



**UNIVERSITAS BANDAR LAMPUNG**  
**FAKULTAS TEKNIK**

Jl. Hi. Zainal Abidin Pagar Alam No. 26 Bandar Lampung, Phone 0721-701979

---

**SURAT TUGAS**  
No. 007/ST/FT-UBL/III/2017

Dekan Fakultas Teknik Universitas Bandar Lampung dengan ini memberi tugas kepada:

Nama : Ir. Zein Muhamad, MT

Jabatan : Dosen Fakultas Teknik Universitas Bandar Lampung

Untuk melaksanakan kegiatan di bidang penelitian " **Analisa Terhadap Sistem Pendingin Ruangan (AC) Terpasang Pada Ruangan Proses Penenunan (*Weaving Proses*) Di Pabrik Tekstil** ".

Demikian Surat Tugas ini dibuat untuk dilaksanakan sebagaimana mestinya dan setelah dilaksanakan kegiatan tersebut agar melaporkan kepada Dekan

Bandar Lampung, 15 Maret 2017

Dekan,  
  
**Dr. Eng. Fritz Akhmad Nuzir, ST.,MA**



## HALAMAN PENGESAHAN

1. a. Judul Penelitian : “Analisa Terhadap Sistem Pendingin Ruangan (*Ac*) Terpasang Pada Ruangan Proses Penenunan (*Weaving Proses*) Di Pabrik Tekstil”  
b. Bidang Ilmu : Teknik Mesin
2. Pelaksana :
  - a. Nama : Ir. Zein Muhamad, MT.
  - b. Jenis Kelamin : Laki-laki
  - c. NIDN : 0012096409
  - d. Pangkat/Gol. : IIIc
  - e. Jabatan Fungsional : Lektor
  - f. Fakultas/Program Studi : Teknik/Teknik Mesin
  - g. Perguruan Tinggi : Universitas Bandar Lampung
  - h. Pusat Penelitian : LPPM Universitas Bandar Lampung
  - i. Bidang Keahlian : Teknik Mesin
  - j. Waktu Pelaksanaan : Pebruari s/d Juni 2017
3. Lokasi Penelitian : Perusahaan Tekstil PT.X; Jl. Ujung Berung – Bandung Utara
4. Biaya Penelitian : Rp. 8.000.000.-
5. Sumber Dana : Mandiri

Mengetahui,  
Dekan Fakultas Teknik  
**FAKULTAS TEKNIK**  
  
  
**Dr. Eng. Fritz Akhmad Nuzir, ST., MA**

Bandar Lampung, 05 Juli 2017

Ketua Pelaksana,



**Ir. Zein Muhamad, MT**

Menyetujui,  
Lembaga Penelitian dan Pengabdian Pada Masyarakat  
Universitas Bandar Lampung ( LPPM-UBL )  
Ketua

  
  
**LPPM**

**Ir. Lilies Widojoko, MT**

## LEMBAR PERNYATAAN PENGESAHAN HASIL VALIDASI KARYA ILMIAH

Yang bertanda tangan di bawah ini Pimpinan Perguruan Tinggi Universitas Bandar Lampung Menyatakan dengan sebenarnya bahwa **karya ilmiah** sebanyak satu judul yang diajukan sebagai bahan Laporan Beban Kerja Dosen atas nama :

Nama	: Ir. Zein Muhamad, MT
NIP	: 196409121991121001
NIDN	: 0012096409
Pangkat, golongan ruang, TMT	: Penata/ III/c
Jabatan, TMT	: 1 Oktober 1999
Bidang Ilmu/Mata Kuliah	: Teknik Mesin
Jurusan/Program Studi	: Teknik Mesin
Unit Kerja	: Universitas Bandar Lampung Fakultas Teknik Program Studi Teknik Mesin

Telah diperiksa dan divalidasi dengan baik, dan kami turut bertanggung jawab bahwa **karya ilmiah** tersebut telah memenuhi syarat kaidah ilmiah, norma akademik, dan norma hukum, sesuai dengan Peraturan Menteri Pendidikan Nasional Nomor 17 Tahun 2010 tentang Pencegahan dan Pananggulangan Plagiat di Perguruan Tinggi.

Demikian surat pernyataan ini saya buat untuk dipergunakan sebagaimana mestinya.

Bandar Lampung, 20 Juni 2017

Validasi :

An. Rektor Universitas Bandar Lampung  
Wakil Rektor I Bidang Akademik,



universitas  
bandar lampung

Dr. Ir. Hi. Hery Rivanto, M.T.

# **PENELITIAN**

## **ANALISA TERHADAP SISTEM PENDINGIN RUANGAN (AC) TERPASANG PADA RUANGAN PROSES PENENUNAN (*Weaving Proses*) DI PABRIK TEKSTIL**



**OLEH :**

**ZEIN MUHAMAD**

**FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS BANDAR LAMPUNG**

## ABSTRAK

### ANALISA TERHADAP SISTEM AIR CONDITIONING (AC) TERPASANG PADA RUANGAN PROSES PENENUNAN (*Weaving Proses*) DI PABRIK TEKSTIL

Oleh  
ZEIN MUHAMAD

Mesin-mesin pendingin dewasa ini penggunaannya semakin meluas seiring dengan kemajuan teknologi dan taraf hidup manusia. Pada awalnya penggunaan mesin pendingin hanya sebatas untuk mengawetkan makanan, namun saat ini digunakan juga sebagai penyejuk ruangan, pembuatan es batu, pengawetan bahan kimia dan masih banyak lagi. Sebagai penyejuk ruangan mesin pendingin dikenal umum sebagai *air conditioning* (AC), baik yang digunakan dalam ruangan perkantoran, bioskop, bus-bus kota, kendaraan angkutan maupun sebagai penyejuk ruangan dalam sebuah proses industri.

PT. X, merupakan salah satu industri garmen yang melakukan proses penenunan kain bahan jeans (*weaving proses*) yang berada di Bandung. Industri ini memiliki banyak permesinan dan pekerja yang berada dalam satu ruangan sehingga selama proses berlangsung terasa sekali adanya peningkatan temperatur dalam ruang kerja, dan ini sangat mempengaruhi kenyamanan para pekerja selama melakukan pekerjaannya.

Proses berlangsung selama dua puluh empat jam dengan sistem pembagian waktu (*shift*), yang mana dengan ruangan seluas 3192 m<sup>2</sup> didalamnya berisi pekerja ± 56 orang; mesin 75 buah dan alat-alat kelengkapan lainnya. Sehingga ditemukan kondisi dimana para pekerja selalu keluar ruang kerja selama waktu kerja untuk menghirup udara segar dan menghilangkan kepenatannya dalam ruangan, adanya pekerjaan yang tidak mencapai target penyelesaian sehingga cenderung produktifitas menurun.

Setelah dilakukan penelitian dan analisa terhadap hal ini ternyata air condition (AC) yang terpasang kapasitasnya tidak sesuai dengan beban kalor yang ditimbulkan selama pekerjaan berlangsung. Dan dari hasil analisa perhitungan diperoleh bahwa beban kalor aktual yang dihasilkan sebesar 502887,41 (kcal/jam), kalor yang dapat diserap evaporator sebesar 35,028 kcal/kg, daya kompresi aktual untuk mencapai *coefisien of performance* (COP) sebesar 630 % adalah sebesar 275 Hp, refrigeran yang bersirkulasi sebesar 14356.73 kg/jam. Sedangkan AC yang terpasang hanya mampu memberikan *coefisien of performance* (COP) sebesar 104 %, dengan kemampuan penyerapan kalor oleh evaporator hanya sebesar 11235,84 kcal/jam.

Kata kunci : Penyejukan Udara, Kenyamanan, Beban Kalor, Daya Kompresor, Koefisien Prestasi (COP).

## DAFTAR ISI

	Halaman
<b>ABSTRAK .....</b>	<b>i</b>
<b>DAFTAR ISI.....</b>	<b>ii</b>
<b>DAFTAR TABEL .....</b>	<b>v</b>
<b>DAFTAR GAMBAR .....</b>	<b>vi</b>
<b>DAFTAR LAMPIRAN .....</b>	<b>vii</b>
 <b>I. PENDAHULUAN</b>	
Latar Belakang .....	1
Tujuan Penelitian .....	3
Ruang Lingkup Penelitian .....	3
Waktu dan Tempat .....	3
 <b>II. TINJAUAN PUSTAKA</b>	
2.1. Pengantar Umum .....	4
2.2. Pengertian Penyegaran Udara .....	6
2.3. Beban Kalor/ Beban Pendinginan .....	6
2.4. Kriteria Sehat, Nyaman dan Kenyamanan Thermal .....	7
2.5. Kualitas Udara .....	8
2.6. Perkiraan Besarnya Kalor Yang Hilang Dan Yang Diperoleh .....	8
2.7. Sistem Pengkondisian Udara .....	9
2.7.1. Sistem udara .....	10
2.7.2. Sistem Air .....	10

2.7.3. Sistem Tunggal Klasik.....	10
2.7.4. Pengendalian Udara Luar .....	11
2.7.5. Sistem Daerah ( <i>zona</i> ) Berganda Bagi Bangunan Besar .....	11
2.7.6. Sistem Pemanasan Ulang Terminal .....	12
2.7.7. Sistem Dua Saluran ( <i>zona berganda</i> ).....	12
2.7.8. Sistem Volume Udara Variabel .....	13
2.7.9. Sistem Air .....	14
2.7.10. Sistem Unitary .....	15
2.8. Fungsi Komponen Utama Sistem Penyejukan Udara.....	15
2.8.1. Kompresor ( <i>compressor</i> ).....	16
2.8.2. Kondensor ( <i>condenssor</i> ) .....	17
2.8.3. Katup Ekspansi ( <i>expantion valve</i> ) .....	18
2.8.4. Evaporator ( <i>evaporators</i> ) .....	19
2.9. Komponen-Komponen Pendukung Sistem Penyejukan Udara .....	20
2.10. Zat Pendingin ( <i>refrigerant</i> ).....	20
2.10.1. Persyaratan Zat Pendingin.....	21
2.10.2. Karakteristik Thermodinamika Dari Beberapa Jenis Refr..	22
2.10.3. Minyak Pelumas .....	22
2.11. Mekanisme Sistem Proses .....	23
2.12. Penentuan Temperatur Udara Luar, Temperatur Ekuivalen dan Koefisien Perpindahan Kalor .....	24
2.12.1. Penentuan Temperatur Udara Luar .....	24
2.12.2. Penentuan Temperatur Ekuivalen Rdiasi Matahari .....	24

2.12.3. Penentuan Koefisien Perpindahan Kalor .....	24
2.13. Penentuan Beban Kalor Dan Coefisien Of Performance (COP) .....	25
2.13.1. Transmisi Radiasi Matahari Melalui Kaca .....	25
2.13.2. Beban Kalor Sensibel Ruangan Dan Beban Kalor Manusia.....	25
2.13.3. Kalor Ekuivalen Untuk Kerja Kompresi .....	26
2.13.4. Jumlah Refrigeran Yang Bersirkulasi .....	27
2.13.5. Koefisien Prestasi ( <i>Coefficient Of Performance</i> ).....	27

### **III. ANALISA DATA DAN PERHITUNGAN BEBAN KALOR**

3.1. Data Perhitungan.....	28
3.2. Perhitungan Parameter - Parameter Pendukung .....	29
3.3. Penentuan Koefisien Perpindahan Kalor Menyeluruh .....	30
3.4. Penentuan Radiasi Ekuivalen Dan Temperatur Udara Luar .....	32
3.5. Penentuan Beban Kalor Transmisi .....	34
3.6. Peralatan Yang Berada Di Dalam Ruangan .....	35
3.7. Beban Kalor Lampu Neon, Lampu Mercury, Komputer dan Mesin...	36
3.8. Beban Kalor Dari Orang yang Berada Dalam Ruangan .....	36
3.9. Penentuan Temperatur Udara Matahari (SAT).....	36
3.10. Beban Kalor Daerah Perimeter .....	39
3.11. Beban Kalor Laten Daerah Perimeter .....	41
3.12. Beban Kalor Dari Mesin .....	41



3.13. Kalor Yang Diserap Efaporator (Efek Refrigesi).....	44
3.14. Kalor Kerja Kompresor.....	44
3.15. Kalor Pengembunan.....	44
3.16. Jumlah Zat Pendingin (Refrigerant) Yang Bersirkulasi (G) .....	45
3.17. Koefisien Prestasi (COP/ <i>Coefficient Of Performance</i> ).....	45
3.18. Daya Teoritis Kompresor (Ni) .....	45
3.19. Daya Aktual Kompresor (N).....	45
3.20. Jumlah Kalor Yang Dilepaskan Kondensor (Q <sub>c</sub> ) .....	46
3.21. Jumlah Udara Dingin Yang Diperlukan Kondensor (M <sub>a</sub> ) .....	46
3.22. Kapasitas Pendinginan Dari Evaporator (Q <sub>ev.</sub> ) .....	46
3.23. Koefisien Prestasi (COP/ <i>Coefficient Of Performance</i> ).....	47

#### **IV. KESIMPULAN DAN SARAN**

5.1. Kesimpulan .....	48
5.2. Saran .....	48

<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>49</b>
-----------------------------	-----------

## DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
2.1. Karakteristik termodinamika Freon untuk kompresor positif ( kondisi pendinginan ) .....	22
2.2. Faktor transmisi dari jendela .....	25
3.1. Bahan bangunan dan tahanan perpindahan kalornya .....	30
3.2. Temperatur udara luar sesaat dan radiasi matahari total .....	39
3.3. Kalor Sensibel .....	42

## DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
2.1. Kaitan antara bidang-bidang refrigrasi dan pengkondisian udara.....	4
2.2. Sebuah unit atap (rooftop unit).....	5
2.3. Suatu Sistem Daerah Tunggal ....	10
2.4. Pemanasan, Pelembaban udara, Pendinginan dan penurunan kelembaban .....	10
2.5. Kendali Udara Luar .....	11
2.6. Suatu System Pemanasan Ulang Terminal Diagram.....	12
2.7. Sistem Dua Saluran .....	13
2.8. Siklus Kompresi Ideal Kompresor Torak .....	17
2.9. Salah Satu Jenis Kompresor Torak .....	17
2.10. Jenis Kondensor Terpasang .....	18
2.11. Katup Ekspansi Terhubung Pada <i>Receiver, Drier</i> Dan Evaporator .....	19
2.12. Evaporator Koil Dengan Pendinginan Udara .....	19
2.13. Sistem Kerja Air Conditioning .....	20
2.14. Siklus Refrigerasi dan P-h Diagram .....	23
2.15. Beban Kalor Total Yang Terjadi .....	26
3.1. P – h Diagram.....	42
3.2. Diagram Tekanan – Enthalpi dari Refrigeran – R22 .....	43

## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran	Halaman
1. Unit Pengolahan Udara .....	50
2. a). Tipikal Pemetaan Garis Skala Psikrometrik Chart .....	51
2. b). Tipikal Pemetaan Garis Skala Suhu Bola Kering (DB), Kelembaban Spesifik (Specific Humidity, W), Dan Garis Saturasi (Saturation Line) .....	51
2. c). Tipikal Pemetaan Garis Skala Kelembaban Relative (RH) .....	52
2. d). Tipikal Pemetaan Garis Skala Volume Spesifik Yang Segaris Dengan Suhu Bola Basah (Wet Bulb), Suhu Titik Embun (Dew Point Temperature) Dan Entalpi .....	52
3. Tahanan Kalor Dan Kapasitas Kalor Dari Bahan Bangunan .....	53
4. a). Koefisien Transmisi Kalor .....	54
4. b). Jumlah Udara, Kalor Sensibel dan Kalor Laten .....	55
5. Sifat Refrigran 22 Cairan Dan Uap Jenuh .....	56
6. Diagram Temperatur Bola Basah dan Bola Kering .....	57
7. a). Komponen Air Conditioning (AC) Terpasang .....	58
7. b). Diagram Siklus Air Conditioning (AC) .....	58
8. Air Conditioning Sistem Sentral Pada Industri .....	59

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang Penelitian

Mesin pendingin pada dewasa ini semakin banyak dimanfaatkan, seiring dengan kemajuan teknologi dan meningkatnya taraf kehidupan manusia. Penggunaan yang umum adalah untuk mengawetkan makanan; kegunaan lainnya adalah sebagai penyejuk ruangan, mendinginkan minuman (*beverage cooling*), untuk keperluan rumah tangga sampai pada keperluan industri. Juga pada pengangkutan yang menggunakan jasa angkutan baik angkutan darat, laut maupun udara; agar barang-barang angkutannya tidak cepat membusuk maka digunakanlah mesin pendingin.

Di atas sudah diterangkan bahwa selain untuk mendinginkan bahan makanan maka mesin pendingin juga digunakan sebagai penyejuk ruangan, yang dikenal dengan nama air conditioning (AC). Di Indonesia penggunaan mesin-mesin pendingin akan menjadi lebih meluas karena negara kita adalah negara tropis (beriklim panas). Sehingga banyak kita temui di gedung-gedung perkantoran, bioskop, kereta api, kantor-kantor sampai pada aktifitas di industri yang sudah dilengkapi dengan fasilitas AC. Dalam dunia industri misalnya, untuk terjadinya suatu proses kimia tertentu kadang-kadang membutuhkan suhu/temperatur yang tertentu pula; disamping kenyamanan para pekerjanya juga merupakan hal yang harus menjadi perhatian dalam proses kerjanya sehingga kegiatan kerja dapat berjalan dengan baik dan lancar dan pada akhirnya produktifitas perusahaan dapat ditingkatkan.

Sesuai dengan namanya, tata udara atau pengkondisian udara berkaitan dengan kondisi udara di dalam suatu ruang tertentu. Tata udara tidak hanya berkaitan dengan pengaturan suhu udara melainkan juga pengaturan kelembaban dan pergerakan udara ruang termasuk penyaringan udara untuk mendapatkan udara ruang yang bersih serta bebas polutan.

Dalam melakukan pekerjaannya, manusia menginginkan keadaan dalam ruangan dengan kondisi yang nyaman, sehingga aktifitas yang dilakukan dapat berjalan dengan maksimal. Untuk itu panas yang berasal dari berbagai sumber panas yang ada yang mengganggu kenyamanan kerja para pekerja serta guna melindungi peralatan agar tetap dalam keadaan yang presisi maka panas harus dikeluarkan dari ruangan tersebut. Untuk itulah tepat kiranya digunakan mesin pendingin seperti air conditioning untuk melakukan hal ini.

PT. X yang merupakan salah satu perusahaan industri garmen yang berada di Bandung, bergerak dalam bidang usaha pembuatan bahan jeans (*Denim*) yang menggunakan cukup banyak permesinan terutama dalam proses penenunannya (*Weaving Proses*), mesin-mesin tersebut bekerja secara terus menerus (non stop). Akibat daripada kerja mesin yang non stop ini maka temperatur dalam ruang kerja cenderung akan terus meningkat; hal ini akan sangat sangat mengganggu kenyamanan kerja para pekerjanya. Untuk itu penggunaan mesin penyejukan udara dalam ruangan kerja sangatlah penting agar temperatur ruang dapat dipertahankan pada kondisi yang diinginkan

Pada ruangan kerja akan selalu terjadi proses konduksi panas, baik yang berasal dari kerja mesin, panas matahari maupun panas akibat gerak para pekerja di dalamnya, maka beban kalor yang timbul perlu di perhitungan kembali.

Sebagai obyek penelitian dilakukan pada Perusahaan PT.X; yang bergerak pada bidang industri garmen di Bandung tepatnya di Jln. Raya Ujung Berung.

## 1.2. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah menganalisa berapa besar jumlah beban kalor maksimum yang timbul sebagai akibat kerja yang harus diterima oleh mesin pendingin sebagai beban kalor pendingin serta menentukan daya kompresor yang tepat untuk kerja sistem pendinginan udara (AC) yang terpasang.

## 1.3 Ruang Lingkup Penelitian

Penelitian hanya menganalisa beban pendingin atau beban kalor maksimum yang timbul akibat aktifitas kerja baik oleh manusia, permesinan maupun panas dari radiasi matahari saat proses kerja berlangsung, kapasitas kompresor terpasang serta koefisien permormance dari air condition yang terpasang di industri garmen yang membuat bahan jeans pada proses penenunan (*weaving proces*) tersebut.

Adapun beberapa batasan masalah yang diberikan agar penelitian lebih terarah, yaitu

1. Yang diteliti serta analisa adalah menyangkut beban kalor yang diterima oleh air condition (AC) terpasang.
2. Perhitungan beban kalor yang ditimbulkan oleh matahari, manusia, mesin, maupun partisi
3. Perhitungan *coeficient off performance* (daya guna) mesin serta penentuan daya kompresor yang sesuai dengan beban panas yang diterima.

## 1.4. Waktu dan Tempat

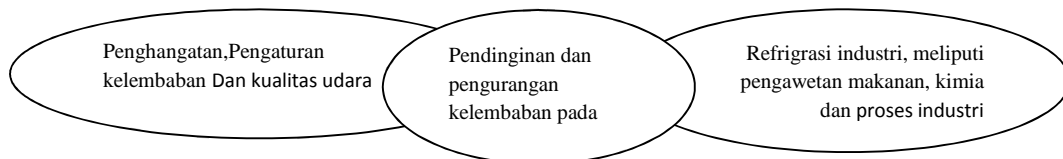
Penelitian dilaksanakan mulai dari bulan Pebruari sampai dengan bulan Juni tahun 2017, pada Perusahanan garmen pembuatan bahan jeans bagian proses penenunan (*weaving proces*) di Perusahaan PT. X yang berkedudukan di Kota Bandung Utara – Jl. Ujung Berung.

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1. Pengantar Umum

Bidang refrigrasi dan pengkondisian udara memiliki kaitan satu sama lain, tetapi masing-masing memiliki fungsi yang berbeda, seperti terlihat pada gambar 1-1. Penerapan teknik refrigrasi yang terbanvak adalah *refrigerasi industri* yang meliputi pemrosesan, pengawetan makanan. penyerapan kalor dari bahan-bahan kimia, perminyakan dan lain-lain. Selain itu terdapat penggunaan pada industri manufaktur dan konstruksi. Definisi pengkondisian udara nyaman (*comfort air conditioning*) adalah "proses perlakuan terhadap udara untuk rnengatur suhu kelembaban, kebersihan serta pendistribusiannya secara serentak guna mencapai kondisi yang nyaman oleh penghuni yang berada didalamnya"

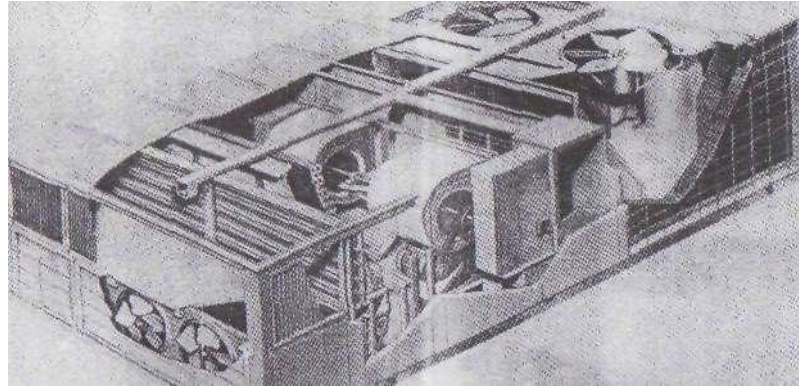


Gambar 2-1 Kaitan antara bidang-bidang refrigrasi dan pengkondisian udara.

Bangunan berukuran sedang dan besar kebanyakan menggunakan unit pengkondisi udara untuk mendapatkan tingkat kenyamanan [*comfort air conditioning*], yaitu untuk mendapatkan kondisi udara yang nyaman bagi orang yang berada di dalam ruangan tersebut biasanya digunakan sistem pengkondisian udara sentral.

Bangunan komersial yang berfungsi tunggal seperti toko dan pabrik biasanya menggunakan unit atap (*rooftop units*) yang dipasang di atas atap, untuk mensuplai udara yang telah dikondisikan ke dalam ruangan di bawahnya.





Gambar 2-2 Sebuah unit atap (rooftop unit). {Lennox Industrie\*. Inc.)

Pengkondisian udara untuk industri adalah usaha menciptakan lingkungan yang nyaman bagi para pekerja yang berada di dalam lingkungan kerja yang berbahaya dan juga untuk pengaturan kondisi udara yang dapat mendukung pemrosesan bahan. Perusahaan garmen merupakan salah satu perusahaan tekstil yang bahannya bersifat sensitif terhadap perubahan suhu dan kelembaban udara. Perajutan di dalam pabrik tekstil modern yang berkembang begitu cepatnya akan selalu diperhadapkan dengan perubahan *fleksibilitas dan kekuatan bahan* timbulnya medan listrik statis harus dicegah agar kualitas kerja dan kualitas hasil dapat dipertahankan.

Ruangan pabrik dengan berbagai komponen permesinan harus tetap dipertahankan kepresisian dari mesin-mesin tersebut, ruangnya harus bebas dari debu (*Precision parts and clean rooms*). Untuk itu pengkondisian udara mempunyai tiga fungsi utama yaitu; menjaga keseragaman suhu agar bahan tidak memuai atau menyusut, menjaga kelembaban udara dan bebas dari debu. Tingkat kenyamanan suatu ruangan juga sangat ditentukan oleh beberapa faktor diantaranya temperatur udara, kelembaban udara, kecepatan aliran udara, aktifitas yang terjadi dalam ruangan, jenis pakaian yang di pakai oleh para pekerja dan warna dinding ruangan.

## 2.2 Pengertian Penyegaran Udara

Penyegaran udara adalah suatu proses mendinginkan udara sehingga dapat mencapai temperatur dan kelembaban yang sesuai dengan yang dipersyaratkan terhadap kondisi udara dari suatu ruangan tertentu; selain itu juga untuk mengatur aliran udara dan kebersihan.

(Sumber: Wiranto A. dan Heizo Saito: *Prinsip Dasar Penyegaran udara*, 1981)

Sistem penyegaran udara pada umumnya dibagi menjadi dua golongan utama:

1. Penyegaran udara untuk kenyamanan dalam ruangan; untuk memberikan kenyamanan kerja bagi orang yang melakukan kegiatan tertentu.
2. Penyegaran udara untuk industri; diperlukan oleh proses, bahan, peralatan atau barang yang ada di dalamnya.

## 2.3 Beban Kalor / Beban Pendinginan

Beban kalor merupakan beban kalor yang harus diatasi oleh udara yang keluar dari alat penyegar udara, supaya kondisi udara di dalamnya dapat dipertahankan pada kondisi (temperatur dan kelembaban) yang diinginkan, yakni:

- 1). Kalor yang masuk dari luar ruangan ke dalam ruangan (beban kalor perimeter / “*perimeter heat load*”) seperti sinar matahari, udara luar (*ventilasi dan infiltrasi*) dan panas mesin
- 2). Beban kalor yang bersumber dari dalam ruangan itu sendiri (*beban kalor interior*) seperti manusia, lampu dan peralatan tambahan dalam ruangan

Dengan perhitungan beban pendingin/beban kalor maka dapat diketahui jumlah panas yang ada dalam ruangan yang harus dikondisikan; baik itu berupa panas sensibel maupun yang berupa panas laten.

#### **2.4 Kriteria Sehat, Nyaman dan Kenyamanan Thermal**

Tubuh manusia adalah suatu organisme yang dapat menyesuaikan diri secara menakjubkan. Dalam waktu yang lama tubuh mampu berfungsi di dalam kondisi termal yang cukup ekstrim. Tetapi keanekaragaman suhu dan kelembaban udara luar seringkali berada pada keadaan yang diluar batas kemampuan adaptasi tubuh. Karena itu diperlukan kondisi yang baik di dalam ruangan agar lingkungan yang sehat dan nyaman dapat dipertahankan.

Faktor-faktor yang mempengaruhi kenyamanan thermal pertama adalah kalor dalam tubuh yang diproduksi oleh proses metabolisme untuk menjaga suhu tubuh. Proses metabolisme ini dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti umur, kesehatan, dan tingkat kegiatan. Sebagai contoh, kondisi suatu ruangan tertentu mungkin cocok ditempati oleh seseorang yang sehat, tetapi tidak cocok bagi orang yang sedang sakit.

Tubuh terus-menerus menghasilkan kalor yang harus disalurkan, untuk menjaga agar suhu tubuh tetap. Bagi seorang yang sedang istirahat atau mengerjakan pekerjaan ringan di dalam ruang yang terkondisi, tubuhnya mengeluarkan kalor dengan cara konveksi dibawah oleh udara sekitar dan diradiasikan kepermukaan lingkungan yang suhunya lebih rendah dari suhu tubuh.

Masing- masing komponen penyaluran kalor ini jumlahnya mendakati 30 % dari jumlah kalor yang dilepaskan. Penguapan dari pernapasan dan keringat berjumlah 40%.

Kalau kondisi lingkungan atau tingkat kegiatan berubah maka prosentasi ini akan berubah pula; misalnya jika seseorang sedang mengerjakan pekerjaan berat maka mekanisme penyaluran kalor yang utama adalah melalui proses penguapan.

Terdapat empat faktor lingkungan yang mempengaruhi kemampuan tubuh menyalurkan kalor yakni suhu udara, suhu permukaan-permukaan yang ada disekitar, kelembaban dan kecepatan udara. Jumlah dan jenis pakaian serta tingkat kegiatan penghuni juga berkaitan erat dengan keempat faktor ini.

## **2.5. Kualitas Udara**

Kualitas udara harus juga dijaga untuk kepentingan kesehatan dan kenyamanan. Sumber-sumber pengotor dapat berada di dalam dan di luar ruangan. Kualitas udara di dalam ruangan diatur dengan menyingkirkan komponen pengotor tersebut atau dengan memasukan udara segar. Ventilasi memegang peranan penting dalam kedua proses tersebut. Ventilasi didefinisikan sebagai kegiatan pemasukan udara segar secara alamiah kedalam ruangan. Biasanya ventilasi udara diambil dari udara luar dan udara yang didaurkan. Ventilasi menimbulkan beban yang berarti bagi peralatan penghangatan dan pendinginan, karena ventilasi merupakan faktor yang utama dalam penggunaan energi.

## **2.6. Perkiraan Besarnya Kalor Yang Hilang Dan Yang Diperoleh**

Perpindahan kalor yang melalui suatu selubung bangunan sangat dipengaruhi oleh jenis bahan yang digunakan; faktor geometris bangunan seperti ukuran, bentuk dan orientasinya; sumber-sumber kalor dalam dan faktor-faktor iklim. Sehingga dalam merancang suatu system maka faktor tersebut perlu diperhitungkan begitu juga dampak dari interaksinya.

Perhitungan kehilangan dan perolehan kalor berguna untuk menentukan kapasitas yang diperlukan dalam berbagai peralatan pemanasan dan pengondisian udara untuk mempertahankan kondisi nyaman didalam suatu ruangan.

Karena itu perhitungan-perhitungan beban penghangatan dan pendinginan yang berkaitan dengan kondisi lingkungan yang mendekati harga ekstrim sering didasarkan pada kondisi-kondisi puncak.

Beban umum dibagi dalam empat kelompok berdasarkan hasil yang telah dikembangkan oleh ASHRE yakni :

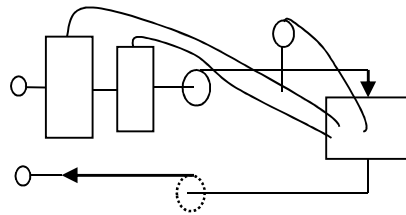
1. Transmisi yaitu kalor yang hilang atau perolehan kalor yang disebabkan oleh beda suhu antara kedua sisi elemen bangunan.
2. Panas matahari yaitu perolehan yang disebabkan oleh penjararan energi matahari melalui komponen bangunan yang tembus pandang atau penyerapan oleh komponen bangunan yang tidak tembus cahaya.
3. Perembasan udara yaitu kehilangan atau perolehan kalor yang disebabkan oleh perembasan udara luar kedalam ruangan yang dikondisikan.
4. Sumber dalam yakni perolehan kalor yang disebabkan oleh pelepasan energi yang terjadi di dalam ruangan.

## **2.7. Sistem Pengkondisian Udara**

Sistem pengkondisian udara merupakan suatu sistem peralatan yang bekerja memindahkan kalor di antara ruangan yang dikondisikan dengan sumber atau penampung kalor dengan cara membawa udara ventilasi masuk kedalam ruangan. Kebanyakan sistem pengkondisian udara melayani zona-zona berganda, yang meliputi :

### 2.7.1. Sistem udara

- a. Pemanasan ulang pada terminal ( *terminal reheat* )
- b. Dua-saluran ( *dual duct* ) atau daerah berganda
- c. Volume udara variabel



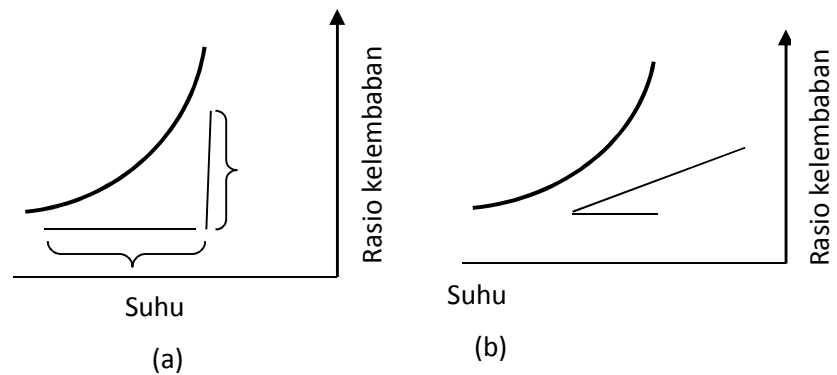
Gambar. 2.3. Suatu Sistem Daerah Tunggal

### 2.7.2. Sistem air

- a. Dua pipa
- b. Empat pipa

### 2.7.3. Sistem tunggal klasik

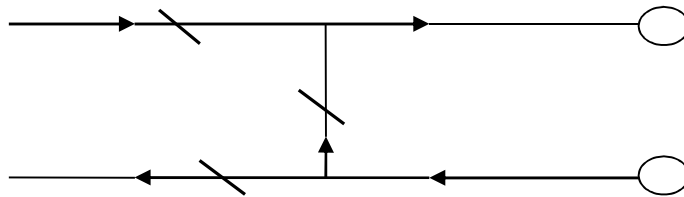
Pengaturan suhu dilakukan oleh sebuah *thermostat* yang mengendalikan koil pendingin atau pemanas, dan kelembaban diatur oleh sebuah *humidistat* yang mengendalikan pelembab udara (*humidifier*)



Gambar.2.4 (a) pemanasan dan Pelembaban udara, (b) pendinginan dan penurunan kelembaban

#### 2.7.4. Pengendalian udara luar

Dalam banyak instalasi pengkondisian udara untuk kenyamanan, kadar udara ventilasi dari ruangan minimum adalah antara 10 hingga 20 persen dari laju aliran udara suplai total. Jika fungsi utama sistem pengkondisian udara adalah untuk pendinginan, maka perlu dijaga suhu udara sempurna di titik A pada suhu kira-kira  $13^{\circ}\text{C}$  hingga  $14^{\circ}\text{C}$ , dengan menggunakan suatu alat pengatur udara luar yang standar. Fungsi lain dari pengatur udara luar adalah untuk menjamin bahwa kadar minimum udara luar tersebut dapat terjaga.

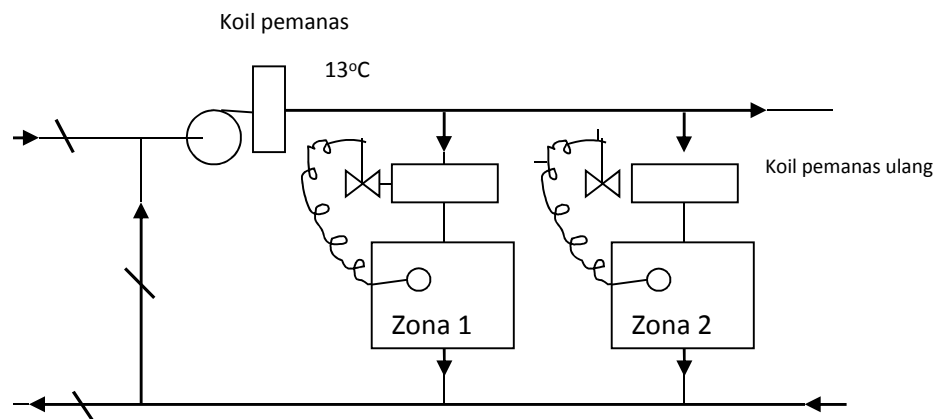


Gambar. 2.5. Kendali Udara Luar

2.7.5. Sistem daerah (*zona*) berganda bagi bangunan besar. Biasanya tidak ekonomis bila menggunakan sistem- sistem terpisah untuk masing-masing zona. Satu zona dapat berupa satu ruangan, satu lantai bangunan, satu sisi bangunan, atau satu ruang interior. Pada prinsipnya satu zona adalah ruangan yang dikendalikan oleh satu thermostat. Jenis ini banyak ragamnya tetapi yang paling banyak digunakan adalah:

1. Sistem volume konstant
  - a. Pemanas ulang pada terminal
  - b. Dua saluran atau zona ganda
2. Sistem volume variable
  - a. Pendinginan atau pemanasan berfungsi tunggal
  - b. Pendinginan dengan pemanasan ulang
  - c. Dua saluran volume variable

2.7.6. Sistem pemanasan ulang terminal. Pada sistem ini suhu udara dapat diturunkan hingga kira-kira  $13^{\circ}\text{C}$  agar terjadi penurunan kelembaban udara. Thermostat pada setiap zona berfungsi mengatur koil pemanas ulang yang berhubungan dengan zona tersebut, sehingga suhu udara masuk dapat dipertahankan. Keuntungan dari sistem pemanas ulang terminal diantaranya adalah penggunaan ruang saluran udara yang kecil serta pengaturan suhu dan kelembaban yang memuaskan. Kelemahan utama sistem ini adalah kebutuhan energinya yang relatif tinggi. Namun hal ini dapat diatasi dengan cara menaikkan suhu udara suplai dingin hingga satu dari koil-koil pemanas benar-benar berhenti bekerja.



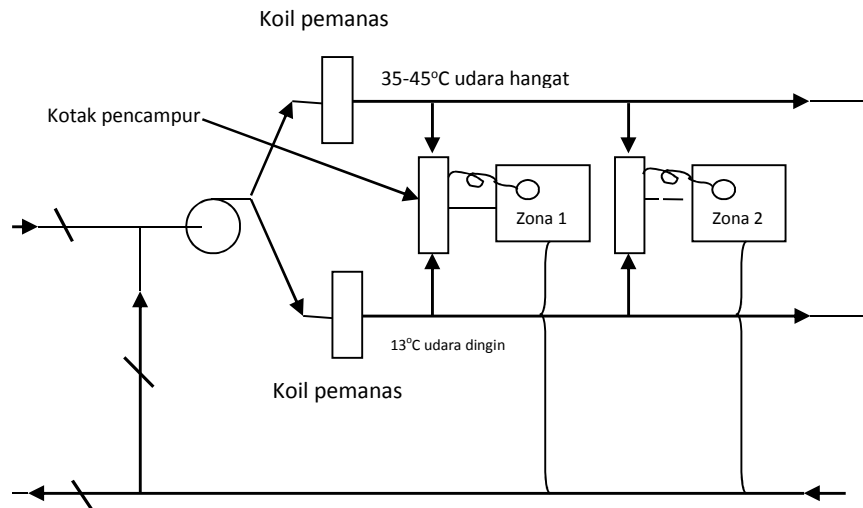
Gambar. 2.6. Suatu System Pemanasan Ulang Terminal

### 2.7.7. Sistem dua saluran atau zona berganda

Dalam sistem dua saluran udara dari kipas disuplai dan dibagi-bagi. Sebagian udara mengalir melalui koil pemanas dan sebagian melalui koil pendingin. Sistem dua saluran sangat tanggap untuk mengubah beban zona dan dapat secara serentak memanaskan satu zona dan mendinginkan zona yang lain. Satu kelemahan dari sistem ini adalah memiliki saluran pensuplai udara yang kembar, yang keduanya harus cukup besar untuk melewati aliran udara total.



Sistim zona berganda secara termal identik dengan sistem dua saluran, tetapi susunanya berbeda pada sistem ini kotak-kotak pencampur disusun pada unit sentral dan masing-masing saluran membawa udara campuran ke masing-masing zona.



Gambar. 2.7. Sistem Dua Saluran

#### 2.7.8. Sistem volume udara variabel

Karakteristik energi yang buruk khususnya selama beban-beban pemanasan dan pendinginan yang ringan pada sistem udara volume konstan berhasil digantikan dengan rancangan baru yakni sistem volume udara variable (VAV).

Tiga macam konfigurasi yang penting dari sistem ini adalah :

1. Pendingin atau pemanas saja
2. Pemanas ulang VAV
3. Dua saluran VAV

Pada sistem pendingin saja, semua daerah dilayani oleh arus tunggal udara dingin dan thermostat pada setiap zona mengatur sebuah damper untuk mengendalikan laju aliran udara dingin menuju zona tersebut. Sistem pendinginan saja VAV banyak digunakan untuk ruang-ruang interior bangunan tanpa beban pemanasan dan hanya terdapat beban pendinginan.

Sistem pemanasan ulang VAV identik dengan jalur pencabangan kemasing-masing zona yang berisi koil pemanas ulang. Urutan pengaturan adalah sebagai berikut, bila beban pendingin turun damper segera mengurangi laju aliran udara hingga kira-kira 25 – 30 persen dari laju aliran penuh.

Sistem dua saluran VAV susunanya sama dengan sistem dua saluran biasa, kecuali untuk karakteristik aliran pada kotak-kotak pencampur. Sistem tidak mengalirkan udara dengan laju konstan tetapi mempunyai damper-damper yang disusun sedemikian sehingga laju aliran udara hangat dan dingin jauh berkurang sebelum arus lain mulai mensuplai udara.

#### 2.7.9. Sistem air

Sistem air menghasilkan pemanasan dan pendinginan hanya dengan pendistribusian air saja, walaupun pemindahan kalor akhir di dalam ruangan yang dikondisikan adalah ke atau dari udara. Sedangkan udara luar untuk ventilasi harus dimasukkan dan dikondisikan dalam setiap zona. Unit-unit fan-coil (koil-kipas) dapat dilayani oleh sistem distribusi air dua atau empat pipa. Sistem dua pipa umumnya melayani unit-unit dengan koil tunggal dan sistem tersebut dapat melakukan pemanasan atau pendinginan tetapi tidak mungkin untuk memanaskan beberapa zona dan mendinginkan zona-zona yang lain secara bersamaan.

Sistem empat pipa digunakan untuk melayani unit koil-kipas yang mempunyai dua-koil, satu untuk pemanasan dan satu untuk pendinginan. Lingkaran air panas dan air dingin mempunyai pipa-pipa suplai dan pipa balik sendiri-sendiri. Thermostat ruangan berfungsi mengatur aliran air panas dan air dingin ke koil-koil, tetapi kendali tersebut bekerja secara berurutan sehingga air panas berhenti sebelum air dingin dimasukkan ke koilnya begitu sebaliknya.

#### 2.7.10. Sistem unitari

Sistem unit berganda (*multiple unit/ unitari*) adalah unit-unit yang dibuat dipabrik dan ditempatkan di dalam atau di dekat ruangan yang dikondisikan. Sistem ini dapat ditemui dalam bentuk satuan paket (*package*) yang berisi koil penguap, kendali-kendali, kipas, kompresor dan kondensor atau mungkin unit terpisah (*split*). Apabila digunakan secara tepat, sistem-sistem unit berganda ini dapat memberikan keuntungan berupa penghematan biaya operas. Kelemahan dari sistem unitari adalah sedikitnya pilihan yang berkenaan dengan ukuran penguap, kondensor, kompresor, dan kendali-kendali. Karena setiap unit harus mampu memikul beban puncak ruang yang dilayani, maka kapasitas terpasang dan beban listrik yang bersangkutan umumnya lebih besar dari sistem sentral. Contohnya AC Windows, Split, AC Roof dan unit Sentral.

### 2.8. Fungsi Komponen Utama Sistem Penyegaran Udara

Fungsi utama mesin pengkondisian udara adalah mengatur suhu, kelembaban dan kecepatan udara sesuai dengan persyaratan. Sehingga untuk menjalankan siklus fungsi tersebut mesin ini dilengkapi dengan apa yang disebut sebagai komponen – komponen utama mesin yakni: kompresor, kondensor, katup ekspansi dan evaporator. Kompresor

berfungsi mengalirkan dan menaikkan tekanan gas refrigeran (zat pendingin); yang selanjutnya di cairkan di dalam kondensor. Dari kondensor refrigeran diuapkan dengan menyemprotkannya melalui katup ekspansi ke dalam evaporator yang bertekanan rendah. Refrigeran yang menguap di dalam evaporator menyerap kalor dari udara yang ada di sekitarnya. Sebelum Freon merupakan zat pendingin yang banyak digunakan saat ini, amonia merupakan zat pendingin yang paling populer.

### 2.8.1. Kompresor (*compressor*)

Kompresor berfungsi mengisap uap refrigeran tekanan rendah dari sisi keluar evaporator pada tekanan yang rendah agar refrigeran yang di isap tetap berada pada fase gas dengan temperatur yang rendah. Di dalam kompresor gas refrigeran di tekan sehingga tekanan dan temperturnya naik, gas tersebut selanjutnya di alirkan ke dalam kondensor. Energi yang diperlukan untuk mmenggerakkan kompresor berasal dari jaringan listrik atau penggerak mula lainnya. Jumlah refrigeran yang bersirkulasi dalam siklus pendinginan tersebut tergantung pada jumlah uap refrigeran yang dihisap masuk ke dalam kompresor pada saat langkah hisapnya.

Daya aktual untuk menggerakkan kompresor dihitung :

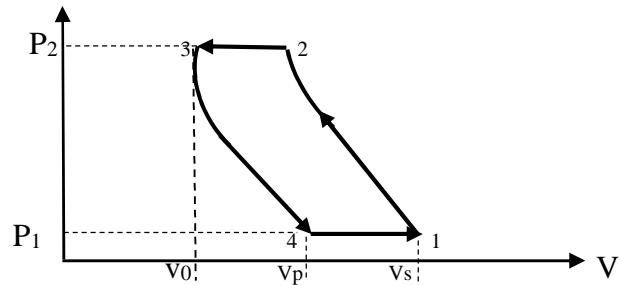
$$N = N_{is} / \eta_c \cdot \eta_m \quad (\text{KW})$$

$N_{is}$  = daya kompresor isentropic (KW)

$\eta_c$  = efisiensi kompresi (%)

$\eta_m$  = efisiensi mekanik (%)

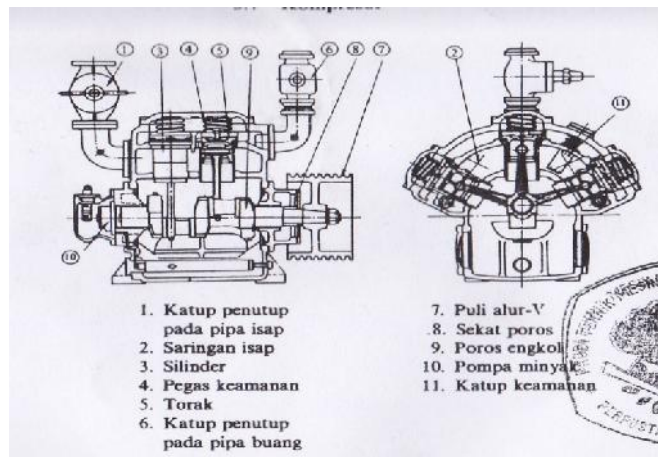
(Sumber: Wiranto Arismunandar dan Heizo Saito: *Prinsip Dasar Penyegaran udara*, 1981)



Gambar 2.8. Siklus Kompresi Ideal Kompresor Torak

Keterangan :

- 1 – 2 : Proses kompresi isentropis
- 2 – 3 : Proses pada langkah tekan
- 3 – 4 : Proses ekspansi isentropis
- 4 – 1 : Proses pada langkah isap
- $P_1$  : Tekanan isap
- $P_2$  : Tekanan Tekan
- $V_0$  : Volume mula-mula
- $V_p$  : Volume langkah torak
- $V_s$  : Volume langkah isap



Gambar 2.9. Salah Satu Jenis Kompresor Torak

### 2.8.2. Kondensor (*condenser*)

Kondensor dimaksudkan untuk mengkondensasikan uap / gas refrigeran (zat pendingin) pada tekanan dan temperatur yang cukup tinggi. Proses pengkondensasian gas refrigeran dapat dilakukan dengan menggunakan air atau udara. Dengan kata lain gas refrigeran yang berasal dari kompresor dalam kondensor panasnya (panas laten

pengembunan) diberikan ke air atau udara yang berfungsi sebagai pendingin melalui dinding-dinding kondensor. Jumlah udara yang diperlukan kondensor untuk mengembunkan uap refrigeran dihitung sbb:

$$M_a = \frac{Q_c}{0,28 \times (T_4 - T_3)} \quad (\text{m}^2 / \text{jam})$$

Dimana,

$M_a$  = Jumlah udara yang diperlukan kondensor ( $\text{m}^2/\text{jam}$ )

$Q_c$  = Kalor pengembunan (kkal./jam)

$T_4$  = Temperatur udara pendingin keluar ( $^{\circ}\text{C}$ )

$T_3$  = Temperatur udara pendingin masuk ( $^{\circ}\text{C}$ )

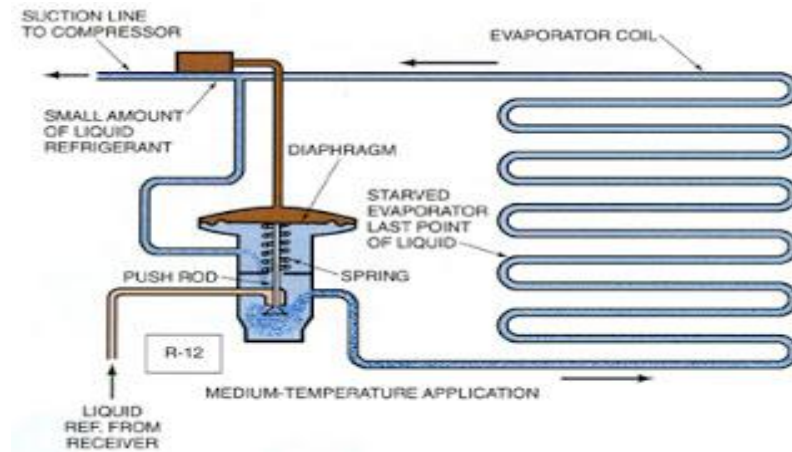


Gambar 2.10. Jenis Kondensor Terpasang

### 2.8.3. Katup Ekspansi (*expansion valve*)

Ketup ekspansi berfungsi menurunkan tekanan zat pendingin cair dari tekanan kondensasi ke tekanan evaporasi dan mengatur aliran zat pendingin yang menuju evaporator.

*Expansion valve* pada dasarnya adalah katup mekanis, didalamnya terdapat membran, pegas, sensor panas yang berisi raksa (*heat sensitizing tube*). Kadang dipasang menempel pada evaporator, kadang ada di bagian luar kabin kendaraan namun terhubung dengan pipa-pipa (*liquid tube* dan *suction tube*).



Gambar 2.11. Katup Ekspansi Terhubung Pada *Receiver*, *Drier* Dan Evaporator

#### 2.8.4. Evaporator (*evaporators*)

Merupakan hasil akhir proses kerja dari semua komponen ac mobil, ditempat inilah dingin dihasilkan dan diserap oleh kisi-kisi evaporator yang kemudian di tiup oleh udara motor blower ke seluruh ruangan kabin.



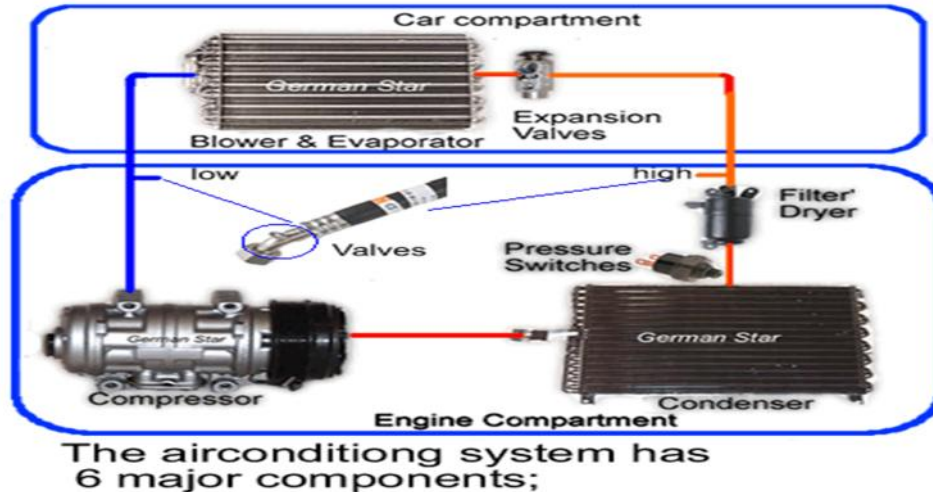
Gambar 2.12. Evaporator Koil Dengan Pendinginan Udara

Untuk menentukan kapasitas pendinginan dari evaporator digunakan persamaan :

$$Q_{\text{evp.}} = k \times A \times \Delta t_m \quad (\text{kkal. / jam})$$

dimana,

- $Q_{\text{evp.}}$  = Kapasitas pendingin dari evaporator (kkal./jam)
- $k$  = Koefisien perpindahan kalor total (kkal./m<sup>2</sup>. jam . °C)
- $A$  = Luas ruangan (m<sup>2</sup>)
- $\Delta t_m$  = Perbedaan temperatur rata-rata (°C)



Gambar. 2.13. Sistem Kerja Air Conditioning

## 2.9. Komponen-Komponen Pendukung Sistem Penyebaran Udara

Agar instalasi penyejukan udara dapat bekerja dengan baik, maka diperlukan alat-alat tambahan yang dapat mendukung pengoperasian sistem. Peralatan tambahan tersebut diantaranya adalah:

1. Penampung cairan (*received liquid*)
2. Penyaring dan Pengering (*filter and dryer*)
3. Thermostat
4. *Equalizer line*
5. *Hand valve*
6. *Sight glass*
7. *Suction line*
8. *Discharge line*

## 2.10. Zat Pendingin (*refrigerant*)

Zat pendingin (*refrigerant*) merupakan faktor penting yang menentukan apakah sebuah sistem pendingin menjalankan fungsinya dengan baik atau tidak.



Untuk itu pemilihan jenis zat pendingin yang akan digunakan harus yang paling sesuai dengan jenis kompresor yang akan digunakan; dan karakteristik termodinamika zat pendinginnya seperti temperatur penguapan, temperatur pengembunan, tekanan pengembunan dan tekanan penguapan.

#### 2.10.1. Persyaratan zat pendingin

Zat pendingin yang akan digunakan pada sebuah sistem pendingin haruslah memenuhi beberapa persyaratan sbb:

1. Tekanan penguapannya harus cukup tinggi
2. Tekanan pengembunan yang tidak terlalu tinggi
3. Kalor laten penguapan harus tinggi
4. Volume spesifik (terutama dalam fase gas) yang cukup kecil
5. Koefisien prestasi harus tinggi
6. Konduktifitas termal yang tinggi
7. Fiskositas yang rendah dalam fase cair dan fase gas
8. Konstante dielektrikal kecil, tahanan listrik besar serta tidak menyebabkan korosi pada isolator listriknya
9. Stabil dan tidak bereaksi dengan material yang dipakai
10. Tidak beracun dan berbau yang merangsang
11. Tidak mudah terbakar dan meledak
12. Mudah dideteksi jika terjadi kebocoran
13. Harga murah dan mudah diperoleh

### 2.10.2. Karakteristik termodinamika dari beberapa jenis refrigeran

Refrigeran	R 12	R 22	R 500	R 500
Tekanan Penguapan (kg/cm <sup>2</sup> abs)	3,696	6,00	4,363	6,79
Tekanan pengembunan (kg/cm <sup>2</sup> abs)	11,02	17,71	13,15	19,04
Perbandingan kompresi	3,26	2,98	3,10	2,80
Efek refrigerasi (kkal/kg)	28,13	37,14	33,47	21,34
Volume spesifik (cair) (l/kg)	0,797	0,883	0,905	0,874
Jumlah refrigerant yang bersirkulasi (cair) (l/jam.ton)	94,0	78,9	89,6	123,9
Volume spesifik (uap) (m <sup>3</sup> /kg)	0,0486	0,0403	0,0492	0,0274
Laju aliran (m <sup>3</sup> /jam.ton)	5,72	3,6	4,87	3,88
Kerja kompresi (kkal/kg)	5,1	6,7	5,8	4,5
Koefisien prestasi (COP)	5,5	5,5	5,8	4,54
Daya yang diperlukan (kW/ton)	0,7	0,7	0,67	0,85
Temperatur gas keluar kompresor(°C)	51	67	53	50

Tabel 2.1 Karakteristik termodinamika Freon untuk kompresor positif (kondisi pendinginan)

### 2.10.3. Minyak pelumas

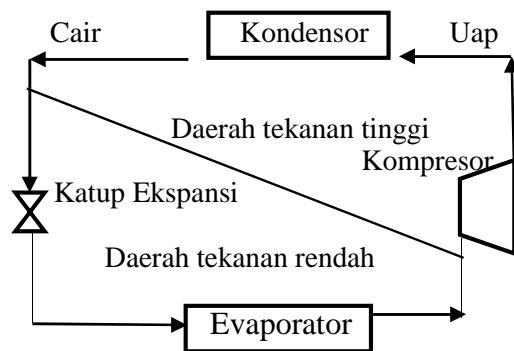
Minyak pelumas berfungsi melumasi bagian-bagian kompresor yang saling bergesekan. Karena akan bercampur dengan zat pendingin ketika bersirkulasi maka minyak pelumas harus memenuhi persyaratan-persyaratan sbb:

1. Titik beku yang rendah
2. Titik nyala yang tinggi
3. Viskositas yang tinggi
4. Dapat dipisahkan dengan mudah dari refrigeran tanpa reaksi kimia
5. Tidak mudah membentuk imulsi

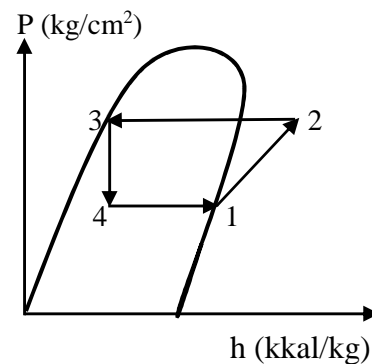
6. Tidak bersifat sebagai oksidan
7. Kadar paraffin yang rendah (untuk mencegah pembekuan pada temperatur rendah)
8. Tingkat kemurnian yang tinggi (tidak mengandung kotoran, air, asam dll)
9. Bersifat isolator listrik yang baik, terutama kompresor hermatik
10. Kekuatan lapisan minyak tinggi

### 2.11. Mekanisme Sistem Proses

Siklus refrigerasi dari sebuah sistem penyegaran udara umumnya terbagi menjadi empat bagian yaitu penguapan (evaporator), kompresi (kompresor), pengembunan (kondensator) dan ekspansi (katup ekspansi).



Gambar 2.14a. Siklus Refrigerasi



Gambar 2.14b. P-h Diagram

- 1 – 2 Proses yang terjadi pada kompresor; disini kompresor menyerap uap refrigeran dan kemudian mengkompresikannya secara isentropis.
- 2 – 3 Proses yang terjadi pada kondensator; disini refrigeran dikondensasikan secara isobar (tekanan konstan).
- 3 – 4 Proses yang terjadi dalam katup ekspansi; proses terjadi secara adiabatik sehingga temperatur dan tekanan refrigeran turun.
- 4 – 1 Proses yang terjadi di evaporator; refrigeran akan mengalami penguapan secara isobar dengan cara menyerap panas dari lingkungan.

## 2.12. Penentuan Temperatur Udara Luar, Temperatur Ekuivalen, dan Koefisien Perpindahan Kalor

### 1. Penentuan temperatur udara luar

Perhitungan penentuan temperatur udara luar dilakukan pada musim bulan terpanas.

Dan dapat dihitung dengan persamaan:

$$t_0 = t_{0 \text{ rancangan}} - \Delta t/2 + \Delta t/2 \cos 15 (\tau - \gamma) \quad (^\circ\text{C})$$

dimana,

$t_0$	=	Temperatur udara luar
$t_{0 \text{ rancangan}}$	=	Temperatur udara luar rancangan = 35 $^\circ\text{C}$
$\Delta t$	=	Perubahan tempertur rentang harian = 11 $^\circ\text{C}$
15	=	Perubahan sudut waktu $360^\circ / 24 \text{ jam}$
$\tau$	=	Waktu penyinaran matahari yang ditentukan
$\gamma$	=	Saat terjadinya temperatur maksimum ( $\approx +2$ )

### 2. Penentuan temperatur ekuivalen radiasi matahari

Jumlah radiasi matahari yang memanasi belahan dinding dapat dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$T_{\text{c matahari}} = \epsilon \times R_{\text{so}} \times J$$

dimana,

$T_{\text{c matahari}}$	=	Temperatur ekuivalen radiasi matahari
$\epsilon$	=	Faktor absorpsi radiasi matahari
$R_{\text{so}}$	=	Tahanan perpindahan kalor dinding luar
$J$	=	Jumlah radiasi matahari ( $\text{kcal./m}^2 \text{ jam}$ )

### 3. Penentuan koefisien perpindahan kalor

Perhitungan koefisien perpindahan kalor didasarkan pada jumlah tahanan perpindahan kalor dari sisi yang satu ke sisi yang lain dinding; dan merupakan kebalikan dari tahanan kalor itu sendiri serta dapat dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$U = 1/R_t \quad (\text{kkal./m}^2 \cdot \text{Jam} \cdot ^\circ\text{C})$$

### 2.13. Penentuan Beban Kalor dan Coefisien Of Performance (COP)

Beban kalor yang menjadi beban pendinginan terdiri atas:

1. Transmisi radiasi matahari melalui kaca, dihitung dengan persamaan:

$$Q = A \times J \times \text{GTF} \times \text{SF}$$

dimana,  $Q$  = Beban kalor

$A$  = Luas

GTF = Gate Transmition Factor (faktor transmisi kaca)

SF = Shading Factor (faktor bayangan)

Kaca	Tanpa Penutup	Dengan Penutup Ruangan
Kaca biasa	0,95	0,50
Kaca ganda	0,70	0,50
- kaca biasa	0,6	0,50
- menyerap di luar		
Kaca setengah cermin	0,4	-

Tabel 2.2. Faktor Transmisi Dari Jendela

*Sumber : Architectural Institute of Japan, Material Collection 6*

2. Beban kalor sensibel ruangan dan beban kalor manusia

Beban kalor ini tergantung dari jumlah orang dalam ruangan dan beban kalor sensibel serta kalor laten akibat proses metabolisme juga jenis aktifitas orang yang ada dalam ruangan tersebut.

$Q_{\text{sensibel}} = \text{jumlah orang} \times \text{k calor sensibel manusia} \times \text{faktor koreksi}$

$Q_{\text{laten}} = \text{Jumlah orang} \times \text{k calor laten manusia} \times \text{faktor koreksi.}$

### 3. Kalor ekuivalen untuk kerja kompresi

Daya kompresor dapat diperoleh dengan menggambarkan siklus refrigerasi pada “*Diagram Mullier*” berdasarkan kenaikan entalphi selama proses kompresi dari titik “A” ke titik “B”, melalui persamaan:

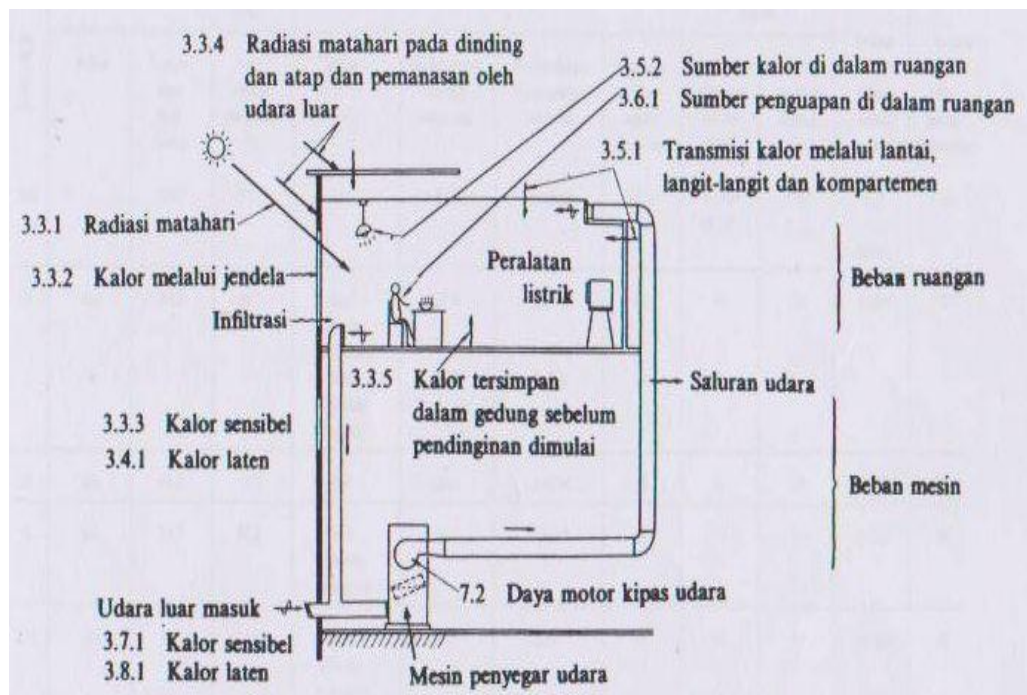
$$Al = i_B - i_A$$

dimana,

$Al$  = Kalor ekuivalen dari kerja (kkal/kg.m)

$i_B$  = Entalpi pada titik tekan (kompresi) (kkal/kg)

$i_A$  = Entalpi pada titik isap (kkal/kg)



Gambar 2.15. Beban Kalor Total Yang Terjadi

#### 4. Jumlah refrigeran yang bersirkulasi

Jumlah refrigeran yang bersirkulasi dapat dihitung dengan persamaan:

$$Q = G \times q_c \quad \text{atau} \quad G = Q / q_c$$

dimana,  $Q$  = Kapasitas refrigerasi yang diperlukan (kkal/jam)

$q_c$  = Efek refrigerasi per 1 kg refrigeran (kkal/kg)

$G$  = Jumlah refrigeran yang bersirkulasi (kg/jam)

#### 5. Koefisien Prestasi (*Coefficient Of Performance*)

Koefisien prestasi dipergunakan untuk menyatakan efisiensi siklus refrigerasi. Berbeda dengan mesin kalor, mesin refrigerasi bekerja seperti pompa untuk memindahkan kalor. Perbandingan antara kapasitas refrigerasi dengan daya poros penggerak kompresor itulah yang dinamakan sebagai koefisien prestasi mesin (COP):

$$\text{Koefisien Prestasi} = \frac{\text{Kapasitas refrigerasi}}{\text{Kalor ekuivalensi dari kerja}}$$

$$\text{C O P} = \frac{\text{Kapasitas refrigerasi}}{\text{Daya poros penggerak kompresor (kW) x 860}}$$

## BAB III

### DATA DAN ANALISA PERHITUNGAN

#### 3.1. Data Perhitungan

Penelitian dilakukan pada bulan April sampai dengan bulan Juni dimana temperatur udara luar mencapai kondisi maksimum yakni  $28^{\circ}\text{C} - 32^{\circ}\text{C}$  pada pukul 12.00 WIB; temperatur inilah yang dijadikan temperatur acuan. Ruangan yang dikondisikan adalah ruangan Proses Penenunan (weaving proses) PT. X yang terletak di Jl. Ujung Berung Bandung Utara dengan posisi:  $07^{\circ} - 57^{\circ}$  Lintang Selatan dan  $106^{\circ} - 69^{\circ}$  Bujur Timur dengan:

- 1) Temperatur bola kering =  $32^{\circ}\text{C}$
- 2) Temperatur bola basah =  $28^{\circ}\text{C}$
- 3) Temperature rentang harian rata-rata =  $11^{\circ}\text{C}$

#### Dimensi Bangunan

- |                                 |                   |
|---------------------------------|-------------------|
| 1) Panjang Bangunan (P)         | = 76 m            |
| 2) Lebar bangunan (L)           | = 42 m            |
| 3) Tinggi bangunan (T)          | = 6 m             |
| 4) Tebal plesteran ( $t_{p1}$ ) | = 25 mm = 0,025 m |
| 5) Tebal bata ( $t_b$ )         | = 100 mm = 0,1 m  |
| 6) Tebal kaca ( $t_k$ )         | = 6 mm = 0,006 m  |
| 7) Tebal pintu ( $t_{p2}$ )     | = 44 mm = 0,044 m |



### 3.2. Perhitungan Parameter-parameter Pendukung

#### 1). Perhitungan luas dinding sebelah timur

- Luas keseluruhan dinding:

$$\begin{aligned} A_1 &= P \times T \\ &= 42 \text{ m} \times 6 \text{ m} \\ &= 252 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

- Luas dinding berupa pintu:

$$\begin{aligned} A_2 &= 4 \text{ m} \times 3 \text{ m} \\ &= 12 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

Jadi luas keseluruhan dinding sebelah timur ( $A_T$ ) = **264 m<sup>2</sup>**

#### 2). Perhitungan luas dinding sebelah selatan dan utara

$$\begin{aligned} A_{su} &= (P \times T) 2 \\ &= (76 \text{ m} \times 6 \text{ m}) 2 \\ &= 912 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

#### 3). Perhitungan luas atap (luas atap = luas lantai)

$$\begin{aligned} A_a &= 42 \text{ m} \times 76 \text{ m} \\ &= 3192 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

#### 4). Perhitungan luas meja yang ada dalam ruangan

- Jumlah meja 6 bh. ; panjang 0,9 m; lebar 0,6 m; tinggi 0,75 m; tebal papan 0,02 m ; jadi:

$$\begin{aligned} \text{Luas bagian atas meja} &= p \times l \\ &= 0,9 \times 0,6 \text{ m} \\ &= 0,54 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Luas samping kiri} &= \text{luas samping kanan} = \text{luas partisi} \\ &= 0,75 \times 0,6 \text{ m} \\ &= 0,45 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Luas meja keseluruhannya} (A_m) &= (0,54 \text{ m}^2 + 0,45 \text{ m}^2) 6 \\ &= 5,94 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

5). Perhitungan luas kursi yang ada dalam ruangan

- Jumlah kursi 6 bh.

Ukuran bagian sandaran : panjang = 0,4 m ; tinggi = 0,35 m

Luas bagian sandaran = 0,4m x 0,35

$$= 0,14 \text{ m}^2$$

Ukuran bagian dudukan : panjang = 0,4 m ; lebar = 0,4 m

Luas bagian dudukan = 0,4m x 0,4 m

$$= 0,16 \text{ m}^2$$

Total luas kursi = (0,14 m<sup>2</sup> + 0,16 m<sup>2</sup>) 6

$$= 1,8 \text{ m}^2$$

### 3.3. Penentuan Koefisien Perpindahan Kalor Menyeluruh

Koefisien perpindahan kalor menyeluruh dapat ditentukan melalui persamaan:

$$U = 1/R_{\text{total}} \text{ (kcal./m}^2\text{.jam. }^{\circ}\text{C)}$$

Dimana;  $R_{\text{total}}$  = jumlah tahanan total dinding

$$= R_1 + R_2 + \dots R_n$$

Tabel. 3.1. Bahan Bangunan dan Tahanan Perpindahan Kalornya

KOMPONEN BANGUNAN	BAHAN	TEBAL (mm)	TAHANAN PERPINDAHAN KALOR R (kcal / m <sup>2</sup> .jam. °C)
Lantai	Adukan Semen	40	1,07
	Beton	214	0,714
	Keramik	9	1,9
Dinding	Plester luar	20	1,07
	Batu Bata	210	0,400
	Plester Dalam	20	1,07
	Papan Serabut krs	6	6,80
Kursi	Busa Polyethylin	30	39,1
	Woll	0,2	10
Dinding Kaca	Kaca	6	0,009
Atap	Adukan Semen	40	1,07
	Beton	214	0,714
	Papan Asbes Semn	6	0,0055
Partisi	Papan Asbes Semn	6	0,0055
Meja	Papan Srabut Keras	20	6,80

### 3.3.1. Tahanan total dinding

Tahanan total dinding dihitung berdasarkan tahanan total bagian timur, yang besarnya sama dengan yang berada di bagian barat, utara dan selatan, sehingga untuk itu perhitungan hanya dilakukan terhadap dinding sebelah timur kemudian hasilnya dikalikan empat.

Dinding sebelah timur, barat, selatan dan utara terbuat dari bahan yang sama yakni campuran semen dan batu bata sehingga:

1). Adukan semen 25 cm = 0,25 m

$$\begin{aligned} R_1 &= R \times t \\ &= 1,07 \times 0,025 \\ &= 0,02675 \text{ kcal/m}^2\cdot\text{jam. } ^\circ\text{C} \end{aligned}$$

2). Batu Bata ( $R_2$ ) = 0,400 kcal/m<sup>2</sup>.jam. °C

Jadi Tahanan totalnya ( $R_{\text{total,T}}$ ) = 0,42675 kcal/m<sup>2</sup>.jam. °C

$$U_{\text{Timur}} = 1/R_{\text{total}} = 1 / 0,42675 = 2,343 \text{ kcal./m}^2\cdot\text{jam. } ^\circ\text{C}$$

Jadi tahanan dinding keseluruhannya “ $R_d$ ” adalah :

$$\begin{aligned} R_d &= 4 \times R_{\text{total,T}} = 4 \times 0,42675 \\ &= 1,707 \text{ kcal/m}^2\cdot\text{jam. } ^\circ\text{C} \\ U_d &= 1 / R_d = 1 / 1,707 \\ &= 0,586 \text{ kcal./m}^2\cdot\text{jam. } ^\circ\text{C} \end{aligned}$$

### 3.3.2. Tahanan panas yang terjadi pada meja

Tebal papan meja (t) = 0,02 m; dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$\begin{aligned} R_m &= R \times t \\ &= 6,80 \times 0,02 \\ &= 0,136 \text{ kcal/m}^2\cdot\text{jam. } ^\circ\text{C} \\ U_m &= 7,353 \text{ kcal./m}^2\cdot\text{jam. } ^\circ\text{C} \end{aligned}$$

### 3.3.3. Tahanan panas yang terjadi pada kursi

Bahan kursi adalah busa dengan tebal ( $t$ ) = 0,03 m; sehingga diperoleh:

$$R_k = 1,173 \text{ kcal/m}^2\text{.jam. } ^\circ\text{C} \text{ dan}$$

$$U_k = 0,852 \text{ kcal./m}^2\text{.jam. } ^\circ\text{C}$$

### 3.3.4. Tahanan panas yang terjadi pada lantai

Adukan semen setebal 100 mm = 0,1 m maka:

$$\begin{aligned} R_l &= R \times 0,1 \text{ m} = 1,07 \times 0,1 \\ &= 0,107 \text{ kcal/m}^2\text{.jam. } ^\circ\text{C} \end{aligned}$$

$$U_l = 1 / 0,107 = 9,345 \text{ kcal./m}^2\text{.jam. } ^\circ\text{C}$$

Pada akhirnya diperoleh :

$$\begin{aligned} R_{\text{Total}} &= R_d + R_m + R_k + R_l \\ &= 1,707 + 0,136 + 1,173 + 0,107 \\ &= 3,123 \text{ kcal/m}^2\text{.jam. } ^\circ\text{C} \end{aligned}$$

$$U_{\text{Total}} = 1 / R_{\text{Total}} = 1 / 3,123 = 0,32 \text{ kcal./m}^2\text{.jam. } ^\circ\text{C}$$

## 3.4. Penentuan Temperatur Radiasi Ekuivalen dan Temperatur Udara Luar

Temperatur radiasi ekuivalen matahari dan temperatur udara luar dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan:

$$T_{c, \text{ matahari}} = \epsilon \times R_{so} \times J \quad (^\circ\text{C})$$

Dimana :  $R_{so}$  = Tahanan perpindahan kalor bagian luar dinding (0,05 kcal/m<sup>2</sup>.jam. °C)

$\epsilon$  = Faktor absorpsi radiasi matahari dari permukaan luar dinding (0,7)

$J$  = Jumlah radiasi Matahari (kcal/m<sup>2</sup>. Jam)

Analisa hanya dilakukan terhadap radiasi pada dinding bagian timur dan barat serta bagian atap bangunan saja, pertimbangannya bahwa hanya pada bagian-bagian inilah yang terkena radiasi sinar matahari.

### 3.4.1. Radiasi dinding bagian timur

1). Pada pukul 10.00 WIB

$$\begin{aligned} T_{c,matahari} &= 0,7 \times 0,05 \text{ kcal./m}^2\text{.jam. } ^\circ\text{C} \times 388 \text{ } ^\circ\text{C.m}^2\text{.jam} \\ &= 13,58 \text{ } ^\circ\text{C} \end{aligned}$$

2). Pada pukul 12.00 WIB

$$\begin{aligned} T_{c,matahari} &= 0,7 \times 0,05 \text{ kcal./m}^2\text{.jam. } ^\circ\text{C} \times 67 \text{ } ^\circ\text{C.m}^2\text{.jam} \\ &= 2,34 \text{ } ^\circ\text{C} \end{aligned}$$

3). Pada pukul 14.00 WIB

$$\begin{aligned} T_{c,matahari} &= 0,7 \times 0,05 \text{ kcal./m}^2\text{.jam. } ^\circ\text{C} \times 65 \text{ } ^\circ\text{C.m}^2\text{.jam} \\ &= 2,27 \text{ } ^\circ\text{C} \end{aligned}$$

### 3.4.2. Radiasi dinding bagian barat

1). Pada pukul 13.00 WIB

$$\begin{aligned} T_{c,matahari} &= 0,7 \times 0,05 \text{ kcal./m}^2\text{.jam. } ^\circ\text{C} \times 244 \text{ } ^\circ\text{C.m}^2\text{.jam} \\ &= 8,54 \text{ } ^\circ\text{C} \end{aligned}$$

2). Pada pukul 15.00 WIB

$$\begin{aligned} T_{c,matahari} &= 0,7 \times 0,05 \text{ kcal./m}^2\text{.jam. } ^\circ\text{C} \times 416 \text{ } ^\circ\text{C.m}^2\text{.jam} \\ &= 14,56 \text{ } ^\circ\text{C} \end{aligned}$$

3). Pada pukul 17.00 WIB

$$\begin{aligned} T_{c,matahari} &= 0,7 \times 0,05 \text{ kcal./m}^2\text{.jam. } ^\circ\text{C} \times 194 \text{ } ^\circ\text{C.m}^2\text{.jam} \\ &= 6,79 \text{ } ^\circ\text{C} \end{aligned}$$

### 3.4.3. Radiasi Pada Bagian Atap

1). Pada pukul 10.00 WIB

$$\begin{aligned} T_{c,matahari} &= 0,7 \times 0,05 \text{ kcal./m}^2\text{.jam. } ^\circ\text{C} \times 685 \text{ } ^\circ\text{C.m}^2\text{.jam} \\ &= 23,98 \text{ } ^\circ\text{C} \end{aligned}$$

2). Pada pukul 12.00 WIB

$$\begin{aligned} T_{c,matahari} &= 0,7 \times 0,05 \text{ kcal./m}^2\text{.jam. } ^\circ\text{C} \times 698 \text{ } ^\circ\text{C.m}^2\text{.jam} \\ &= 24,43 \text{ } ^\circ\text{C} \end{aligned}$$

3). Pada pukul 14.00 WIB

$$\begin{aligned} T_{c,matahari} &= 0,7 \times 0,05 \text{ kcal./m}^2\text{.jam. } ^\circ\text{C} \times 645 \text{ } ^\circ\text{C.m}^2\text{.jam} \\ &= 22,57 \text{ } ^\circ\text{C} \end{aligned}$$

### 3.5. Perhitungan Beban Kalor Transmisi

Beban kalor transmisi dapat dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$Q = A \times U \times t$$

Dimana : A = Luas (m<sup>2</sup>)

U = Koefisien perpindahan kalor (kcal./m<sup>2</sup>.jam. °C)

t = Selisih temperatur udara luar maksimum dan temperatur dalam (°C)

1). Beban kalor dari pintu

$$\begin{aligned} Q_p &= (4 \times 3) \text{ m}^2 \times 1,263 \text{ kcal /m}^2\text{.jam. } ^\circ\text{C} \times (38,78 - 25) \text{ } ^\circ\text{C} \\ &= 208,85 \text{ kcal/jam} \end{aligned}$$

2). Beban kalor dari lantai

$$\begin{aligned} Q_l &= (76 \times 42) \text{ m}^2 \times 9,345 \text{ kcal /m}^2\text{.jam. } ^\circ\text{C} \times (28 - 25) \text{ } ^\circ\text{C} \\ &= 89487,72 \text{ kcal/jam} \end{aligned}$$

## 3). Beban kalor melalui kaca

$$Q_{kc} = A \times J \times GTF \times SF$$

Dimana : GTF = Gate Transmition Factor (faktor transmisi kaca)  
 = 0,50 (dlm ruangan bertirai) dan 0,70 (ruangan tanpa tirai)

J = Jumlah transmisi kaca (kcal/m,jam)

SF = Shading Factor (faktor bayangan) = 30 %

Dinding yang dilengkapi dengan bahan kaca adanya pada sisi bagian selatan dan bagian barat gedung/bangunan yang dilengkapi dengan tirai, maka:

-. Untuk di bagian selatan

$$\begin{aligned} Q_{kcs} &= \{ (4 \times 1,5)m^2 \times 194 \text{ kcal./m.jam} \times 0,50 \} \times 30\% \\ &= 174,6 \text{ kcal/jam} \end{aligned}$$

-. Untuk di bagian barat

$$\begin{aligned} Q_{kcb} &= \{ (3 \times 1,5)m^2 \times 194 \text{ kcal./m.jam} \times 0,50 \} \times 30\% \\ &= 131 \text{ kcal/jam} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Q_{kc} &= Q_{kcs} + Q_{kcb} = (174,6 + 131) \text{ kcal/jam} \\ &= 305,6 \text{ kcal/jam} \end{aligned}$$

### 3.6. Peralatan Yang Berada Di Dalam Ruangan

1. Mesin dengan kapasitas 8 ton/hari; 25 buah @. 458,08 kW	= 11.452 kW
2. Mesin dengan kapasitas 5 ton/hari; 43 buah @. 220,5 kW	= 9.481,5 kW
3. Mesin dengan kapasitas 3 ton/hari; 7 buah @. 111,79 kW	= 782,53 kW
4. Jumlah orang yang berada dalam ruangan	= 56 orang
5. Komputer 6 buah @. 350 watt	= 2,1 kW
6. Lampu neon jenis TL 40 buah @. 60 watt	= 2,4 kW
7. Lampu jenis mercury 20 buah @. 300 watt	= 6 kW

### 3.7. Beban Kalor Untuk Lampu Neon, Lampu Mercury, Komputer dan Mesin

Beban kalor ini dapat diperoleh dengan menggunakan persamaan:

$$\begin{aligned} Q &= W \times 1.080 \text{ (kcal/kW)} \\ &= (2,4 + 6 + 2,1 + 11452 + 9481,5 + 782,53) \times 1,080 \\ &= 23464,65 \text{ kcal/kW} \end{aligned}$$

### 3.8. Beban Kalor dari Orang yang Berada dalam Ruangan

Beban kalor ini meliputi beban kalor sensibel dan beban kalor laten akibat proses metabolisme tubuh yang menghasilkan kalor, dan besarnya tergantung pada tingkat dan jenis aktifitas yang dilakukan. Dan dapat dihitung dengan menggunakan persamaan :

$$Q_{\text{sensibel}} = \text{orang} \times q_{\text{sensibel manusia}} \times \text{faktor kelompok}$$

$$Q_{\text{laten}} = \text{orang} \times q_{\text{laten manusia}} \times \text{faktor kelompok}$$

Dimana :

$$\text{Jumlah orang yang bekerja dalam ruangan} = 56 \text{ orang}$$

$$\text{Kalor sensibel manusia} = 115 \text{ kcal/jam}$$

$$\text{Kalor laten manusia} = 209 \text{ kcal/jam}$$

$$\text{Koreksi faktor kelompok} = 0,967$$

Jadi,

$$\begin{aligned} Q_{\text{sensibel}} &= 56 \times 115 \times 0,967 \\ &= 6227,48 \text{ kcal/jam} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Q_{\text{laten}} &= 56 \times 209 \times 0,967 \\ &= 11317,768 \text{ kcal/jam} \end{aligned}$$

### 3.9. Penentuan Temperatur Udara Matahari (Solar Air Temperature/SAT)

Besarnya harga SAT dapat dicari dengan menggunakan persamaan :

$$\text{SAT} = t_0 + T_{c,\text{matahari}}$$



Dimana:  $t_0$  = Temperatur udara luar pada suatu saat tertentu  
 $T_{c,matahari}$  = Temperatur ekwivalensi dari matahari

### 3.9.1. Untuk dinding sebelah Timur

#### 1). Pada pukul 10.00 WIB

$$\begin{aligned} \text{SAT} &= t_0 + T_{c,matahari} \\ &= 25,2 \text{ } ^\circ\text{C} + 13,58 \text{ } ^\circ\text{C} \\ &= 38,78 \text{ } ^\circ\text{C} \end{aligned}$$

#### 2). Pada pukul 12.00 WIB

$$\begin{aligned} \text{SAT} &= t_0 + T_{c,matahari} \\ &= 25,2 \text{ } ^\circ\text{C} + 2,34 \text{ } ^\circ\text{C} \\ &= 27,54 \text{ } ^\circ\text{C} \end{aligned}$$

#### 3). Pada pukul 14.00 WIB

$$\begin{aligned} \text{SAT} &= t_0 + T_{c,matahari} \\ &= 25,2 \text{ } ^\circ\text{C} + 2,38 \text{ } ^\circ\text{C} \\ &= 27,58 \text{ } ^\circ\text{C} \end{aligned}$$

### 3.9.2. Untuk dinding sebelah Barat

#### 1). Pada pukul 13.00 WIB

$$\begin{aligned} \text{SAT} &= t_0 + T_{c,matahari} \\ &= 25,2 \text{ } ^\circ\text{C} + 8,54 \text{ } ^\circ\text{C} \\ &= 33,74 \text{ } ^\circ\text{C} \end{aligned}$$

#### 2). Pada pukul 15.00 WIB

$$\begin{aligned} \text{SAT} &= t_0 + T_{c,matahari} \\ &= 25,2 \text{ } ^\circ\text{C} + 14,56 \text{ } ^\circ\text{C} \\ &= 39,76 \text{ } ^\circ\text{C} \end{aligned}$$

3). Pada pukul 17.00 WIB

$$\begin{aligned} \text{SAT} &= t_0 + T_{c,\text{matahari}} \\ &= 25,2 \text{ } ^\circ\text{C} + 6,79 \text{ } ^\circ\text{C} \\ &= 31,99 \text{ } ^\circ\text{C} \end{aligned}$$

3.9.3. Untuk atap

1). Pada pukul 10.00 WIB

$$\begin{aligned} \text{SAT} &= t_0 + T_{c,\text{matahari}} \\ &= 25,2 \text{ } ^\circ\text{C} + 23,98 \text{ } ^\circ\text{C} \\ &= 49,18 \text{ } ^\circ\text{C} \end{aligned}$$

2). Pada pukul 12.00 WIB

$$\begin{aligned} \text{SAT} &= t_0 + T_{c,\text{matahari}} \\ &= 25,2 \text{ } ^\circ\text{C} + 24,43 \text{ } ^\circ\text{C} \\ &= 49,63 \text{ } ^\circ\text{C} \end{aligned}$$

3). Pada pukul 14.00 WIB

$$\begin{aligned} \text{SAT} &= t_0 + T_{c,\text{matahari}} \\ &= 25,2 \text{ } ^\circ\text{C} + 22,57 \text{ } ^\circ\text{C} \\ &= 47,77 \text{ } ^\circ\text{C} \end{aligned}$$

Jadi tempertur udara matahari (SAT) memiliki harga yang maksimum pada :

- (1). Dinding sebelah Timur, pada jam 10.00 pagi sebesar  $\text{SAT} = 38,78 \text{ } ^\circ\text{C}$
- (2). Dinding sebelah Barat, pada jam 15.00 petang sebesar  $\text{SAT} = 39,76 \text{ } ^\circ\text{C}$
- (3). Atap, pada jam 12.00 pagi sebesar  $\text{SAT} = 49,63 \text{ } ^\circ\text{C}$

Tabel 3.2. Temperatur Udara Luar Sesaat Dan Radiasi Matahari Total

Jam (Wib)	Temperatur Udara Luar Sesaat ( <sup>0</sup> c)	Radiasi		Matahari		Total	Kcal/M <sup>2</sup> jam	Radiasi Matahari Langsung Pada Bidang Normal
		Utara	Timur	Selatan	Barat			
06.00	26.8	0	0	0	0	0	0	0
07.00	25,6	37	194	37	37	37	161	
08.00	24,7	54	417	45	54	54	419	
09.00	24,2	61	461	61	61	61	565	
10.00	24	65	388	65	65	65	645	
11.00	24,2	67	244	67	67	67	685	
12.00	35	67	67	67	67	67	698	
13.00	24,2	67	67	67	244	67	685	
14.00	24	65	65	65	388	65	645	
15.00	24,2	61	61	61	416	61	565	
16.00	24,7	54	54	54	417	54	491	
17.00	25,6	37	37	37	194	37	161	
18.00	26,8	0	0	0	0	0	0	

### 3.10. Beban Kalor Daerah Perimeter

#### 3.10.1. Beban Kalor Sensibel Daerah Perimeter

Besarnya beban kalor ini dapat dihitung dengan menggunakan persamaan :

$$Q_{sp} = U \times A \times (SAT - T_i) \text{ kcal/m}^2 \cdot \text{jam} \cdot ^\circ\text{C}$$

Dimana,

U = Koefisien perpindahan kalor (kcal/m<sup>2</sup>.jam. °C)

A = Luas permukaan (m<sup>2</sup>)

T<sub>i</sub> = Temperatur rancangan dalam ruangan (T<sub>i</sub> = 25 °C)

## 1). Beban kalor sensibel melalui dinding

## (1). Dinding sebelah Timur

$$\begin{aligned} Q_T &= 2,343 \text{ kcal/m}^2 \cdot \text{jam} \cdot ^\circ\text{C} \times 264 \text{ m}^2 (38,78 - 25) ^\circ\text{C} \\ &= 8523,65 \text{ kcal/jam} \end{aligned}$$

## (1). Dinding sebelah Barat

$$\begin{aligned} Q_B &= 2,343 \text{ kcal/m}^2 \cdot \text{jam} \cdot ^\circ\text{C} \times 264 \text{ m}^2 (39,76 - 25) ^\circ\text{C} \\ &= 9129,83 \text{ kcal/jam} \end{aligned}$$

Maka kalor total yang melalui dinding ( $Q_{d,\text{Total}}$ ) adalah :

$$\begin{aligned} Q_{d,\text{Total}} &= Q_T + Q_B \\ &= 8523,65 + 9129,83 \\ &= 17653,48 \text{ kcal/jam} \end{aligned}$$

## 2). Beban kalor sensibel melalui atap

$$\begin{aligned} Q_A &= 5 \text{ kcal/m}^2 \cdot \text{jam} \cdot ^\circ\text{C} \times 3192 \text{ m}^2 (49,63 - 25) \\ &= 393094,8 \text{ kcal/jam} \end{aligned}$$

## 3.10.2. Beban Kalor Sensibel Udara Oleh Infiltrasi

Besarnya beban kalor sensibel ini dapat diperoleh melalui persamaan :

$$Q_{\text{sensibel}} = (V \times Mv) - Mo) \times 0,24/ \times t \text{ (kcal/jam)}$$

Dimana :  $V$  = Volume ruangan ( $\text{m}^3$ )

$Mv$  = Jumlah penggantian udara ventilasi (1,5 – 2 kali)

$Mo$  = Jumlah pemasukkan udara luar ( $18 \text{ m}^3/\text{jam}/\text{org}$ )  
= 0,904

Jadi,

$$\begin{aligned} Q_{\text{sensibel}} &= (19872 \times 2) - 18) \times (0,24/0,904 \times (30 - 25) \\ &= 39726 \times 1,33 \\ &= \mathbf{52835,58 \text{ kcal/jam}} \end{aligned}$$

### 3.11. Beban Kalor Laten Daerah Perimeter

Besarnya beban kalor ini dapat dicari dengan menggunakan persamaan :

$$Q_{\text{laten}} = V \times 597,3 \times Mv \times RH \text{ (kcal)}$$

Dimana:

$$V = \text{Volume ruangan (m}^3\text{)}$$

$$Mv = \text{Jumlah penggantian udara ventilasi (Mv = 1,5 - 2)}$$

$$RH = \text{Selisih perbandingan kelembaban di dalam dan di luar ruangan (RH = 0,022 - 0,019)}$$

Jadi,

$$\begin{aligned} Q_{\text{laten}} &= 19872 \times 597,3 \times 0,003 \\ &= \mathbf{35608,64 \text{ kcal/jam}} \end{aligned}$$

### 3.12. Beban Kalor dari Mesin

Untuk mendapatkan harga beban kalor yang ditimbulkan oleh mesin maka digunakan persamaan :

$$Q_{\text{sensibel}} = q/ \times h_{\text{uk}} \times t \text{ (kcal/jam)}$$

Dimana:

$$q = \text{Jumlah pemasukan udara luar (18 m}^3\text{/jam)}$$

$$= \text{Volume spesifik udara luar (0,896)}$$

$$h_{\text{uk}} = \text{Entalpi udara kering (24 kcal/kg udara kering)}$$

$$t = \text{Selisih temperatur udara luar dan udara dalam ruangan}$$

Sehingga diperoleh,

$$\begin{aligned} Q_{\text{sensibel}} &= (18 / 0,896) \times 24 (30 - 25) \\ &= 2410,71 \text{ (kcal/jam)} \end{aligned}$$

Sedangkan untuk mendapatkan harga kalor latennya maka digunakan persamaan:

$$Q_{\text{laten}} = q/ (W_{\text{ho}} \times W_{\text{hi}}) \text{ (kcal/jam)}$$

Dimana:

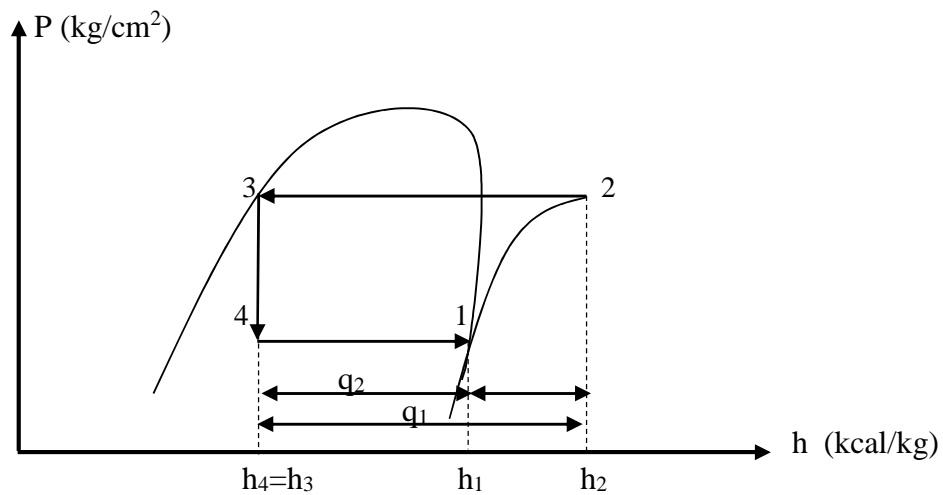
$W_{ho}$  = Perbandingan kelembaban udara luar = 0,022 kg/kg

$W_{hi}$  = Perbandingan kelembaban dalam ruangan = 0,019 kg/kg

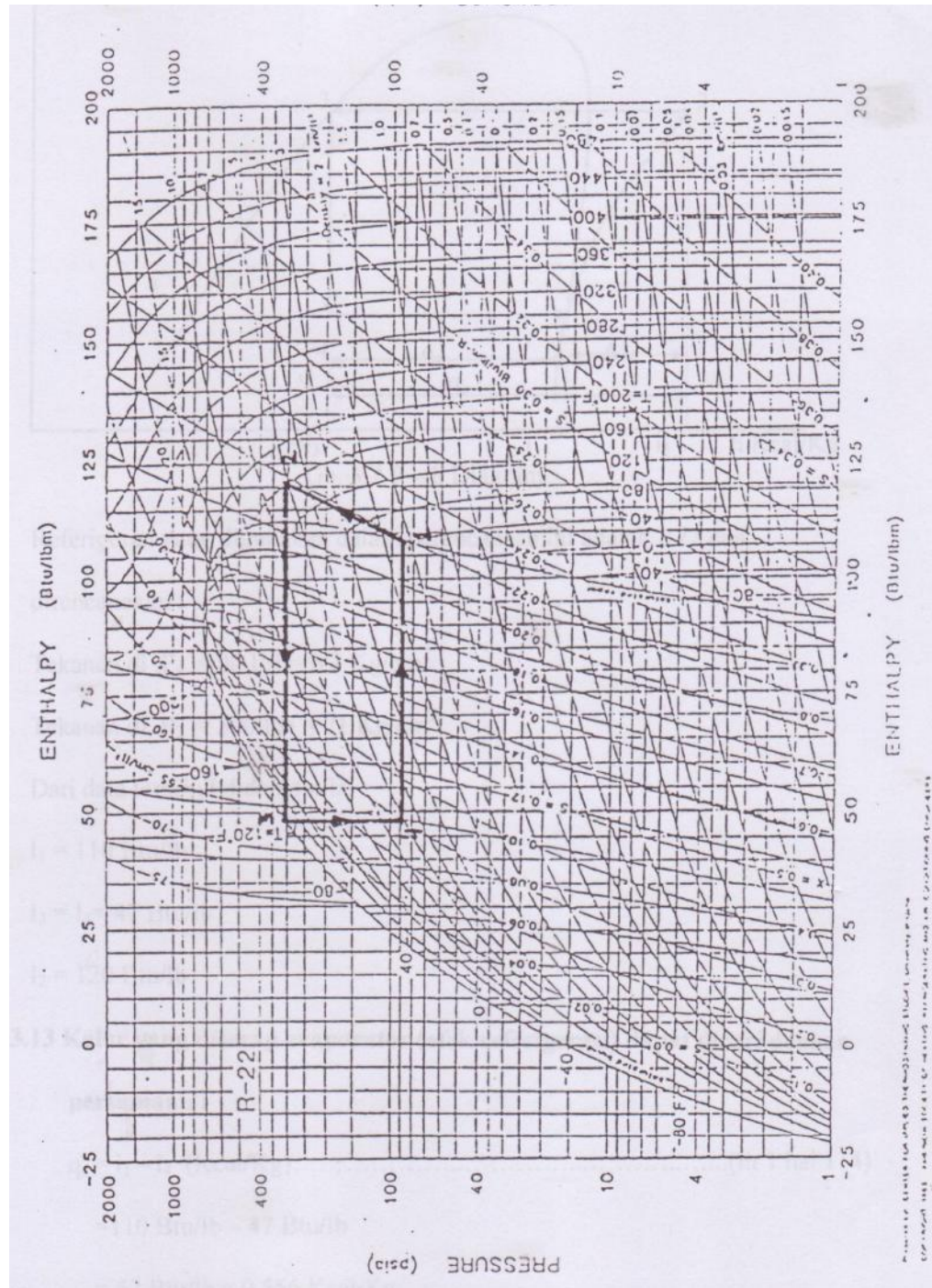
$Q_{laten}$  =  $(18 / 0,896) \times (0,022 - 0,019)$   
 = 0,84 (kcal/jam)

Tabel. 3.3. Kalor Sensibel

BEBAN KALOR	JUMLAH (kcal/jam)
Atap	393094,8
Dinding	17653,48
Tambahan kalor melalui kaca	305,55
Tambahan kalor melalui pintu	208,849
Lantai	10246,32
Lampu Neon, Lampu Mercury, Komputer dan Mesin	23464,65
Manusia	6227,48
Kalor udara infiltrasi	52835,58
Kalor udara yang kontak dengan mesin	2410,7
<b>Sub Total</b>	<b>502887,41</b>



Gambar. 3.1. p - h diagram



Gambar. 3.2. Diagram Tekanan – Enthalpi dari Refrigeran – R22

Refrigeran yang digunakan adalah R22; data yang di peroleh :

$$\text{Tekanan di } P_1 = 90 \text{ psi} = 6,3 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{Tekanan di } P_2 = 300 \text{ psi} = 21 \text{ kg/cm}^2$$

$$h_1 = 110 \text{ Btu/lb}$$

$$h_2 = 120 \text{ Btu/lb}$$

$$h_3 = h_4 = 47 \text{ Btu/lb}$$

### 3.13. Kalor Yang Diserap Efaporator (Efek Refrigesi)

Besarnya kalor yang diserap oleh evaporator dapat dihitung dengan persamaan:

$$\begin{aligned} q_e &= (h_1 - h_4) \times 0,556 \text{ kcal/kg} \\ &= (110 - 47) \times 0,556 \text{ kcal/kg} \\ &= 35,028 \text{ kcal/kg} \end{aligned}$$

### 3.14. Kalor Kerja Kompresi

Besarnya kalor kerja kompresi dicari dengan meggunakan persamaan:

$$\begin{aligned} q_k &= h_2 - h_1 \text{ kcal/kg} \\ &= (120 - 110) \times 0,556 \text{ kcal/kg} \\ &= 5,56 \text{ kcal/kg} \end{aligned}$$

### 3.15. Kalor Pengembunan

Jumlah kalor pengembunan dihitung dengan persamaan :

$$\begin{aligned} q_p &= q_e + q_k \text{ kcal/kg} \\ &= 35,028 + 5,56 \text{ kcal/kg} \\ &= 40,588 \text{ kcal/kg} \end{aligned}$$



### 3.16. Jumlah Zat Pendingin (Refrigerant) yg Bersirkulasi (G)

Banyaknya refrigeran yang bersirkulasi diperoleh dengan membandingkan kapasitas refrigerasi dengan kalor yang dapat diserap oleh refrigerator; yakni :

$$\begin{aligned} G &= Q_{\text{Total}} / q_e \quad (\text{kg/jam}) \\ &= 502887,41 / 35,028 \\ &= 14356.73 \text{ kg/jam} \end{aligned}$$

### 3.17. Koefisien Prestasi (COP/Coefficient Of Performance)

$$\begin{aligned} \text{COP} &= (\text{Kalor yang diserap Efaporator} / \text{Kalor beban kompresor}) \times 100\% \\ &= \{ (35.028 \text{ kcal/kg}) / (5,56 \text{ kcal/kg}) \} \times 100\% \\ \text{COP} &= \mathbf{630 \%} \end{aligned}$$

### 3.18. Daya Teoritis Kompresor (N<sub>i</sub>)

$$\begin{aligned} N_i &= \frac{(h_2 - h_1)}{860} \times G \quad (\text{Hp}) \\ N_i &= \frac{(120 - 110)}{860} \times 14356.73 \\ N_i &= \mathbf{167 \text{ Hp}} \end{aligned}$$

### 3.19. Daya Aktual Kompresor (N)

$$\begin{aligned} N &= N_i / (i \times m) \quad (\text{Hp}) \\ &= 167 / (0,8 \times 0,76) \\ &= 274,7 \text{ Hp} = \mathbf{275 \text{ Hp}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Dimana : } i &= \text{Efisiensi kompresi} = 80 \% \\ m &= \text{Efisiensi mekanis} = 76 \% \end{aligned}$$

### 3.20. Jumlah Kalor Yang Dilepaskan Kondensor ( $Q_c$ )

$$\begin{aligned}
 Q_c &= Q - (N \times 860) \text{ kcal/jam} \\
 &= 502887,41 - (275 \times 860) \\
 &= 502887,41 - 236500 \\
 &= 266387,41 \text{ kcal/jam}
 \end{aligned}$$

### 3.21. Jumlah Udara Dingin Yang Diperlukan Kondensor ( $M_a$ )

Udara yang dimaksudkan adalah udara yang dibutuhkan untuk mengembunkan uap refrigran yang keluar dari kompresor dan masuk ke dalam kondensor, besarnya dihitung dengan persamaan :

$$\begin{aligned}
 M_a &= \frac{Q}{0,28 \times (T_2 - T_1)} \\
 &= \frac{266387,41}{0,28 \times (48,84 - 7,21)} \\
 &= 22853,32 \text{ m}^3/\text{jam}
 \end{aligned}$$

### 3.22. Kapasitas Pendinginan Dari Evaporator ( $Q_{ev.}$ )

$$Q_{ev.} = U \times A \times t_r$$

Dimana :

$U$  = Koefisien perpindahan kalor total

$A$  = Luas ruangan

$t_r$  = Perbedaan temperatur rata – rata (11  $^{\circ}\text{C}$ )

Jadi,

$$\begin{aligned} Q_{ev.} &= 0,32 \times 3192 \times 11 \\ &= 11235,84 \text{ kcal/jam} \end{aligned}$$

### 3.23. Koefisien Prestasi (COP/*Coefficient Of Performance*)

$$\begin{aligned} \text{COP} &= \frac{Q_c - Q_{ev.}}{Q_c} \times 100\% \\ &= \{ (266387,41 / 266387,41 - 11235,84) \} \times 100 \% \\ &= (266387,41 / 255151,57) \times 100\% \\ &= 104 \% \end{aligned}$$

## **BAB IV**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **1.1. Kesimpulan**

Dari hasil analisa perhitungan yang dilakukan terhadap kondisi kerja sistem pendingin ruangan (*air conditioning*) yang terpasang pada ruangan proses penenunan bahan jeans dari perusahaan PT. X tersebut maka dapat disimpulkan bahwa:

1. Beban kalor yang diterima oleh kondensor jauh lebih besar (266387,41 kcal/jam) dari pada jumlah kalor yang dapat diserap oleh evaporator sebagai beban pendinginannya (11235,84 kcal/jam)
2. Untuk menjamin kenyamanan para pekerja maka kapasitas kompresornya harus diperbesar menjadi 275 Hp, sehingga COP bisa mencapai 630 %.
3. Dari kondisi faktual kapasitas kompresor terpasang kapasitasnya kecil sehingga hanya mampu memberikan COP sebesar 104 %.

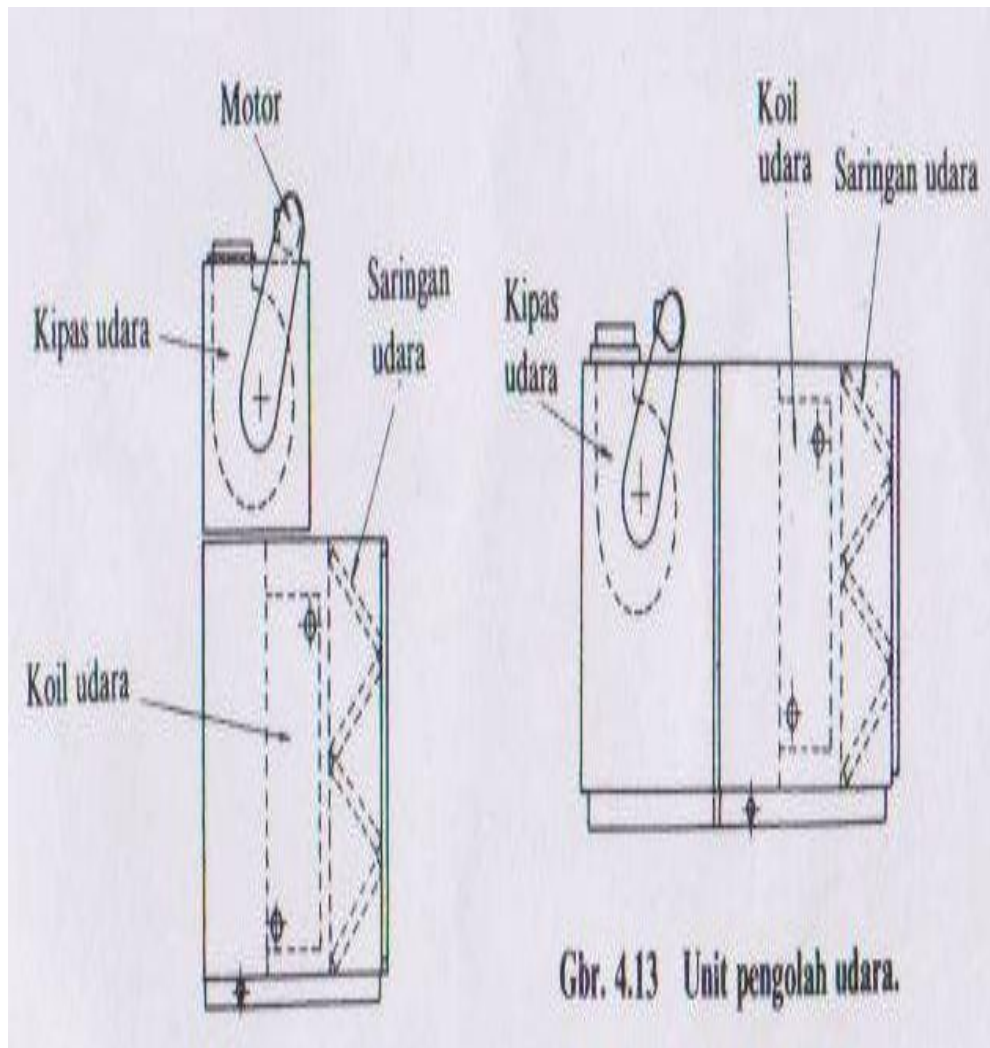
#### **1.2. Saran**

Agar kenyamanan para pekerja selama bekerja dapat terjaga dengan baik, maka disarankan:

1. Perusahaan melakukan langkah-langkah antisipasi dengan menambah jumlah pendingin ruangan (*air conditioning*) dengan total kapasitas kompresor terpasang mampu memberikan COP sebesar 630 %.
2. Alternatif lainnya adalah dengan merubah instalasi pengkondisian udara yang ada, dengan menggunakan instalasi sistem sentral; disamping biayanya lebih murah juga mudah dalam pengoperasiannya.

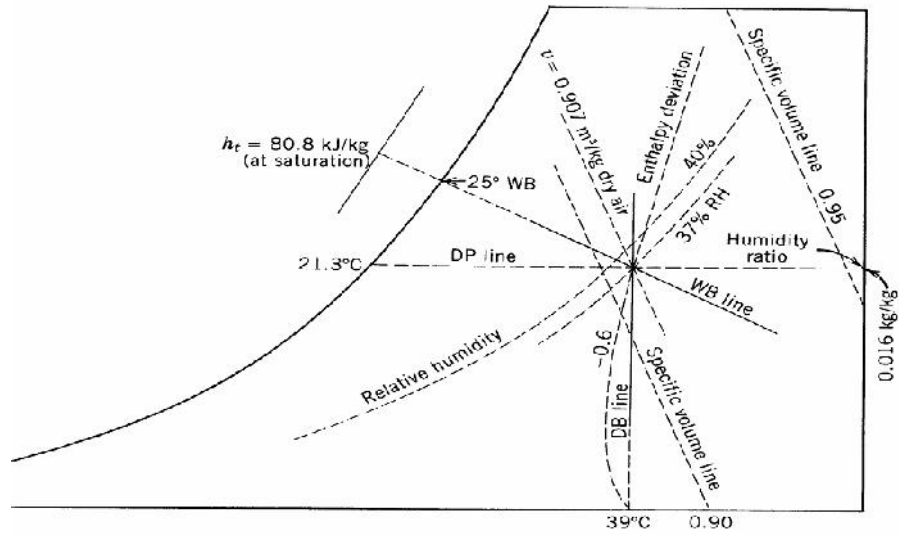
## DAFTAR PUSTAKA

1. Althouse, Turnquist, Bracciano, 2003, *Modern Refrigeration & Air Conditioning, Instructor Manual with answer Key*, The Goodheard-Willcox Company, USA.
2. Arismunandar dan Heizo, “*Penyegaran Udara*”, Paradnya Paramita, Jakarta 1981.
3. Carrier Air Co, “*Hand Book of Air Conditionin System*”, Mc. Graw-Hill Book Company, New York 1965.
4. Edwin P. Anderson, “*Refrigeration and Air Conditioning Guide – I*” Howard W. Sams And Co., Inc; Indianapolis, Indiana 1966.
5. Holman Jp. “*Perpindahan Kalor*” , Erlangga, Jakarta 1993.
6. Iwan Kurniawan, “*Merawat dan Memperbaiki AC*”, Puspa Swara, Jakarta 2000.
7. Sumanto, “*Dasar-dasar Mesin Pendingin*”, Andi, Yogyakarta, 2004.
8. Thermo King Coop. “*Maintenance Manual*”, Thermo King 1989.
9. Wibert F. Stoecker dan Supratman Hara, “*Refrigerasi dan Pengkondisian Udara*” Erlangga, Jakarta 1992.
10. Wibert F. Stoecker and Jerorl W. Jones, “*Refrigeration and Air Conditioning*”, Mc. Grow Hill Book Company, 1982.

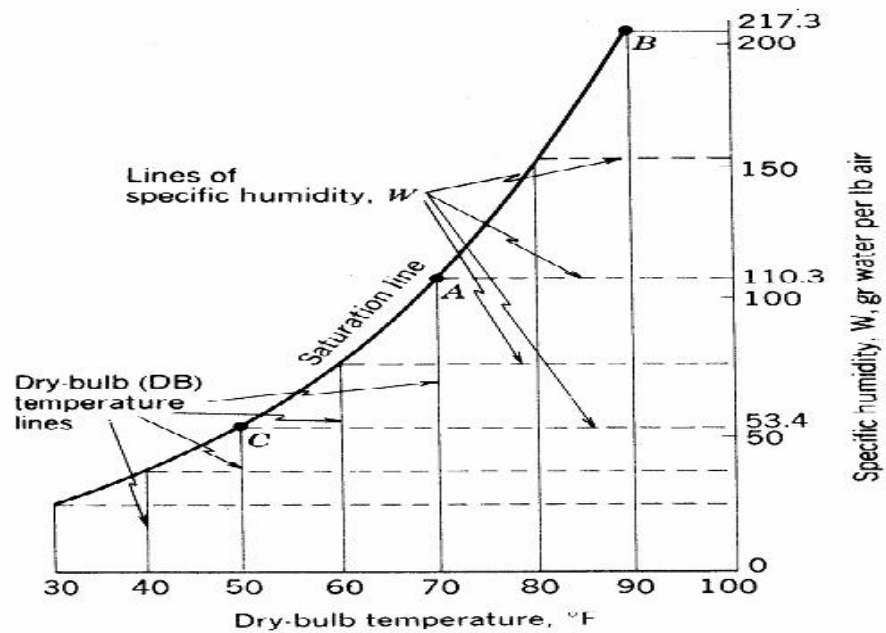
**Lampiran 1. Unit Pengolahan Udara**

Gbr. 4.13 Unit pengolah udara.

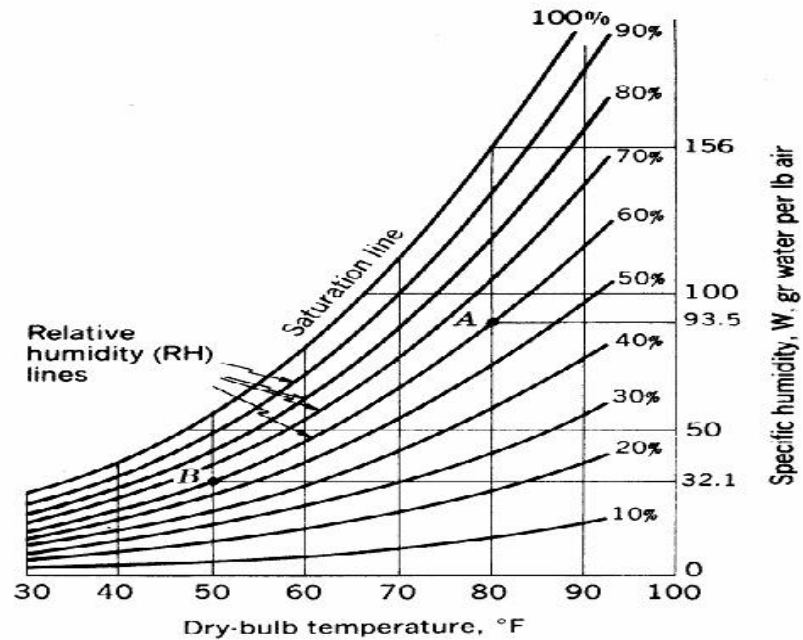
Lampiran 2. a). Tipikal pemetaan garis skala Psikrometrik chart



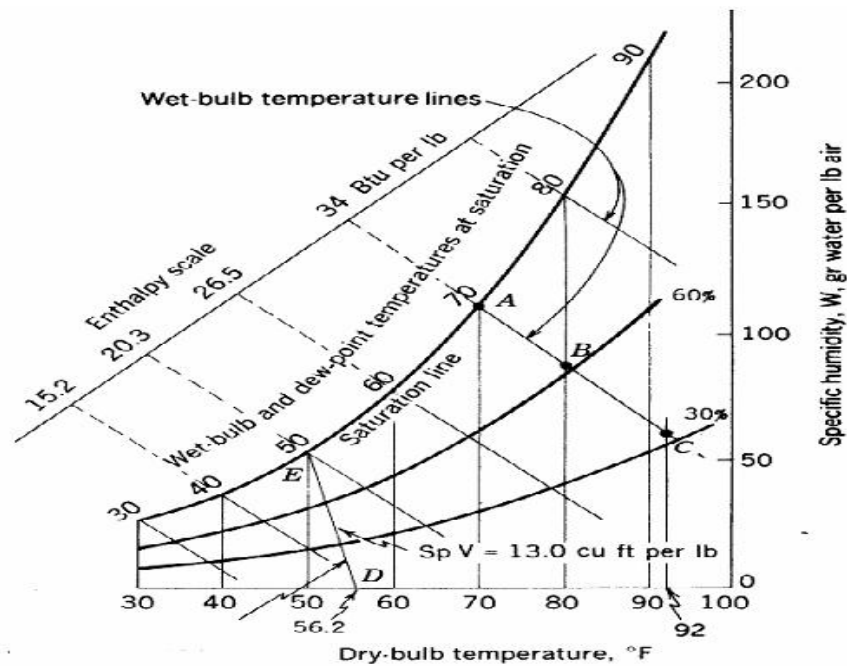
b). Tipikal pemetaan garis skala Suhu bola kering (DB), Kelembaban Spesifik (specific humidity, w), dan garis saturasi (saturation line)



c). Tipikal Pemetaan garis skala kelembaban relative atau relative humidity (RH).



d). Tipikal Pemetaan garis skala volume spesifik yang segaris dengan suhu bola basah (wet bulb), suhu titik embun (dew point temperature) dan entalpi.





### Lampiran 3. Tahanan Kalor Dan Kapasitas Kalor Dari Bahan Bangunan

Nama	Tahanan konduksi kalor ( $m^2 \text{ jam/kcal}$ )		Tahanan konduktivitas kalor ( $m \text{ jam}^\circ\text{C/kcal}$ )	Kapasitas kalor ( $\text{kcal/m}^3\text{C}$ )
	Tebal	R		
Temlaga		—	0,0030	819
Aluminium		—	0,0049	567
Besi		—	0,0142	821
Marmar		—		
Tanah		—	0,741	561
Air		—	1,9	378
		—	1,92	997
Beton (biasa)		—		
Beton (ringan)		—	0,714	481
Beton (sinder)		—	1,22	447
		—	1,45	427
Adukan semen		—		
Plester (adukan kapur)		—	1,07	551
Kayu		—	1,9	485
		—	7,35	247
Papan plester		—		
Papan parit		—	5,46	204
Papan asbestos semen		—	5,75	196
Papan flexibel	6 mm	0,0055	—	302
Papan semen serbuk kayu	25 mm	0,20	1,89	311
		—	—	147
Genteng		—		
Batu bata	210 mm	—	0,91	524
Kaca	3 mm	0,400	—	332
Aspal		0,0045	—	483
		—	1,6	491
Papan serabut lunak		—	19,3	110
Papan serabut keras		—	6,80	476
Rock wool (67 $\text{kg/m}^3$ )		—	18,4	13,4
Wol gelas (20 $\text{kg/m}^3$ )		—	26,5	4,0
Busa polyethylene (31 $\text{kg/m}^3$ )		—		
Busa polyurethane keras (29 $\text{kg/m}^3$ )		—	39,1	?
Gabus dengan karbon (165 $\text{kg/m}^3$ )		—	46,7	?
Batu apung (1,2–20 mm)		—	21,5	66
Wol		—	11	132
Udara (20°C)		—	10	52
		—	45,5	0,289

## Lampiran 4a. Koefisien Transmisi Kalor

Tabel Koefisien transmisi kalor dan kapasitas kalor dari dinding (a).

Tebal dinding (mm)		Koefisien transmisi kalor $K$ (kcal/m <sup>2</sup> jam°C)	*Kapasitas kalor per 1 m <sup>2</sup> (kcal/m <sup>2</sup> °C)
Lapisan (biasa)	Bagian utama		
Atap luar menonjol ke luar 5 mm Adukan semen di luar 15 mm Adukan semen di luar 15 mm Plester 3 mm	Beton 12 mm	3,08	79
	150	2,89	93
	200	2,62	117
	250	2,05	141
	Batu bata 210 mm	1,62	91
Tanpa lapisan	Beton 50 mm	4,75	24
	100 mm	4,06	48
	200 mm	3,15	96

\*Kapasitas kalor per 1 m<sup>2</sup> tebal dinding = kalikan tebal setiap lapisan dinding dengan kapasitas kalor (Tabel 3.12) yang bersangkutan dan jumlahkan.

Tabel Koefisien transmisi kalor dan kapasitas kalor atap\*.

Tebal atap (mm)				Koefisien transmisi kalor $K$ (kcal/m <sup>2</sup> h°C)	Kapasitas kalor per 1 m <sup>2</sup> (kcal/m <sup>2</sup> °C)
Kayu, asbestos semen, langit-langit (12 mmHARDTEX)					
Adukan semen rapat air 20 mm	biasa	Tebal beton 100 mm	Dengan langit-langit	1,94	53,8
			Tanpa langit-langit	3,45	57,8
		Tebal beton 150 mm	Dengan langit-langit	1,81	77,9
			Tanpa langit-langit	3,78	81,9
Lapisan adukan semen 20 mm Beton sinder 60 mm Aspal rapat air 10 mm	biasa	Tebal beton 120 mm	Dengan langit-langit	1,58	63,4
			Tanpa langit-langit	2,46	67,4
		Tebal beton 150 mm	Dengan langit-langit	1,13	77,9
			Tanpa langit-langit	2,34	81,9

\*Kapasitas kalor per 1 m<sup>2</sup> dinding atau atap = Kalikan tebal setiap lapisan dinding dengan kapasitas kalor (Tabel 3.12) yang bersangkutan dan jumlahkan.

## Lampiran 4b. Tabel Jumlah Udara, Kalor Sensibel dan Kalor Laten

Tabel . Udara luar masuk ruangan penyegaran ①.

Ruangan tanpa perokok	Toko serba ada, gedung pertunjukan, ruang komputer	18 m <sup>3</sup> /jam per orang
Ruangan dengan perokok (setengah jumlah orang merokok)	Kantor, ruang pertemuan, Restoran, ruang perawatan	30 " "
Kamar bebas merokok (Hampir semua orang merokok)	Ruang merokok Ruang pribadi Ruang tunggu	50 " "

Tabel Hambatan kalor permukaan  $R_g$ .

Bagian luar	$R_{gl}$	0,05 m <sup>2</sup> jam°C/kcal
Bagian dalam	$R_{gi}$ biasa	0,125° "

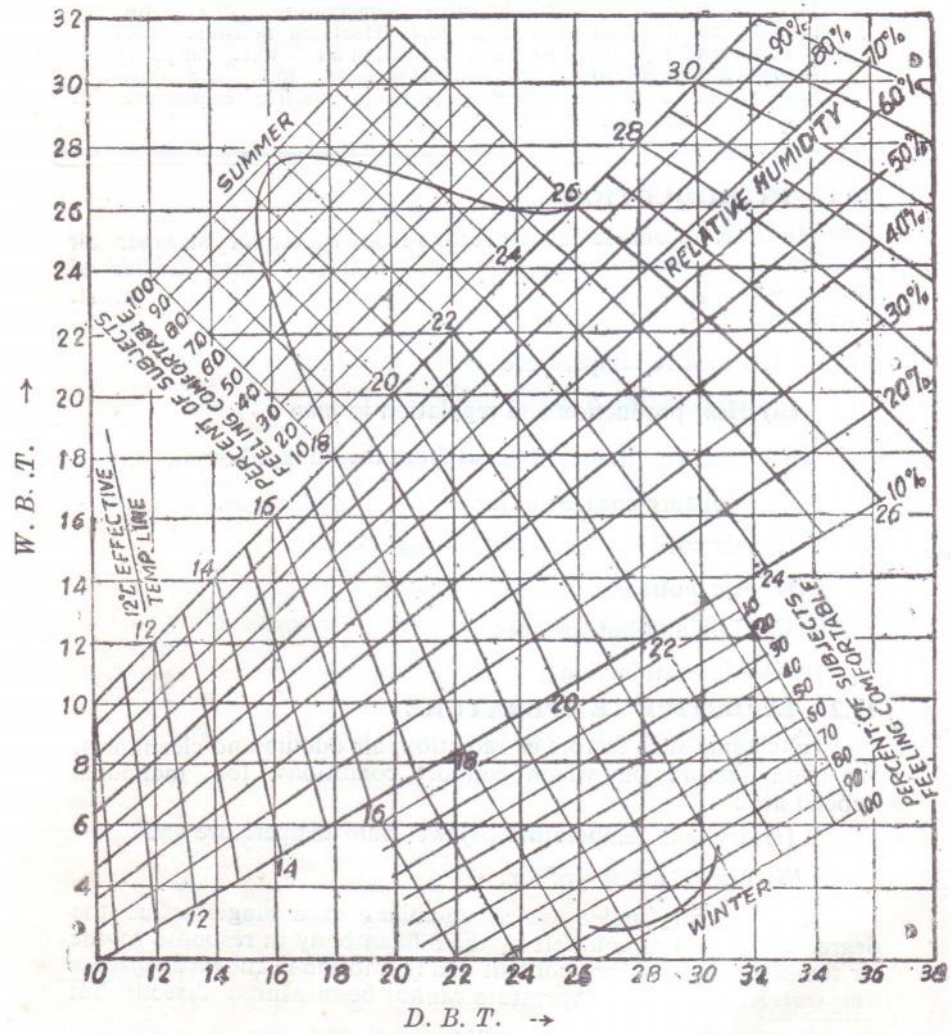
Tabel Jumlah kalor sensibel ②, kalor laten ③ dari orang dan faktor kelompok ④.

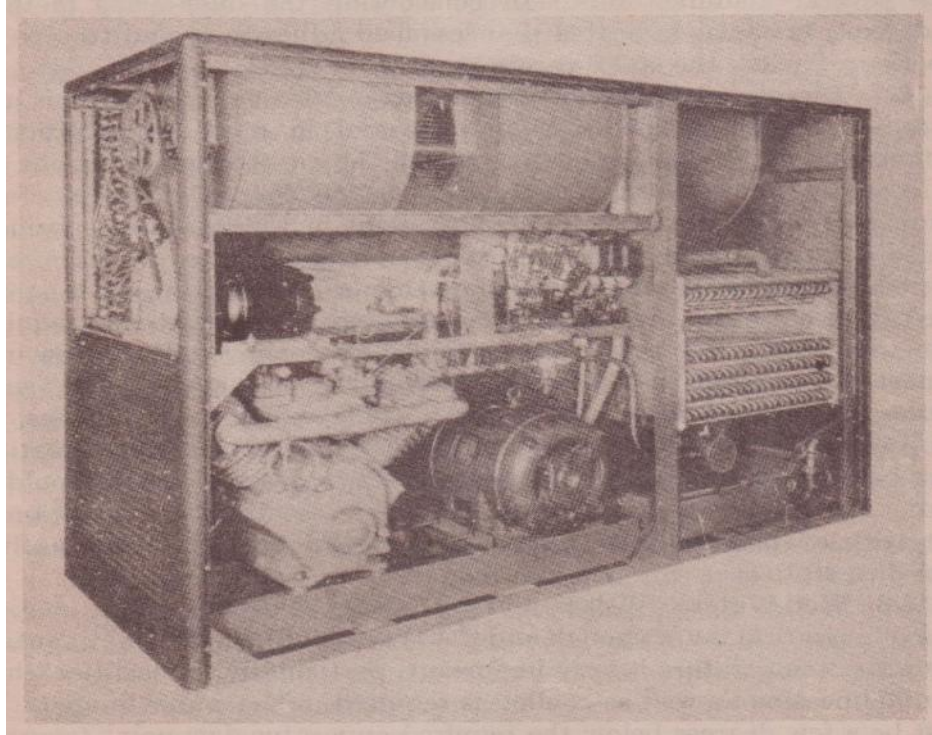
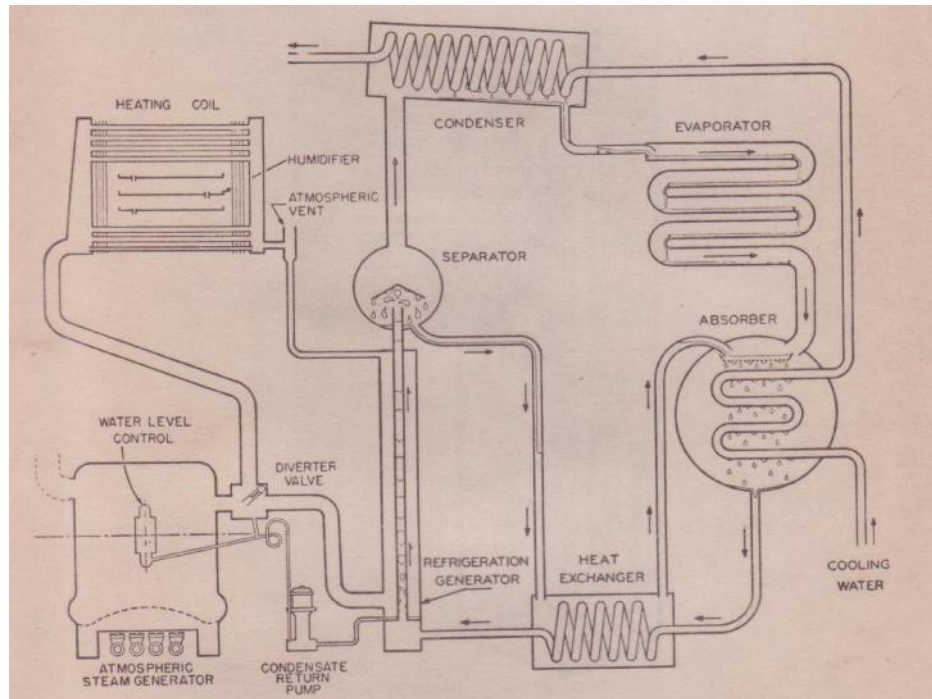
Kondisi kerja	Bangunan	Jumlah kalor total orang (laki-laki) dewasa	Jumlah kalor radiasi untuk perencanaan				Faktor kelompok orang yang bekerja ④
			Kalor pada	25°C	26°C	27°C	
Duduk di kursi	Gedung	87 kcal/jam	Sensibel ②	53	50	46	0,897
			Laten ③	25	28	32	
Bekerja di belakang meja	Kantor Hotel	106	Sensibel ②	53	49	45	0,947
			Laten ③	47	51	55	
Berdiri atau berjalan lambat	Toko serba ada Toko eceran	123	Sensibel ②	61	52		0,818
			Laten ③	40	44	49	
Dansa	Ruang dansa	201	Sensibel ②	68	62	55	0,944
			Laten ③	122	128	135	
Bekerja	Pabrik	335	Sensibel ②	115	110	106	0,967
			Laten ③	209	214	218	

## Lampiran 5. Sifat Refrigran 22 cairan dan uap jenuh

t, °C	P, kPa	Entalpi, kJ/kg		Entropi, kJ/kg · K		Volumé spesifik, L/kg	
		$h_f$	$h_g$	$s_f$	$s_g$	$v_f$	$v_g$
-60	37,48	134,763	379,114	0,73254	1,87886	0,68208	537,152
-55	49,47	139,830	381,529	0,75599	1,86389	0,68856	414,827
-50	64,39	144,959	383,921	0,77919	1,85000	0,69526	324,557
-45	82,71	150,153	386,282	0,80216	1,83708	0,70219	256,990
-40	104,95	155,414	388,609	0,82490	1,82504	0,70936	205,745
-35	131,68	160,742	390,896	0,84743	1,81380	0,71680	166,400
-30	163,48	166,140	393,138	0,86976	1,80329	0,72452	135,844
-28	177,76	168,318	394,021	0,87864	1,79927	0,72769	125,563
-26	192,99	170,507	394,896	0,88748	1,79535	0,73097	116,214
-24	209,22	172,708	395,762	0,89630	1,79152	0,73420	107,701
-22	226,48	174,919	396,619	0,90509	1,78779	0,73753	99,9362
-20	244,83	177,142	397,467	0,91386	1,78415	0,74091	92,8432
-18	264,29	179,376	398,305	0,92259	1,78059	0,74436	86,3546
-16	284,93	181,622	399,133	0,93129	1,77711	0,74786	80,4103
-14	306,78	183,878	399,951	0,93997	1,77371	0,75143	74,9572
-12	329,89	186,147	400,759	0,94862	1,77039	0,75506	69,9478
-10	354,30	188,426	401,555	0,95725	1,76713	0,75876	65,3397
-9	367,01	189,571	401,949	0,96155	1,76553	0,76063	63,1746
-8	380,06	190,718	402,341	0,96585	1,76394	0,76253	61,0958
-7	393,47	191,868	402,729	0,97014	1,76237	0,76444	59,0996
-6	407,23	193,021	403,114	0,97442	1,76082	0,76636	57,1820
-5	421,35	194,176	403,496	0,97870	1,75928	0,76831	55,3394
-4	435,84	195,335	403,876	0,98297	1,75775	0,77028	53,5682
-3	450,70	196,497	404,252	0,98724	1,75624	0,77226	51,8653
-2	465,94	197,662	404,626	0,99150	1,75475	0,77427	50,2274
-1	481,57	198,828	404,994	0,99575	1,75326	0,77629	48,6517
0	497,59	200,000	405,361	1,00000	1,75279	0,77834	47,1351
1	514,01	201,174	405,724	1,00424	1,75134	0,78041	45,6757
2	530,83	202,351	406,084	1,00848	1,74989	0,78249	44,2702
3	548,06	203,530	406,440	1,01271	1,74846	0,78460	42,9166
4	565,71	204,713	406,793	1,01694	1,74704	0,78673	41,6124
5	583,78	205,899	407,143	1,02116	1,74563	0,78889	40,3556
6	602,28	207,089	407,489	1,02537	1,74424	0,79107	39,1441
7	621,22	208,281	407,831	1,02958	1,74285	0,79327	37,9759
8	640,55	209,477	408,169	1,03379	1,74147	0,79549	36,8493
9	660,42	210,675	408,504	1,03799	1,73991	0,79775	35,7624
10	680,70	211,877	408,835	1,04218	1,73875	0,80002	34,7136
11	701,44	213,083	409,162	1,04637	1,73760	0,80232	33,7013
12	722,63	214,291	409,485	1,05056	1,73646	0,80465	32,7239
13	744,23	215,503	409,804	1,05474	1,73533	0,80701	31,7801
14	766,50	216,719	410,119	1,05892	1,73421	0,80939	30,8683
15	789,15	217,937	410,430	1,06309	1,73309	0,81180	29,9874
16	812,29	219,160	410,736	1,06726	1,73197	0,81424	29,1361
17	835,93	220,386	411,038	1,07143	1,73084	0,81671	28,3131
18	860,08	221,615	411,336	1,07559	1,72971	0,81922	27,5173
19	884,75	222,848	411,629	1,07974	1,72859	0,82175	26,7477
20	909,93	224,084	411,918	1,08390	1,72746	0,82431	26,0032
21	935,64	225,324	412,202	1,08805	1,72634	0,82691	25,2829
22	961,89	226,568	412,481	1,09220	1,72522	0,82954	24,5857
23	988,67	227,816	412,755	1,09634	1,72410	0,83221	23,9107
24	1016,0	229,068	413,025	1,10048	1,72298	0,83491	23,2572
25	1043,9	230,324	413,289	1,10462	1,72187	0,83765	22,6242
26	1072,3	231,583	413,548	1,10876	1,72076	0,84043	22,0111
27	1101,4	232,847	413,802	1,11290	1,71966	0,84324	21,4169
28	1130,9	234,115	414,050	1,11703	1,71856	0,84610	20,8411

Lampiran 6. Diagram Temperatur Bola Basah dan Bola Kering



**Lampiran 7a. Komponen Air Conditioning (AC) Terpasang****Lampiran 7b. Diagram Siklus Air Conditioning (AC)**

**Lampiran 8. Air Conditioning Sistem Sentral Pada Industri**