x 1,25

Penyimpanan

Dengan adanya pancaran kalor dari berbagai macam sumber maka bangunan gedung akan menyimpan kalor tersebut ketika temperature ruangan dalam kondisi *swing*. Temperatur *swing* hanya bias terjadi jika beban actual pendinginan melebihi kapasitas pendinginannya. Kondisi ini hanya terjadi pada waktu puncak hari pendesainan. Akibat dari kondisi ini yaitu temperature ruangan akan meningkat sehingga banyak kalor yang akan tersimpan. Nilai beban ini didapat dengan menentukan temperature *swing* dan factor penyimpanan yang diperoleh dari tabel.

Solar Gain = luas total lantai yang dikondisikan x temp swing x factor penyimpanan

Kerugian Pada Supply Duct dan Fan

Kebocoran pada *supply duct* dapat menurunkan efek pendinginan. Kerugian dari beban pendinginan ini harus ditambahkan pada kalor sensible. Pada fan terjadi penambahan kalor pada *supply duct* yang berakibat bertambahnya kalor sensible. Nilai ini besarnya sudah ditetapkan berdasarkan penelitian dan pengamatan yang kemudian dikalikan dengan beban total RSH (*Room Sensible Heat*).

Solar Gain = [supply duct heat gain (2%) + supply duct leak loss (5%) + fan (5%)] total beban RSH

Udara Dalam (Sensibel)

Beban akibat udara luar dapat dihitung dengan menentukan cfm ventilasi. Nilai cfm ini dikalikan dengan besaran lainnya yaitu perbedaan temperature udara luar dengan besaran lainnya yaitu perbedaan temperature udara luar dengan (Δt), factor *bypass* (BF) dan 1,08

Solar Gain = cfm ventilasi x Δt x BF x 1,08

Infiltrasi

Beban dari infiltrasi ini berbeda dengan beban infiltrasi pada kalor eksternal. Pada infiltrasi ini terdapat kalor laten yang dilepaskan ke dalam ruangan. Dalam perhitungannya dibutuhkan cfm dimana cfm ini dapat diperhitungkan hanya jika cfm infiltrasi lebih besar dari cfm ventilasi. Jika terjadi sebaliknya maka infiltrasi tidak diperhitungkan. Pada kalor laten dibutuhkan perbedaan kandungan uap air (gr / lb) dan konstanta 0,68 untuk mendapatkan *solar gain*.

$$\text{Solar Gain} = \text{cfm infiltrasi} \times \Delta \text{gr / lb} \times 0,68$$

Manusia

Tubuh manusia selain mengeluarkan kalor sensible juga menghasilkan kalor laten. Untuk mendapatkan nilainya terdapat sedikit perbedaan yaitu pada pembacaan tabel 48*(terlampir). Tabel tersebut menyediakan pembacaan untuk kalor sensible dan kalor laten.

$$\text{Solar Gain} = \text{jumlah orang} \times \text{faktor}$$

Kerugian Kebocoran pada Supply Duct

Untuk perhitungan beban yang diakibatkan oleh kerugian ini sudah ditetapkan nilainya sebesar 10% dari total beban RLH (Room Latent Heat). Nilai ini didasari oleh pengamatan dan pengalaman yang telah dilakukan para ahli system tata udara.

$$\text{Solar Gain} = 10\% \times \text{beban total RLH}$$

Udara Dalam (Laten)

Udara luar juga menghasilkan kalor laten yang disebabkan pengaruh dari kandungan uap air. Untuk mendapatkan nilai beban ini maka dibutuhkan cfm ventilasi, perbedaan kandungan uap air, factor *bypass* (BF) dan juga konstanta 0,68.

$$\text{Solar Gain} = \text{cfm ventilasi} \times \Delta t \times \text{BF} \times 0,68$$

2.6.3 Kalor Udara Luar

Kalor Udara

Dalam perhitungan beban pendinginan udara luar yang memiliki kalor sensible dan laten maka dibutuhkan cfm ventilasi dimana didalamnya terdapat nilai cfm untuk tiap orangnya yang dapat dilihat pada tabel 45*(terlampir). Nilai cfm ventilasi bisa didapat seperti pada perhitungan dibawah ini :

$$\text{Nilai cfm ventilasi} = \text{jumlah orang} \times 20 \text{ cfm per orang}$$

Perhitungan ini diterapkan oleh kedua kalor yaitu sensible dan laten. Kedua klor ini juga dipengaruhi oleh factor *bypass* (BF) dan konstanta yang berbeda pula sehingga menghasilkan perhitungan sebagai berikut :

$$\text{Solar Gain kalor sensible} : \text{cfm ventilasi} \times \Delta t \times (1-\text{BF}) \times 1,08$$

$$\text{Solar Gain kalor laten} : \text{cfm ventilasi} \times \Delta \text{gr} / \text{lb} \times (1-\text{BF}) \times 0,68$$

Kerugian Pada Return Duct

Nilai beban kerugian ini sudah ditetapkan besarnya yang dikarenakan perhitungannya sulit untuk dilakukan. Untuk perhitungannya dapat dipakai perhitungan sebagai berikut :

$$\text{Solar Gain} = 1\% \times \text{beban total RSH (return duct heat gain)} + 1\% \times \text{beban total RSH (return duct leakage gain)}$$

Kerugian Pada Pompa dan Pipa

Nilai beban pendinginan ini juga sama seperti kerugian pada *return duct* namun pengambilan bebannya dari beban keseluruhan GTH (*Grand Total Heat*) sehingga menghasilkan perhitungan dibawah ini yaitu :

$$\text{Solar Gain} = 2\% \text{ GTH (pompa)} + 2\% \text{ GTH (piping heat gain)}$$

BAB 3

METODOLOGI PENELITIAN, PENGAMBILAN DATA, PEMODELAN DAN SIMULASI

3.1 Metodologi Penelitian

3.1.1 Pendahuluan

Metodologi penelitian yang digunakan dalam skripsi ini yaitu pengambilan data di lapangan untuk mendapatkan geometri ruangan, material dan spesifikasi peralatan yang digunakan serta melihat langsung objek penelitian supaya mengetahui keadaan yang sebenarnya, mengukur kecepatan aliran udara, mengukur temperatur udara, mengukur kelembaban udara serta tingkat pencahayaan atau radiasi matahari pada objek penelitian tersebut dengan menggunakan alat ukur, yang nantinya akan dilakukan tahap lebih lanjut yaitu pensimulasian objek penelitian tersebut dengan menggunakan program SolidWork serta melakukan perhitungan pembebanan termal terhadap kenyamanan pada objek penelitian. Tujuan pensimulasian ini untuk mengetahui karakteristik visualisasi yaitu bagaimana arah dan laju serta pola atau distribusi aliran udara, distribusi temperatur, kelembaban udara dan kecepatan angin pada objek penelitian tersebut sebagai validasi dari data yang telah diambil di lapangan. Batasan penelitian ini yaitu : melakukan simulasi dan modeling distribusi udara dan temperature pada masing-masing lantai objek penelitian tersebut.

3.1.2 Objek, Tempat dan Waktu Penelitian

Objek penelitian ini yaitu kediaman Bapak DR. Ir. Ahmad Indra Siswantara yang berlokasi di belakang kampus Universitas Indonesia. Dan waktu penelitian atau pengambilan data yaitu pada hari Jumat tanggal 20 April 2009 dengan keadaan cuaca cerah rata-rata 33 °C.

3.1.3 Peralatan dan Alat Ukur

Pada penelitian ini peralatan dan alat ukur yang digunakan sebagai yaitu sebagai berikut :

Universitas Indonesia

1. Hygrometer, yang digunakan untuk mengukur kelembaban udara serta mengukur temperatur udara
2. Anemometer, yang digunakan untuk mengukur laju kecepatan aliran udara serta mengukur temperatur udara.
3. Lux meter dan Piranometer, yang digunakan untuk mengukur intensitas cahaya atau radiasi matahari pada ruangan tersebut.
4. Meteran, yang digunakan untuk lokasi pengambilan data dan geometri ruang.
5. Hand Phone berkamera, yang digunakan sebagai dokumentasi pada ruangan tersebut
6. Personal Computer (PC) dengan program Solidwork. 2009, Coolpack, dan EFD Lab. Simulation yang digunakan untuk penggambaran modeling dan simulasi objek penelitian tersebut.

3.1.4 Alur Kerangka Penelitian



Gambar 3.1 Skema Alur kerangka penelitian

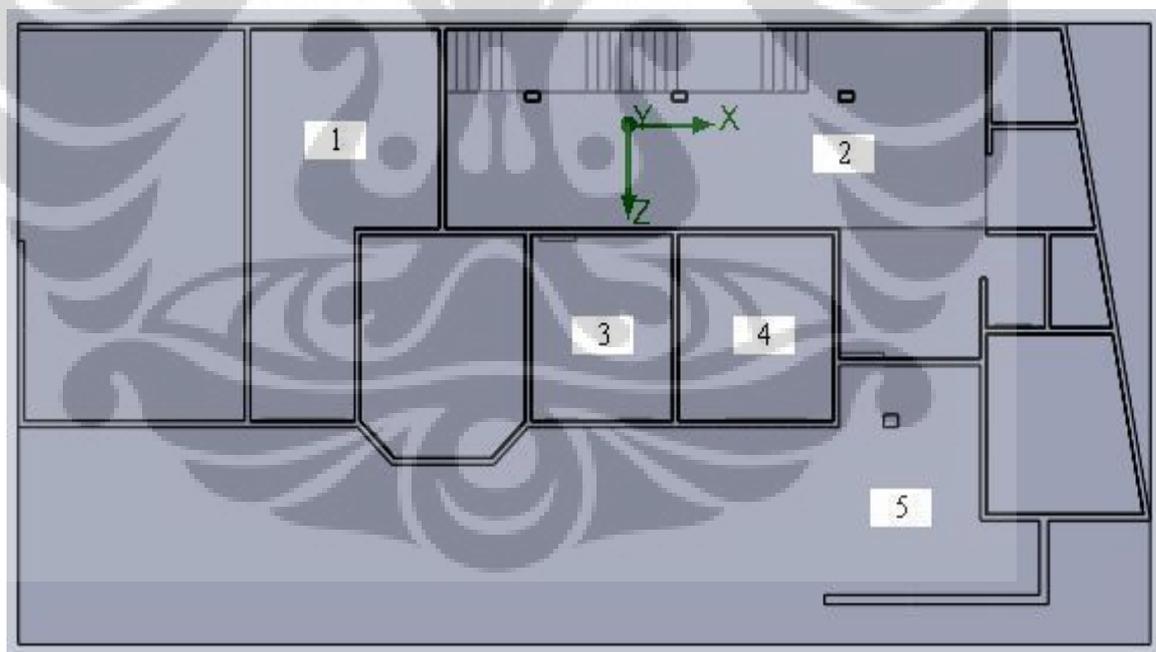
3.2 Pengambilan Data

3.2.1 Data Bangunan

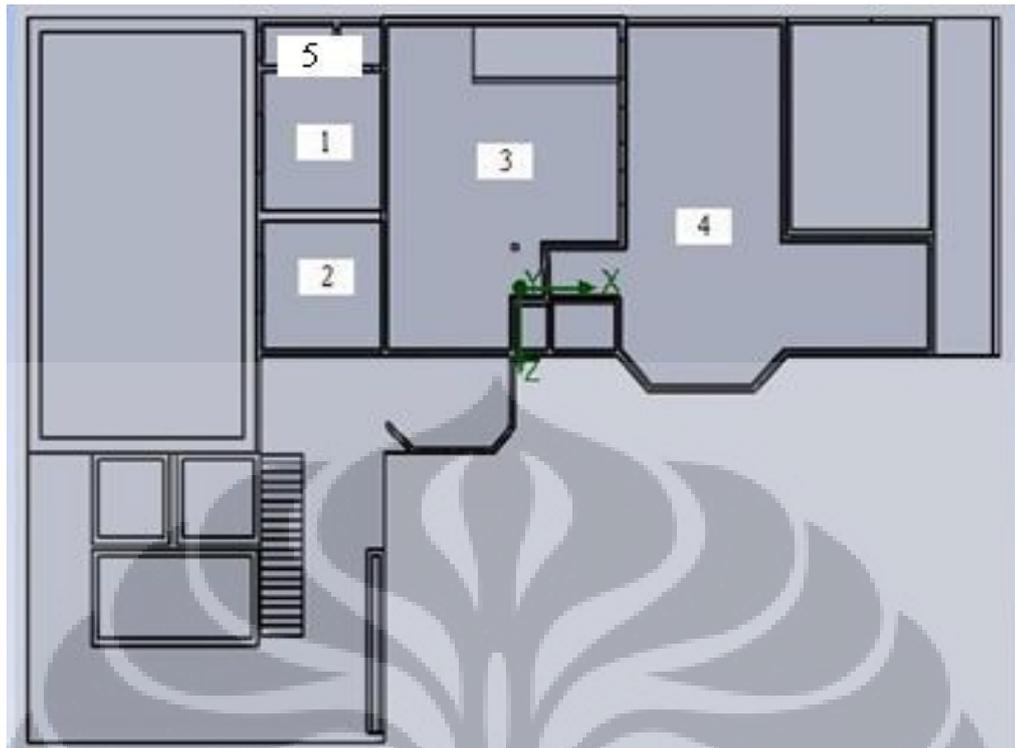
Data yang diambil diperoleh dari pemilik resmi akta tanah yang meliputi data geometri bangunan, luas tanah, dan lokasi bangunan digunakan pada hari Jumat tanggal 20 April 2009. Data tersebut adalah data aktual yang sudah dikerjakan oleh staf pembangunan rumah tersebut dan data geometri bangunan tersebut diberikan dalam bentuk hardcopy.*(*Gambar Denah Rumah terlampir*)

3.2.2 Pemodelan

Pada tahap ini yang dilakukan yaitu Pembuatan geometri bangunan dan pengukuran terhadap parameter-parameter yang diperlukan sebagai input dalam Program SolidWork. Parameter-parameter yang diukur antara lain temperatur udara, kelembaban udara, kecepatan angin dan intensitas cahaya atau radiasi matahari (default = $28,5^{\circ}\text{C}$) dengan alat ukur pada hari Jumat tanggal 3 April 2009 yang dilakukan pada lantai dasar.



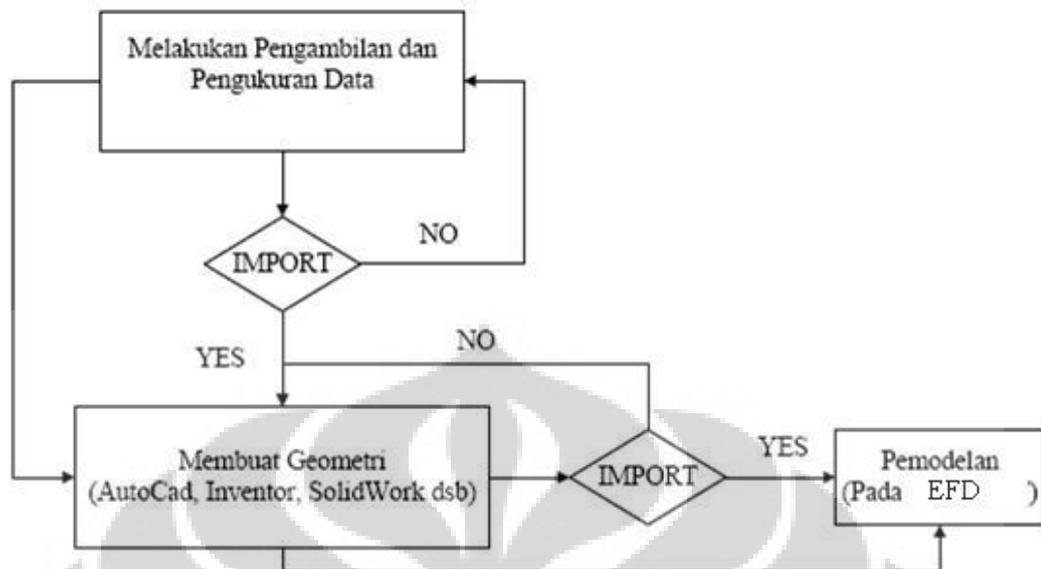
Gambar 3.2 Lokasi Titik-titik Pengukuran Lantai 1



Gambar 3.3 Lokasi Titik-titik Pengukuran Lantai 2



Gambar 3.4 Pemodelan Rumah Keseluruhan



Gambar 3.5 Skema alur pemodelan

3.2.3. Cara dan Hasil Pengukuran

Pengukuran Kecepatan Aliran Udara

Pengukuran kecepatan aliran udara ini akan digunakan sebagai input dan data pembanding ke dalam program SolidWork 2009, serta juga akan digunakan untuk validasi hasil simulasi dari program tersebut. Untuk mengukur kecepatan aliran udara didalam ruang, alat ukur yang digunakan adalah anemometer.

Proses pengambilan data adalah sebagai berikut:

- Menyalakan anemometer, pastikan kipas dari anemometer dalam keadaan diam terlebih dahulu.
- Memastikan bahwa bagian yang digunakan adalah bagian depan kipas dari anemometer.
- Hadapkan bagian depan dari anemometer tersebut ke titik yang ingin diukur kecepatan aliran udaranya. Arah aliran yang ingin diambil harus tegak lurus dengan bagian depan dari anemometer.

- Pencatatan hasil pengukuran.

Pengambilan data ini dilakukan sebanyak lima kali pengulangan dan dalam selang waktu rata-rata setengah jam (20 April 2009) serta ketinggiannya sekitar ketinggian orang pada saat pengukuran, pada setiap lokasi titik-titik pengukuran.

Pengukuran Temperatur Udara dan Pengukuran Kelembaban Udara

Pengukuran temperatur dan kelembaban udara dilakukan sama dengan pengukuran kecepatan aliran udara, bedanya hanya data yang dicatat adalah temperatur dan kelembaban udara, dengan alat yang digunakan yaitu slink hygrometer.

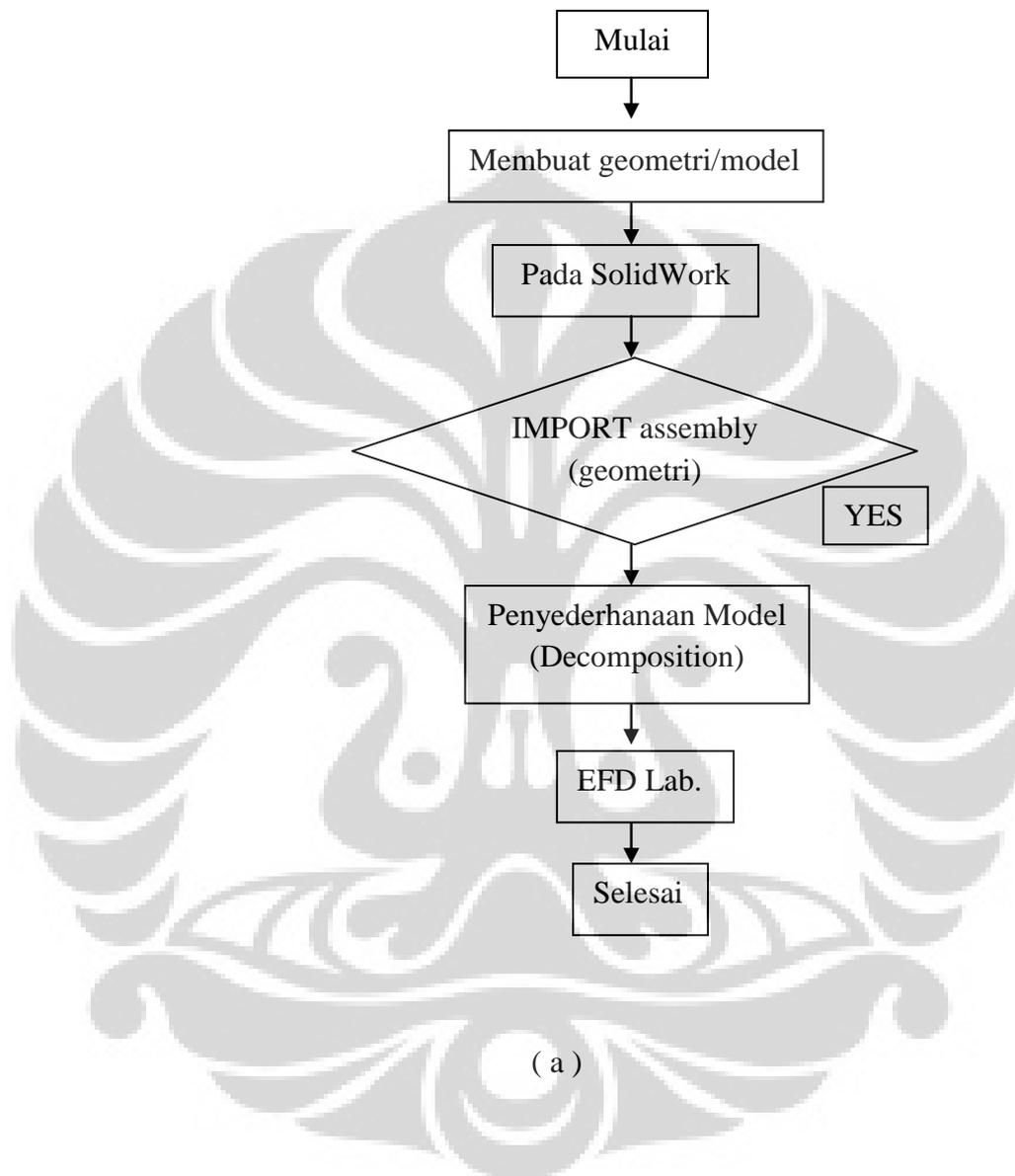
Proses pengambilan data adalah sebagai berikut:

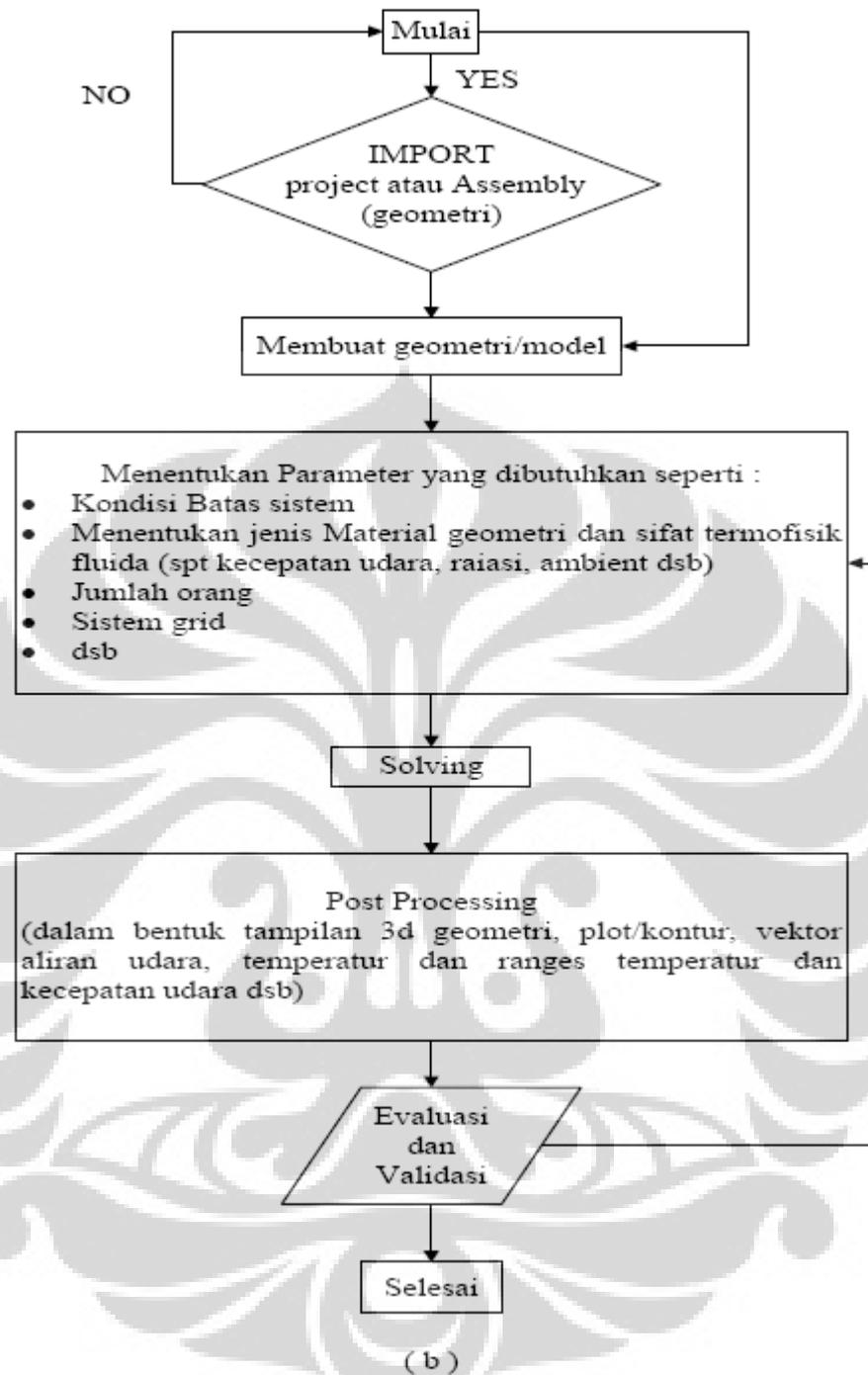
Menggunakan slink hygrometer pada setiap lokasi titik-titik pengukuran, lalu mencatat hasil yang tertera pada alat tersebut. Pengambilan data ini dilakukan sebanyak lima kali pengulangan dan dalam selang waktu rata-rata setengah jam serta ketinggiannya sekitar ketinggian orang pada saat pengukuran, pada setiap lokasi titik-titik pengukuran.

3.3 Simulasi

Pada dasarnya tahap ini yang dilakukan yaitu untuk menentukan input geometri yang akan diproses atau disimulasikan pada CFD dalam hal ini digunakan program SolidFlow Simulation. Input geometri tersebut berdasarkan dari import dari program CAD lain atau membuatnya langsung dalam program EFD Lab. Simulation tersebut. Setelah geometri tersebut jadi lalu selanjutnya menentukan parameter-parameter (seperti, kondisi batasnya, system gridnya dsb) yang diperlukan setelah itu baru dilakukan proses terhadap hasil yang telah dibuat. Hasil simulasi tersebut diantaranya berupa tampilan geometri, plot/contour dan vektor aliran udara, range kecepatan udara dan temperature dsb.

Asumsi yang digunakan dalam simulasi menggunakan CFD ini antara lain sebagai berikut : Pada kondisi steady state, Udara lingkungan dianggap konstan (33°C) selama simulasi dan radiasi matahari default (20°C).





Gambar 3.6 Skema proses (a) pembuatan geometri dan simulasi (b) pada SolidWork

3.3.1 Pembuatan simulasi pada EFD Lab. Simulation

Pada tahap ini yang dilakukan yaitu simulasi pada lantai dasar dengan membuat geometri atau model dalam hal ini pada lantai dasar masjid dengan program SolidFlow Simulation. Asumsi yang digunakan dalam simulasi menggunakan CFD ini antara lain sebagai berikut : udara bergerak dalam kondisi steady, udara tidak terkompresi (incompressible) ρ konstan, Panas jenis, konduktivitas dan viskositas udara konstan (udara 20° C), Udara lingkungan diberi input data 33 oC dan radiasi matahari dianggap (default) konstan. Kondisi batasnya angin yaitu tidak memasukan atau tanpa diberi masukan input kecepatan udara yang berasal dari luar ruangan (asumsi kondisi minimum yaitu pada saat tidak ada angin yang masuk), kondisi batas thermalnya (heat source) dari orang saja (5 orang di lantai 1 dan 4 orang di lantai 2@medium activity) dan masukan dari peralatan mekanikalnya berupa lampu sebanyak 9 buah tiap lantainya dengan @45 watt dalam kondisi lampu menyala saat simulasi dan seluruh geometri (dinding, jendela, lantai, atap dsb) thermal dianggap melakukan konduksi dan tanpa diberi panas (panas tergantung jenis material yang diberikan) sedangkan radiasi dianggap single (seluruh permukaan dianggap sama temperaturnya yang diakibatkan radiasi). Dan aliran modelingnya bersifat turbulen.

Pembuatan geometri ini berdasarkan fasilitas yang ada di program tersebut.

Langkah-langkah pembuatannya yaitu sebagai berikut :

- Membuat gambar permodelan lantai 1 dan lantai 2 sesuai geometri yang ada.
- Memasukan beberapa input data seperti suhu lingkungan, suhu radiasi matahari, suhu *solid default*, kelembapan, kecepatan angin, dll.
- Menentukan bahan material pada permodelan sesuai data aktual.

- Membuat 18 lampu dengan 9 lampu tiap lantai nya dan ditentukan *heat source*.
- Membuat 9 permodelan manusia (5 di lantai 1 dan 4 di lantai 2) dan diletakkan di setiap ruangan-ruangan utama dan mempunyai *heat source*.
- Menentukan jenis aliran, yang digunakan.
- Menentukan beberapa parameter seperti jenis fluida, *wall radiation* nya, besar dan arah intensitas radiasi nya.
- Menentukan mesh yang digunakan untuk *calculation* nya.
- Menentukan *computational domain* yang diinginkan.
- Menentukan komponen-komponen radiasi yang belum terdefinisi secara khusus.
- Menentukan *goal* yang ingin dicari
- *Running*

3.3.2 Validasi Model Simulasi

Validasi dilakukan untuk membandingkan hasil pengukuran dengan hasil pada model pada lokasi titik-titik tertentu yang diinginkan atau ditentukan pada pengukuran. Besarnya error (%) antara hasil pengukuran dengan hasil simulasi. Besarnya error dihitung dengan persamaan :

$$Error (\%) = \left[\frac{C_{pengukuran} - C_{model}}{C_{pengukuran}} \right] \times 100 \quad (21)$$

BAB 4

PERENCANAAN DAN PERHITUNGAN

Data :

Suhu lingkungan = 33°C

Suhu ruangan aktual = 30,5°C

Suhu ruangan nyaman sesuai standar = 22°C

Material dinding = Brick common 8in

Jenis lampu = Flourescent

Pengoperasian lampu = 12 jam

Material partisi = *Hollow concrete block 3in 5/8 in plaster on wall sand*

Material atap = Gypsum Slab on ½ in none plaster

Berat jenis atap = 19 lb/ft²

Jenis kaca = Ordinary Glass (inside venetation blind 45°)

*Dari data tersebut dapat diambil nilai setiap koefisien yang bersangkutan dari tabel pada

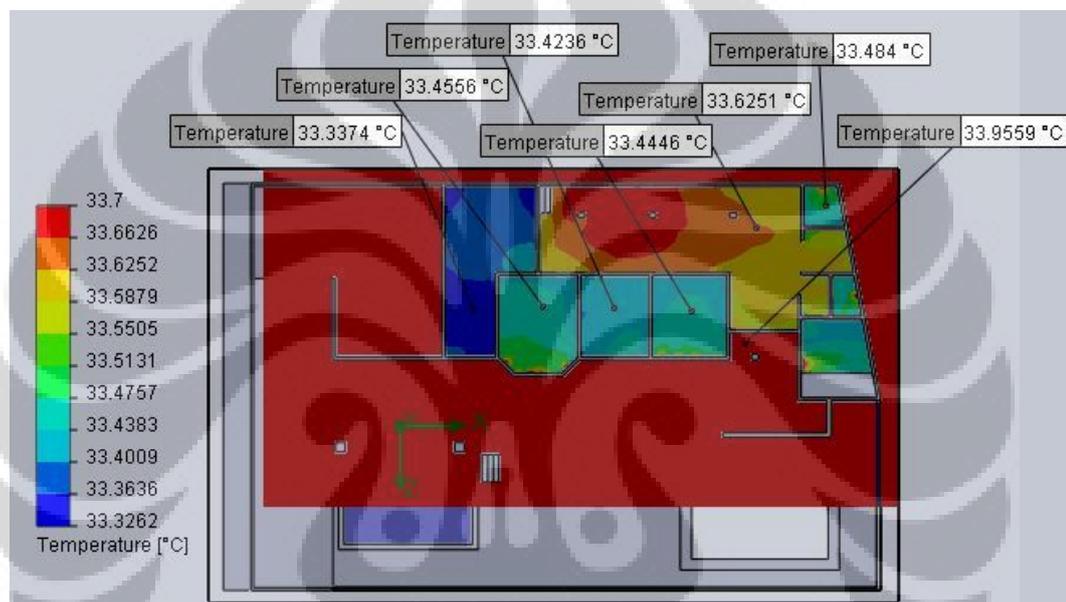
4.1 Validasi

4.1.1 Lantai 1

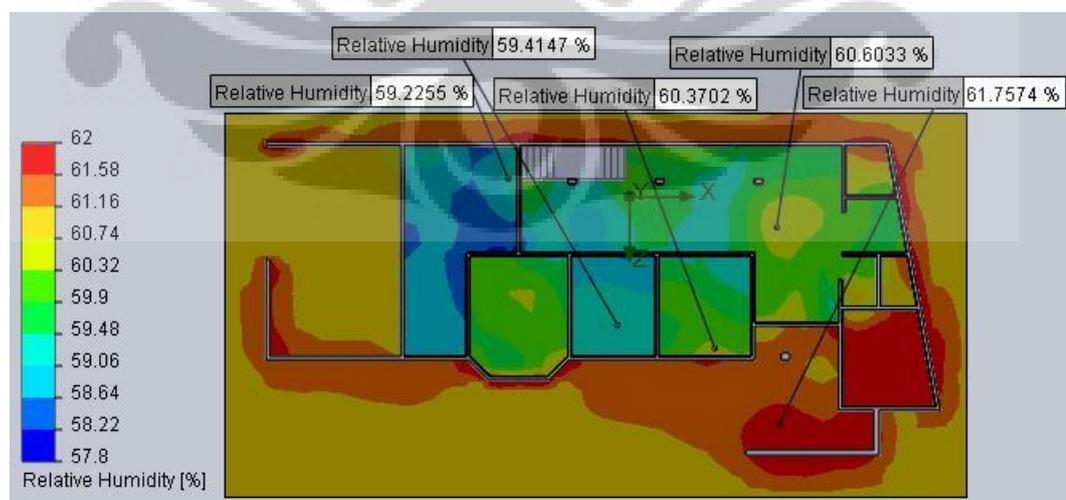
Tabel 4.1 Data Pengukuran Lantai 1

Lantai 1		Pk 14.30 cerah							
Lokasi		Waktu	1	2	3	4	5	avg	
Kamar anak	m/s	Kecepatan	0,005	0,01	0,015	0,01	0,015	0,011	
	oC	Temperatur	32,75	33,5	33,5	33,5	33,5	33,35	
	%	Kelembapan	60,6	56	56	59,2	59,2	58,2	
R.Tengah	m/s	Kecepatan	0,03	0,04	0,05	0,05	0,035	0,041	
	oC	Temperatur	33,5	33,5	33,5	33	33,5	33,4	

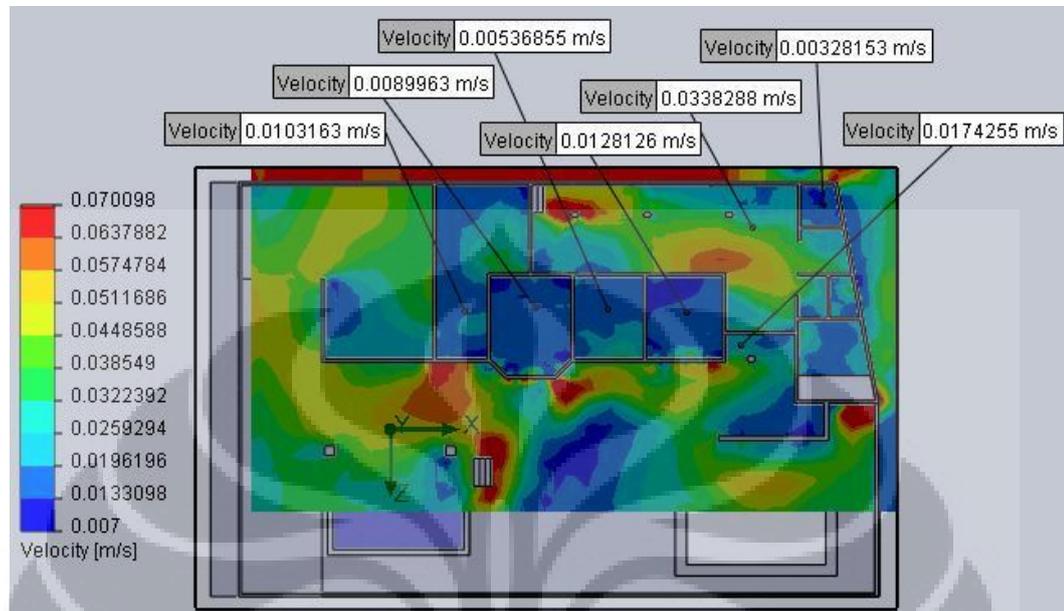
	%	Kelembapan	67,2	67,2	67,2	70,5	67,2	67,86
Kamar Utama	m/s	Kecepatan	0,01	0,015	0,02	0,01	0,005	0,012
	oC	Temperatur	33,75	34	34,25	34	32,75	33,75
	%	Kelembapan	60,6	59	57,5	59	60,6	59,34
Kamar Buku	m/s	Kecepatan	0,005	0,01	0	0	0,005	0,004
	oC	Temperatur	33,5	33,5	33,5	33,5	33,5	33,5
	%	Kelembapan	59,2	59,2	59,2	59,2	57,6	58,88
Teras	m/s	Kecepatan	0,01	0,01	0,015	0,01	0,015	0,012
	oC	Temperatur	32,5	33	33	33	32,5	32,8
	%	Kelembapan	62,2	62,3	58	58,5	62,2	60,64



Gambar 4.1 Distribusi Temperatur Lantai 1



Gambar 4.2 Distribusi Kelembapan Lantai 1

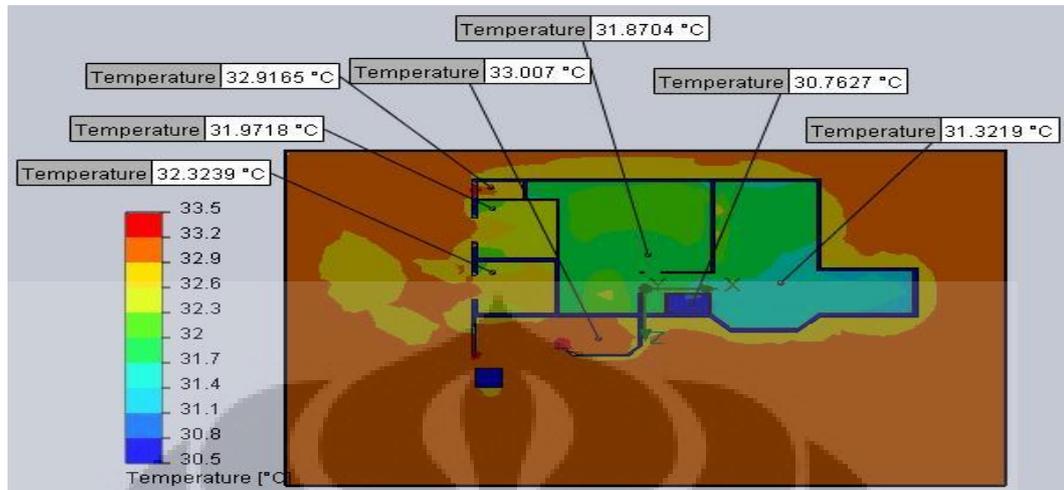


Gambar 4.3 Distribusi Kecepatan Lantai 1

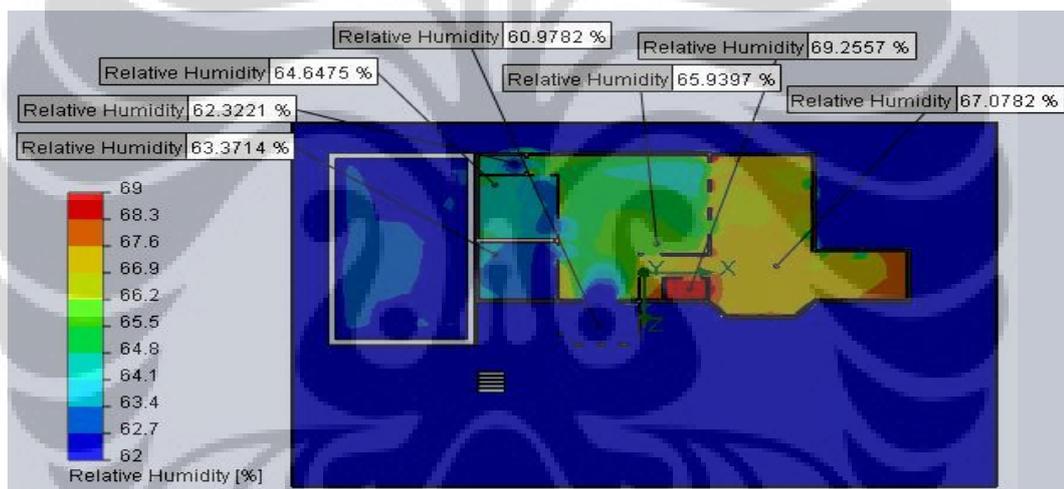
4.1.2 Lantai 2

Tabel 4.2 Data Pengukuran Lantai 2

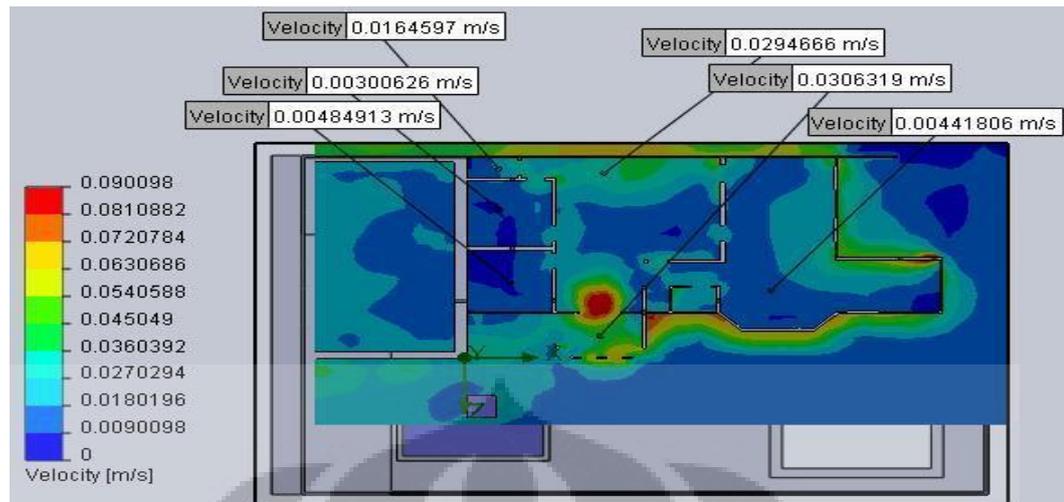
Pk 14.30 cerah								
Lokasi		Waktu	1	2	3	4	5	avg
R.Tamu	m/s	Kecepatan	0,025	0,02	0,025	0,03	0,025	0,03
	oC	Temperatur	32,5	32,5	32	32	32,5	32,30
	%	Kelembapan	65,2	63,6	66,7	68,4	65,2	65,82
R.Komputer	m/s	Kecepatan	0,005	0,01	0,005	0,005	0	0,005
	oC	Temperatur	32,25	32,25	33	32,5	32,5	32,50
	%	Kelembapan	67,8	69,4	64,8	66,2	66,2	66,88
R.Kantor 1	m/s	Kecepatan	0	0,005	0,015	0,01	0,005	0,007
	oC	Temperatur	33	33	33	32,5	33	32,90
	%	Kelembapan	63,2	63,2	64,8	64,8	64,8	64,16
R.Kantor 2	m/s	Kecepatan	0,005	0	0,005	0,005	0,005	0,004
	oC	Temperatur	32,75	33	33	33	32,75	32,90
	%	Kelembapan	64,1	64,2	65,8	67,4	65,7	65,44
Kamar Mandi	m/s	Kecepatan	0,015	0,02	0,02	0,015	0,005	0,015
	oC	Temperatur	32,5	32,25	32,5	32,5	32,75	32,50
	%	Kelembapan	65,7	65,4	63,8	62,2	62,1	63,84



Gambar 4.4 Distribusi Temperatur Lantai 2



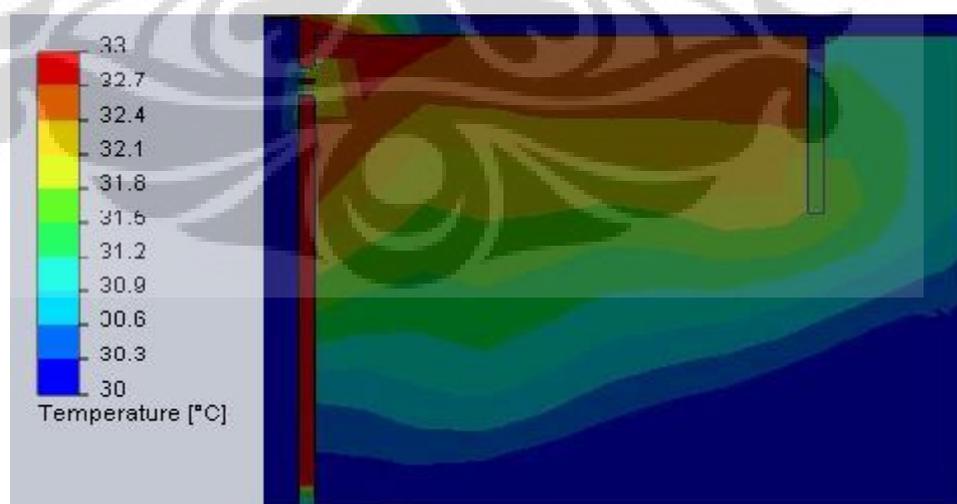
Gambar 4.5 Distribusi Kelembapan Lantai 2



Gambar 4.6 Distribusi Kecepatan Lantai 2

Analisa simulasi ini meliputi menerangkan bahwa apakah hasil simulasi yang telah dibuat telah sesuai (valid) berdasarkan hasil pengukuran yang dilakukan pada hari jumat tanggal 20 April 2009 atau sesuai keadaan aktual atau kondisi pada bangunan tersebut dengan simulasi yang dilakukan yaitu pada saat ruang berpenghuni dan tanpa sumber panas dari peralatan mekanikalnya serta tanpa diberi masukan input kecepatan udara yang berasal dari luar ruangan dan melakukan simulasi, apakah keadaannya telah sesuai dengan acuan kenyamanan dari segi termis yang telah disebutkan dalam dasar teori.

Analisis Temperatur Udara



Gambar 4.7 Distribusi Temperatur Vertikal pada Ruang Bers ventilasi

Dari Gambar 4.7 hasil simulasi terlihat bahwa distribusi temperature udara dengan suhu lebih tinggi berada di atas dan udara dengan suhu yang lebih rendah berada di bawah. Kemudian pada lubang ventilasi terlihat suhu udara akan lebih rendah daripada suhu di sekitarnya. Hal ini disebabkan karena terdapat aliran udara yang cukup besar pada udara di sekitar lubang ventilasi tempat keluar masuknya udara.

Berdasarkan hasil pengukuran sabtu tanggal 20 April 2009 dengan hasil simulasi yang dibuat didapat sebagai berikut :

Tabel 4.3 Nilai Ukur dan Simulai Serta Error Temperatur Udara.

Ruangan	Nilai Ukur (oC)	Hasil Simulasi (oC)	Error (%)
Kamar Anak	33,35	33,45	0,29
Ruang Tengah	33,4	33,63	0,67
Kamar Utama	33,75	33,34	1,22
Kamar Buku	33,5	33,42	0,23
Teras	32,8	33,90	3,35
Ruang Tamu	32,30	33,01	2,19
R.Komputer	32,50	31,32	3,62
Ruang Kantor 1	32,90	32,32	1,75
Ruang Kantor 2	32,90	31,97	2,82
Kamar Mandi	32,50	32,92	1,28

Dari hasil ukur dan simulasi perbedaan (error) yang terjadi bernilai cukup kecil $\pm 1,74\%$, sedangkan dilihat dari acuan kenyamanan termis yang disyaratkan yaitu $22\text{ }^{\circ}\text{C} - 27\text{ }^{\circ}\text{C}$ ASHRAE (*American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers*) dan $26,5\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ (Prof.Tri Harso Karyono) suhu udara maka hasil yang diperoleh dari pengukuran dan simulasi lebih besar dari acuan kenyamanan yang disyaratkan.

Analisis Kecepatan Udara

Berdasarkan hasil pengukuran sabtu tanggal 20 April 2009 dengan hasil simulasi yang dibuat didapat sebagai berikut :

Tabel 4.4 Nilai Ukur dan Simulai Serta Error Kecepatan Udara.

Ruangan	Kecepatan (m/s)	Hasil Simulasi (m/s)	Error (%)
---------	-----------------	----------------------	-----------

Kamar Anak	0,0110	0,0128	16,36
Ruang Tengah	0,0410	0,0338	17,56
Kamar Utama	0,0120	0,0103	14,08
Kamar Buku	0,0040	0,0054	34,25
Teras	0,0120	0,0174	45,17
Ruang Tamu	0,0250	0,0295	17,84
R.Komputer	0,0050	0,0044	12,00
Ruang Kantor 1	0,0070	0,0048	31,43
Ruang Kantor 2	0,0040	0,0030	25,00
Kamar Mandi	0,0150	0,0164	9,33

Berdasarkan data pengukuran table 4.1 pada hari Sabtu tanggal 22 November 2008, dengan rata-rata sebesar 0.242 m/s Dan berdasarkan simulasi gambar 4.5 didapat 0.22 m/s, karena nilainya berada diantara 0,1 m/s dan 1,5 m/s maka memenuhi standar ASHRAE untuk kecepatan ruang yang nyaman karena. Memang dari kedua hasil tersebut besar nilainya kecepatan udaranya masih rendah untuk kulit dapat merasakannya walaupun berada dalm kategori nyaman menurut ASHRAE tersebut, ini disebabkan pada pengukuran tersebut keadaannya memang tidak begitu banyak angin sedangkan pada simulasi belum dimasukkannya aliran udara yang masuk dan diberi kipas angin.

Analisa Kelembaban Udara

Berdasarkan hasil pengukuran sabtu tanggal 20 April 2009 dengan hasil simulasi yang dibuat didapat sebagai berikut :

Tabel 4.5 Nilai Ukur dan Simulai Serta Error Kelembapan Udara.

Ruangan	Kelembapan (%)	Hasil Simulasi (%)	Error (%)
Kamar Anak	58,2	60,37	3,73
Ruang Tengah	67,86	67,08	1,15
Kamar Utama	59,34	59,23	0,19
Kamar Buku	58,88	59,41	0,91
Teras	60,64	61,76	1,84
Ruang Tamu	65,82	65,94	0,18
R.Komputer	66,88	67,08	0,30
Ruang Kantor 1	64,16	63,37	1,23
Ruang Kantor 2	65,44	64,65	1,21

Kamar Mandi	63,84	62,32	2,38
-------------	-------	-------	------

Dari hasil ukur dan simulasi perbedaan (error) yang terjadi bernilai cukup kecil $\pm 1,31\%$, sedangkan dilihat dari acuan kenyamanan termis yang disyaratkan angka yang didapat di atas kelembaban standar ASHRAE (30% - 60%) untuk ruangan yang nyaman. Ini terjadi karena pengaruh lingkungan dari bangunan tersebut. Untuk membuat nyaman maka diperlukan aliran udara yang dapat menjadi salah satu metode yang paling efisien untuk memperoleh kenyamanan termal pada ruangan tersebut.

4.2 Perhitungan Beban Pendinginan Carrier yang Telah Terjadi

4.2.1 Lantai 1

Kondisi	DB(F)	WB(F)	RH(%)	DP(F)	Gr/lb
Lingkungan	91,4	79,7	60,4	75,8	154,20
Ruangan	85,1	74,9	62,8	70,9	160,32
Perbedaan	6,3	4,8	-2,4	4,9	-6,13

DB = Dry Bulb ; WB = Wet Bulb ; RH = Relative Humidity ; DP = Dew Point

Luas Kaca

Arah	Utara	Timur	Selatan	Barat
Luas kaca (ft ²)	0,00	0,00	0,00	110,86

Solar Gain Factors Worksheet

Perencanaan : 20 April, pukul 14.30

Titik Embun : 70,9 °F

Lama Operasi : 12 Jam/Hari

Building weight 180 lb/ft²

<i>Exposure</i>	Utara	Timur	Selatan	Barat
<i>Solar Heat Gain</i>	10	155	73	155
<i>Corr Steel Hash</i>	1,17	1,17	1,17	1,17
<i>Corr Haze</i>	1	1	1	1
<i>Corr Altitude</i>	1	1	1	1
<i>Corr Dewpoint</i>	0,95	0,95	0,95	0,95
<i>Corr South Lat</i>	1	1	1	1
<i>Storage Factor</i>	0,915	0,350	0,655	0,385
<i>Sun Gain</i>	10,17	60,30	53,15	66,33
<i>Shade Factor</i>	0,65	0,65	0,65	0,65

Jenis	Luas Area (ft ²)	Sun Gain	Faktor	Total
Kaca Utara	0,00	0,00	0,65	0
Kaca Timur	0,00	0,00	0,65	0
Kaca Selatan	0,00	0,00	0,65	0
Kaca Barat	110,86	66,33	0,65	4779,75
Total				4779,75

Luas Bersih Dinding

Arah	Utara	Timur	Selatan	Barat
Luas Bersih	209,90	468,23	258,34	405,81

Equivalent Temperature Difference Worksheet

	Atap	Utara	Timur	Selatan	Barat
<i>Design month</i>	Apr	-	-	-	-
<i>Design time</i>	2.30 pm	-	-	-	-

<i>Color</i>	Med	Med	Med	Med	Med
<i>Weight</i>	21	93	93	93	93
<i>Des. DB</i>	95	95	95	95	95
<i>Corr</i>	0	0	0	0	0
<i>2.30 pm DB</i>	95	95	95	95	95
<i>Room Des.DB</i>	72	72	72	72	72
Δt	23	23	23	23	23
<i>Daily Range</i>	8	8	8	8	8
<i>Table 20A corr</i>	-3,6	-2,7	-2,7	-2,7	-2,7
Δt (expos)	33	2,5	22	13,5	9
Δt em	29,4	-0,2	19,3	10,8	6,3
<i>Rs</i>	230	73	155	14	155
<i>Rm</i>	233	24	122	69	164
<i>Rs/Rm</i>	0,99	3,04	1,27	0,20	0,95
Δt (shade)	12,5	2,5	2,5	2,5	2,5
Δt es	8,9	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2
<i>ETD</i>	24,68	-0,20	19,12	1,54	4,59

$$ETD = ,078 \left(\frac{R_s}{R_m} \right) \Delta t_{em} + \left(1 - 0,78 \frac{R_s}{R_m} \right) \Delta t_{es}$$

Solar and Trans Gain-Wall

Jenis	Luas Area (ft ²)	ETD	Faktor	Total
Dinding Utara	209,90	-0,20	0,41	-17,21
Dinding Timur	468,23	19,12	0,41	3671,38
Dinding Selatan	258,34	1,54	0,41	163,21
Dinding Barat	405,81	4,59	0,41	763,98
Atap	1119,45	0	0,23	0
Total				4581,36

Trans Gain-Except Walls

Jenis	Luas Area(ft ²)	Temp Diff(F)	Faktor	Total
Kaca	110,86	5,4	1,13	676,49
Lantai	1510,20	2,7	0,25	1019,39
Partisi	282,72	0,45	0,37	47,07
Total				1742,95

Kalor Sensibel

Jenis

$$\text{Orang} = 4 \text{org} * 269 \text{ btu/hr} = 1345 \text{ btu/hr}$$

$$\text{Lampu} = 1119,45 \text{ ft}^2 * (5W/10,76\text{ft}^2) * 3,4 * 0,96 * 0,8 * 1,25 = 2100,3 \text{ btu/hr}$$

$$\text{Storage} = 1510,2 \text{ ft}^2 * 4^{\circ}\text{F} * (-1,36) = -6089,8 \text{ btu/hr}$$

$$\begin{aligned} \text{Kalor sensible ruangan} = & \text{Solar Gain(Kaca)} + \text{Solar \& Trans Gain (dinding)} + \\ & \text{Trans Gain (Kaca)} + \text{Trans Gain (Lantai)} + \text{Trans} \\ & \text{Gain Partisi} + \text{Kalor Sensibel Manusia} + \text{Beban} \\ & \text{Lampu} + \text{storage} = 7472,5 \text{ btu / hr} \end{aligned}$$

$$\text{Ventilasi} = 5 * 20 \text{ cfm / orang} = 100 \text{ cfm}$$

$$\text{Udara Dalam} = 100 \text{ cfm} * 6,3^{\circ}\text{F} * 0,05 * 1,08 = 34,0 \text{ btu/hr}$$

$$\text{ERSH} = \text{Kalor Sensibel Ruangan} + \text{Udara Luar} = 7506,5 \text{ btu/hr}$$

Kalor Laten

$$\text{Orang} = 5 * 181 \text{ btu/hr} = 905 \text{ btu/hr}$$

$$\text{Kalor Laten Ruangan} = 905,0 \text{ btu/hr}$$

$$\text{Udara Dalam} = 100 \text{ cfm} * -4,34 * 0,05 * 0,68 = -20,8 \text{ btu/hr} +$$

$$\text{ERLH} = 884,2 \text{ btu/hr}$$

$$\text{ERTH} = \text{ERSH} + \text{ERLH} = 8390,7 \text{ btu/hr}$$

Kalor Udara Luar

$$\text{Sensibel} = 100\text{cfm} * 6,3^{\circ}\text{F} * (1-0,05)*1,08 = 646,38 \text{ btu/hr}$$

$$\text{Laten} = 100 \text{ cfm} * -6,13 * (1-0,05) * 0,68 = -395,81 \text{ btu/hr}$$

$$\text{Kalor Total (GTH)} = \text{ERTH} + \text{Kalor Udara Luar Sensibel} + \text{Kalor Udara Luar}$$

$$\text{Laten} = 8641,3 \text{ btu/hr} = 2531,9 \text{ W}$$

4.2.2 Lantai Dua

Kondisi	DB(F)	WB(F)	RH(%)	DP(F)	Gr/lb
Lingkungan	91,4	79,7	60,4	75,8	154,20
Ruangan	85,1	74,7	62,1	70,7	160,32
Perbedaan	6,3	5	-1,7	5,1	-4,34

DB = Dry Bulb ; WB = Wet Bulb ; RH = Relative Humidity ; DP = Dew Point

Luas Kaca

Arah	Utara	Timur	Selatan	Barat
Luas kaca (ft ²)	12,92	46,82	25,83	54,25

Solar Gain Factors Worksheet

Perencanaan : 20 April, pukul 14.30

Titik Embun : 70,7 °F

Lama Operasi : 12 Jam/Hari *Building weight 180 lb/ft²*

<i>Exposure</i>	Utara	Timur	Selatan	Barat
<i>Solar Heat Gain</i>	10	155	73	155
<i>Corr Steel Hash</i>	1,17	1,17	1,17	1,17
<i>Corr Haze</i>	1	1	1	1
<i>Corr Altitude</i>	1	1	1	1

<i>Corr Dewpoint</i>	0,95	0,95	0,95	0,95
<i>Corr South Lat</i>	1	1	1	1
<i>Storage Factor</i>	0,915	0,350	0,655	0,385
<i>Sun Gain</i>	10,17	60,30	53,15	66,33
<i>Shade Factor</i>	0,65	0,65	0,65	0,65

Jenis	Luas Area (ft2)	Sun Gain	Faktor U	Total
Kaca Utara	12,92	10,17	0,65	85,3884
Kaca Timur	46,82	60,30	0,65	1835,21
Kaca Selatan	25,83	53,15	0,65	892,425
Kaca Barat	54,25	66,33	0,65	2338,94
Total				5151,96

Luas Bersih Dinding

Arah	Utara	Timur	Selatan	Barat
Luas Bersih	213,13	501,17	216,36	338,85

Equivalent Temperature Difference Worksheet

	Atap	Utara	Timur	Selatan	Barat
<i>Design month</i>	Apr	-	-	-	-
<i>Design time</i>	2.30 pm	-	-	-	-
<i>Color</i>	Med	Med	Med	Med	Med
<i>Weight</i>	21	93	93	93	93
<i>Des. DB</i>	95	95	95	95	95
<i>Corr</i>	0	0	0	0	0
<i>2.30 pm DB</i>	95	95	95	95	95
<i>Room Des.DB</i>	72	72	72	72	72

Δt	23	23	23	23	23
<i>Daily Range</i>	8	8	8	8	8
<i>Table 20A corr</i>	-3,6	-2,7	-2,7	-2,7	-2,7
Δt (expos)	33	2,5	22	13,5	9
Δt em	29,4	-0,2	19,3	10,8	6,3
<i>Rs</i>	230	73	155	14	155
<i>Rm</i>	233	24	122	69	164
<i>Rs/Rm</i>	0,99	3,04	1,27	0,20	0,95
Δt (shade)	12,5	2,5	2,5	2,5	2,5
Δt es	8,9	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2
<i>ETD</i>	24,68	-0,20	19,12	1,54	4,59

$$ETD = 0,78 \left(\frac{R_s}{R_m} \right) \Delta t_{em} + \left(1 - 0,78 \frac{R_s}{R_m} \right) \Delta t_{es}$$

Solar and Trans Gain-Wall

Jenis	Luas Area (ft ²)	ETD	Faktor U	Total
Dinding Utara	213,13	-0,20	0,41	-17,4764
Dinding Timur	501,17	19,12	0,41	3929,65
Dinding Selatan	216,36	1,54	0,41	136,685
Dinding Barat	338,85	4,59	0,41	637,929
Atap	1022,60	24,68	0,23	5805,66
Total				10492,4

Trans Gain-Except Walls

Jenis	Luas Area(ft ²)	Temp Diff	Faktor	Total
Kaca	139,82	5,4	1,13	853,21
Lantai	1022,60	6,3	0,25	1610,60
Partisi	282,72	0,45	0,37	47,07
Total				2510,88

Kalor Sensibel

Jenis

$$\text{Orang} = 4 \text{org} * 269 \text{ btu/hr} = 1076 \text{ btu/hr}$$

$$\text{Lampu} = 1022,60 \text{ ft}^2 * (5W/10,76\text{ft}^2) * 3,4 * 0,96 * 0,8 * 1,25 = 1918,6 \text{ btu/hr}$$

$$\text{Storage} = 1022,6\text{ft}^2 * 4^{\circ}\text{F} * (-1,36) = -5562,9 \text{ btu/hr}$$

$$\begin{aligned} \text{Kalor sensible ruangan} = & \text{Solar Gain(Kaca)} + \text{Solar \& Trans Gain (dinding)} + \\ & \text{Trans Gain (Kaca)} + \text{Trans Gain (Lantai)} + \text{Trans} \\ & \text{Gain Partisi} + \text{Kalor Sensibel Manusia} + \text{Beban} \\ & \text{Lampu} + \text{storage} = 15045,3 \text{ btu / hr} \end{aligned}$$

$$\text{Ventilasi} = 4 * 20 \text{ cfm / orang} = 80 \text{ cfm}$$

$$\text{Udara Dalam} = 80 \text{ cfm} * 6,3^{\circ}\text{F} * 0,05 * 1,08 = 27,2 \text{ btu/hr}$$

$$\text{ERSH} = \text{Kalor Sensibel Ruangan} + \text{Udara Luar} = 15072,6,0 \text{ btu/hr}$$

Kalor Laten

$$\text{Orang} = 4 * 181 \text{ btu/hr} = 724,0 \text{ btu/hr}$$

$$\text{Kalor Laten Ruangan} = 724,0 \text{ btu/hr}$$

$$\text{Udara Dalam} = 100 \text{ cfm} * 140 * 0,05 * 0,68 = -11,8 \text{ btu/hr+}$$

$$\text{ERLH} = 712,2 \text{ btu/hr}$$

$$\text{ERTH} = \text{ERSH} + \text{ERLH} = 15784,7 \text{ btu /hr}$$

Kalor Udara Luar

$$\text{Sensibel} = 80\text{cfm} * 6,3^{\circ}\text{F} * (1-0,05) * 1,08 = 517,1 \text{ btu/hr}$$

$$\text{Laten} = 80 \text{ cfm} * -4,34 * (1-0,05) * 0,68 = -224,29 \text{ btu/hr}$$

$$\begin{aligned} \text{Kalor Total (GTH)} &= \text{ERTH} + \text{Kalor Udara Luar Sensibel} + \text{Kalor Udara Luar} \\ \text{Laten} &= 16077,6 \text{ btu/hr} = 4710,7 \text{ W} \end{aligned}$$

4.3 Perhitungan Rancangan Beban Pendinginan Carrier pada Pk.14.30

4.3.1 Lantai 1

Kondisi	DB(F)	WB(F)	RH(%)	DP(F)	Gr/lb
Lingkungan	91,4	79,7	60,4	75,8	154,20
Ruangan	71,6	59,7	50	51,9	127,65
Perbedaan	19,8	20	10,4	23,9	26,55

Tabel iv.3 Data Udara Aktual

DB = Dry Bulb ; WB = Wet Bulb ; RH = Relative Humidity ; DP = Dew Point

Luas Kaca

Arah	Utara	Timur	Selatan	Barat
Luas kaca (ft2)	0,00	0,00	0,00	110,86

Solar Gain Factors Worksheet

Perencanaan : 29 April, pukul 14.30

Titik Embun : 51,9 °F

Lama Operasi : 12 Jam/Hari *Building weight 180 lb/ft²*

<i>Exposure</i>	Utara	Timur	Selatan	Barat
<i>Solar Heat Gain</i>	10	155	73	155
<i>Corr Steel Hash</i>	1,17	1,17	1,17	1,17
<i>Corr Haze</i>	1	1	1	1
<i>Corr Altitude</i>	1	1	1	1
<i>Corr Dewpoint</i>	1,05	1,05	1,05	1,05
<i>Corr South Lat</i>	1	1	1	1
<i>Storage Factor</i>	0,915	0,350	0,655	0,385
<i>Sun Gain</i>	10,17	60,30	53,15	66,33
<i>Shade Factor</i>	0,65	0,65	0,65	0,65

Jenis	Luas Area (ft ²)	Sun Gain	Faktor	Total
Kaca Utara	0,00	11,24	0,65	0
Kaca Timur	0,00	66,65	0,65	0
Kaca Selatan	0,00	58,74	0,65	0
Kaca Barat	110,86	73,31	0,65	5282,88
			Total	5282,88

Luas Bersih Dinding

Arah	Utara	Timur	Selatan	Barat
Luas Bersih	209,90	468,23	258,34	405,81

Equivalent Temperature Difference Worksheet

	Atap	Utara	Timur	Selatan	Barat
<i>Design month</i>	Apr	-	-	-	-
<i>Design time</i>	2.30 pm	-	-	-	-
<i>Color</i>	Med	Med	Med	Med	Med
<i>Weight</i>	21	93	93	93	93
<i>Des. DB</i>	95	95	95	95	95
<i>Corr</i>	0	0	0	0	0
<i>2.30 pm DB</i>	95	95	95	95	95
<i>Room Des.DB</i>	72	72	72	72	72
Δt	19,8	19,8	19,8	19,8	19,8
<i>Daily Range</i>	8	8	8	8	8
<i>Table 20A corr</i>	-3,6	-2,7	-2,7	-2,7	-2,7
Δt (expos)	33	2,5	22	13,5	9
Δt em	29,4	-0,2	19,3	10,8	6,3
<i>Rs</i>	230	73	155	14	155
<i>Rm</i>	233	24	122	69	164
<i>Rs/Rm</i>	0,99	0,58	1,27	1,06	0,95
Δt (shade)	12,5	2,5	2,5	2,5	2,5
Δt es	8,9	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2
<i>ETD</i>	24,68	-0,20	19,12	8,88	4,59

$$ETD = 0,78 \left(\frac{R_s}{R_m} \right) \Delta t_{em} + \left(1 - 0,78 \frac{R_s}{R_m} \right) \Delta t_{es}$$

Solar and Trans Gain-Wall

Jenis	Luas Area (ft2)	ETD	Faktor	Total
Dinding Utara	209,90	-0,20	0,41	-17,21
Dinding Timur	468,23	19,12	0,41	3671,38
Dinding Selatan	258,34	1,54	0,41	163,21
Dinding Barat	405,81	4,59	0,41	763,98
Atap	1119,45	0	0,23	0

Total 4581,36

Trans Gain-Except Walls

Jenis	Luas Area(ft2)	Temp Diff(F)	Faktor	Total
Kaca	110,86	10,8	1,13	1352,98
Lantai	1119,45	8,5	0,25	2365,45
Partisi	282,72	8,5	0,37	884,17
Total				4602,59

Kalor Sensibel

Jenis

$$\text{Orang} = 5 \text{ org} * 269 \text{ btu/hr} = 1345 \text{ btu/hr}$$

$$\text{Lampu} = 1119,45 \text{ ft}^2 * (5\text{W}/10,76\text{ft}^2) * 3,4 * 0,96 * 0,8 * 1,25 = 2100,3 \text{ btu/hr}$$

$$\text{Storage} = 1119,45 \text{ ft}^2 * 4^{\circ}\text{F} * (-1,36) = -6089,8 \text{ btu/hr}$$

$$\begin{aligned} \text{Kalor sensible ruangan} = & \text{Solar Gain(Kaca)} + \text{Solar \& Trans Gain (dinding)} + \\ & \text{Trans Gain (Kaca)} + \text{Trans Gain (Lantai)} + \text{Trans} \\ & \text{Gain Partisi} + \text{Kalor Sensibel Manusia} + \text{Beban} \\ & \text{Lampu} + \text{storage} = 11099,0 \text{ btu / hr} \end{aligned}$$

$$\text{Ventilasi} = 5 * 20 \text{ cfm / orang} = 100 \text{ cfm}$$

$$\text{Udara Dalam} = 100 \text{ cfm} * 19,8^{\circ}\text{F} * 0,05 * 1,08 = 106,9 \text{ btu/hr}$$

$$\text{ERSH} = \text{Kalor Sensibel Ruangan} + \text{Udara Luar} = 11157,3 \text{ btu/hr}$$

Kalor Laten

$$\text{Orang} = 5 * 181 \text{ btu/hr} = 905 \text{ btu/hr}$$

$$\text{Kalor Laten Ruangan} = 905,0 \text{ btu/hr}$$

$$\text{Udara Dalam} = 100 \text{ cfm} * 140 * 0,05 * 0,68 = \underline{476,0} \text{ btu/hr+}$$

$$\text{ERLH} = 1426,3 \text{ btu/hr}$$

$$\text{ERTH} = \text{ERSH} + \text{ERLH} = 12152,6 \text{ btu/hr}$$

Kalor Udara Luar

$$\text{Sensibel} = 100 \text{ cfm} * 19,8^{\circ}\text{F} * (1-0,05)*1,08 = 2031,48 \text{ btu/hr}$$

$$\text{Laten} = 100 \text{ cfm} * 26,55 * (1-0,05) * 0,68 = 1715,17 \text{ btu/hr}$$

$$\text{Kalor Total (GTH)} = \text{ERTH} + \text{Kalor Udara Luar Sensibel} + \text{Kalor Udara Luar}$$

$$\text{Laten} = 14975,9 \text{ btu/hr}$$

$$\text{Beban Pendinginan Total} = 14975,9 \text{ btu/hr} = 4387,93 \text{ W}$$

4.3.2 Lantai Dua

Kondisi	DB(F)	WB(F)	RH(%)	DP(F)	Gr/lb
Lingkungan	91,4	79,7	60,4	75,8	154,20
Ruangan	71,6	59,7	50	51,9	127,65
Perbedaan	19,8	20	10,4	23,9	26,55

DB = Dry Bulb ; WB = Wet Bulb ; RH = Relative Humidity ; DP = Dew Point

Luas Kaca

Arah	Utara	Timur	Selatan	Barat
Luas kaca (ft ²)	12,92	46,82	25,83	54,25

Solar Gain Factors Worksheet

Perencanaan : 20 April, pukul 14.30

Titik Embun : 51,9 °F

Lama Operasi : 12 Jam/Hari *Building weight 180 lb/ft²*

<i>Exposure</i>	Utara	Timur	Selatan	Barat
<i>Solar Heat Gain</i>	10	155	73	155
<i>Corr Steel Hash</i>	1,17	1,17	1,17	1,17
<i>Corr Haze</i>	1	1	1	1
<i>Corr Altitude</i>	1	1	1	1
<i>Corr Dewpoint</i>	1,05	1,05	1,05	1,05
<i>Corr South Lat</i>	1	1	1	1
<i>Storage Factor</i>	0,915	0,350	0,655	0,385
<i>Sun Gain</i>	10,17	60,30	53,15	66,33
<i>Shade Factor</i>	0,65	0,65	0,65	0,65

Jenis	Luas Area (ft2)	Sun Gain	Faktor U	Total
Kaca Utara	12,92	11,24	0,65	94,37665
Kaca Timur	46,82	66,65	0,65	2028,389
Kaca Selatan	25,83	58,74	0,65	986,3649
Kaca Barat	54,25	73,31	0,65	2585,147
Total				5694,277

Luas Bersih Dinding

Arah	Utara	Timur	Selatan	Barat
Luas Bersih	213,13	501,17	216,36	338,85

Equivalent Temperature Difference Worksheet

	Atap	Utara	Timur	Selatan	Barat
<i>Design month</i>	Apr	-	-	-	-
<i>Design time</i>	2.30 pm	-	-	-	-
<i>Color</i>	Med	Med	Med	Med	Med

<i>Weight</i>	21	93	93	93	93
<i>Des. DB</i>	95	95	95	95	95
<i>Corr</i>	0	0	0	0	0
<i>2.30 pm DB</i>	95	95	95	95	95
<i>Room Des.DB</i>	72	72	72	72	72
Δt	19,8	19,8	19,8	19,8	19,8
<i>Daily Range</i>	8	8	8	8	8
<i>Table 20A corr</i>	-3,6	-2,7	-2,7	-2,7	-2,7
Δt (expos)	33	2,5	22	13,5	9
Δt em	29,4	-0,2	19,3	10,8	6,3
<i>Rs</i>	230	73	155	14	155
<i>Rm</i>	233	24	122	69	164
<i>Rs/Rm</i>	0,99	0,58	1,27	1,06	0,95
Δt (shade)	12,5	2,5	2,5	2,5	2,5
Δt es	8,9	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2
<i>ETD</i>	24,68	-0,20	19,12	8,88	4,59

$$ETD = 0,78 \left(\frac{R_s}{R_m} \right) \Delta t \text{ em} + \left(1 - 0,78 \frac{R_s}{R_m} \right) \Delta t \text{ es}$$

Solar and Trans Gain-Wall

Jenis	Luas Area (ft ²)	ETD	Faktor U	Total
Dinding Utara	213,13	-0,20	0,41	-17,4764
Dinding Timur	501,17	19,12	0,41	3929,65
Dinding Selatan	216,36	1,54	0,41	136,685
Dinding Barat	338,85	4,59	0,41	637,929
Atap	1022,60	24,68	0,23	5805,66
Total				10492,4

Trans Gain-Except Walls

Jenis	Luas Area(ft ²)	Temp Diff(F)	Faktor	Total
Kaca	139,82	10,8	1,13	1706,42
Lantai	1022,60	8,5	0,25	2160,81
Partisi	282,72	8,5	0,37	1620,97
Total				4751,38

Kalor Sensibel

Jenis

$$\text{Orang} = 4 \text{org} * 269 \text{ btu/hr} = 1076 \text{ btu/hr}$$

$$\text{Lampu} = 1022,6 \text{ft}^2 * (5 \text{W}/10,76 \text{ft}^2) * 3,4 * 0,96 * 0,8 * 1,25 = 1918,6 \text{ btu/hr}$$

$$\text{Storage} = 1022,6 \text{ ft}^2 * 4^{\circ}\text{F} * (-1,36) = -5562,9 \text{ btu/hr}$$

$$\begin{aligned} \text{Kalor sensible ruangan} = & \text{Solar Gain(Kaca)} + \text{Solar \& Trans Gain (dinding)} + \\ & \text{Trans Gain (Kaca)} + \text{Trans Gain (Lantai)} + \text{Trans} \\ & \text{Gain Partisi} + \text{Kalor Sensibel Manusia} + \text{Beban} \\ & \text{Lampu} + \text{storage} = 17828,2 \text{ btu / hr} \end{aligned}$$

$$\text{Ventilasi} = 4 * 20 \text{ cfm / orang} = 80 \text{ cfm}$$

$$\text{Udara Dalam} = 80 \text{ cfm} * 19,8^{\circ}\text{F} * 0,05 * 1,08 = 85,5 \text{ btu/hr}$$

$$\text{ERSH} = \text{Kalor Sensibel Ruangan} + \text{Udara Luar} = 17874,8 \text{ btu/hr}$$

Kalor Laten

$$\text{Orang} = 4 * 181 \text{ btu/hr} = 724 \text{ btu/hr}$$

$$\text{Kalor Laten Ruangan} = 724,0 \text{ btu/hr}$$

$$\text{Udara Dalam} = 80 \text{ cfm} * 26,55 * 0,05 * 0,68 = 72,2 \text{ btu/hr} +$$

$$\text{ERLH} = 832,4 \text{ btu/hr}$$

$$\text{ERTH} = \text{ERSH} + \text{ERLH} = 18671,0 \text{ btu/hr}$$

Kalor Udara Luar

$$\text{Sensibel} = 80 \text{ cfm} * 19,8^{\circ}\text{F} * (1-0,05)*1,08 = 1625,18 \text{ btu/hr}$$

$$\text{Laten} = 80 \text{ cfm} * 26,55 * (1-0,05) * 0,68 = 1372,14 \text{ btu/hr}$$

$$\text{Kalor Total (GTH)} = \text{ERTH} + \text{Kalor Udara Luar Sensibel} + \text{Kalor Udara Luar}$$

$$\text{Laten} = 20929,6 \text{ btu/hr}$$

$$\text{Beban Pendinginan Total} = 20929,6 \text{ btu/hr} = 6132,38 \text{ W}$$



4.4 Perhitungan Rancangan Beban Pendinginan Carrier pada Pk.14.00

4.4.1 Lantai Dasar

Kondisi	DB(F)	WB(F)	RH(%)	DP(F)	Gr/lb
Lingkungan	91,4	79,7	60,4	75,8	154,20
Ruangan	77	59,7	50	51,9	127,65
Perbedaan	19,8	20	10,4	23,9	26,55

DB = Dry Bulb ; WB = Wet Bulb ; RH = Relative Humidity ; DP = Dew Point

Luas Kaca

Arah	Utara	Timur	Selatan	Barat
Luas kaca (ft2)	0,00	0,00	0,00	110,86

Solar Gain Factors Worksheet

Perencanaan : 29 April, pukul 14.30

Titik Embun : 51,9 °F

Lama Operasi : 12 Jam/Hari *Building weight 180 lb/ft²*

<i>Exposure</i>	Utara	Timur	Selatan	Barat
<i>Solar Heat Gain</i>	10	155	73	155
<i>Corr Steel Hash</i>	1,17	1,17	1,17	1,17
<i>Corr Haze</i>	1	1	1	1
<i>Corr Altitude</i>	1	1	1	1
<i>Corr Dewpoint</i>	1,05	1,05	1,05	1,05
<i>Corr South Lat</i>	1	1	1	1
<i>Storage Factor</i>	0,660	0,360	0,910	0,350
<i>Sun Gain</i>	8,11	68,55	81,61	66,65
<i>Shade Factor</i>	0,65	0,65	0,65	0,65

Jenis	Luas Area (ft2)	Sun Gain	Faktor	Total
Kaca Utara	0,00	8,11	0,65	0
Kaca Timur	0,00	68,55	0,65	0
Kaca Selatan	0,00	81,61	0,65	0
Kaca Barat	110,86	66,65	0,65	4802,619
				4802,619

Luas Bersih Dinding

Arah	Utara	Timur	Selatan	Barat
------	-------	-------	---------	-------

Luas Bersih	209,90	468,23	258,34	405,81
-------------	--------	--------	--------	--------

Equivalent Temperature Difference Worksheet

	Atap	Utara	Timur	Selatan	Barat
<i>Design month</i>	Apr	-	-	-	-
<i>Design time</i>	3:00 PM	-	-	-	-
<i>Color</i>	Med	Med	Med	Med	Med
<i>Weight</i>	21	93	93	93	93
<i>Des. DB</i>	95	95	95	95	95
<i>Corr</i>	0	0	0	0	0
<i>2.30 pm DB</i>	95	95	95	95	95
<i>Room Des.DB</i>	72	72	72	72	72
Δt	19,8	19,8	19,8	19,8	19,8
<i>Daily Range</i>	8	8	8	8	8
<i>Table 20A corr</i>	-3,6	-2,7	-2,7	-2,7	-2,7
Δt (expos)	30	2	24	12	8
Δt_{em}	26,4	-0,7	21,3	9,3	5,3
<i>Rs</i>	230	73	155	14	155
<i>Rm</i>	233	24	122	69	164
<i>Rs/Rm</i>	0,99	3,04	1,27	0,20	0,95
Δt (shade)	12	2	2	2	2
Δt_{es}	8,4	-0,7	-0,7	-0,7	-0,7
<i>ETD</i>	22,26	-0,70	21,10	0,88	3,72

$$ETD = 0,78 \left(\frac{R_s}{R_m} \right) \Delta t_{em} + \left(1 - 0,78 \frac{R_s}{R_m} \right) \Delta t_{es}$$

Solar and Trans Gain-Wall

Jenis	Luas Area (ft2)	ETD	Faktor	Total
Dinding Utara	209,90	-0,70	0,41	-60,24
Dinding Timur	468,23	21,10	0,41	4051,01
Dinding Selatan	258,34	0,88	0,41	93,48
Dinding Barat	405,81	3,72	0,41	619,47
Atap	1119,45	0	0,23	0
				4802,62

Trans Gain-Except Walls

Jenis	Luas Area(ft ²)	Temp Diff(F)	Faktor	Total
Kaca	110,86	14,4	1,13	2480,47
Lantai	1119,45	11,3	0,25	4336,65
Partisi	282,72	11,3	0,37	1620,97
Total				8438,09

Kalor Sensibel

Jenis

$$\text{Orang} = 5 \text{ org} * 269 \text{ btu/hr} = 1345 \text{ btu/hr}$$

$$\text{Lampu} = 1119,45 \text{ ft}^2 * (5 \text{ W}/10,76 \text{ ft}^2) * 3,4 * 0,96 * 0,8 * 1,25 = 2100,3 \text{ btu/hr}$$

$$\text{Storage} = 1119,45 \text{ ft}^2 * 4^\circ \text{F} * (-1,36) = -6089,8 \text{ btu/hr}$$

$$\begin{aligned} \text{Kalor sensible ruangan} = & \text{Solar Gain(Kaca)} + \text{Solar \& Trans Gain (dinding)} + \\ & \text{Trans Gain (Kaca)} + \text{Trans Gain (Lantai)} + \text{Trans} \\ & \text{Gain Partisi} + \text{Kalor Sensibel Manusia} + \text{Beban} \\ & \text{Lampu} + \text{storage} = 12275,3 \text{ btu / hr} \end{aligned}$$

$$\text{Ventilasi} = 5 * 20 \text{ cfm / orang} = 100 \text{ cfm}$$

$$\text{Udara Dalam} = 100 \text{ cfm} * 19,8^\circ \text{F} * 0,05 * 1,08 = 106,9 \text{ btu/hr}$$

$$\text{ERSH} = \text{Kalor Sensibel Ruangan} + \text{Udara Luar} = 12353,1 \text{ btu/hr}$$

Kalor Laten

$$\text{Orang} = 5 * 181 \text{ btu/hr} = 905 \text{ btu/hr}$$

$$\text{Kalor Laten Ruangan} = 905,0 \text{ btu/hr}$$

$$\text{Udara Dalam} = 100 \text{ cfm} * 140 * 0,05 * 0,68 = 90,3 \text{ btu/hr} +$$

$$\text{ERLH} = 1040,5 \text{ btu/hr}$$

$$\text{ERTH} = \text{ERSH} + \text{ERLH} = 13348,4 \text{ btu/hr}$$

Kalor Udara Luar

$$\text{Sensibel} = 100 \text{ cfm} * 19,8^{\circ}\text{F} * (1-0,05)*1,08 = 2031,48 \text{ btu/hr}$$

$$\text{Laten} = 100 \text{ cfm} * 26,55 * (1-0,05) * 0,68 = 1715,17 \text{ btu/hr}$$

$$\text{Kalor Total (GTH)} = \text{ERTH} + \text{Kalor Udara Luar Sensibel} + \text{Kalor Udara Luar}$$

$$\text{Laten} = 16541 \text{ btu/hr}$$

$$\text{Beban Pendinginan Total} = 16541 \text{ btu/hr} = 4846,50 \text{ W}$$

4.4.2 Lantai Dua

Kondisi	DB(F)	WB(F)	RH(%)	DP(F)	Gr/lb
Lingkungan	91,4	79,7	60,4	75,8	154,20
Ruangan	71,6	59,7	50	51,9	127,65
Perbedaan	19,8	20	10,4	23,9	26,55

DB = Dry Bulb ; WB = Wet Bulb ; RH = Relative Humidity ; DP = Dew Point

Luas Kaca

Arah	Utara	Timur	Selatan	Barat
Luas kaca (ft ²)	12,92	46,82	25,83	54,25

Solar Gain Factors Worksheet

Perencanaan : 20 April, pukul 14.30

Titik Embun : 51,9 °F

Lama Operasi : 12 Jam/Hari *Building weight 180 lb/ft²*

<i>Exposure</i>	Utara	Timur	Selatan	Barat

<i>Solar Heat Gain</i>	10	155	73	155
<i>Corr Steel Hash</i>	1,17	1,17	1,17	1,17
<i>Corr Haze</i>	1	1	1	1
<i>Corr Altitude</i>	1	1	1	1
<i>Corr Dewpoint</i>	1,05	1,05	1,05	1,05
<i>Corr South Lat</i>	1	1	1	1
<i>Storage Factor</i>	0,660	0,360	0,910	0,350
<i>Sun Gain</i>	8,11	68,55	81,61	66,65
<i>Shade Factor</i>	0,65	0,65	0,65	0,65

Jenis	Luas Area (ft2)	Sun Gain	Faktor U	Total
Kaca Utara	12,92	8,11	0,65	68,07496
Kaca Timur	46,82	68,55	0,65	2086,343
Kaca Selatan	25,83	81,61	0,65	1370,37
Kaca Barat	54,25	66,65	0,65	2350,133
				5874,921

Luas Bersih Dinding

Arah	Utara	Timur	Selatan	Barat
Luas Bersih	213,13	501,17	216,36	338,85

Equivalent Temperature Difference Worksheet

	Atap	Utara	Timur	Selatan	Barat
<i>Design month</i>	Apr	-	-	-	-
<i>Design time</i>	3:00 PM	-	-	-	-
<i>Color</i>	Med	Med	Med	Med	Med
<i>Weight</i>	21	93	93	93	93
<i>Des. DB</i>	95	95	95	95	95

<i>Corr</i>	0	0	0	0	0
<i>2.30 pm DB</i>	95	95	95	95	95
<i>Room Des.DB</i>	72	72	72	72	72
Δt	19,8	19,8	19,8	19,8	19,8
<i>Daily Range</i>	8	8	8	8	8
<i>Table 20A corr</i>	-3,6	-2,7	-2,7	-2,7	-2,7
Δt (expos)	30	2	24	12	8
Δt em	26,4	-0,7	21,3	9,3	5,3
<i>Rs</i>	230	73	155	14	155
<i>Rm</i>	233	24	122	69	164
<i>Rs/Rm</i>	0,99	3,04	1,27	0,20	0,95
Δt (shade)	12	2	2	2	2
Δt es	8,4	-0,7	-0,7	-0,7	-0,7
<i>ETD</i>	22,26	-0,70	21,10	0,88	3,72

$$ETD = 0,78 \left(\frac{R_s}{R_m} \right) \Delta t_{em} + \left(1 - 0,78 \frac{R_s}{R_m} \right) \Delta t_{es}$$

Solar and Trans Gain-Wall

Jenis	Luas Area (ft ²)	ETD	Faktor U	Total
Dinding Utara	213,13	-0,70	0,41	-61,1675
Dinding Timur	501,17	21,10	0,41	4335,974
Dinding Selatan	216,36	0,88	0,41	78,2928
Dinding Barat	338,85	3,72	0,41	517,2556
Atap	1022,60	22,49	0,23	5289,431
				10159,79

Trans Gain-Except Walls

Jenis	Luas Area(ft ²)	Temp Diff(F)	Faktor	Total
Kaca	110,86	14,4	1,13	2275,22
Lantai	1119,45	11,3	0,25	2281,06
Partisi	282,72	11,3	0,37	1178,89

Total 6335,17**Kalor Sensibel**

Jenis

$$\text{Orang} = 4 \text{org} * 269 \text{ btu/hr} = 1076 \text{ btu/hr}$$

$$\text{Lampu} = 1022,6 \text{ ft}^2 * (5 \text{ W}/10,76 \text{ ft}^2) * 3,4 * 0,96 * 0,8 * 1,25 = 1918,6 \text{ btu/hr}$$

$$\text{Storage} = 1022,6 \text{ ft}^2 * 4^\circ \text{F} * (-1,36) = -5562,9 \text{ btu/hr}$$

$$\begin{aligned} \text{Kalor sensible ruangan} = & \text{Solar Gain(Kaca)} + \text{Solar \& Trans Gain (dinding)} + \\ & \text{Trans Gain (Kaca)} + \text{Trans Gain (Lantai)} + \text{Trans} \\ & \text{Gain Partisi} + \text{Kalor Sensibel Manusia} + \text{Beban} \\ & \text{Lampu} + \text{storage} = 19259,9 \text{ btu / hr} \end{aligned}$$

$$\text{Ventilasi} = 4 * 20 \text{ cfm / orang} = 80 \text{ cfm}$$

$$\text{Udara Dalam} = 80 \text{ cfm} * 19,8^\circ \text{F} * 0,05 * 1,08 = 85,5 \text{ btu/hr}$$

$$\text{ERSH} = \text{Kalor Sensibel Ruangan} + \text{Udara Luar} = 19322,1 \text{ btu/hr}$$

Kalor Laten

$$\text{Orang} = 4 * 181 \text{ btu/hr} = 724 \text{ btu/hr}$$

$$\text{Kalor Laten Ruangan} = 724,0 \text{ btu/hr}$$

$$\text{Udara Dalam} = 80 \text{ cfm} * 140 * 0,05 * 0,68 = 380,0 \text{ btu/hr} +$$

$$\text{ERLH} = 1141,0 \text{ btu/hr}$$

$$\text{ERTH} = \text{ERSH} + \text{ERLH} = 20118,4 \text{ btu/hr}$$

Kalor Udara Luar

$$\text{Sensibel} = 80 \text{ cfm} * 19,8^\circ \text{F} * (1-0,05) * 1,08 = 1625,18 \text{ btu/hr}$$

$$\text{Laten} = 80 \text{ cfm} * 26,55 * (1-0,05) * 0,68 = 1372,14 \text{ btu/hr}$$

Kalor Total (GTH) = EARTH + Kalor Udara Luar Sensibel + Kalor Udara Luar
Laten = 22672,4 btu/hr

Beban Pendinginan Total = 22672,4 btu/hr = 6643,03 W



4.5 Perhitungan Rancangan Beban Pendinginan Carrier pada Pk.15.00

4.5.1 Lantai 1

Kondisi	DB(F)	WB(F)	RH(%)	DP(F)	Gr/lb
---------	-------	-------	-------	-------	-------

Lingkungan	91,4	79,7	60,4	75,8	154,20
Ruangan	71,6	59,7	50	51,9	127,65
Perbedaan	19,8	20	10,4	23,9	26,55

DB = Dry Bulb ; WB = Wet Bulb ; RH = Relative Humidity ; DP = Dew Point

Luas Kaca

Arah	Utara	Timur	Selatan	Barat
Luas kaca (ft2)	0,00	0,00	0,00	110,86

Solar Gain Factors Worksheet

Perencanaan : 20 April, pukul 15.00

Titik Embun : 51,9 °F

Lama Operasi : 12 Jam/Hari *Building weight 180 lb/ft²*

<i>Exposure</i>	Utara	Timur	Selatan	Barat
<i>Solar Heat Gain</i>	10	155	73	155
<i>Corr Steel Hash</i>	1,17	1,17	1,17	1,17
<i>Corr Haze</i>	1	1	1	1
<i>Corr Altitude</i>	1	1	1	1
<i>Corr Dewpoint</i>	1,05	1,05	1,05	1,05
<i>Corr South Lat</i>	1	1	1	1
<i>Storage Factor</i>	0,650	0,340	0,920	0,420
<i>Sun Gain</i>	7,99	64,74	82,51	79,98
<i>Shade Factor</i>	0,65	0,65	0,65	0,65

Jenis	Luas Area (ft2)	Sun Gain	Faktor U	Total
Kaca Utara	12,92	7,99	0,65	67,04352
Kaca Timur	46,82	64,74	0,65	1970,435
Kaca Selatan	25,83	82,51	0,65	1385,429
Kaca Barat	54,25	79,98	0,65	2820,16
				6243,067

Luas Bersih Dinding

Arah	Utara	Timur	Selatan	Barat
Luas Bersih	209,90	468,23	258,34	405,81

Equivalent Temperature Difference Worksheet

	Atap	Utara	Timur	Selatan	Barat
<i>Design month</i>	Apr	-	-	-	-
<i>Design time</i>	3:00 PM	-	-	-	-
<i>Color</i>	Med	Med	Med	Med	Med
<i>Weight</i>	21	93	93	93	93
<i>Des. DB</i>	95	95	95	95	95
<i>Corr</i>	0	0	0	0	0
<i>2.30 pm DB</i>	95	95	95	95	95
<i>Room Des.DB</i>	72	72	72	72	72
Δt	19,8	19,8	19,8	19,8	19,8
<i>Daily Range</i>	8	8	8	8	8
<i>Table 20A corr</i>	-3,6	-2,7	-2,7	-2,7	-2,7
$\Delta t (expos)$	36	3	20	15	10
$\Delta t em$	32,4	0,3	17,3	12,3	7,3
<i>Rs</i>	230	73	155	14	155
<i>Rm</i>	233	24	122	69	164
<i>Rs/Rm</i>	0,99	3,04	1,27	0,20	0,95
$\Delta t (shade)$	13	3	3	3	3
$\Delta t es$	9,4	0,3	0,3	0,3	0,3
<i>ETD</i>	27,11	0,30	17,15	2,20	5,46

$$ETD = 0,78 \left(\frac{R_s}{R_m} \right) \Delta t em + \left(1 - 0,78 \frac{R_s}{R_m} \right) \Delta t es$$

Solar and Trans Gain-Wall

Jenis	Luas Area (ft2)	ETD	Faktor	Total
-------	-----------------	-----	--------	-------

Dinding Utara	209,90	0,30	0,41	25,82
Dinding Timur	468,23	17,15	0,41	3291,76
Dinding Selatan	258,34	2,20	0,41	232,93
Dinding Barat	405,81	5,46	0,41	908,50
Atap	1119,45	0	0,23	0
				5763,14

Trans Gain-Except Walls

Jenis	Luas Area(ft ²)	Temp Diff(F)	Faktor	Total
Kaca	110,86	14,4	1,13	1803,98
Lantai	1119,45	11,3	0,25	3153,93
Partisi	282,72	11,3	0,37	1178,89
				6136,79

Kalor Sensibel

Jenis

$$\text{Orang} = 5_{\text{org}} * 269 \text{ btu/hr} = 1345 \text{ btu/hr}$$

$$\text{Lampu} = 1119,45 \text{ ft}^2 * (5W/10,76\text{ft}^2) * 3,4 * 0,96 * 0,8 * 1,25 = 2100,3 \text{ btu/hr}$$

$$\text{Storage} = 1119,45 \text{ ft}^2 * 4^{\circ}\text{F} * (-1,36) = -6089,8 \text{ btu/hr}$$

$$\begin{aligned} \text{Kalor sensible ruangan} = & \text{Solar Gain(Kaca)} + \text{Solar \& Trans Gain (dinding)} + \\ & \text{Trans Gain (Kaca)} + \text{Trans Gain (Lantai)} + \text{Trans} \\ & \text{Gain Partisi} + \text{Kalor Sensibel Manusia} + \text{Beban} \\ & \text{Lampu} + \text{storage} = 12991,1 \text{ btu / hr} \end{aligned}$$

$$\text{Ventilasi} = 5 * 20 \text{ cfm / orang} = 100 \text{ cfm}$$

$$\text{Udara Dalam} = 100 \text{ cfm} * 19,8^{\circ}\text{F} * 0,05 * 1,08 = 106,9 \text{ btu/hr}$$

$$\text{ERSH} = \text{Kalor Sensibel Ruangan} + \text{Udara Luar} = 13068,9 \text{ btu/hr}$$

Kalor Laten

$$\text{Orang} = 5 * 181 \text{ btu/hr} = 905 \text{ btu/hr}$$

$$\text{Kalor Laten Ruangan} = 905,0 \text{ btu/hr}$$

$$\text{Udara Dalam} = 100 \text{ cfm} * 26,55 * 0,05 * 0,68 = 90,3 \text{ btu/hr+}$$

$$\text{ERLH} = 1045,5 \text{ btu/hr}$$

$$\text{ERTH} = \text{ERSH} + \text{ERLH} = 14064,2 \text{ btu/hr}$$

Kalor Udara Luar

$$\text{Sensibel} = 100 \text{ cfm} * 19,8^{\circ}\text{F} * (1-0,05) * 1,08 = 2031,48 \text{ btu/hr}$$

$$\text{Laten} = 100 \text{ cfm} * 26,55 * (1-0,05) * 0,68 = 1715,17 \text{ btu/hr}$$

$$\text{Kalor Total (GTH)} = \text{ERTH} + \text{Kalor Udara Luar Sensibel} + \text{Kalor Udara Luar}$$

$$\text{Laten} = 17256,8 \text{ btu/hr}$$

$$\text{Beban Pendinginan Total} = 17256,8 \text{ btu/hr} = 5056,23 \text{ W}$$

4.5.2 Lantai Dua

Kondisi	DB(F)	WB(F)	RH(%)	DP(F)	Gr/lb
Lingkungan	91,4	79,7	60,4	75,8	154,20
Ruangan	71,6	59,7	50	51,9	127,65
Perbedaan	19,8	20	10,4	23,9	26,55

DB = Dry Bulb ; WB = Wet Bulb ; RH = Relative Humidity ; DP = Dew Point

Luas Kaca

Arah	Utara	Timur	Selatan	Barat
Luas kaca (ft ²)	12,92	46,82	25,83	54,25

Solar Gain Factors Worksheet

Perencanaan : 20 April, pukul 15.00

Titik Embun : 51,9 °F

Lama Operasi : 12 Jam/Hari *Building weight 180 lb/ft²*

<i>Exposure</i>	Utara	Timur	Selatan	Barat
<i>Solar Heat Gain</i>	10	155	73	155
<i>Corr Steel Hash</i>	1,17	1,17	1,17	1,17
<i>Corr Haze</i>	1	1	1	1
<i>Corr Altitude</i>	1	1	1	1
<i>Corr Dewpoint</i>	1,05	1,05	1,05	1,05
<i>Corr South Lat</i>	1	1	1	1
<i>Storage Factor</i>	0,650	0,340	0,920	0,420
<i>Sun Gain</i>	7,99	64,74	82,51	79,98
<i>Shade Factor</i>	0,65	0,65	0,65	0,65

Jenis	Luas Area (ft2)	Sun Gain	Faktor U	Total
Kaca Utara	12,92	7,99	0,65	67,04352
Kaca Timur	46,82	64,74	0,65	1970,435
Kaca Selatan	25,83	82,51	0,65	1385,429
Kaca Barat	54,25	79,98	0,65	2820,16
				6243,067

Luas Bersih Dinding

Arah	Utara	Timur	Selatan	Barat
Luas Bersih	213,13	501,17	216,36	338,85

Equivalent Temperature Difference Worksheet

	Atap	Utara	Timur	Selatan	Barat
<i>Design month</i>	Apr	-	-	-	-
<i>Design time</i>	3:00 PM	-	-	-	-
<i>Color</i>	Med	Med	Med	Med	Med
<i>Weight</i>	21	93	93	93	93
<i>Des. DB</i>	95	95	95	95	95
<i>Corr</i>	0	0	0	0	0
<i>2.30 pm DB</i>	95	95	95	95	95
<i>Room Des.DB</i>	72	72	72	72	72
Δt	19,8	19,8	19,8	19,8	19,8
<i>Daily Range</i>	8	8	8	8	8
<i>Table 20A corr</i>	-3,6	-2,7	-2,7	-2,7	-2,7
Δt (expos)	36	3	20	15	10
Δt em	32,4	0,3	17,3	12,3	7,3
<i>Rs</i>	230	73	155	14	155
<i>Rm</i>	233	24	122	69	164
<i>Rs/Rm</i>	0,99	3,04	1,27	0,20	0,95
Δt (shade)	13	3	3	3	3
Δt es	9,4	0,3	0,3	0,3	0,3
<i>ETD</i>	27,11	0,30	17,15	2,20	5,46

$$ETD = 0,78 \left(\frac{R_s}{R_m} \right) \Delta t_{em} + \left(1 - 0,78 \frac{R_s}{R_m} \right) \Delta t_{es}$$

Solar and Trans Gain-Wall

Jenis	Luas Area (ft ²)	ETD	Faktor U	Total
Dinding Utara	213,13	0,30	0,41	26,21465
Dinding Timur	501,17	17,15	0,41	3523,316
Dinding Selatan	216,36	2,20	0,41	195,0763
Dinding Barat	338,85	5,46	0,41	758,602
Atap	1022,60	27,11	0,23	6375,986
				10879,19

Trans Gain-Except Walls

Jenis	Luas Area(ft ²)	Temp Diff(F)	Faktor	Total
Kaca	110,86	19,8	1,13	2275,22
Lantai	1119,45	15,5	0,25	2881,06
Partisi	282,72	15,5	0,37	1178,89
Total				6335,17

Kalor Sensibel

Jenis

$$\text{Orang} = 4 \text{ org} * 269 \text{ btu/hr} = 1076 \text{ btu/hr}$$

$$\text{Lampu} = 1022,6 \text{ ft}^2 * (5 \text{ W} / 10,76 \text{ ft}^2) * 3,4 * 0,96 * 0,8 * 1,25 = 1918,6 \text{ btu/hr}$$

$$\text{Storage} = 1022,6 \text{ ft}^2 * 4^{\circ}\text{F} * (-1,36) = -5562,9 \text{ btu/hr}$$

$$\begin{aligned} \text{Kalor sensible ruangan} = & \text{Solar Gain(Kaca)} + \text{Solar \& Trans Gain (dinding)} + \\ & \text{Trans Gain (Kaca)} + \text{Trans Gain (Lantai)} + \text{Trans} \\ & \text{Gain Partisi} + \text{Kalor Sensibel Manusia} + \text{Beban} \\ & \text{Lampu} + \text{Storage} = 20347,5 \text{ btu / hr} \end{aligned}$$

$$\text{Ventilasi} = 4 * 20 \text{ cfm / orang} = 80 \text{ cfm}$$

$$\text{Udara Dalam} = 80 \text{ cfm} * 19,8^{\circ}\text{F} * 0,05 * 1,08 = 85,5 \text{ btu/hr}$$

$$\text{ERSH} = \text{Kalor Sensibel Ruangan} + \text{Udara Luar} = 20409,7 \text{ btu/hr}$$

Kalor Laten

$$\text{Orang} = 4 * 181 \text{ btu/hr} = 724 \text{ btu/hr}$$

$$\text{Kalor Laten Ruangan} = 724,0 \text{ btu/hr}$$

$$\text{Udara Dalam} = 80 \text{ cfm} * 140 * 0,05 * 0,68 = 72,2 \text{ btu/hr}$$

$$\text{ERLH} = 1141,0 \text{ btu/hr}$$

$$\text{ERTH} = \text{ERSH} + \text{ERLH} = 21205,9 \text{ btu/hr}$$

Kalor Udara Luar

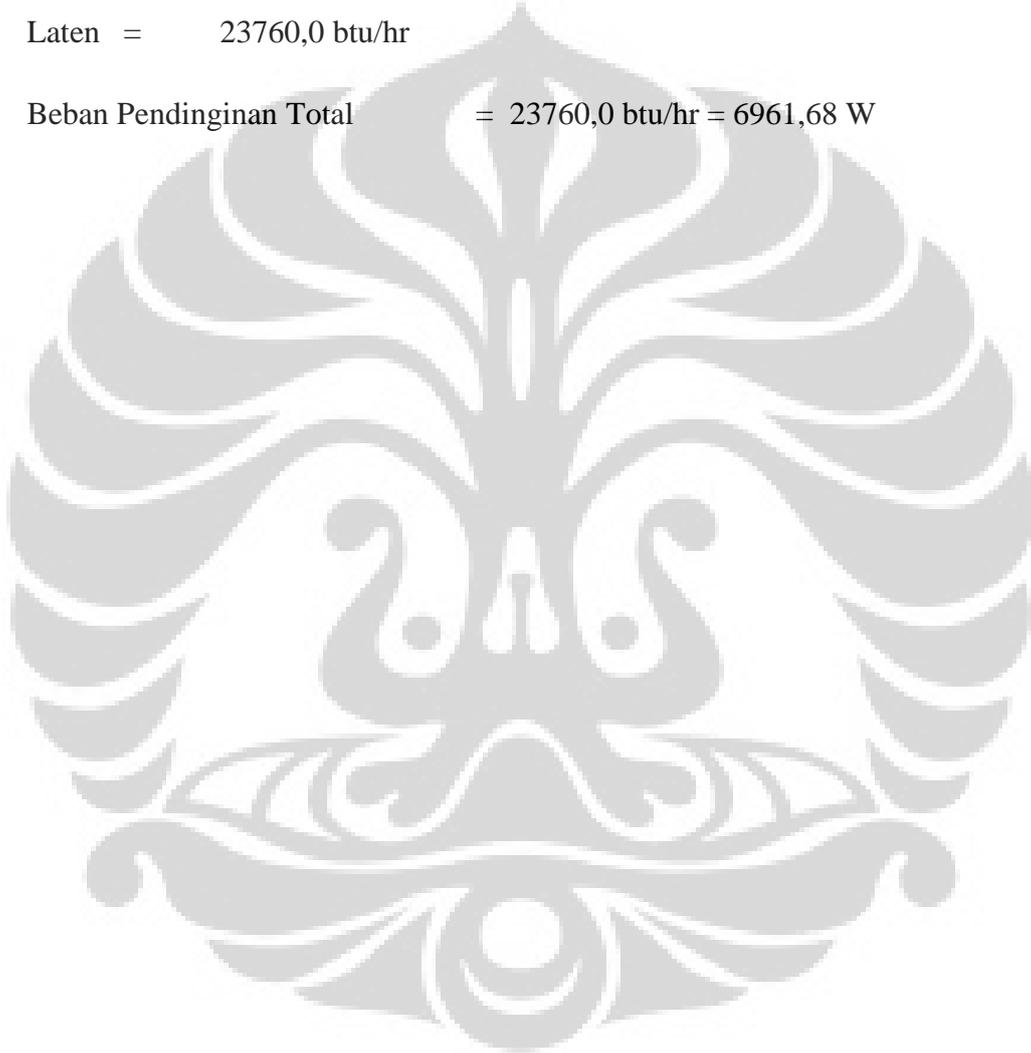
$$\text{Sensibel} = 80 \text{ cfm} * 19,8^{\circ}\text{F} * (1-0,05)*1,08 = 1625,18 \text{ btu/hr}$$

$$\text{Laten} = 80 \text{ cfm} * 140 * (1-0,05) * 0,68 = 7235,21 \text{ btu/hr}$$

$$\text{Kalor Total (GTH)} = \text{ERTH} + \text{Kalor Udara Luar Sensibel} + \text{Kalor Udara Luar}$$

$$\text{Laten} = 23760,0 \text{ btu/hr}$$

$$\text{Beban Pendinginan Total} = 23760,0 \text{ btu/hr} = 6961,68 \text{ W}$$



4.6 Perhitungan Rancangan Beban Pendinginan Carrier pada Pk.12.00

4.6.1 Lantai Dasar

Kondisi	DB(F)	WB(F)	RH(%)	DP(F)	Gr/lb
Lingkungan	91,4	79,7	60,4	75,8	154,20
Ruangan	71,6	59,7	50	51,9	127,65
Perbedaan	19,8	20	10,4	23,9	26,55

DB = Dry Bulb ; WB = Wet Bulb ; RH = Relative Humidity ; DP = Dew Point

Luas Kaca

Arah	Utara	Timur	Selatan	Barat
Luas kaca (ft2)	0,00	0,00	0,00	110,86

Solar Gain Factors Worksheet

Perencanaan : 20 April, pukul 14.30

Titik Embun : 51,9 °F

Lama Operasi : 12 Jam/Hari *Building weight 180 lb/ft²*

<i>Exposure</i>	Utara	Timur	Selatan	Barat
<i>Solar Heat Gain</i>	10	155	73	155
<i>Corr Steel Hash</i>	1,17	1,17	1,17	1,17
<i>Corr Haze</i>	1	1	1	1
<i>Corr Altitude</i>	1	1	1	1
<i>Corr Dewpoint</i>	1,05	1,05	1,05	1,05
<i>Corr South Lat</i>	1	1	1	1
<i>Storage Factor</i>	0,610	0,300	0,930	0,490
<i>Sun Gain</i>	7,49	57,13	83,40	93,30
<i>Shade Factor</i>	0,65	0,65	0,65	0,65

Jenis	Luas Area (ft ²)	Sun Gain	Faktor	Total
Kaca Utara	0,00	7,49	0,65	0
Kaca Timur	0,00	57,13	0,65	0
Kaca Selatan	0,00	83,40	0,65	0
Kaca Barat	110,86	93,30	0,65	6723,666
				6723,666

Luas Bersih Dinding

Arah	Utara	Timur	Selatan	Barat
Luas Bersih	209,90	468,23	258,34	405,81

Equivalent Temperature Difference Worksheet

	Atap	Utara	Timur	Selatan	Barat
<i>Design month</i>	Apr	-	-	-	-
<i>Design time</i>	12:00 PM	-	-	-	-
<i>Color</i>	Med	Med	Med	Med	Med
<i>Weight</i>	21	93	93	93	93
<i>Des. DB</i>	95	95	95	95	95
<i>Corr</i>	0	0	0	0	0
<i>2.30 pm DB</i>	95	95	95	95	95
<i>Room Des.DB</i>	72	72	72	72	72
Δt	19,8	19,8	19,8	19,8	19,8
<i>Daily Range</i>	8	8	8	8	8
<i>Table 20A corr</i>	-3,6	-2,7	-2,7	-2,7	-2,7
Δt (expos)	41	4	18	16	12
Δt em	37,4	1,3	15,3	13,3	9,3
<i>Rs</i>	230	73	155	14	155
<i>Rm</i>	233	24	122	69	164
<i>Rs/Rm</i>	0,99	3,04	1,27	0,20	0,95
Δt (shade)	14	4	4	4	4
Δt es	10,4	1,3	1,3	1,3	1,3
<i>ETD</i>	31,19	1,30	15,17	3,20	7,20

$$ETD = 0,78 \left(\frac{R_s}{R_m} \right) \Delta t_{em} + \left(1 - 0,78 \frac{R_s}{R_m} \right) \Delta t_{es}$$

Solar and Trans Gain-Wall

Jenis	Luas Area (ft2)	ETD	Faktor	Total
Dinding Utara	209,90	1,30	0,41	111,88
Dinding Timur	468,23	15,17	0,41	2913,00
Dinding Selatan	258,34	3,20	0,41	338,84
Dinding Barat	405,81	7,20	0,41	1197,54
Atap	1119,45	0	0,23	0
				4561,26

Trans Gain-Except Walls

Jenis	Luas Area(ft2)	Temp Diff(F)	Faktor	Total
Kaca	110,86	19,8	1,13	2480,47
Lantai	1119,45	15,5	0,25	4336,65
Partisi	282,72	15,5	0,37	1620,97
Total				8438,09

Kalor Sensibel

Jenis

$$\text{Orang} = 5 \text{org} * 269 \text{ btu/hr} = 1345 \text{ btu/hr}$$

$$\text{Lampu} = 1119,45 \text{ ft}^2 * (5\text{W}/10,76\text{ft}^2) * 3,4 * 0,96 * 0,8 * 1,25 = 2100,3 \text{ btu/hr}$$

$$\text{Storage} = 1119,45 \text{ ft}^2 * 4^\circ\text{F} * (-1,36) = -6089,8 \text{ btu/hr}$$

$$\begin{aligned} \text{Kalor sensible ruangan} = & \text{Solar Gain(Kaca)} + \text{Solar \& Trans Gain (dinding)} + \\ & \text{Trans Gain (Kaca)} + \text{Trans Gain (Lantai)} + \text{Trans} \\ & \text{Gain Partisi} + \text{Kalor Sensibel Manusia} + \text{Beban} \\ & \text{Lampu} + \text{storage} = 14053,9 \text{ btu / hr} \end{aligned}$$

$$\text{Ventilasi} = 5 * 20 \text{ cfm / orang} = 100 \text{ cfm}$$

$$\text{Udara Dalam} = 100 \text{ cfm} * 19,8^\circ\text{F} * 0,05 * 1,08 = 106,9 \text{ btu/hr}$$

$$\text{ERSH} = \text{Kalor Sensibel Ruangan} + \text{Udara Luar} = 14131,7 \text{ btu/hr}$$

Kalor Laten

$$\text{Orang} = 5 * 181 \text{ btu/hr} = 905 \text{ btu/hr}$$

$$\text{Kalor Laten Ruangan} = 905,0 \text{ btu/hr}$$

$$\text{Udara Dalam} = 100 \text{ cfm} * 26,55 * 0,05 * 0,68 = 90,3 \text{ btu/hr} +$$

$$\text{ERLH} = 1040,5 \text{ btu/hr}$$

$$\text{ERTH} = \text{ERSH} + \text{ERLH} = 15126,9 \text{ btu/hr}$$

Kalor Udara Luar

$$\text{Sensibel} = 100 \text{ cfm} * 19,8^{\circ}\text{F} * (1-0,05) * 1,08 = 2031,48 \text{ btu/hr}$$

$$\text{Laten} = 100 \text{ cfm} * 26,55 * (1-0,05) * 0,68 = 1715,17 \text{ btu/hr}$$

$$\text{Kalor Total (GTH)} = \text{ERTH} + \text{Kalor Udara Luar Sensibel} + \text{Kalor Udara Luar}$$

$$\text{Laten} = 18319,5 \text{ btu/hr}$$

$$\text{Beban Pendinginan Total} = 18319,5 \text{ btu/hr} = 5367,63 \text{ W}$$

4.6.2 Lantai Dua

Kondisi	DB(F)	WB(F)	RH(%)	DP(F)	Gr/lb
Lingkungan	91,4	79,7	60,4	75,8	154,20
Ruangan	71,6	59,7	50	51,9	127,65
Perbedaan	19,8	20	10,4	23,9	26,55

DB = Dry Bulb ; WB = Wet Bulb ; RH = Relative Humidity ; DP = Dew Point

Luas Kaca

Arah	Utara	Timur	Selatan	Barat
Luas kaca (ft ²)	12,92	46,82	25,83	54,25

Solar Gain Factors Worksheet

Perencanaan : 20 April, pukul 12.00

Titik Embun : 51,9 °F

Lama Operasi : 12 Jam/Hari *Building weight 180 lb/ft²*

<i>Exposure</i>	Utara	Timur	Selatan	Barat
<i>Solar Heat Gain</i>	10	155	73	155
<i>Corr Steel Hash</i>	1,17	1,17	1,17	1,17
<i>Corr Haze</i>	1	1	1	1
<i>Corr Altitude</i>	1	1	1	1
<i>Corr Dewpoint</i>	1,05	1,05	1,05	1,05
<i>Corr South Lat</i>	1	1	1	1
<i>Storage Factor</i>	0,610	0,300	0,930	0,490
<i>Sun Gain</i>	7,49	57,13	83,40	93,30
<i>Shade Factor</i>	0,65	0,65	0,65	0,65

Jenis	Luas Area (ft2)	Sun Gain	Faktor U	Total
Kaca Utara	12,92	7,49	0,65	62,91777
Kaca Timur	46,82	57,13	0,65	1738,619
Kaca Selatan	25,83	83,40	0,65	1400,488
Kaca Barat	54,25	93,30	0,65	3290,187
				6492,211

Luas Bersih Dinding

Arah	Utara	Timur	Selatan	Barat
Luas Bersih	213,13	501,17	216,36	338,85

Equivalent Temperature Difference Worksheet

	Atap	Utara	Timur	Selatan	Barat
<i>Design month</i>	Apr	-	-	-	-
<i>Design time</i>	12:00 PM	-	-	-	-

<i>Color</i>	Med	Med	Med	Med	Med
<i>Weight</i>	21	93	93	93	93
<i>Des. DB</i>	95	95	95	95	95
<i>Corr</i>	0	0	0	0	0
<i>2.30 pm DB</i>	95	95	95	95	95
<i>Room Des.DB</i>	72	72	72	72	72
Δt	19,8	19,8	19,8	19,8	19,8
<i>Daily Range</i>	8	8	8	8	8
<i>Table 20A corr</i>	-3,6	-2,7	-2,7	-2,7	-2,7
Δt (expos)	41	4	18	16	12
Δt em	37,4	1,3	15,3	13,3	9,3
<i>Rs</i>	230	73	155	14	155
<i>Rm</i>	233	24	122	69	164
<i>Rs/Rm</i>	0,99	3,04	1,27	0,20	0,95
Δt (shade)	14	4	4	4	4
Δt es	10,4	1,3	1,3	1,3	1,3
<i>ETD</i>	31,19	1,30	15,17	3,20	7,20

$$ETD = 0,78 \left(\frac{R_s}{R_m} \right) \Delta t_{em} + \left(1 - 0,78 \frac{R_s}{R_m} \right) \Delta t_{es}$$

Solar and Trans Gain-Wall

Jenis	Luas Area (ft ²)	ETD	Faktor U	Total
Dinding Utara	213,13	1,30	0,41	113,5968
Dinding Timur	501,17	15,17	0,41	3117,913
Dinding Selatan	216,36	3,20	0,41	283,7825
Dinding Barat	338,85	7,20	0,41	999,9485
Atap	1022,60	31,19	0,23	7335,553
				11850,79

Trans Gain-Except Walls

Jenis	Luas Area(ft ²)	Temp Diff(F)	Faktor	Total
Kaca	110,86	14,4	1,13	2275,22
Lantai	1119,45	11,3	0,25	2881,06
Partisi	282,72	11,3	0,37	1178,89

Total 6335,17**Kalor Sensibel**

Jenis

$$\text{Orang} = 4 \text{ org} * 269 \text{ btu/hr} = 1076 \text{ btu/hr}$$

$$\text{Lampu} = 1022,6 \text{ ft}^2 * (5 \text{ W}/10,76 \text{ ft}^2) * 3,4 * 0,96 * 0,8 * 1,25 = 1918,6 \text{ btu/hr}$$

$$\text{Storage} = 1022,6 \text{ ft}^2 * 4^{\circ}\text{F} * (-1,36) = -5562,9 \text{ btu/hr}$$

$$\begin{aligned} \text{Kalor sensible ruangan} = & \text{Solar Gain(Kaca)} + \text{Solar \& Trans Gain (dinding)} + \\ & \text{Trans Gain (Kaca)} + \text{Trans Gain (Lantai)} + \text{Trans} \\ & \text{Gain Partisi} + \text{Kalor Sensibel Manusia} + \text{Beban} \\ & \text{Lampu} + \text{storage} = 21568,2 \text{ btu / hr} \end{aligned}$$

$$\text{Ventilasi} = 4 * 20 \text{ cfm / orang} = 80 \text{ cfm}$$

$$\text{Udara Dalam} = 80 \text{ cfm} * 19,8^{\circ}\text{F} * 0,05 * 1,08 = 85,5 \text{ btu/hr}$$

$$\text{ERSH} = \text{Kalor Sensibel Ruangan} + \text{Udara Luar} = 21630,4 \text{ btu/hr}$$

Kalor Laten

$$\text{Orang} = 4 * 181 \text{ btu/hr} = 724 \text{ btu/hr}$$

$$\text{Kalor Laten Ruangan} = 724,0 \text{ btu/hr}$$

$$\text{Udara Dalam} = 80 \text{ cfm} * 26,55 * 0,05 * 0,68 = 72,2 \text{ btu/hr} +$$

$$\text{ERLH} = 832,4 \text{ btu/hr}$$

$$\text{ERTH} = \text{ERSH} + \text{ERLH} = 22426,7 \text{ btu/hr}$$

Kalor Udara Luar

$$\text{Sensibel} = 80 \text{ cfm} * 19,8^{\circ}\text{F} * (1-0,05) * 1,08 = 1625,18 \text{ btu/hr}$$

$$\text{Laten} = 80 \text{ cfm} * 26,55 * (1-0,05) * 0,68 = 1372,13 \text{ btu/hr}$$

Kalor Total (GTH) = ERTH + Kalor Udara Luar Sensibel + Kalor Udara Luar

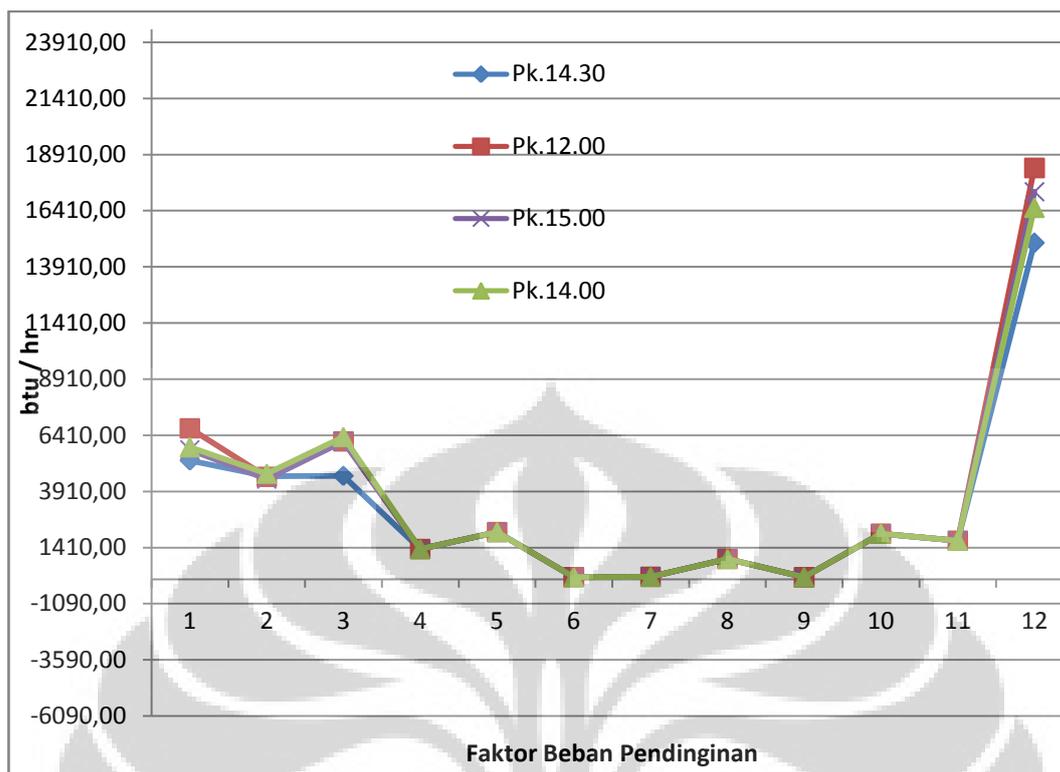
Laten = 24980,7 btu/hr

Beban Pendinginan Total = 24980,7 btu / hr = 7319,36 W

Melalui perhitungan di atas dapat dimuat dalam tabel sebagai berikut :

Tabel 4.6 Beban Pendinginan Lantai 1 Terhitung dari 4 waktu yang Berbeda

Lantai 1 (btu/hr)					
No		14.30	12.00	14.00	15.00
1	Kaca (Radiasi)	5282,88	6723,67	5874,92	5763,14
2	Dinding+Atap	4581,36	4561,26	4703,72	4459,01
3	Lain-lain	4602,59	6136,79	6335,17	6136,79
4	Manusia (sensibel)	1345,00	1345,00	1345,00	1345,00
5	Lampu	2100,27	2100,27	2100,27	2100,27
6	Ventilasi	100,00	100,00	100,00	100,00
7	Udara Dalam (sensibel)	106,92	106,92	106,92	106,92
8	Manusia (laten)	905,00	905,00	905,00	905,00
9	Udara Dalam (laten)	90,27	90,27	90,27	90,27
10	Udara Luar (Sensibel)	2031,48	2031,48	2031,48	2031,48
11	Udara Luar (Laten)	1715,17	1715,17	1715,17	1715,17
12	Beban Pendinginan total	14975,87	18319,55	16540,96	17256,77

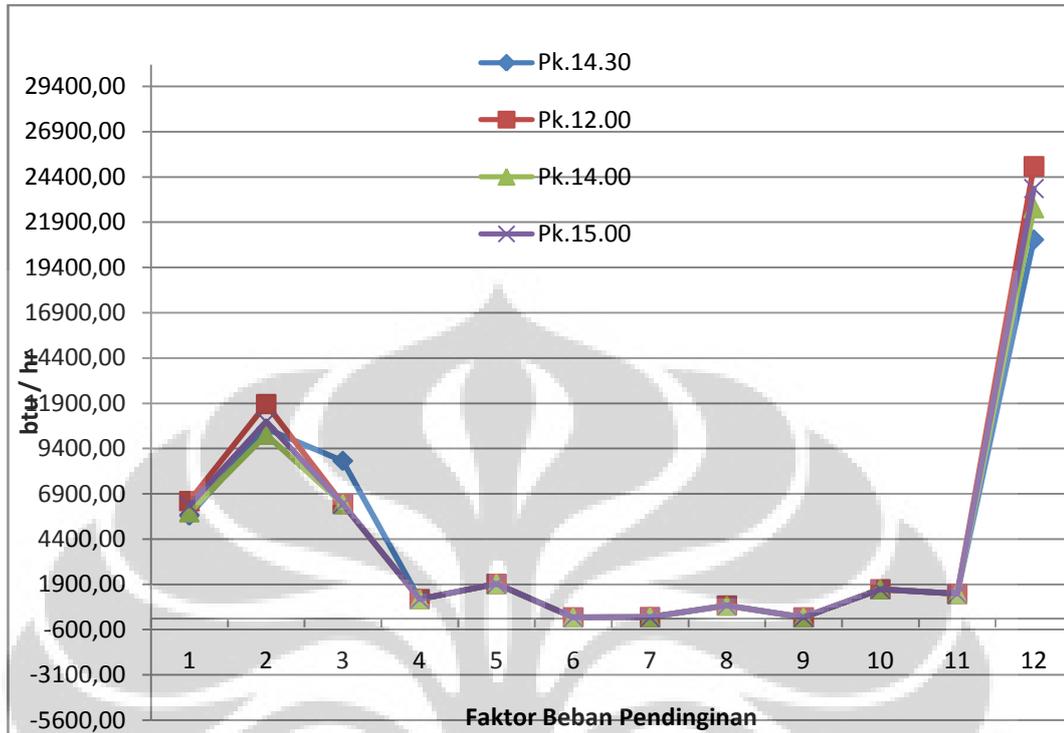


Gambar 4.8 Grafik Beban Pendinginan Lantai 1 Terhitung dari 4 waktu yang Berbeda

Kemudian pada lantai 2:

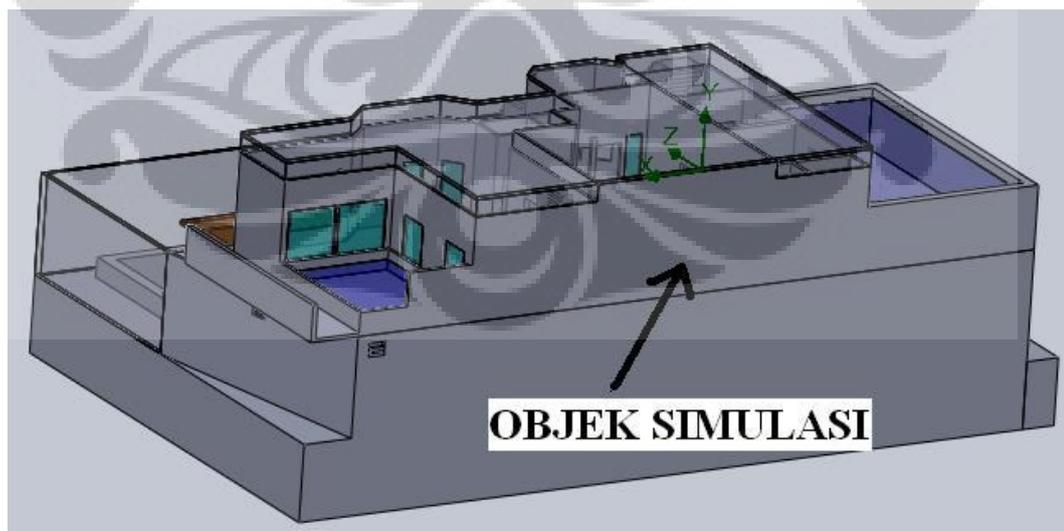
Tabel 4.7 Beban Pendinginan Lantai 2 Terhitung dari 4 waktu yang Berbeda

		Lantai 2(btu/hr)			
No		14.30	12.00	14.00	15.00
1	Kaca (Radiasi)	5694,28	6492,21	5874,92	6243,07
2	Dinding+Atap	10492,44	11850,79	10159,79	10879,19
3	Lain-lain	8710,86	6335,17	6335,17	6335,17
4	Manusia (sensibel)	1076,00	1076,00	1076,00	1076,00
5	Lampu	1918,56	1918,56	1918,56	1918,56
6	Ventilasi	80,00	80,00	80,00	80,00
7	Udara Dalam (sensibel)	85,54	85,54	85,54	85,54
8	Manusia (laten)	724,00	724,00	724,00	724,00
9	Udara Dalam (laten)	72,22	72,22	72,22	72,22
10	Udara Luar (Sensibel)	1625,18	1625,18	1625,18	1625,18
11	Udara Luar (Laten)	1372,13	1372,13	1372,13	1372,13
12	Beban Pendinginan total	20929,62	24980,75	22672,45	23760,00



Gambar 4.9 Grafik Beban Pendinginan Lantai 2 Terhitung dari 4waktu yang Berbeda

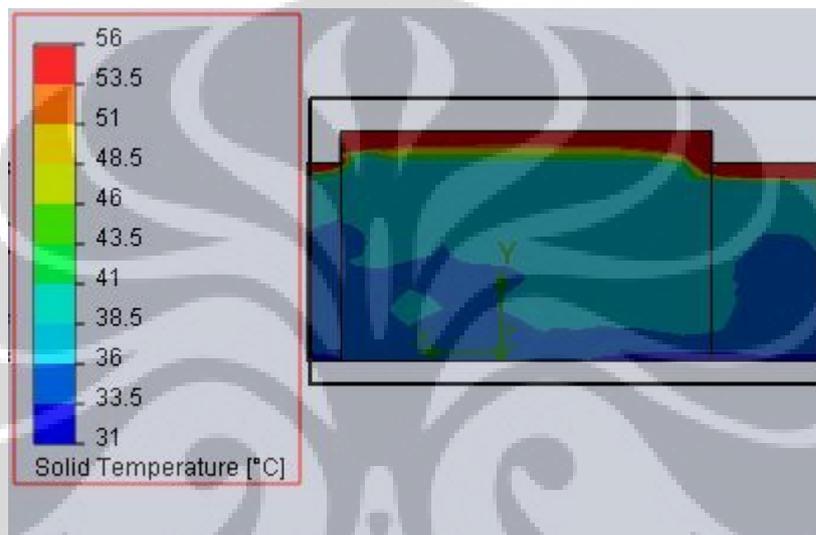
4.7 Analisis Panas pada Dinding Lantai 2 ketika Pk 14.30



Gambar 4.10 Objek Simulasi Radiasi

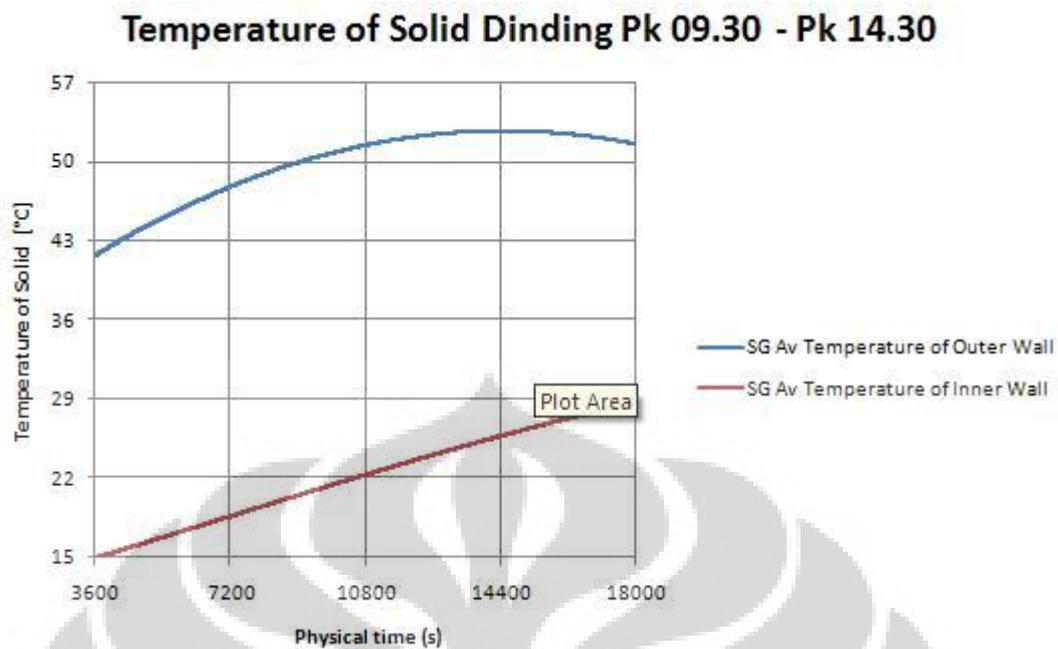
Simulasi dilakukan dengan ketentuan cuaca cerah (cloudiness 0) suhu radiasi $20,05^{\circ}\text{C}$, pada 10°LU , arah Utara sebesar sudut 135 rad dari sumbu X, pada waktu pk.09.30. Dan physical time yang dilakukan adalah selama 5 jam (sampai Pk14.30), hal ini dilakukan karena pada kenyataannya dinding akan terus menyerap panas yang masuk ke dinding bergantung pada waktu dan besarnya intensitas radiasi matahari.*(EFD Lab. *User Guide – Wizard – Analysis Type*)

Suhu Permukaan



Gambar 4.11 Distribusi Temperatur Dinding

Dapat terlihat dari distribusi suhu permukaan dinding di atas bahwa ketika Pk 14.30 suhu permukaan akan lebih tinggi pada permukaan bagian atas dinding (dimana simulasi dilakukan pada pk 09.30 – pk 14.30 secara *physical time*). Grafik hasil simulasi pada dinding lantai 2 dapat dilihat sebagai berikut :

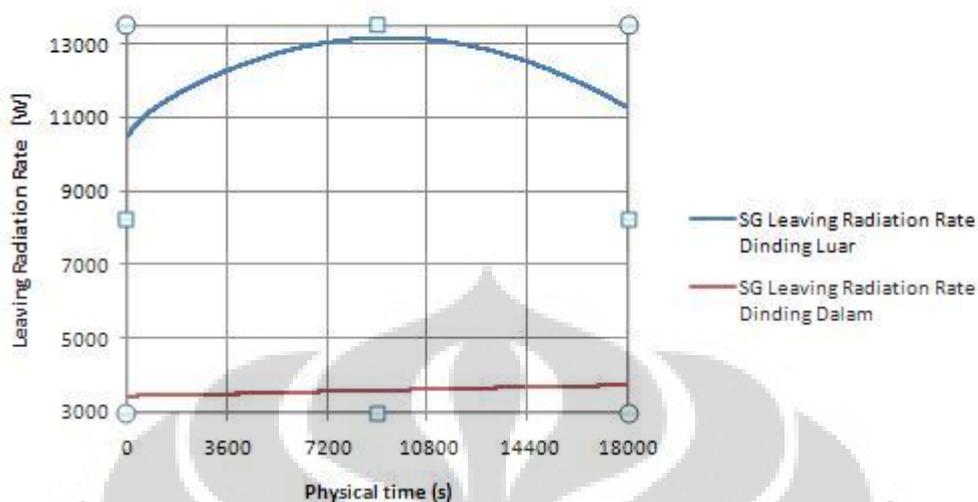


Gambar 4.12 Grafik Suhu Rata-rata Dinding selama 5 Jam

Dapat terlihat dari Gambar 4.10 bahwa suhu permukaan dinding dari pk 09.30 – pk 14.30 baik dinding sebelah dalam maupun dinding sebelah luar yang menghadap matahari cenderung meningkat.

Radiasi yang Terpancar pada Dinding

Leaving Radiation Rate Pada Dinding Pk09.30- Pk14.30

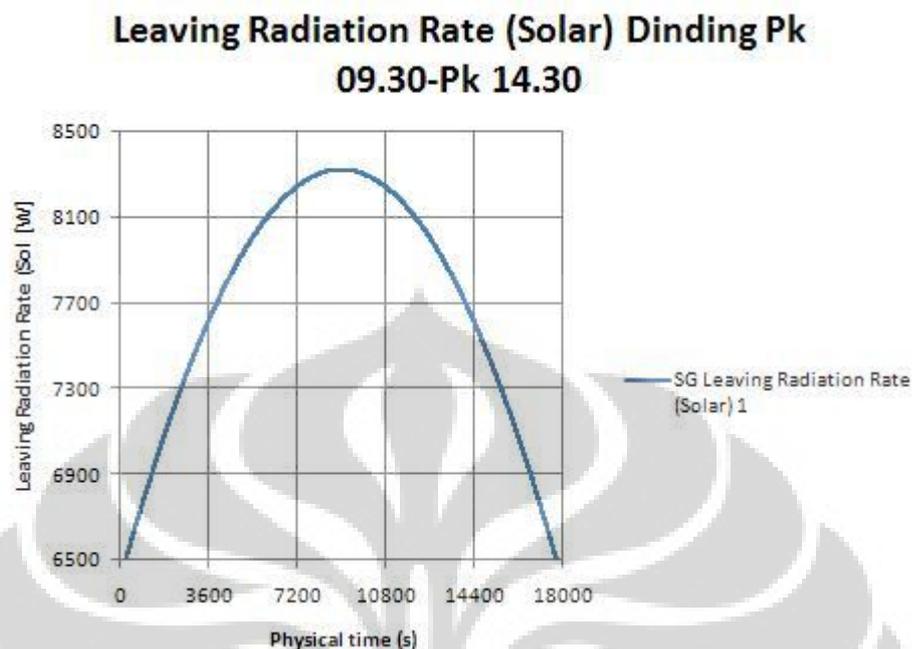


Gambar 4.13 Grafik Radiasi yang Terpancar pada Dinding selama 5 Jam

Dapat terlihat dari Gambar 4.12 bahwa radiasi maksimum yang terpancar pada permukaan dinding lantai 2 sebelah luar adalah ketika physical time 2 jam 30 menit atau ketika waktu menunjukan pk 12.00. Sedangkan untuk dinding sebelah dalam mengalami peningkatan dari pk 09.30 sampai pk 14.30. *Leaving Radiation Rate* menggunakan rumus :

$$\text{Leaving Radiation Rate (L) / A} = L_{\text{solar}} + L_{\text{termal}}$$

Radiasi (solar) pada Dinding



Gambar 4.14 Grafik Radiasi yang Terpancar pada Dinding (Solar)

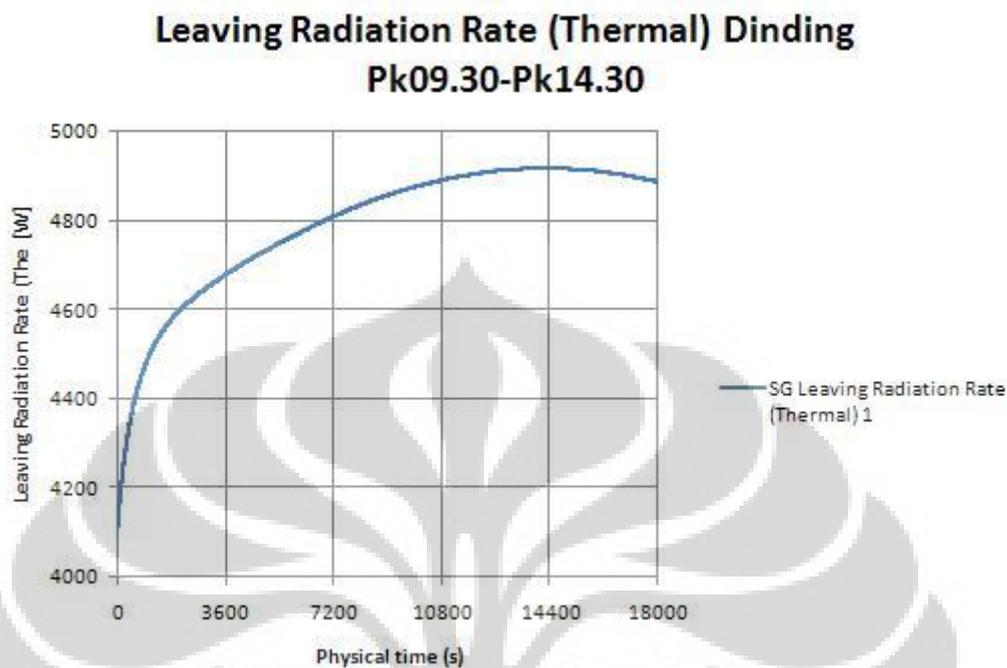
Dari Gambar 4.13 di atas dapat terlihat bahwa radiasi maksimum yang terpancar pada dinding oleh karena adanya radiasi matahari (*solar*) terjadi ketika physical time nya 2 jam 30 menit atau ketika waktu menunjukkan pk 12.00. Leaving Radiation Rate (solar) menggunakan rumus :

$$L_{\text{solar}} / A = \rho I$$

Dimana : ρ = Reflektifitas dari material (1 – Emisifitas)

I = Intensitas radiasi pada dinding

Radiasi (thermal) pada Dinding



Gambar 4.15 Grafik Radiasi yang Terpancar pada Dinding (Termal)

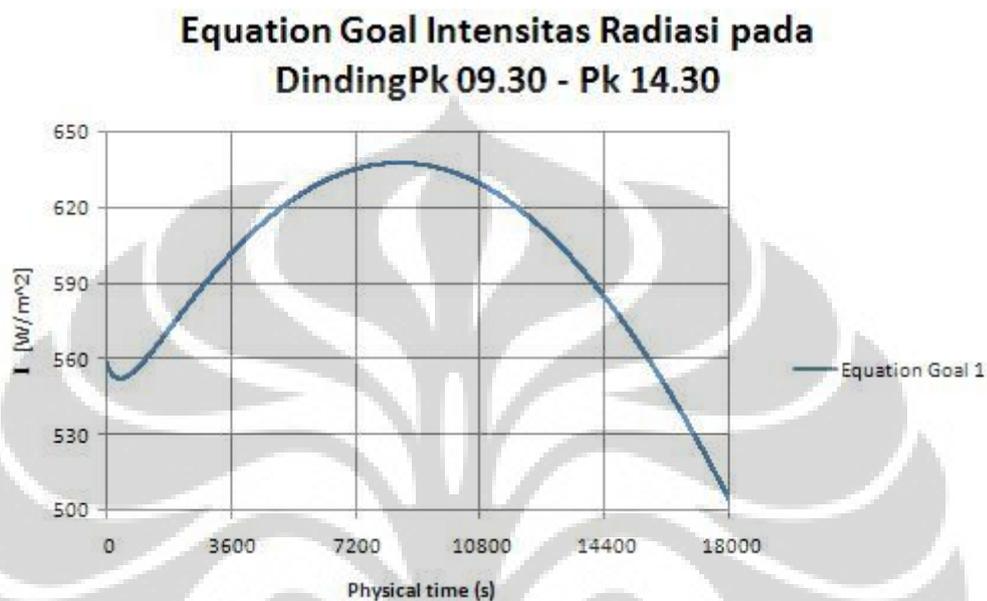
Dari Gambar 4.14 di atas dapat terlihat bahwa radiasi yang terpancar pada dinding oleh karena adanya suhu yang terjadi ketika physical time nya 2 jam 30 menit atau ketika waktu menunjukkan pk 12.00. Leaving Radiation Rate (solar) menggunakan rumus :

$$L_{\text{thermal}} / A = \epsilon \sigma T^4$$

Dimana :

- ϵ = Emisifitas dari material
- σ = Konstanta Stefan-Boltzmann ($5,672 \text{ W} / \text{m}^2 \text{ K}^4$)
- T = Suhu permukaan (K)

Validasi Intensitas Radiasi pada Dinding (Perhitungan dan CFD)



Gambar 4.16 Intensitas Radiasi Hasil Equation Goal

Gambar 4.15 di atas menampilkan grafik equation goal (I) yang besarnya adalah W/m^2 dihitung melalui rumus sebagai berikut :

$$L/A = \epsilon \sigma T^4 + \rho I$$

Jadi

$$I = [(L/A) - (\epsilon \sigma T^4)] / \rho$$

Dimana:

- L menggunakan Surface Goal Leaving Radiation Rate Dinding
- ϵ = Emisifitas brick common (0,29)
- σ = Konstanta Stefan-Boltzmann ($5,672 W / m^2 K^4$)
- T menggunakan Surface Goal Temperature Dinding
- ρ = Reflektifitas dari material (0,71)

Terlihat dari hasil physical time bahwa intensitas hasil perhitungan simulasi cenderung meningkat dari pk 09.30 – pk 12.00 kemudian menurun pada pk 12.00 – 14.30. Nilai rata-rata pada intensitas radiasi matahari melalui perhitungan simulasi adalah 597,56 W/m². Sedangkan dari pengukuran yang dilakukan tiap 1 jam pada tanggal 29 April 2009 (cerah) dengan menggunakan pyranometer adalah sebagai berikut :

Tabel 4.8 Pengukuran Radiasi pada dinding

Waktu	Radiasi (W/m ²)
10.30	701,70
11.30	618,61
12.30	581,67
13.30	563,21
14.30	572,44
Rata-rata	607,53

Maka Error pada pengukuran dapat dihitung sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \text{Error} &= [(\text{Pengukuran} - \text{Simulasi}) / \text{Pengukuran}] \times 100\% = \\ &= [(607,53 - 597,56) / 607,53] \times 100\% = 1,64\% \end{aligned}$$

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Melalui hasil validasi yang telah dilakukan, terlihat bahwa eror yang terjadi pada hasil pengukuran dibandingkan dengan hasil CFD dalam rentang 0,18 % sampai 45,1 %, Rata-rata eror terbesar terjadi ketika mem-validasi hasil pengukuran kecepatan, hal ini dapat disebabkan oleh alat ukur yang kurang presisi dalam mengukur kecepatan angin yang terdapat di dalam ruangan sehingga tidak dapat mengukur kecepatan angin yang sangat kecil seperti kecepatan angin di dalam ruangan. Tidak demikian halnya dengan hasil validasi temperature dan kelembapan pengukuran yang dibandingkan dengan hasil simulasi. Angka yang didapat dapat teruji kebenarannya oleh karena angka eror yang relative kecil.

Pada perhitungan beban pendinginan yang telah terjadi adalah beban pendinginan yang telah dilakukan oleh sistem pada tiap lantai tersebut, kemudian apabila dihitung selisih perbedaan beban pendinginan untuk keadaan ideal maka akan didapat hasil yang merupakan jumlah beban pendinginan yang perlu dicapai oleh rumah tersebut untuk mendapatkan kenyamanan termal yaitu suhu termal yang ditentukan disini adalah 22°C dan kelembapan 50%. Hasil tersebut dapat dilihat pada tabel sebagai berikut.

Tabel 5.1 Analisa Beban Pendinginan pada Rumah

Bagian	Beban Pendinginan yang Telah Dilakukan (W)	Beban Pendinginan yang Ideal (W)	Sisa Daya yang diperlukan (W)
Lantai 1	2531,89	4387,93	1856,04
Lantai 2	4710,72	6132,38	1421,65
Total	7242,61	10520,31	3277,70

Kemudian pada perbandingan beban pendinginan terbesar dengan kondisi kenyamanan termal, lokasi, bahan bangunan serta beberapa properti lainnya yang sama (yang berbeda hanya lah waktu pembebanannya saja) yang dihitung pada pk 14.30, pk 12.00, pk 14.00, dan pk 15.00 terlihat bahwa beban pendinginan

terbesar adalah ketika waktu menunjukkan pk 12.00. Hal ini dapat terlihat pada tabel sebagai berikut :

Tabel 5.2 Beban Pendinginan pada 4 Waktu yang Berbeda

	Pk 12.00	Pk 14.00	Pk 14.30	Pk 15.00
Lantai 1	5367,63	4846,50	4387,93	5056,23
Lantai 2	7319,36	6643,03	6132,38	6961,68
Total	12686,99	11489,53	10520,31	12017,92

Lalu pada analisis beban radiasi yang mengenai dinding lantai 2 terlihat pada Gambar 4.10 bahwa suhu dinding cenderung meningkat dari rentang waktu pk 09.30 – pk 14.30 (5 jam). Kemudian pada radiasi yang terpancar pada dindingnya (L) terlihat pada Gambar 4.11 bahwa nilai terbesar terjadi ketika pk 12.00, begitu pula dengan radiasi yang terpancar pada dinding karena adanya radiasi matahari (L_{solar}). Sedangkan nilai radiasi yang terpancar pada dinding oleh karena adanya suhu dinding (L_{termal}) cenderung meningkat dari pk 09.30 sampai 14.30, hal ini disebabkan L_{termal} yang terakumulatif.

5.2 Saran

Pada hasil yang didapat pada beban pendinginan yang telah terjadi pada bangunan menunjukkan terjadinya pendinginan pada rumah tersebut, hal ini dapat disebabkan keadaan ruangan pendinginnya tidak dalam keadaan nyala saat dinyalakan tetapi pendinginan ruangan tersebut belum lama dimatikan. Pendinginan juga dapat terjadi karena adanya kolam sebagai pendingin ruangan yang dimana kolam air akan memberikan kandungan uap air yang cukup tinggi ke dalam ruangan sehingga mengurangi beban pendinginan yang perlu dilakukan sebelumnya. Jadi apabila letak kolam dan pendinginan yang di desain dengan baik akan memberikan kenyamanan termal pada setiap penghuninya.

DAFTAR REFERENSI

Anderson, Pletcher, Tannedill. *Computational Fluid Mechanics and Heat Transfer*. Mc Graw Hill.1984.

Anderson John. *Computaional Fluid Mechanics the basic & applications*. Mc Graw Hill Int. 1995

ASHRAE Handbook, *Fundamental Volume*, American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineer, Atlanta. 1985.

ASHRAE 2001 - HVAC Fundamentals Handbook. *Chapter 8 : Thermal Comfort*.March 28, 2008.

{http://rapidshare.de/files/22842749/ASHRAE_2001_HVAC_Fundamentals_hanbook_4AH.rar}

Carrier Air Conditioning Company, *Handbook of Air Conditioning System Design*, Mc Graw-Hill Book Company, New York, 1965

Bandung : Yayasan LPMP.*Tata Cara Perencanaan Teknis Konservasi Energi Pada Bangunan Gedung*. SK SNI T. Maret 14,1993

Fluid Dynamics Analysis Research Goup. *Using Computational Fluid Dynamics*, Faculty of Engineering Uniersity of Indonesia.

Karyono, Tri Harso. *Teori dan Acuan Kenyamanan Termis dalam Arsitektur*. Jakarta : PT Catur Libra Optima.1998.

Heizo Saito; terjemahan Wiranto Arismunandar, *Penyegaran Udara*, Pradnya Paramita. Jakarta,1989.

HK Versteeg & W Malalasekera. *An Introduction to Computaional Fluid Dynamics, The Finite Volume Method*. Longman Group Ltd. 1995.

P.I. Frank & P.D. David. *Fundamentals of Heat dan Mass Transfer*.John Wiley & Sons (ASIA) Pte Ltd.2002

LAMPIRAN

TABLE 6—PEAK SOLAR HEAT GAIN THRU ORDINARY GLASS*
Btu/(hr)(sq ft)

NORTH LAT.	MONTH	EXPOSURE NORTH LATITUDE									MONTH	SOUTH LAT.
		N†	NE	E	SE	S	SW	W	NW	Horiz		
0°	June	59	156	147	42	14	42	147	156	226	Dec Nov & Jan Oct & Feb Sept & March Aug & April July & May June	0°
	July & May	48	153	152	52	14	52	152	153	233		
	Aug & April	25	141	163	79	14	79	163	141	245		
	Sept & March	10	118	167	118	14	118	167	118	250		
	Oct & Feb	10	79	163	141	34	141	163	79	245		
	Nov & Jan	10	52	152	153	67	153	152	52	233		
	Dec	10	42	147	156	82	156	147	42	226		
10°	June	40	153	155	55	14	55	155	153	243	Dec Nov & Jan Oct & Feb Sept & March Aug & April July & May June	10°
	July & May	30	148	158	66	14	66	158	148	247		
	Aug & April	13	130	163	94	14	94	163	130	250		
	Sept & March	10	103	164	127	28	127	164	103	247		
	Oct & Feb	10	66	155	149	73	149	155	66	230		
	Nov & Jan	9	37	143	161	106	101	143	37	210		
	Dec	9	28	137	163	120	163	137	28	202		
20°	June	26	154	160	73	14	73	160	154	250	Dec Nov & Jan Oct & Feb Sept & March Aug & April July & May June	20°
	July & May	19	138	163	85	14	85	163	138	251		
	Aug & April	11	118	165	113	26	113	165	118	247		
	Sept & March	10	87	163	140	65	140	163	87	233		
	Oct & Feb	9	52	147	160	111	160	147	52	208		
	Nov & Jan	8	26	128	164	141	164	128	26	180		
	Dec	8	18	121	167	149	167	121	18	170		
30°	June	20	139	161	90	21	90	161	139	250	Dec Nov & Jan Oct & Feb Sept & March Aug & April July & May June	30°
	July & May	16	131	164	100	30	100	164	131	246		
	Aug & April	11	108	165	129	63	129	165	108	235		
	Sept & March	9	90	158	152	105	152	158	90	212		
	Oct & Feb	8	39	135	163	145	163	135	39	179		
	Nov & Jan	7	16	116	162	159	162	116	16	145		
	Dec	6	12	105	162	163	162	105	12	131		
40°	June	17	133	162	111	54	111	162	133	237	Dec Nov & Jan Oct & Feb Sept & March Aug & April July & May June	40°
	July & May	15	127	164	125	69	125	164	127	233		
	Aug & April	11	102	162	146	102	146	162	102	214		
	Sept & March	9	58	149	162	140	162	149	58	183		
	Oct & Feb	7	35	122	163	162	163	122	35	129		
	Nov & Jan	5	12	100	156	166	156	100	12	103		
	Dec	5	10	86	148	165	148	86	10	85		
50°	June	16	126	164	135	93	135	164	126	220	Dec Nov & Jan Oct & Feb Sept & March Aug & April July & May June	50°
	July & May	14	117	163	143	106	143	163	117	211		
	Aug & April	11	94	158	157	138	157	158	94	185		
	Sept & March	8	58	138	163	158	163	138	58	148		
	Oct & Feb	5	29	105	157	167	157	105	29	94		
	Nov & Jan	4	9	64	127	153	127	64	9	53		
	Dec	3	7	47	116	141	116	47	7	40		
		S	SE	E	NE	N	NW	W	SW	Horiz		
EXPOSURE SOUTH LATITUDE												
Solar Gain Correction	Steel Sash or No Sash ×1/.85 or 1.17	Haze -15% (Max)		Altitude +0.7% per 1000 ft		Dewpoint Above 67 F -7% per 10 F		Dewpoint Below 67 F +7% per 10 F		South Lat Dec or Jan +7%		

TABLE 11—STORAGE LOAD FACTORS, SOLAR HEAT GAIN THRU GLASS
 12 Hour Operation, Constant Space Temperature†

EXPOSURE (North Lat)	WEIGHT‡ (lb per sq ft of floor area)	INTERNAL SHADE*										BARE GLASS OR EXTERNAL SHADE‡										EXPOSURE (South Lat)					
		SUN TIME																									
		AM										PM					AM						PM				
		6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1		2	3	4	5	
Northeast	150 & over	.59	.67	.62	.49	.33	.27	.25	.24	.22	.21	.20	.17	.34	.42	.47	.45	.42	.39	.36	.33	.30	.29	.26	.25	Southeast	
	100	.59	.68	.64	.52	.35	.29	.24	.23	.20	.19	.17	.15	.35	.45	.50	.49	.45	.42	.34	.30	.27	.26	.23	.20		
	30	.62	.80	.75	.60	.37	.25	.19	.17	.15	.13	.12	.11	.40	.62	.69	.64	.48	.34	.27	.22	.18	.16	.14	.12		
East	150 & over	.51	.66	.71	.67	.57	.40	.29	.26	.25	.23	.21	.19	.36	.44	.50	.53	.53	.50	.44	.39	.36	.34	.30	.28	East	
	100	.52	.67	.73	.70	.58	.40	.29	.26	.24	.21	.19	.16	.34	.44	.54	.58	.57	.51	.44	.39	.34	.31	.28	.24		
	30	.53	.74	.82	.81	.65	.43	.25	.19	.16	.14	.11	.09	.36	.56	.71	.76	.70	.54	.39	.28	.23	.18	.15	.12		
Southeast	150 & over	.20	.42	.59	.70	.74	.71	.61	.48	.33	.30	.26	.24	.34	.37	.43	.50	.54	.58	.57	.55	.50	.45	.41	.37	Northeast	
	100	.18	.40	.57	.70	.75	.72	.63	.49	.34	.28	.25	.21	.29	.33	.41	.51	.58	.61	.61	.56	.49	.44	.37	.33		
	30	.09	.35	.61	.78	.86	.82	.69	.50	.30	.20	.17	.13	.14	.27	.47	.64	.75	.79	.73	.61	.45	.32	.23	.18		
South	150 & over	.28	.25	.40	.53	.64	.72	.77	.77	.73	.67	.49	.31	.47	.43	.42	.46	.51	.56	.61	.65	.66	.65	.61	.54	North	
	100	.26	.29	.38	.51	.64	.73	.79	.79	.77	.65	.51	.31	.44	.37	.39	.43	.50	.57	.64	.68	.70	.68	.63	.53		
	30	.21	.29	.48	.67	.79	.88	.89	.83	.56	.30	.24	.16	.28	.19	.25	.38	.54	.68	.78	.84	.82	.76	.61	.42		
Southwest	150 & over	.31	.27	.27	.26	.25	.27	.50	.63	.72	.74	.69	.54	.51	.44	.40	.37	.34	.36	.41	.47	.54	.57	.60	.58	Northwest	
	100	.33	.28	.25	.23	.23	.35	.50	.64	.74	.77	.70	.55	.53	.44	.37	.35	.31	.33	.39	.46	.55	.62	.64	.60		
	30	.29	.21	.18	.15	.14	.27	.50	.69	.82	.87	.79	.60	.48	.32	.25	.20	.17	.19	.29	.56	.70	.80	.79	.69		
West	150 & over	.63	.31	.28	.27	.25	.24	.22	.29	.46	.61	.71	.72	.56	.49	.44	.39	.36	.33	.31	.31	.35	.42	.49	.54	West	
	100	.67	.33	.28	.26	.24	.22	.20	.28	.44	.61	.72	.73	.60	.52	.44	.39	.34	.31	.29	.28	.33	.43	.51	.57		
	30	.77	.34	.25	.20	.17	.14	.13	.22	.44	.67	.82	.85	.77	.56	.38	.28	.22	.18	.16	.19	.33	.52	.69	.77		
Northwest	150 & over	.68	.28	.27	.25	.23	.22	.20	.19	.24	.41	.56	.67	.49	.44	.39	.36	.33	.30	.28	.26	.26	.30	.37	.44	Southwest	
	100	.71	.31	.27	.24	.22	.21	.19	.18	.23	.40	.58	.70	.54	.49	.41	.35	.31	.28	.25	.23	.24	.30	.39	.48		
	30	.82	.33	.25	.20	.18	.15	.14	.13	.19	.41	.64	.80	.75	.53	.36	.28	.24	.19	.17	.15	.17	.30	.50	.66		
North and Shade	150 & over	.96	.96	.96	.96	.96	.96	.96	.96	.96	.96	.96	.96	.75	.75	.79	.83	.84	.86	.88	.88	.91	.92	.93	.93	South and Shade	
	100	.96	.96	.96	.96	.96	.96	.96	.96	.96	.96	.96	.96	.81	.84	.86	.89	.91	.93	.93	.94	.94	.95	.95	.95		
	30	← 1.00 →										← 1.00 →															

Equation: Cooling Load, Btu/hr = [Peak solar heat gain, Btu/(hr) (sq ft), (Table 6)]
 × [Window area, sq ft]
 × [Shade factor, Haze factor, etc., (Chapter 4)]
 × [Storage factor, (above Table at desired time)]

TABLE 12—STORAGE LOAD FACTORS, HEAT GAIN—LIGHTS*

Lights On 10 Hours† with Equipment Operating 12, 16 and 24 Hours, Constant Space Temperature

	EQUIP. OPER-ATION Hours	WEIGHT‡ (lb per sq ft of floor area)	NUMBER OF HOURS AFTER LIGHTS ARE TURNED ON																							
			0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
Fluorescent Lights Exposed	24	150 & over	.37	.67	.71	.74	.76	.79	.81	.83	.84	.86	.87	.29	.26	.23	.20	.19	.17	.15	.14	.12	.11	.10	.09	.08
		100	.31	.67	.72	.76	.79	.81	.83	.85	.87	.88	.90	.30	.26	.22	.19	.16	.15	.13	.12	.10	.09	.08	.07	.06
		30	.25	.74	.83	.88	.91	.94	.96	.96	.98	.98	.99	.26	.17	.12	.08	.05	.04	.03	.02	.01	.01	0	0	0
	16	150 & over	.60	.82	.83	.84	.84	.84	.85	.85	.86	.88	.90	.32	.28	.25	.23	.19								
		100	.46	.79	.84	.86	.87	.88	.88	.89	.89	.90	.90	.30	.26	.22	.19	.16								
		30	.29	.77	.85	.89	.92	.95	.96	.96	.98	.98	.99	.26	.17	.12	.08	.05								
	12	150 & over	.63	.90	.91	.93	.93	.94	.95	.95	.95	.96	.96	.37												
		100	.57	.89	.91	.92	.94	.94	.95	.95	.96	.96	.97	.36												
		30	.42	.86	.91	.93	.95	.97	.98	.98	.99	.99	.99	.26												
Fluorescent Lights Recessed in Susp. Ceiling or Exposed Incandescent Lights.	24	150 & over	.34	.55	.61	.65	.68	.71	.74	.77	.79	.81	.83	.39	.35	.31	.28	.25	.23	.20	.18	.16	.15	.14	.12	.11
		100	.24	.56	.63	.68	.72	.75	.78	.80	.82	.84	.86	.40	.34	.29	.25	.20	.18	.17	.15	.14	.12	.10	.09	.08
		30	.17	.65	.77	.84	.88	.92	.94	.95	.97	.98	.98	.35	.23	.16	.11	.07	.05	.04	.03	.02	.01	.01	0	0
	16	150 & over	.58	.75	.79	.80	.80	.81	.82	.83	.84	.86	.87	.39	.35	.31	.28	.25								
		100	.46	.73	.78	.82	.82	.82	.83	.84	.85	.87	.88	.40	.34	.29	.25	.20								
		30	.22	.69	.80	.86	.89	.93	.94	.95	.97	.98	.98	.35	.23	.16	.11	.07								
	12	150 & over	.69	.86	.89	.90	.91	.91	.92	.93	.94	.95	.95	.50												
		100	.58	.85	.88	.88	.90	.92	.93	.94	.94	.94	.95	.48												
		30	.40	.81	.88	.91	.93	.96	.97	.97	.98	.99	.99	.35												
Fluorescent or Incandescent Lights Recessed in Susp. Ceiling and Ceiling Plenum Return System.	24	150 & over	.23	.33	.41	.47	.52	.57	.61	.66	.69	.72	.74	.59	.52	.46	.42	.37	.34	.31	.27	.25	.23	.21	.18	.16
		100	.17	.33	.44	.52	.56	.61	.66	.69	.74	.77	.79	.60	.51	.44	.37	.32	.30	.27	.23	.20	.18	.16	.14	.12
		30	0	.48	.66	.76	.82	.87	.91	.93	.95	.97	.98	.52	.34	.24	.16	.11	.07	.05	.04	.02	.02	.01	0	0
	16	150 & over	.57	.64	.68	.72	.73	.73	.74	.74	.75	.76	.78	.59	.52	.46	.42	.37								
		100	.47	.60	.67	.72	.74	.77	.78	.79	.80	.81	.82	.60	.51	.44	.37	.32								
		30	.07	.53	.70	.78	.84	.88	.91	.93	.95	.97	.98	.52	.34	.24	.16	.11								
	12	150 & over	.75	.79	.83	.84	.86	.88	.89	.91	.91	.93	.93	.75												
		100	.68	.77	.81	.84	.86	.88	.89	.89	.92	.93	.93	.72												
		30	.34	.72	.82	.87	.89	.92	.95	.95	.97	.98	.98	.52												

TABLE 15—SOLAR HEAT GAIN THRU ORDINARY GLASS (Contd)

10°

Btu/(hr) (sq ft sash area)

10°

10° NORTH LATITUDE		SUN TIME														10° SOUTH LATITUDE		
Time of Year	Exposure	6	7	8	9	10	11	Noon	1	2	3	4	5	6	Exposure	Time of Year		
JUNE 21	North	19	44	50	45	44	43	41	43	44	45	50	44	2	South	DEC 22		
	Northeast	55	131	153	140	106	65	28	14	14	13	11	8	2	Southeast			
	East	54	134	155	139	98	41	14	14	14	13	11	8	2	East			
	Southeast	18	49	55	43	25	14	14	14	14	13	11	8	2	Northeast			
	South	2	8	11	13	14	14	14	14	14	13	11	8	2	North			
	Southwest	2	8	8	13	14	14	14	14	25	43	55	49	18	Northwest			
JULY 23 & MAY 21	West	2	8	8	13	14	14	14	41	98	139	155	134	54	West	NOV 21		
	Northwest	2	8	8	13	14	18	28	65	106	140	153	131	55	Southwest			
	Horizontal	4	4	107	166	205	233	243	233	205	166	107	44	4	Horizontal			
	North	5	34	39	35	33	31	30	31	33	35	39	34	5	South		JAN 21	
	Northeast	42	127	148	133	109	56	22	14	14	13	11	7	1	Southeast			
	East	50	135	158	142	98	43	14	14	14	13	11	7	1	East			
Southeast	26	57	66	56	32	14	14	14	14	13	11	7	1	Northeast				
South	1	7	11	13	14	14	14	14	14	13	11	7	1	North				
Southwest	1	7	11	13	14	14	14	14	32	56	66	57	26	Northwest				
AUG 24 & APR 20	West	1	7	11	13	14	14	14	43	98	142	158	135	50	West	FEB 20 & OCT 23		
	Northwest	1	7	11	13	14	14	22	56	109	133	148	127	42	Southwest			
	Horizontal	3	42	107	166	210	236	247	236	210	166	107	42	3	Horizontal			
	North	1	15	16	15	15	14	14	14	15	15	16	15	1	South		MAR 22 & SEPT 22	
	Northeast	17	113	130	111	80	34	14	14	14	13	11	7	1	Southeast			
	East	25	138	163	149	104	46	14	14	14	13	11	7	1	East			
Southeast	18	79	94	85	60	27	14	14	14	13	11	7	1	Northeast				
South	1	7	11	13	14	14	14	14	14	13	11	7	1	North				
Southwest	1	7	11	13	14	14	14	27	60	85	94	79	18	Northwest				
SEPT 22 & MAR 22	West	1	7	11	13	14	14	14	46	80	149	163	138	25	West	APR 20 & AUG 24		
	Northwest	1	7	11	13	14	14	34	15	111	130	148	127	42	Southwest			
	Horizontal	2	38	105	167	213	242	250	242	213	167	105	38	2	Horizontal			
	North	1	6	11	13	14	14	14	14	14	13	11	6	1	South		MAY 21 & JULY 23	
	Northeast	1	89	103	80	45	17	14	14	14	13	11	6	1	Southeast			
	East	1	130	164	151	106	47	14	14	14	13	11	6	1	East			
Southeast	1	97	127	122	94	56	21	14	14	13	11	6	1	Northeast				
South	1	6	13	19	24	27	28	27	24	19	13	6	1	North				
Southwest	1	6	11	13	14	14	21	56	94	122	127	97	1	Northwest				
OCT 23 & FEB 20	West	1	6	11	13	14	14	14	47	106	151	164	130	1	West	JUNE 21		
	Northwest	1	6	11	13	14	14	14	7	45	80	103	89	1	Southwest			
	Horizontal	1	31	97	160	207	235	247	235	207	160	97	31	1	Horizontal			
	North	0	5	10	13	14	14	14	14	14	13	10	5	0	South		APR 20 & AUG 24	
	Northeast	0	58	66	44	28	14	14	14	14	13	10	5	0	Southeast			
	East	0	118	155	145	100	40	14	14	14	13	10	5	0	East			
Southeast	0	103	147	149	123	81	46	18	14	13	10	5	0	Northeast				
South	0	18	40	55	65	71	73	71	65	55	40	18	0	North				
Southwest	0	5	10	13	14	14	18	46	81	123	149	147	103	Northwest				
NOV 21 & JAN 21	West	0	5	10	13	14	14	14	40	100	145	155	118	0	West	MAY 21 & JULY 23		
	Northwest	0	5	10	13	14	14	14	28	44	66	58	0	Southwest				
	Horizontal	0	22	85	139	193	220	230	220	193	139	85	22	0	Horizontal			
	North	0	4	9	12	13	14	14	14	13	12	9	4	0	South		JUNE 21	
	Northeast	0	27	37	17	13	14	14	14	13	12	9	4	0	Southeast			
	East	0	99	143	132	93	39	14	14	13	12	9	4	0	East			
Southeast	0	99	153	161	146	109	70	31	17	12	9	4	0	Northeast				
South	0	35	65	91	96	104	106	104	96	91	65	35	0	North				
Southwest	0	4	9	12	17	31	70	109	146	161	153	99	0	Northwest				
DEC 22	West	0	4	9	12	13	14	14	39	93	132	143	99	0	West	JUNE 21		
	Northwest	0	4	9	12	13	14	14	14	13	17	37	27	0	Southwest			
	Horizontal	0	17	62	131	175	202	210	202	175	131	62	17	0	Horizontal			
	North	0	4	9	12	13	14	14	14	13	12	9	4	0	South		JUNE 21	
	Northeast	0	15	28	17	13	14	14	14	14	13	12	9	4	0			Southeast
	East	0	86	137	130	91	42	14	14	13	12	9	4	0	East			
Southeast	0	99	154	163	149	121	77	36	23	12	9	4	0	Northeast				
South	0	50	74	94	109	116	120	116	109	94	74	50	0	North				
Southwest	0	4	9	12	23	36	79	121	149	163	154	99	0	Northwest				
Solar Gain Correction	Steel Sash, or No Sash X 1/.85 or 1.17	Haze -15% (Max.)			Altitude +0.7% per 1000 Ft				Dewpoint Decrease From 67 F + 7% per 10 F				Dewpoint Increase From 67 F - 7% per 10 F		South Lat. Dec. or Jan. + 7%			

Bold Face Values — Monthly Maximums Boxed Values — Yearly maximums

TABLE 16—OVER-ALL FACTORS FOR SOLAR HEAT GAIN THRU GLASS
WITH AND WITHOUT SHADING DEVICES*

Apply Factors to Table 15

Outdoor wind velocity, 5 mph — Angle of incidence, 30° — Shading devices fully covering window

TYPE OF GLASS	GLASS FACTOR NO SHADE	INSIDE VENETIAN BLIND* 45° horiz. or vertical or ROLLER SHADE			OUTSIDE VENETIAN BLIND 45° horiz. slats		OUTSIDE SHADING SCREEN† 17° horiz. slats		OUTSIDE AWNING‡ vent. sides & top	
		Light Color	Medium Color	Dark Color	Light Color	Light on Outside Dark on Inside	Medium** Color	Dark § Color	Light Color	Med. or Dark Color
ORDINARY GLASS	1.00	.56	.65	.75	.15	.13	.22	.15	.20	.25
REGULAR PLATE (1/4 inch)	.94	.56	.65	.74	.14	.12	.21	.14	.19	.24
HEAT ABSORBING GLASS††										
40 to 48% Absorbing	.80	.56	.62	.72	.12	.11	.18	.12	.16	.20
48 to 56% Absorbing	.73	.53	.59	.62	.11	.10	.16	.11	.15	.18
56 to 70% Absorbing	.62	.51	.54	.56	.10	.10	.14	.10	.12	.16
DOUBLE PANE										
Ordinary Glass	.90	.54	.61	.67	.14	.12	.20	.14	.18	.22
Regular Plate	.80	.52	.59	.65	.12	.11	.18	.12	.16	.20
48 to 56% Absorbing outside; Ordinary Glass inside.	.52	.36	.39	.43	.10	.10	.11	.10	.10	.13
48 to 56% Absorbing outside; Regular Plate inside.	.50	.36	.39	.43	.10	.10	.11	.10	.10	.12
TRIPLE PANE										
Ordinary Glass	.83	.48	.56	.64	.12	.11	.18	.12	.16	.20
Regular Plate	.69	.47	.52	.57	.10	.10	.15	.10	.14	.17
PAINTED GLASS										
Light Color	.28									
Medium Color	.39									
Dark Color	.50									
STAINED GLASS‡‡										
Amber Color	.70									
Dark Red	.56									
Dark Blue	.60									
Dark Green	.32									
Greyed Green	.46									
Light Opalescent	.43									
Dark Opalescent	.37									

Footnotes for Table 16 appear on next page.

TABLE 19—EQUIVALENT TEMPERATURE DIFFERENCE (DEG F)

FOR DARK COLORED†, SUNLIT AND SHADED WALLS*

Based on Dark Colored Walls; 95 F db Outdoor Design Temp; Constant 80 F db Room Temp;
20 deg F Daily Range; 24-hour Operation; July and 40° N. Lat. †

EXPOSURE	WEIGHT OF WALL† (lb/sq ft)	SUN TIME																												
		AM												PM												AM				
		6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5					
Northeast	20	5	15	22	23	24	19	14	13	12	13	14	14	14	12	10	8	6	4	2	0	-2	-3	-4	-2					
	60	-1	-2	-2	5	24	22	20	15	10	11	12	13	14	13	12	11	10	8	6	4	2	1	0	-1					
	100	4	3	4	4	4	10	16	15	14	12	10	11	12	12	12	11	10	9	8	7	6	6	5	5					
	140	5	5	6	6	6	6	6	10	14	16	14	12	10	10	10	10	10	10	10	9	9	8	7	7					
East	20	1	17	30	33	36	35	32	20	12	13	14	14	14	12	10	8	6	4	2	0	-1	-2	-3	-3					
	60	-1	-1	0	21	30	31	31	19	14	13	12	13	14	13	12	11	10	8	5	4	3	1	1	0					
	100	5	5	6	8	14	20	24	25	24	20	18	16	14	14	14	13	12	11	10	9	8	7	7	6					
	140	11	10	10	9	8	9	10	15	18	19	18	17	16	14	12	13	14	14	14	13	13	12	12	12					
Southeast	20	10	6	13	19	26	27	28	26	24	19	16	15	14	12	10	8	6	4	2	0	-1	-1	-2	-2					
	60	1	1	0	13	20	24	28	26	25	21	18	15	14	13	12	11	10	8	6	5	4	3	3	2					
	100	7	7	6	6	6	11	16	17	18	19	18	16	14	13	12	11	10	10	10	9	9	8	8	7					
	140	9	8	8	8	8	7	6	11	14	15	16	18	16	15	14	13	12	12	12	11	11	10	10	9					
South	20	-1	-2	-4	1	4	14	22	27	30	28	26	20	16	12	10	7	6	3	2	1	1	0	0	-1					
	60	-1	-3	-4	-3	-2	7	12	20	24	25	26	23	20	15	12	10	8	6	4	2	1	1	0	-1					
	100	4	4	2	2	2	3	4	8	12	15	16	18	18	15	14	11	10	9	8	8	7	6	6	5					
	140	7	6	6	5	4	4	4	4	4	7	10	13	14	15	16	16	14	12	10	10	9	9	8	7					
Southwest	20	-2	-4	-4	-2	0	4	6	19	26	34	40	41	42	30	24	12	6	4	2	1	1	0	-1	-1					
	60	2	1	0	0	0	1	2	8	12	24	32	35	36	35	34	20	10	7	6	5	4	4	3	3					
	100	7	5	6	5	4	5	6	7	8	12	14	19	22	23	24	23	22	15	10	10	9	9	8	7					
	140	8	8	8	8	8	7	6	6	6	7	8	9	10	15	18	19	20	13	8	8	8	8	8	8					
West	20	-2	-3	-4	-2	0	3	6	14	20	32	40	45	48	34	22	14	8	5	2	1	0	0	-1	-1					
	60	2	1	0	0	0	2	4	7	10	19	26	34	40	41	36	28	16	10	6	5	4	3	3	2					
	100	7	7	6	6	6	6	6	7	8	10	12	17	20	25	28	27	26	19	14	12	11	10	9	8					
	140	12	11	10	9	8	8	8	9	10	10	10	11	12	14	16	21	22	23	22	20	18	16	15	13					
Northwest	20	-3	-4	-4	-2	0	3	6	10	12	19	24	33	40	37	34	18	6	4	2	0	-1	-1	-2	-2					
	60	-2	-3	-4	-3	-2	0	2	6	8	10	12	21	30	31	32	21	12	8	6	4	3	1	0	-1					
	100	5	4	4	4	4	4	4	4	4	5	6	9	12	17	20	21	22	14	8	7	7	6	6	5					
	140	8	7	6	6	6	6	6	6	6	6	6	7	8	9	10	14	18	19	20	16	13	11	10	9					
North (Shade)	20	-3	-3	-4	-3	-2	1	4	8	10	12	14	13	12	10	8	6	4	2	0	0	-1	-1	-2	-2					
	60	-3	-3	-4	-3	-2	-1	0	3	6	8	10	11	12	12	12	10	8	6	4	2	1	0	-1	-2					
	100	1	1	0	0	0	0	0	1	2	3	4	5	5	5	8	7	6	5	4	3	3	2	2	1					
	140	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	2	3	4	5	6	7	8	7	6	4	3	2	2	1					
		6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5					
		AM												PM												AM				
		SUN TIME																												

Equation: Heat Gain Thru Walls, Btu/hr = (Area, sq ft) × (equivalent temp diff) × (transmission coefficient U, Tables 21 thru 25)

TABLE 20—EQUIVALENT TEMPERATURE DIFFERENCE (DEG F)

FOR DARK COLORED†, SUNLIT AND SHADED ROOFS*

Based on 95 F db Outdoor Design Temp; Constant 80 F db Room Temp; 20 deg F Daily Range;
24-hour Operation; July and 40° N. Lat.†

CONDI-TION	WEIGHT OF ROOF‡ (lb/sq ft)	SUN TIME																												
		AM												PM												AM				
		6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5					
Exposed to Sun	10	-4	-6	-7	-5	-1	7	15	24	32	38	43	46	45	41	35	28	22	16	10	7	3	1	-1	-3					
	20	0	-1	-2	-1	2	9	16	23	30	36	41	43	43	40	35	30	25	20	15	12	8	6	4	2					
	40	4	3	2	3	6	10	16	23	28	33	38	40	41	39	35	32	28	24	20	17	13	11	9	6					
	60	9	8	6	7	8	11	16	22	27	31	35	38	39	38	36	34	31	28	25	22	18	16	13	11					
Covered with Water	20	-5	-2	0	2	4	10	16	19	22	20	18	16	14	12	10	6	2	1	1	-1	-2	-3	-4	-5					
	40	-3	-2	-1	-1	0	5	10	13	15	15	16	15	15	14	12	10	7	5	3	1	-1	-2	-3	-3					
	60	-1	-2	-2	-2	-2	2	5	7	10	12	14	15	16	15	14	12	10	8	6	4	3	2	1	0					
	20	-4	-2	0	2	4	8	12	15	18	17	16	-15	14	12	10	6	2	1	0	-1	-2	-2	-3	-3					
Sprayed	40	-2	-2	-1	-1	0	2	5	9	13	14	14	14	14	13	12	9	7	5	3	1	0	0	-1	-1					
	60	-1	-2	-2	-2	-2	0	2	5	8	10	12	13	14	13	12	11	10	8	6	4	2	1	0	-1					
	20	-5	-5	-4	-2	0	2	6	9	12	13	14	13	12	10	8	5	2	1	0	-1	-3	-4	-5	-5					
	40	-5	-5	-4	-3	-2	0	2	5	8	10	12	13	12	11	10	8	6	4	2	0	-1	-3	-4	-5					
Shaded	60	-3	-3	-2	-2	-2	-1	0	2	4	6	8	9	10	10	10	9	8	6	4	2	1	0	-1	-2					
	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5						
	AM												PM												AM					
	SUN TIME																													

Equation: Heat Gain Thru Roofs, Btu/hr = (Area, sq ft) × (equivalent temp diff) × (transmission coefficient U, Tables 27 or 28)

TABLE 20A—CORRECTIONS TO EQUIVALENT TEMPERATURES (DEG F)

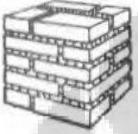
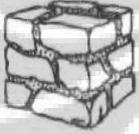
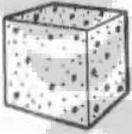
OUTDOOR DESIGN FOR MONTH AT 3 P.M. MINUS ROOM TEMP (deg F)	DAILY RANGE (deg F)																
	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34	36	38	40
-30	-39	-40	-41	-42	-43	-44	-45	-46	-47	-48	-49	-50	-51	-52	-53	-54	-55
-20	-29	-30	-31	-32	-33	-34	-35	-36	-37	-38	-39	-40	-41	-42	-43	-44	-45
-10	-19	-20	-21	-22	-23	-24	-25	-26	-27	-28	-29	-30	-31	-32	-33	-34	-35
0	-9	-10	-11	-12	-13	-14	-15	-16	-17	-18	-19	-20	-21	-22	-23	-24	-25
5	-4	-5	-6	-7	-8	-9	-10	-11	-12	-13	-14	-15	-16	-17	-18	-19	-20
10	1	0	-1	-2	-3	-4	-5	-6	-7	-8	-9	-10	-11	-12	-13	-14	-15
15	6	5	4	3	2	1	0	-1	-2	-3	-4	-5	-6	-7	-8	-9	-10
20	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0	-1	-2	-3	-4	-5
25	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
30	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5
35	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10
40	31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15

TABLE 21—TRANSMISSION COEFFICIENT U—MASONRY WALLS*

FOR SUMMER AND WINTER

Btu/(hr) (sq ft) (deg F temp diff)

All numbers in parentheses indicate weight per sq ft. Total weight per sq ft is sum of wall and finishes.

EXTERIOR FINISH	THICK- NESS (inches) and WEIGHT (lb per sq ft)	INTERIOR FINISH										
		None	½" Gypsum Board (Plaster Board) (2)	½" Plaster on Wall		Metal Lath Plastered on Furring		¾" Gypsum or Wood Lath Plastered on Furring		Insulating Board Plain or Plastered on Furring		
				Sand Agg (6)	Lt Wt Agg (3)	¾" Sand Plaster(7)	¾" Lt Wt Plaster(3)	½" Sand Plaster(7)	½" Lt Wt Plaster(2)	½" Board (2)	1" Board (4)	
SOLID BRICK 	Face & Common	8 (87)	.48	.41	.45	.41	.31	.28	.29	.27	.22	.16
		12 (123)	.35	.31	.33	.30	.25	.23	.23	.22	.19	.14
		16 (173)	.27	.25	.26	.25	.21	.19	.20	.19	.16	.13
	Common Only	8 (80)	.41	.36	.39	.35	.28	.26	.26	.25	.21	.15
		12 (120)	.31	.28	.30	.27	.23	.22	.22	.21	.18	.14
		16 (160)	.25	.23	.24	.23	.19	.18	.18	.18	.16	.12
STONE 	8 (100)	.67	.55	.63	.53	.39	.34	.35	.32	.26	.18	
	12 (150)	.55	.47	.52	.46	.34	.31	.31	.29	.24	.17	
	16 (200)	.47	.41	.45	.40	.31	.28	.28	.27	.22	.16	
	24 (300)	.36	.32	.35	.32	.26	.24	.24	.23	.19	.15	
ADOBE-BLOCKS OR BRICK	8 (26)	.34	.30	.32	.30	.25	.23	.23	.22	.18	.12	
	12 (40)	.23	.23	.24	.23	.20	.18	.18	.18	.15	.14	
POURED CONCRETE 	140 lb/cu ft	6 (70)	.75	.55	.69	.58	.41	.36	.37	.34	.27	.18
		8 (93)	.67	.49	.63	.53	.39	.34	.35	.32	.26	.17
		10 (117)	.61	.44	.57	.49	.36	.32	.33	.31	.25	.17
		12 (140)	.55	.40	.52	.45	.34	.31	.31	.29	.24	.16
	80 lb/cu ft	6 (40)	.31	.28	.30	.27	.23	.21	.22	.21	.18	.14
		8 (53)	.25	.23	.24	.23	.19	.18	.18	.18	.16	.12
		10 (66)	.21	.19	.20	.19	.17	.16	.15	.14	.14	.11
		12 (80)	.18	.17	.17	.15	.15	.14	.14	.14	.12	.10
	30 lb/cu ft	6 (15)	.13	.13	.13	.13	.12	.11	.11	.11	.13	.09
		8 (20)	.10	.10	.10	.10	.09	.09	.09	.09	.10	.07
		10 (25)	.08	.08	.08	.08	.08	.07	.08	.07	.08	.06
		12 (30)	.07	.07	.07	.07	.07	.07	.06	.06	.07	.06
HOLLOW CONCRETE BLOCKS 	Sand & Gravel Agg	8 (43)	.52	.44	.48	.43	.33	.29	.30	.28	.23	.17
		12 (63)	.47	.41	.45	.40	.31	.28	.28	.27	.22	.16
	Cinder Agg	8 (37)	.39	.35	.37	.34	.27	.25	.25	.24	.20	.15
		12 (53)	.36	.33	.35	.32	.26	.24	.23	.23	.19	.15
	Lt Wt Agg	8 (32)	.35	.32	.34	.31	.26	.23	.24	.22	.19	.15
		12 (43)	.32	.29	.31	.28	.24	.22	.22	.21	.18	.14
STUCCO ON HOLLOW CLAY TILE	8 (39)	.36	.32	.34	.32	.26	.24	.24	.23	.19	.15	
	10 (44)	.32	.29	.31	.28	.23	.22	.22	.21	.18	.14	
	12 (49)	.29	.27	.28	.26	.22	.20	.21	.20	.17	.13	

1958 ASHAE Guide

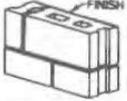
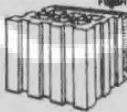
Equations: Heat Gain, Btu/hr = (Area, sq ft) × (U value) × (equivalent temp diff, Table 19)
 Heat Loss, Btu/hr = (Area, sq ft) × (U value) × (outdoor temp - inside temp)

TABLE 26—TRANSMISSION COEFFICIENT U—MASONRY PARTITIONS*

FOR SUMMER AND WINTER

Btu/(hr) (sq ft) (deg F temp diff)

All numbers in parentheses indicate weight per sq ft. Total weight per sq ft is sum of masonry unit and finish × 1 or 2 (finished one or both sides).

BACKING	THICK-NESS (inches) and WEIGHT (per sq ft)	Both Sides Un-Finished	No. of Sides Finished	FINISH								
				½" Gypsum Board (Plaster Board) (2)	½" Plaster on Wall		Metal Lath Plastered on Furring		¾" Gypsum or Wood Lath Plastered on Furring		Insulating Board Plain or Plastered on Furring	
					Sand Agg (6)	1" Lt Agg (3)	¾" Sand Plaster(7)	¾" Lt Wt Plaster(3)	¾" Sand Plaster(7)	½" Lt Wt Plaster(2)	½" Board(2)	1" Board(4)
HOLLOW CONCRETE BLOCK  Cinder Agg	3 (17)	.45	One Both	.39 .35	.43 .41	.38 .33	.30 .23	.27 .20	.28 .20	.26 .18	.21 .14	.16 .10
	4 (20)	.40	One Both	.36 .32	.39 .37	.35 .31	.28 .21	.26 .19	.26 .19	.25 .18	.20 .13	.15 .11
	8 (37)	.32	One Both	.29 .27	.31 .30	.29 .26	.24 .19	.22 .17	.22 .17	.21 .16	.18 .12	.14 .09
	12 (53)	.31	One Both	.28 .26	.30 .29	.27 .25	.23 .18	.21 .16	.22 .17	.21 .15	.17 .12	.14 .09
Lt Wt Agg	3 (15)	.38	One Both	.34 .31	.36 .35	.33 .30	.27 .21	.25 .18	.25 .19	.24 .17	.20 .13	.15 .09
	4 (17)	.35	One Both	.31 .29	.34 .32	.31 .27	.25 .20	.23 .17	.24 .17	.22 .16	.19 .13	.15 .09
	8 (32)	.30	One Both	.27 .25	.29 .28	.27 .24	.22 .18	.21 .16	.21 .16	.20 .15	.17 .12	.14 .09
	12 (43)	.28	One Both	.25 .23	.27 .26	.25 .23	.21 .17	.20 .15	.20 .16	.19 .15	.16 .12	.13 .08
Sand & Gravel Agg	8 (43)	.40	One Both	.36 .32	.39 .37	.35 .31	.28 .21	.26 .19	.26 .19	.25 .18	.20 .13	.15 .11
	12 (63)	.38	One Both	.34 .30	.36 .35	.33 .29	.27 .21	.25 .18	.25 .19	.24 .17	.19 .13	.15 .09
HOLLOW CLAY TILE 	3 (15)	.46	One Both	.40 .36	.44 .42	.39 .34	.31 .23	.28 .20	.28 .20	.27 .19	.22 .14	.16 .10
	4 (16)	.40	One Both	.36 .32	.39 .37	.35 .31	.28 .21	.26 .19	.26 .19	.25 .18	.20 .13	.15 .11
	6 (25)	.35	One Both	.31 .28	.33 .32	.31 .27	.25 .20	.23 .17	.23 .18	.22 .16	.19 .13	.15 .09
	8 (30)	.31	One Both	.28 .26	.30 .29	.28 .25	.23 .18	.22 .16	.22 .17	.21 .16	.18 .12	.14 .09
HOLLOW GYPSUM TILE	3 (9)	.37	One Both	.33 .30	.35 .34	.32 .29	.26 .20	.24 .18	.24 .18	.23 .13	.19 .13	.15 .09
	4 (13)	.33	One Both	.30 .27	.32 .31	.29 .26	.24 .19	.22 .17	.23 .17	.22 .16	.18 .12	.14 .09
SOLID GYPSUM PLASTER 	1½						.61 (13)	.43 (6)				
	2						.58 (18)	.38 (8)				
	2½						.55 (22)	.34 (9)				

1958 ASHAE Guide

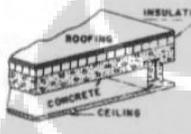
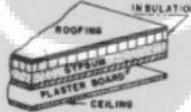
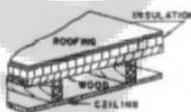
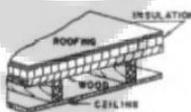
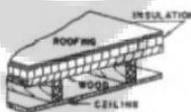
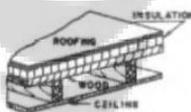
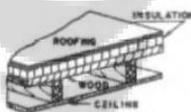
Equations: Partitions, unconditioned space adjacent: Heat Gain or Loss, Btu/hr = (Area, sq ft) × (U value) × (outdoor temp—inside temp—5 F).

Partitions, kitchen or boiler room adjacent: Heat Gain or Loss, Btu/hr = (Area, sq ft) × (U value)

× (actual temp diff or outdoor temp—inside temp + 15 F to 25 F).

TABLE 27—TRANSMISSION COEFFICIENT U—FLAT ROOFS COVERED WITH BUILT-UP ROOFING*
 FOR HEAT FLOW DOWN—SUMMER. FOR HEAT FLOW UP—WINTER (See Equation at Bottom of Page).
 Btu/(hr) (sq ft) (deg F temp diff)

All numbers in parentheses indicate weight per sq ft. Total weight per sq ft is sum of roof, finish and insulation.

TYPE OF DECK	THICK- NESS OF DECK (inches) and WEIGHT (lb per sq ft)	CEILING †	INSULATION ON TOP OF DECK, INCHES							
			No Insu- lation	½ (1)	1 (1)	1½ (2)	2 (3)	2½ (3)	3 (4)	
 Flat Metal	1 (5)	None or Plaster (6)	.67	.35	.23	.18	.15	.12	.10	
		Suspended Plaster (5)	.32	.22	.17	.14	.12	.10	.09	
		Suspended Acou Tile (2)	.23	.18	.14	.12	.11	.09	.08	
 Preformed Slabs—Wood Fiber and Cement Binder	2 (4)	None or Plaster (6)	.20	.16	.13	.11	.10	.09	.08	
		Suspended Plaster (5)	.15	.12	.11	.09	.08	.08	.07	
		Suspended Acou Tile (2)	.13	.10	.09	.08	.08	.07	.06	
	3 (7)	None or Plaster (6)	.14	.11	.10	.09	.08	.08	.07	
		Suspended Plaster (5)	.12	.10	.09	.07	.07	.06	.05	
		Suspended Acou Tile (2)	.10	.09	.08	.07	.07	.06	.05	
 Concrete (Sand & Gravel Agg)	4, 6, 8 (47), (70), (93)	None or Plaster (6)	.51	.30	.21	.16	.14	.12	.10	
		Suspended Plaster (5)	.28	.20	.16	.13	.12	.10	.09	
		Suspended Acou Tile (2)	.21	.16	.13	.11	.10	.09	.08	
	(1) Wt Agg on Gypsum Board	2 (9)	None or Plaster (6)	.27	.20	.15	.13	.11	.10	.08
			Suspended Plaster (5)	.18	.14	.12	.10	.09	.09	.08
			Suspended Acou Tile (2)	.15	.12	.11	.09	.08	.08	.07
	 Gypsum Slab on ½" Gypsum Board	3 (13)	None or Plaster (6)	.21	.16	.13	.11	.10	.09	.08
			Suspended Plaster (5)	.15	.12	.11	.09	.08	.08	.07
			Suspended Acou Tile (2)	.13	.11	.10	.08	.08	.07	.06
 Gypsum Slab on ½" Gypsum Board	4 (16)	None or Plaster (6)	.17	.14	.11	.10	.09	.08	.07	
		Suspended Plaster (5)	.13	.11	.10	.08	.08	.07	.06	
		Suspended Acou Tile (2)	.12	.10	.09	.07	.07	.06	.05	
 Wood	2 (71)	None or Plaster (6)	.32	.22	.17	.14	.12	.10	.09	
		Suspended Plaster (5)	.21	.17	.13	.11	.10	.09	.08	
		Suspended Acou Tile (2)	.17	.13	.12	.10	.09	.08	.07	
	3 (15)	None or Plaster (6)	.27	.19	.15	.13	.11	.10	.08	
		Suspended Plaster (5)	.19	.15	.13	.11	.10	.09	.08	
		Suspended Acou Tile (2)	.15	.12	.11	.09	.08	.08	.07	
 Wood	4 (19)	None or Plaster (6)	.23	.17	.14	.12	.10	.09	.08	
		Suspended Plaster (5)	.17	.13	.12	.10	.09	.08	.07	
		Suspended Acou Tile (2)	.14	.12	.11	.09	.08	.08	.07	
 Wood	1 (3)	None or Plaster (6)	.40	.26	.19	.15	.13	.11	.09	
		Suspended Plaster (5)	.24	.18	.14	.12	.11	.09	.08	
		Suspended Acou Tile (2)	.19	.15	.13	.11	.10	.08	.07	
 Wood	2 (5)	None or Plaster (6)	.28	.20	.16	.13	.11	.10	.08	
		Suspended Plaster (5)	.19	.15	.13	.11	.10	.09	.07	
		Suspended Acou Tile (2)	.16	.13	.11	.10	.09	.08	.07	
 Wood	3 (8)	None or Plaster (6)	.21	.16	.13	.11	.10	.09	.08	
		Suspended Plaster (5)	.16	.13	.11	.09	.09	.08	.07	
		Suspended Acou Tile (2)	.13	.11	.10	.09	.08	.07	.06	

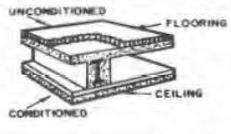
1958 ASHAE Guide

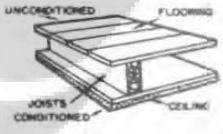
Equations: Summer—(Heat Flow Down) Heat Gain, Btu/hr = (Area, sq ft) × (U value) × (equivalent temp diff, Table 20).
 Winter—(Heat Flow Up) Heat Loss, Btu/hr = (Area, sq ft) × (U value × 1.1) × (outdoor temp—inside temp).

TABLE 30—TRANSMISSION COEFFICIENT U—CEILING AND FLOOR, (Heat Flow Down)

Based on Still Air Both Sides, Btu/(hr) (sq ft) (deg F temp diff)

All numbers in parentheses indicate weight per sq ft. Total weight per sq ft is sum of ceiling and floor.

		* THICKNESS (inches) and WEIGHT (lb per sq ft)	MASONRY CEILING											
			Not Furred				Suspended or Furred							
			None or 1/2" Sand Plaster (5)	1/2" Lt Wt Plaster (3)	Acoustical Tile Glued		Metal Lath Plastered		3/8" Gypsum or Wood Lath Plastered		Insulating Board Plain or 1/2" Sand Agg Plastered		Acoustical Tile on Furring or 3/8" Gypsum	
		1/2" Tile (1)	3/4" Tile (1)	3/4" Sand Plaster (7)	3/4" Lt Wt Plaster (3)	1/2" Sand Plaster (5)	1/2" Lt Wt Plaster (2)	1/2" Board (2)	1" Board (4)	1/2" Tile (1)	3/4" Tile (1)			
FLOOR	CONCRETE SUBFLOOR													
None or 1/2" Linoleum or Floor Tile	Sand Agg	2 (19)	.48	.43	.31	.26	.32	.29	.30	.28	.23	.17	.23	.20
		4 (39)	.44	.40	.30	.25	.31	.28	.28	.27	.22	.17	.22	.20
		6 (59)	.41	.37	.28	.24	.29	.27	.27	.26	.21	.16	.22	.19
		8 (79)	.39	.35	.27	.23	.28	.26	.26	.25	.21	.16	.21	.19
	Lt Wt Agg 80 lb/ft ³	2 (15)	.36	.34	.26	.22	.27	.25	.25	.24	.20	.15	.20	.18
		4 (28)	.29	.26	.21	.19	.22	.21	.21	.20	.17	.14	.17	.16
1/2" Wood Block on Slab	Sand Agg	2 (20)	.36	.33	.25	.22	.26	.24	.24	.23	.20	.15	.20	.18
		4 (40)	.33	.31	.24	.21	.25	.23	.23	.22	.19	.15	.19	.17
		6 (60)	.32	.29	.23	.21	.24	.22	.22	.21	.18	.15	.18	.17
		8 (80)	.30	.28	.23	.20	.23	.22	.22	.21	.18	.14	.18	.16
	Lt Wt Agg 80 lb/ft ³	2 (16)	.29	.27	.22	.19	.22	.21	.21	.20	.17	.14	.17	.16
		4 (29)	.23	.22	.19	.17	.19	.18	.18	.17	.15	.13	.15	.14
Floor Tile or 1/2" Linoleum on 3/4" Plywood on 2" x 2" Sleepers	Sand Agg	2 (22)	.33	.31	.24	.21	.25	.23	.23	.22	.19	.15	.20	.17
		4 (42)	.32	.29	.23	.21	.24	.22	.22	.21	.18	.15	.19	.17
		6 (62)	.30	.28	.23	.20	.23	.21	.22	.21	.18	.14	.18	.16
		8 (82)	.29	.27	.22	.19	.22	.21	.21	.20	.17	.14	.18	.16
	Lt Wt Agg 80 lb/ft ³	2 (19)	.28	.26	.21	.19	.21	.20	.20	.19	.17	.13	.17	.15
		4 (31)	.22	.21	.18	.16	.18	.17	.17	.17	.15	.12	.15	.14
3/4" Hardwood on 1 1/2" Subfloor on 2" x 2" Sleepers	Sand Agg	2 (24)	.26	.25	.20	.18	.20	.20	.20	.19	.16	.13	.17	.15
		4 (44)	.25	.24	.20	.18	.20	.19	.19	.18	.16	.13	.16	.15
		6 (64)	.24	.23	.19	.17	.19	.18	.19	.18	.15	.13	.16	.14
		8 (84)	.23	.22	.19	.17	.19	.18	.18	.17	.15	.12	.15	.14
	Lt Wt Agg 80 lb/ft ³	2 (20)	.22	.21	.18	.16	.18	.17	.17	.17	.14	.12	.15	.14
		4 (33)	.19	.18	.16	.14	.16	.15	.15	.15	.13	.11	.13	.12
		6 (46)	.16	.16	.14	.13	.14	.14	.14	.13	.12	.10	.12	.11

		None	FRAME CONSTRUCTION CEILING										
			Not Furred				Suspended or Furred						
			Acoustical Tile Glued		Metal Lath Plastered		3/8" Gypsum or Wood Lath Plastered		Insulating Board Plain or 1/2" Sand Agg Plastered		Acoustical Tile on Furring or 3/8" Gypsum		
		1/2" Tile (1)	3/4" Tile (1)	3/4" Sand Plaster (7)	3/4" Lt Wt Plaster (3)	1/2" Sand Plaster (5)	1/2" Lt Wt Plaster (2)	1/2" Board (2)	1" Board (4)	1/2" Tile (1)	3/4" Tile (1)		
FLOOR	SUBFLOOR												
None	None			.51	.43	.44	.40	.31	.21	.31	.27		
	3/2" Wood (2) 2" Wood (5)	.35 .27	.25 .18	.22 .16	.26 .19	.24 .17	.24 .18	.23 .17	.19 .15	.15 .12	.20 .15	.17 .14	
1/2" Ceramic Tile on 1 1/2" Cement	3/2" Wood (21) 2" Wood (24)	.38 .24	.18 .14	.17 .13	.19 .15	.18 .14	.18 .14	.17 .14	.15 .12	.12 .11	.13 .12	.14 .12	
	1 1/2" Hardwood Floor or Linoleum on 3/4" Plywood	3/2" Wood (5) 2" Wood (7)	.33 .22	.17 .14	.16 .13	.18 .14	.17 .13	.17 .13	.16 .13	.14 .12	.12 .10	.14 .12	.13 .11
1/2" Linoleum on 3/4" Hardboard on 3/8" Insulating Board		3/2" Wood (5) 2" Wood (8)	.29 .20	.16 .13	.15 .12	.16 .13	.15 .12	.16 .13	.15 .12	.13 .11	.11 .10	.14 .11	.13 .11

1958 ASHAE Guide

Equations: Heat flow down, unconditioned space above: Heat Gain, Btu/hr = (Area, sq ft) × (U value) × (outdoor temp - inside temp - 5 F).
 Kitchen above: Heat Gain, Btu/hr = (Area, sq ft) × (U value) × (actual temp diff, or outdoor temp - inside temp + 15 F to 25 F).

**TABLE 33—TRANSMISSION COEFFICIENT U—WINDOWS, SKYLIGHTS,
DOORS & GLASS BLOCK WALLS**

Btu/(hr) (sq ft) (deg F temp diff)

GLASS											
	Vertical Glass							Horizontal Glass			
	Single	Double			Triple			Single		Double (1/4")	
Air Space Thickness (in.)		1/4	1/2	3/4-4	1/4	1/2	3/4-4	Summer	Winter	Summer	Winter
Without Storm Windows	1.13	0.61	0.55	0.53	0.41	0.36	0.34	0.86	1.40	0.50	0.70
With Storm Windows	0.54							0.43	0.64		



TABLE 45—VENTILATION STANDARDS

APPLICATION	SMOKING	CFM PER PERSON		CFM PER SQ FT OF FLOOR Minimum*
		Recommended	Minimum*	
Apartment (Average De Luxe)	Some	20	15	—
	Some	30	25	.33
Banking Space	Occasional	10	7½	—
Barber Shops	Considerable	15	10	—
Beauty Parlors	Occasional	10	7½	—
Broker's Board Rooms	Very Heavy	50	30	—
Cocktail Bars	Heavy	30	25	—
Corridors (Supply or Exhaust)	—	—	—	.25
Department Stores	None	7½	5	.05
Directors Rooms	Extreme	50	30	—
Drug Stores †	Considerable	10	7½	—
Factories †‡	None	10	7½	.10
Five and Ten Cent Stores	None	7½	5	—
Funeral Parlors	None	10	7½	—
Garage †	—	—	—	1.0
Hospitals (Operating Rooms †** Private Rooms Wards)	None	—	—	2.0
	None	30	25	.33
	None	20	15	—
Hotel Rooms	Heavy	30	25	.33
Kitchen (Restaurant † Residence)	—	—	—	4.0
	—	—	—	2.0
Laboratories †	Some	20	15	—
Meeting Rooms	Very Heavy	50	30	1.25
Office (General Private Private)	Some	15	10	—
	None	25	15	.25
	Considerable	30	25	.25
Restaurant (Cafeteria † Dining Room †)	Considerable	12	10	—
	Considerable	15	12	—
School Rooms †	None	—	—	—
Shop Retail	None	10	7½	—
Theater †	None	7½	5	—
Theater	Some	15	10	—
Toilets † (Exhaust)	—	—	—	2.0

*When minimum is used, use the larger.

‡See local codes which may govern.

†May be governed by exhaust.

§Use these values unless governed by other sources of contamination or by local codes.

**All outdoor air is recommended to overcome explosion hazard of anesthetics.

TABLE 49—HEAT GAIN FROM LIGHTS

TYPE	HEAT GAIN* Btu/hr
Fluorescent	Total Light Watts \times 1.25 [†] \times 3.4
Incandescent	Total Light Watts \times 3.4

*Refer to Tables 12 and 13, pages 35-37 to determine actual cooling load.

[†]Fluorescent light wattage is multiplied by 1.25 to include heat gain in ballast.

