

SKRIPSI

**KARAKTERISTIK MESIN PENDINGIN GUNT HAMBURG
ET 600 *CONDITIONING OF ROOM AIR***

Oleh :
Amar Ma'ruf
D211 16 030



**DEPARTEMEN MESIN FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR
2023**

SKRIPSI

**KARAKTERISTIK MESIN PENDINGIN GUNT HAMBURG
ET 600 *CONDITIONING OF ROOM AIR***

**Oleh :
Amar Ma'ruf
D211 16 030**

**Merupakan salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik
Mesin di Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin**

**DEPARTEMEN MESIN FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR
2023**

LEMBAR PENGESAHAN

Tugas akhir ini diajukan untuk memenuhi salah satu persyaratan mengikuti Ujian Akhir guna memperoleh gelar Sarjana Teknik Mesin pada Departemen Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin

JUDUL :

**KARAKTERISTIK MESIN PENDINGIN GUNT HAMBURG
ET 600 *CONDITIONING OF ROOM AIR***

AMAR MA'RUF
D21116030

Telah diperiksa dan disetujui oleh :

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing 2



Prof. Dr-Ing. Ir. Wahyu H. Piarah, MSME
NIP. 19600302 198609 1 001

Prof. Dr. Ir. Zurvati Djafar, MT
NIP. 19680301 199702 2 001

Mengetahui

Ketua Departemen Teknik Mesin
Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin



Prof. Dr. Eng. Ir. Jalaluddin, ST., MT.
NIP. 19720825 200003 1 001

PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Amar Ma'ruf
Nomor mahasiswa : D21116030
Program studi : Teknik Mesin
Jenjang : Program Sarjana (S1)

Menyatakan dengan sebenarnya bahwa karya tulisan saya yang berjudul :

KARAKTERISTIK MESIN PENDINGIN GUNT HAMBURG ET 600 *CONDITIONING OF ROOM AIR*

Adalah karya tulisan saya sendiri dan bukan pengambilan alihan tulisan orang lain, skripsi yang saya tulis benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri. Apabila dikemudian hari dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan skripsi ini hasil karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Makassar, 04 Agustus 2023

Yang menyatakan



Amar Ma'ruf
NIM : D21116030

ABSTRAK

Perkembangan teknologi berkembang secara drastis dan terus berevolusi dalam kehidupan manusia. Salah satu teknologi tersebut adalah alat pengkondisian udara atau yang biasa disebut dengan sistem refrigerasi (Darmawan, Awan Satya. 2016). Mesin pendingin merupakan sebuah alat yang digunakan untuk mengambil kalor dari tempat yang bersuhu rendah dan membuang kalor tersebut ke tempat yang bersuhu tinggi.. Mesin pendingin sendiri dapat berupa *refrigerator, freezer, chiller, serta AC (air conditioning)*. AC sendiri fungsinya adalah sebagai pendingin atau penyejuk temperatur udara yang ada dalam ruangan. (Anwar, Khairil. 2010). Adapun tujuan dari penelitian ini adalah mengetahui karakteristik udara atmosfer dan udara lembab yang dipanaskan dan didinginkan dengan alat ET 600 *Conditioning of Room Air*.

Alat yang digunakan pada penelitian ini yaitu ET 600 *Conditioning of Room Air* adalah alat pengujian mesin pendingin yang berintegrasi langsung dengan sensor pembacaan data yang dapat ditampilkan melalui komputer. Untuk mengetahui karakteristik dari Mesin Pendingin Gunt Hamburg ET 600 *Conditioning of Room Air*, maka dilakukan beberapa pengujian yaitu : pengujian kalibrasi, pengujian pemanasan udara atmosfer, pengujian pemanasan udara lembab, pendinginan udara atmosfer dan pendinginan udara lembab. Beberapa pengujian ini menggunakan 3 variasi *heater* (1 kW ; 1,5 kW dan 2 kW), sebanyak 10 kali pembukaan katup mulai dari 10%, 20%, 30%, 40%, 50%, 60%, 70%, 80%, 90% dan 100%.

Berdasarkan hasil penelitian diperoleh bahwa karakteristik udara pada kondisi normal memiliki rasio kelembaban yang nilainya semakin meningkat seperti pada section 1 pembukaan katup 1 nilai terendah sebesar 0,0218 kgv/kgda, nilai tertingginya terjadi pada pembukaan katup 10 sebesar 0,0225 kgv/kgda, kelembaban relatifnya juga mengalami peningkatan seperti pada section 1 pembukaan katup 1 nilai terendah sebesar 85,7220%, nilai tertingginya terjadi pada pembukaan katup 9 sebesar 85,8489% dan densitas udara nilainya semakin menurun seperti pada section 1 pembukaan katup 1 nilai tertinggi sebesar 1,1178 kg/m³, nilai terendahnya terjadi pada pembukaan katup 9 sebesar 1,1149 kg/m³ ; pada kondisi pemanasan udara atmosfer yakni memiliki rasio kelembaban yang nilai tertingginya terjadi pada kondisi setelah heater sebesar 0,0733 kgv/kgda, dan kelembaban relatif nilai tertingginya terjadi pada kondisi setelah heater sebesar 89,4033% ; pada kondisi pemanasan udara lembab yakni memiliki rasio kelembaban yang nilai tertingginya terjadi pada kondisi setelah heater sebesar 0,0771 kgv/kgda, dan kelembaban relatif nilai tertingginya terjadi pada kondisi sebelum heater sebesar 86,7038% ; pada kondisi pendinginan udara atmosfer yakni memiliki rasio kelembaban yang nilai tertingginya terjadi pada kondisi sebelum evaporator sebesar 0,0220 kgv/kgda dan untuk densitas udara nilai tertingginya terjadi pada kondisi setelah evaporator sebesar 1,1294 kg/m³ ; pada kondisi pendinginan udara lembab yakni memiliki rasio kelembaban yang nilai tertingginya terjadi pada kondisi ruangan sebesar 0,0221 kgv/kgda dan untuk densitas udara nilai tertingginya terjadi pada kondisi setelah evaporator sebesar 1,1689 kg/m³

Kata Kunci : Karakteristik, Alat, Mesin Pendingin.

ABSTRACT

The development of technology develops drastically and continues to evolve in human life. One of these technologies is an air conditioning device or commonly referred to as a refrigeration system (Darmawan, Awan Satya. 2016). A cooling machine is a device used to take heat from a place with low temperature and dispose of the heat to a place with high temperature. The cooling machine itself can be in the form of a *refrigerator, freezer, chiller, and air conditioning (air conditioning)*. AC itself functions as a cooler or air conditioner in the room. (Anwar, Khairil. 2010). The purpose of this study is to determine the characteristics of atmospheric air and moist air that are heated and cooled with the ET 600 *Conditioning of Room Air tool*.

The tool used in this study, ET 600 *Conditioning of Room Air*, is a cooling machine testing tool that integrates directly with data reading sensors that can be displayed through a computer. To determine the characteristics of the Gunt Hamburg ET 600 *Conditioning of Room Air Cooling Machine*, several tests were carried out, namely: calibration testing, atmospheric air heating testing, humid air heating testing, atmospheric air cooling and humid air cooling. Some of these tests use 3 heater variations (1 kW ; 1.5 kW and 2 kW), as many as 10 valve openings ranging from 10%, 20%, 30%, 40%, 50%, 60%, 70%, 80%, 90% and 100%.

Based on the results of the study, it was obtained that the characteristics of air under normal conditions have a humidity ratio whose value is increasing as in section 1 valve opening 1 the lowest value is 0.0218 kgv / kgda, the highest value occurs at valve opening 10 of 0.0225 kgv / kgda, the relative humidity also increases as in section 1 valve opening 1 the lowest value is 85.7220%, The highest value occurs at the opening of valve 9 of 85.8489% and the air density of the value decreases as in section 1 of valve opening 1 the highest value is 1.1178 kg / m³, the lowest value occurs at the opening of valve 9 of 1.1149 kg / m³ ; in atmospheric air heating conditions, which has a humidity ratio whose highest value occurs in conditions after the heater of 0.0733 kgv / kgda, and the highest relative humidity occurs in conditions after the heater of 89.4033%; in humid air heating conditions, which has a humidity ratio whose highest value occurs in conditions after the heater of 0.0771 kgv / kgda, and the highest relative humidity occurs in conditions before the heater of 86.7038%; In atmospheric air cooling conditions, which has a humidity ratio whose highest value occurs in conditions before the evaporator of 0.0220 kgv / kgda and for air density the highest value occurs in conditions after the evaporator of 1.1294 kg / m³; In humid air cooling conditions, which has a humidity ratio whose highest value occurs in room conditions of 0.0221 kgv / kgda and for air density the highest value occurs in conditions after the evaporator of 1.1689 kg / m³

Keywords: Characteristics, Tools, Cooling Machines.

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT, atas banyaknya Berkah, Rahmat dan Hidayah-Nya sehingga tugas akhir ini dapat terselesaikan dengan baik. Penulisan Skripsi ini diajukan untuk memenuhi salah satu syarat menyelesaikan studi serta dalam rangka memperoleh gelar Sarjana Teknik Strata Satu pada Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin. Judul yang penulis ajukan adalah : **“KARAKTERISTIK MESIN PENDINGIN GUNT HAMBURG ET 600 CONDITIONING OF ROOM AIR”**. Sholawat serta salam semoga tercurah limpahkan dipangkuan Nabiullah Muhammad Shollallahu Alaihi Wasallam, kepada keluarganya, para sahabatnya, hingga kepada umatnya hingga akhir zaman, Aamiin.

Penghargaan dan terima kasih yang setulus-tulusnya kepada kedua orang tua Ibu dan Bapak yang kusayangi Sadamuri dan Sukiman yang telah mencurahkan segenap cinta dan kasih sayang serta perhatian moril maupun materil. Semoga Allah SWT selalu melimpahkan rahmat, kesehatan, karunia dan keberkahan di dunia dan di akhirat atas budi baik yang telah diberikan kepada penulis.

Penghargaan dan terima kasih penulis berikan kepada Bapak Prof. Dr-Ing. Ir. Wahyu H. Piarah, MSME. selaku Dosen pembimbing I dan Ibu Prof. Dr. Ir. Zuryati Djafar, MT. selaku Dosen pembimbing II yang telah banyak membantu baik dalam penulisan maupun pemikiran pada skripsi ini. Serta ucapan terima kasih kepada :

1. Bapak Prof. Dr. Ir. Jamaluddin Jompa, M.Sc. selaku Rektor Universitas Hasanuddin.
2. Bapak Prof. Dr. Eng. Jalaluddin, ST., MT. selaku Ketua Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
3. Seluruh dosen penguji, Ibu Dr. Eng. Novriany Amaliyah, ST., MT. dan bapak Asriadi Sakka, ST., M.Eng. yang telah memberikan masukan untuk menyempurnakan skripsi saya.
4. Seluruh dosen dan staff Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin atas segala ilmu, nasihat dan bantuan selama penulis berkuliah.

5. Saudara – saudara seperjuangan COMPREZZOR 2016 yang setia menemani, mambantu, motivator dan mendukung penulis dari awal kuliah dan seterusnya.
6. Organisasi kemahasiswaan HMM FT-UH sebagai wadah belajar dan pembentukan karakter penulis hingga saat ini.
7. Teman – teman seperjuangan Laboratorium Mesin Pendingin dan Pemanas yang telah bersedia menemani dan membantu selama masa penelitian dan penyusunan tugas akhir ini.
8. Saudara – saudara Tidung Ceria yang selalu memberikan motivasi walaupun kadang tidak berguna namun sangat berarti dalam perjalanan tugas akhir ini.

Tentunya dalam penyusunan tugas akhir ini masih terdapat kekurangan dan masih jauh dari kata sempurna. Semua kebaikan berasal dari Allah semata, segala kekurangan dan kekeliruan berasal dari penulis maka dari itu penulis memohon maaf atas segala kesalahan, kritik dan saran sangat dibutuhkan untuk penelitian-penelitian selanjutnya.

Makassar, 04 Agustus 2023

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	ii
LEMBAR PENGESAHAN	iii
PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI.....	iv
ABSTRAK	v
ABSTRACT	vi
KATA PENGANTAR.....	vii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR GAMBAR.....	xi
DAFTAR TABEL	xiv
BAB I.....	16
PENDAHULUAN.....	16
1.1 Latar Belakang	16
1.2 Perumusan Masalah	17
1.3 Tujuan Penelitian	17
1.4 Batasan Masalah	17
1.5 Manfaat Penelitian	18
BAB II	19
TINJAUAN PUSTAKA	19
2.1 Refrigerasi dan Pengkondisian Udara.....	19
2.2 Sistem Kompresi Uap	19
2.3 Komponen Utama Siklus Kompresi Uap.....	26
2.4 Refrigeran	29
2.5 Analisis Termodinamika Siklus Kompresi Uap.....	32
2.6 Analisa Grafik Sistem Kompresi Uap.....	37
2.7 Diagram Psikometrik dan Sifat Udara Basah	40
2.8 Proses Perubahan Keadaan Udara.....	42
BAB III.....	45
METODOLOGI PENELITIAN	45
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian	45
3.2 Alat Penelitian.....	45
3.3 Pengujian Karakteristik Alat.....	45

3.4 Prosedur Pengujian	46
3.5 Metode Pengumpulan Data	49
3.6 Rencana dan Jadwal Penelitian	59
BAB IV	60
HASIL DAN PEMBAHASAN	60
4.1 Gambaran Umum Penelitian	60
4.2 Hasil Penelitian	63
BAB V.....	146
PENUTUP.....	146
5.1 Kesimpulan	146
5.2 Saran	147
DAFTAR PUSTAKA	148
LAMPIRAN.....	149

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Sistem Refrigerasi kompresi uap	19
Gambar 2.2 Daur Refrigerasi Carnot	21
Gambar 2.3 Diagram Suhu-Entropi daur refrigerasi Carnot	21
Gambar 2.4 Diagram tekanan-entalpi siklus kompresi uap	23
Gambar 2.5 Sistem refrigerasi kompresi uap	23
Gambar 2.6 Daur kompresi uap nyata dibanding daur standar.....	25
Gambar 2.7 Kondensor pendingin udara jenis koil bersirip	27
Gambar 2.8 Evaporator koil bersirip.....	28
Gambar 2.9 Titik beku larutan glikol etilen.....	31
Gambar 2.10 Keseimbangan energi pada volume kendali.....	33
Gambar 2.11 Efisiensi volumetrik ruang sisa dan laju aliran massa.....	37
Gambar 2.12 Kerja kompresi dan daya yang dibutuhkan.	38
Gambar 2.13 Dampak refrigerasi dan kapasitas kompresor	39
Gambar 2.14 Koefisien prestasi dan aliran volume per kilowatt	39
Gambar 2.15 Kapasitas refrigerasi dan kebutuhan daya	40
Gambar 2.16 Diagram psikometrik	40
Gambar 2.17 Macam-macam proses perubahan keadaan udara.	42
Gambar 2.18 Pemanasan dan pendinginan sensibel.....	44
Gambar 2.19 Proses pendinginan dan penurunan kelembaban.....	44
Gambar 3.1 Tampak depan ET 600 <i>Conditioning of Room Air</i>	45
Gambar 4.1 Skema AC beserta komponen dan titik pengukuran	60
Gambar 4.2 Grafik Hubungan PK vs P_v '	66
Gambar 4.3 Grafik Hubungan PK vs P_v	67
Gambar 4.4 Grafik Hubungan PK vs (ω)	68
Gambar 4.5 Grafik Hubungan PK vs RH	69
Gambar 4.6 Grafik Hubungan PK vs v	70
Gambar 4.7 Grafik Hubungan PK vs ρ	71
Gambar 4.8 Grafik Hubungan PK vs V_{ud}	72
Gambar 4.9 Grafik Hubungan PK vs Q_{ud}	73

Gambar 4.10 Grafik Hubungan PK vs Pv'	76
Gambar 4.11 Grafik Hubungan PK vs Pv	77
Gambar 4.12 Grafik Hubungan PK vs (ω)	78
Gambar 4.13 Grafik Hubungan PK vs RH	79
Gambar 4.14 Grafik Hubungan PK vs v	80
Gambar 4.15 Grafik Hubungan PK vs (ρ)	81
Gambar 4.16 Grafik Hubungan PK vs h	82
Gambar 4.17 Grafik Hubungan PK vs Pv'	85
Gambar 4.18 Grafik Hubungan PK vs Pv	86
Gambar 4.19 Grafik Hubungan PK vs (ω)	87
Gambar 4.20 Grafik Hubungan PK vs RH	88
Gambar 4.21 Grafik Hubungan PK vs (v)	89
Gambar 4.22 Grafik Hubungan PK vs ρ	90
Gambar 4.23 Grafik Hubungan PK vs h	91
Gambar 4.24 Grafik Hubungan PK vs Pv'	94
Gambar 4.25 Grafik Hubungan PK vs Pv	95
Gambar 4.26 Grafik Hubungan PK vs ω	96
Gambar 4.27 Grafik Hubungan PK vs RH	97
Gambar 4.28 Grafik Hubungan PK vs v	98
Gambar 4.29 Grafik Hubungan PK vs ρ	99
Gambar 4.30 Grafik Hubungan PK vs h	100
Gambar 4.31 Grafik Hubungan PK vs Pv'	103
Gambar 4.32 Grafik Hubungan PK vs Pv	104
Gambar 4.33 Grafik Hubungan PK vs ω	105
Gambar 4. 34 Grafik Hubungan PK vs RH	106
Gambar 4.35 Grafik Hubungan PK vs v	107
Gambar 4.36 Grafik Hubungan PK vs ρ	108
Gambar 4.37 Grafik Hubungan PK vs h	109
Gambar 4.38 Grafik Hubungan PK vs Pv'	112
Gambar 4.39 Grafik Hubungan PK vs Pv	113
Gambar 4. 40 Grafik Hubungan PK vs ω	114

Gambar 4.41 Grafik Hubungan PK vs RH	115
Gambar 4.42 Grafik Hubungan PK vs v	116
Gambar 4.43 Grafik Hubungan PK vs ρ	117
Gambar 4.44 Grafik Hubungan PK vs h	118
Gambar 4.45 Grafik Hubungan PK vs Pv'	121
Gambar 4.46 Grafik Hubungan PK vs Pv	122
Gambar 4.47 Grafik Hubungan PK vs ω	123
Gambar 4.48 Grafik Hubungan PK vs RH	124
Gambar 4.49 Grafik Hubungan PK vs v	125
Gambar 4.50 Grafik Hubungan PK vs ρ	126
Gambar 4.51 Grafik Hubungan PK vs h	127
Gambar 4.52 Grafik Hubungan PK vs Pv'	130
Gambar 4.53 Grafik Hubungan PK vs Pv	131
Gambar 4.54 Grafik Hubungan PK vs ω	132
Gambar 4.55 Grafik Hubungan PK vs RH	133
Gambar 4.56 Grafik Hubungan PK vs v	134
Gambar 4.57 Grafik Hubungan PK vs ρ	135
Gambar 4.58 Grafik Hubungan PK vs h	136
Gambar 4.59 Grafik Hubungan PK vs Pv'	139
Gambar 4.60 Grafik Hubungan PK vs Pv	140
Gambar 4.61 Grafik Hubungan PK vs ω	141
Gambar 4.62 Grafik Hubungan PK vs RH	142
Gambar 4.63 Grafik Hubungan PK vs v	143
Gambar 4.64 Grafik Hubungan PK vs ρ	144
Gambar 4.65 Grafik Hubungan PK vs h	145

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Beberapa Senyawa Halokarbon	29
Tabel 2.2	Beberapa Senyawa Anorganik	30
Tabel 2.3	Beberapa Senyawa Hidrokarbon	30
Tabel 3.1	Rencana dan Jadwal Penelitian	59
Tabel 4.1	Kalibrasi section 1	64
Tabel 4.2	Kalibrasi section 2	64
Tabel 4.3	Kalibrasi section 3	65
Tabel 4.4	Kalibrasi section 4	65
Tabel 4.5	Kondisi Ruang (T1)	74
Tabel 4.6	Sebelum Heater (T1)	74
Tabel 4.7	Setelah Heater (T1)	75
Tabel 4.8	Karakteristik Pemanasan	75
Tabel 4.9	Kondisi Ruang (T1)	83
Tabel 4.10	Sebelum Heater (T2)	83
Tabel 4.11	Setelah Heater (T5)	84
Tabel 4.12	Karakteristik Pemanasan	84
Tabel 4.13	Kondisi Ruang (T1)	92
Tabel 4.14	Sebelum Heater (T4)	92
Tabel 4.15	Setelah Heater (T5)	93
Tabel 4.16	Karakteristik Pemanasan	93
Tabel 4.17	Kondisi Ruang (T1)	101
Tabel 4.18	Sebelum Heater (T1)	101
Tabel 4.19	Setelah Heater (T2)	102
Tabel 4.20	Karakteristik Pemanasan	102
Tabel 4.21	Kondisi Ruang (T1)	110
Tabel 4.22	Sebelum Heater (T2)	110
Tabel 4.23	Setelah Heater (T5)	111
Tabel 4.24	Karakteristik Pemanasan	111
Tabel 4.25	Kondisi Ruang (T1)	119

Tabel 4.26	Sebelum Heater (T4)	119
Tabel 4.27	Setelah Heater	120
Tabel 4.28	Karakteristik Pemanasan	120
Tabel 4.29	Kondisi Ruangan (T1).....	128
Tabel 4.30	Sebelum Evaporator (T2)	128
Tabel 4.31	Setelah Evaporator	129
Tabel 4.32	Karakteristik Pendinginan	129
Tabel 4.33	Kondisi Ruangan (T1).....	137
Tabel 4.34	Sebelum Evaporator (T2)	137
Tabel 4. 35	Setelah Evaporator (T3).....	138
Tabel 4.36	Karakteristik Pendinginan	138

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perkembangan teknologi berkembang secara drastis dan terus berevolusi dalam kehidupan manusia. Salah satu teknologi tersebut adalah alat pengkondisian udara atau yang biasa disebut dengan sistem refrigerasi. Refrigerasi merupakan proses penyerapan kalor dari ruangan bertemperatur tinggi dan memindahkan kalor tersebut ke suatu medium tertentu yang bertemperatur lebih rendah sehingga didapatkan tercapainya suatu temperatur dan dipertahankannya temperatur tersebut dibawah temperatur lingkungan. (Darmawan, Awan Satya. 2016)

Mesin pendingin merupakan sebuah alat yang digunakan untuk mengambil kalor dari tempat yang bersuhu rendah dan membuang kalor tersebut ke tempat yang bersuhu tinggi. Pada saat ini mesin pendingin sudah sangat banyak digunakan oleh masyarakat khususnya diperkotaan, mesin pendingin sudah sangat banyak digunakan oleh masyarakat khususnya diperkotaan, mesin pendingin dapat dijumpai pada hampir setiap pertokoan, gedung – gedung kantor dan rumah tangga. Mesin pendingin sendiri dapat berupa *refrigerator, freezer, chiller, serta AC (air conditioning)*. AC sendiri fungsinya adalah sebagai pendingin atau penyejuk temperatur udara yang ada dalam ruangan. (Anwar, Khairil. 2010)

Pengkondisian udara pada suatu ruang mengatur mengenai kelembaban, pemanasan dan pendinginan udara dalam ruangan. Pengkondisian ini bertujuan memberikan kenyamanan, sehingga mampu mengurangi kelelahan yang efeknya untuk meningkatkan kebugaran. Berdasarkan dengan hukum kekekalan energi maka energi tidak dapat dimusnahkan hanya saja dapat dipindahkan dari satu tempat ke tempat lainnya. Untuk memindahkan energi panas didalam ruangan, dibutuhkan suatu *fluida* penukar kalor yang disebut dengan *refrigerant*. Dalam sistem pendingin ruangan yang paling sederhana

umumnya memiliki komponen utama yaitu kompresor, kondensor, katup ekspansi dan evaporator. (Kusnanto, S. 2004)

Untuk mendapatkan suhu udara yang sesuai dengan yang diinginkan banyak alternatif yang dapat diterapkan, diantaranya adalah dengan menaikkan koefisien perpindahan kalor kondensasi dan dengan menambahkan kecepatan udara pendingin pada kondensor sehingga akan diperoleh harga koefisien prestasi yang lebih besar. (Yawara, Eka. 2003)

Alat peraga “*ET 600 Conditioning of Room Air*” berisi semua komponen yang digunakan dalam layanan bangunan. Alat ini juga dilengkapi dengan sistem pendinginan lengkap, yang berarti bahwa alat peraga ini mencakup hampir seluruh rentang percobaan dalam pendinginan dan penyejuk udara.

Berdasarkan uraian diatas penulis tertarik untuk mengkaji “Karakteristik Mesin Pendingin Gunt Hamburg *ET 600 Conditioning of Room Air*”.

1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas, terhadap masalah yang dapat dirumuskan adalah bagaimana karakteristik udara atmosfer dan udara lembab yang dipanaskan dan didinginkan dengan alat *ET 600 Conditioning of Room Air* ?

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah mengetahui karakteristik udara atmosfer dan udara lembab yang dipanaskan dan didinginkan dengan alat *ET 600 Conditioning of Room Air*.

1.4 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah dalam penelitian ini, yaitu :

1. Mesin pendingin *Conditioning of Room Air* berada diruangan tertutup dan kondisi suhu di sekitar ruangan $\pm 19,6^{\circ}$ C.
2. Dimensi alat : $P \times L \times T = 2570 \times 790 \times 1750$ mm

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan dalam penelitian ini, yaitu :

1. Dapat memberikan informasi sebagai referensi tambahan yang ingin melakukan riset secara khusus di bidang teknologi *Heating and Cooling*.
2. Sebagai bentuk upaya untuk mengetahui efisiensi dari peralatan ET 600 *Conditioning of Room Air*.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

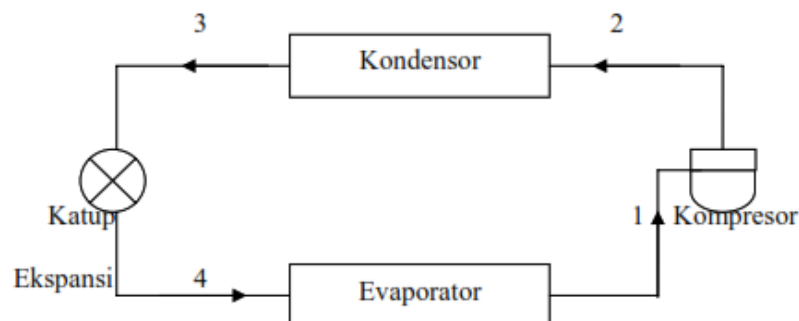
2.1 Refrigerasi dan Pengkondisian Udara

Refrigerasi dan pengkondisian udara merupakan suatu proses yang saling berkaitan satu sama lain, akan tetapi masing – masing mempunyai ruang lingkup yang berbeda-beda. Refrigerasi merupakan proses penurunan temperatur dan menjaga agar temperatur ruang atau bahan yang ada di ruangan tetap berada dibawah temperatur sekelilingnya. Dengan kata lain ruang lingkup teknik refrigerasi adalah proses pendinginan. Bidang penerapannya banyak dijumpai pada industri pengawetan makanan (cold storage), industri bahan kimia, dan lain-lain.

Sedangkan teknik pengkondisian udara tidak hanya mendinginkan udara, tetapi penekanannya pada kenyamanan pengguna atau pemakai (*Comfort Air Conditioning*). Menurut definisi pengkondisian udara adalah pengaturan simultan terhadap temperatur, kelembaban, aliran dan kebersihan udara didalam suatu ruangan. Pengkondisian udara juga mencakup usaha pemanasan atau penghangatan ruangan. Penerapan pengkondisian udara banyak dijumpai pada pusat perbelanjaan, rumah tinggal, perhotelan, dan perkantoran.

2.2 Sistem Kompresi Uap

Sistem kompresi uap sederhana terlihat pada gambar dibawah ini :



Gambar 2.1 Sistem Refrigerasi kompresi uap (Stoecker, 1982 : 187)

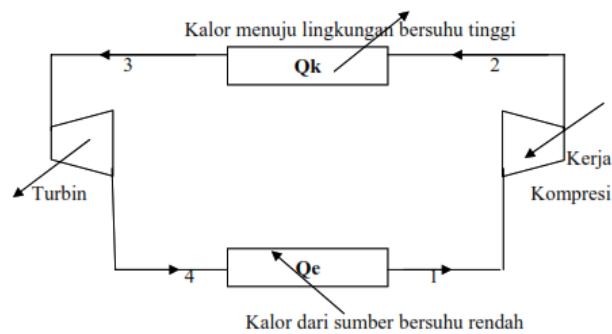
Daur kompresi uap merupakan daur yang banyak digunakan dalam refrigerasi. Pada daur uap ini ditekan, dan kemudian diembunkan menjadi cairan, kemudian tekanannya diturunkan agar cairan tersebut dapat menguap kembali. Refrigeran yang bertekanan rendah akan menguap didalam pipa-pipa pada evaporator. Penguapan ini membutuhkan energi kalor yang diserap dari sekelilingnya, sehingga ruangan menjadi dingin karena temperaturnya turun. Uap refrigeran yang berasal dari evaporator selanjutnya akan masuk ke jalur hisap (*suction line*) menuju kompresor.

Refrigeran yang bertekanan dan bertemperatur rendah ini didalam kompresor akan dikompresi sehingga menjadi refrigeran yang bertemperatur dan tekanannya tinggi. Kemudian dari kompresor, refrigeran yang telah berbentuk uap masuk ke dalam kondensor. Refrigeran yang berbentuk uap ini dalam kondensor akan didinginkan oleh udara sehingga berkondensasi menjadi cairan refrigeran. Didalam kondensor, energi kalor yang dibawa oleh uap refrigeran dilepaskan dan diterima oleh medium pendinginnya (*udara*). Refrigeran cair dari kondensor selanjutnya akan diterima oleh tangki (*receiver tank*) dan dialirkan lagi masuk ke evaporator melalui alat pengatur refrigeran (*refrigerant flow control*). Pada alat ini, tekanan refrigeran yang masuk ke evaporator diturunkan. Penurunan tekanan ini disesuaikan dengan kondisi yang diinginkan, sehingga refrigeran tersebut dapat menyerap cukup banyak kalor dari evaporator. Alat yang digunakan untuk mengatur aliran ini dapat berupa katup ekspansi atau pipa kapiler.

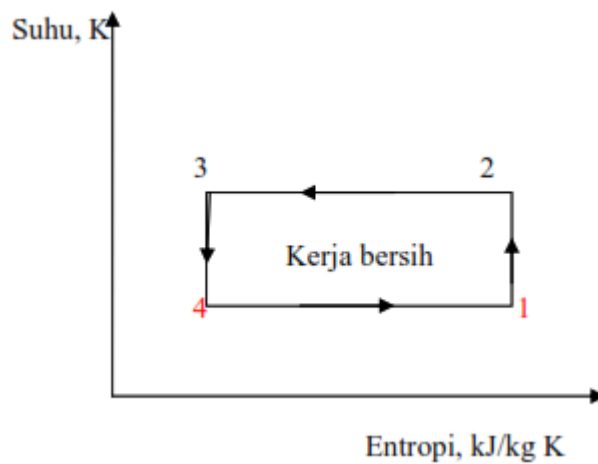
2.2.1 Siklus Refrigerasi Carnot

Siklus Refrigerasi Carnot merupakan kebalikan dari mesin Carnot. Mesin Carnot menerima energi kalor pada keadaan temperatur yang tinggi, kemudian energi diubah menjadi suatu kerja dan sisa energi tersebut dibuang ke penampang panas pada temperatur rendah.

Siklus Refrigerasi Carnot merupakan kebalikan dari mesin Carnot. Mesin Carnot menerima energi kalor pada keadaan temperatur yang tinggi, kemudian energi diubah menjadi suatu kerja dan sisa energi tersebut dibuang ke penampang panas pada temperatur rendah. Sedangkan siklus refrigerasi Carnot menerima energi pada temperatur rendah dan mengeluarkan energi pada temperatur tinggi. Oleh karena itu, pada proses pendinginan diperlukan penambahan kerja dari luar.



Gambar 2.2 Daur Refrigerasi Carnot
(Yunus A. Cengel, 1994 : 618)



Gambar 2.3 Diagram Suhu-Entropi daur refrigerasi Carnot
(Stoecker, 1982 : 179)

Proses-proses yang membentuk daur refrigerasi Carnot tersebut diatas adalah sebagai berikut :

Proses kompresi adiabatik (1 – 2)

Proses pelepasan kalor isothermal (2 – 3)

Proses ekspansi adiabatik (3 – 4)

Proses penguapan kalor isothermal (4 – 1)

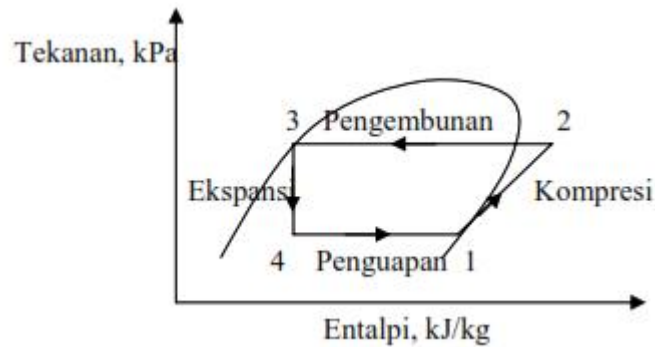
Seluruh proses pada daur Carnot secara termodinamika bersifat reversibel. Oleh karena itu proses yang terjadi adalah proses kompresi dan proses ekspansi bersifat isentropik. Tujuan utama dari daur ini adalah penyerapan kalor dari sumber yang bersuhu rendah pada proses 4-1 secara isothermal. Karena seluruh proses berlangsung reversibel, maka efisiensi daur Carnot lebih tinggi dari daur aktual.

Maka dapat ditentukan persamaan koefisien prestasi dari siklus gambar 2.2 dan gambar 2.3 tersebut adalah refrigeran yang bermanfaat dibagi kerja bersih.

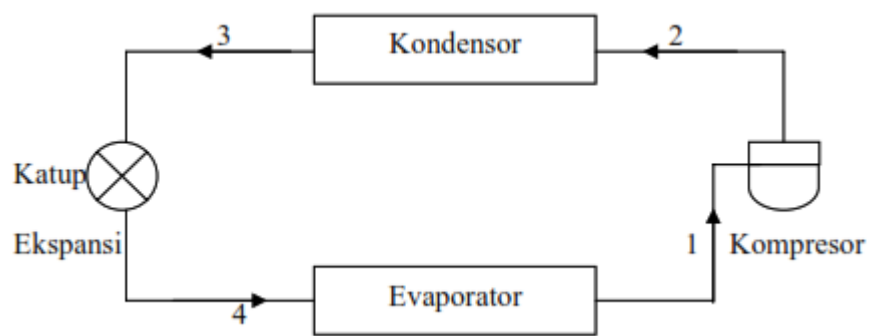
2.2.2. Siklus Kompresi Uap Standar

Siklus kompresi uap standar merupakan siklus teoritis, dimana pada siklus tersebut mengasumsikan beberapa proses sebagai berikut :

- (1-2) Merupakan proses kompresi adiabatik dan reversibel, dari uap jenuh menuju tekanan kondensor.
- (2-3) Merupakan proses pelepasan kalor reversibel pada tekanan konstan, menyebabkan penurunan panas lanjut (*desuperheating*) dan pengembunan refrigerasi.
- (3-4) Merupakan proses ekspansi *unreversibel* pada entalpi konstan, dari fasa cairan jenuh tekanan evaporator.
- (4-1) Merupakan proses penambahan kalor *reversible* pada tekanan konstan yang menyebabkan terjadinya penguapan menuju uap jenuh.



Gambar 2.4 Diagram tekanan-entalpi siklus kompresi uap
(Stoecker, 1982 : 187)



Gambar 2.5 Sistem refrigerasi kompresi uap
(Stoecker, 1982 : 187)

Beberapa proses yang pada bekerja pada siklus ini adalah :

1. Proses Kompresi

Proses Kompresi berlangsung dari titik 1 ke titik 2. Pada siklus sederhana diasumsikan refrigeran tidak mengalami perubahan kondisi selama mengalir di jalur hisap. Proses kompresi diasumsikan isentropik sehingga pada diagram tekanan-entalpi titik 1 dan titik 2 berada pada satu garis entropi konstan, dan titik 2 berada pada kondisi super panas. Proses kompresi memerlukan kerja dari luar dan entalpi uap naik dari h_1 ke h_2 , dan untuk kenaikan entalpi sama dengan besarnya kerja kompresi yang dilakukan pada uap refrigeran.

2. Proses Kondensasi

Proses 2-3 terjadi pada kondensor, uap panas refrigeran dari kompresor didinginkan oleh udara luar sampai pada temperatur

kondensasi dan uap tersebut dikondensasikan. Pada titik 2' merupakan titik refrigeran pada kondisi uap jenuh dengan tekanan dan temperatur kondensasi. Jadi proses 2-2' merupakan proses pendinginan sensibel dari temperatur kompresi menuju temperatur kondensasi, dan proses 2-3' merupakan proses kondensasi uap dari dalam kondensor. Proses 2-3 terjadi pada tekanan konstan, dan jumlah kalor yang dipindahkan selama proses ini adalah beda entalpi antara titik 2 dan titik 3.

3. Proses Ekspansi

Proses ekspansi berlangsung dari titik 3 ke titik 4. Pada proses tersebut terjadi suatu proses penurunan tekanan refrigeran dari tekanan kondensasi (titik 3) menjadi tekanan evaporasi (titik 4). Pada saat cairan diekspansikan melalui katup ekspansi atau pipa kapiler menuju evaporator, temperatur refrigeran juga turun dari temperatur kondensasi ke temperatur evaporasi. Proses 3-4 merupakan proses ekspansi adiabatik dimana entalpi fluida tidak berubah sepanjang proses. Refrigeran pada titik 4 berada pada kondisi campuran antara cairan dan uap, dan terjadi penurunan tekanan.

4. Proses Evaporasi

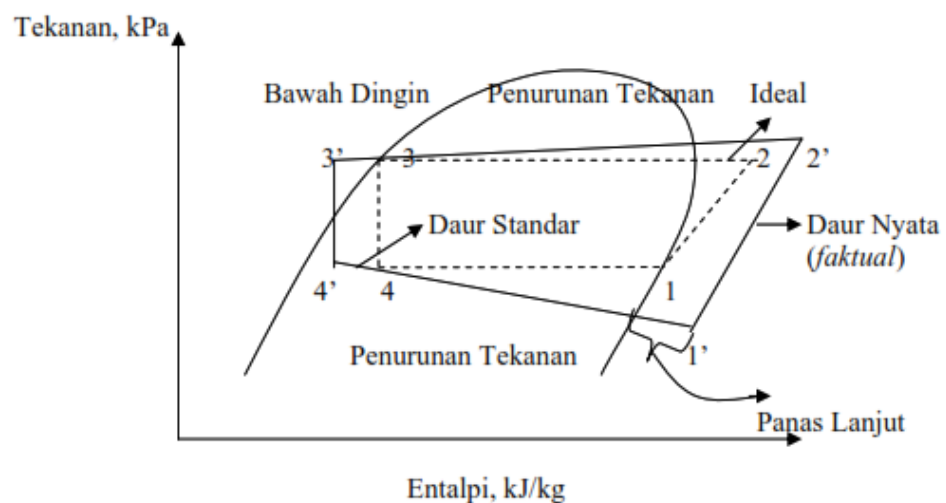
Proses 4-1 adalah proses penguapan refrigerasi pada evaporator serta berlangsung pada tekanan konstan. Pada titik 1 seluruh refrigeran berada pada kondisi uap jenuh. Selama proses 4-1 entalpi refrigeran naik akibat penyerapan kalor dari ruang refrigerasi. Besarnya kalor yang diserap adalah beda entalpi antara titik 1 dan titik 4 dan biasa disebut efek pendinginan.

2.2.3. Siklus Kompresi Uap Aktual

Siklus kompresi uap yang sebenarnya (aktual) berbeda dari siklus standar (teoritis). Perbedaan ini muncul karena adanya asumsi-asumsi yang ditetapkan dalam siklus standar. Pada siklus aktual terjadi pemanasan lanjut uap refrigeran yang meninggalkan evaporator sebelum masuk ke kondensor. Pemanasan lanjut ini terjadi akibat tipe peralatan ekspansi yang digunakan

atau dapat juga karena penyerapan kalor di jalur masuk (suction line) antara evaporator dan kompresor. Begitu juga dengan refrigeran cair mengalami pendinginan lanjut atau bawah dingin sebelum masuk ke katup ekspansi atau pipa kapiler. Keadaan di atas adalah peristiwa yang normal dan melakukan fungsi yang diinginkan untuk menjamin bahwa seluruh refrigeran yang memasuki kompresor dalam keadaan 100% uap.

Perbedaan yang penting antara daur nyata (aktual) dan standar terletak pada penurunan tekanan di dalam kondenser dan evaporator. Daur standar dianggap tidak mengalami penurunan tekanan pada kondensor dan evaporator, tetapi pada daur nyata terjadi penurunan tekanan karena adanya gesekan antara refrigeran dengan dinding pipa (friksi). Akibat dari penurunan tekanan ini, kompresi pada titik 1 dan titik 2 memerlukan kerja lebih banyak dibandingkan dengan daur standar.



Gambar 2.6 Daur kompresi uap nyata dibanding daur standar
(Stoecker, 1982 : 191)

Penjelasan gambar di atas adalah sebagai berikut :

Garis 4-1' menunjukkan penurunan tekanan yang terjadi pada refrigeran saat melewati suction line dari evaporator ke kompresor. Garis 1-1' menunjukkan terjadinya panas lanjut pada uap refrigeran yang ditunjukkan dengan garis yang melewati garis uap jenuh. Proses 1-2' adalah proses kompresi uap refrigeran di dalam kompresor. Pada siklus teoritis proses

kompresi diasumsikan isentropik, yang berarti tidak ada perpindahan kalor antara refrigeran dan dinding silinder. Pada kenyataannya proses yang terjadi bukan isentropik tetapi politropik. Garis 2-3' menunjukkan adanya penurunan tekanan yang terjadi pada pipa-pipa kondensor. Sedangkan pada garis 3-3' menunjukkan penurunan tekanan yang terjadi di jalur cair (liquid line).

2.3 Komponen Utama Siklus Kompresi Uap

2.3.1 Kompresor

Kompresor mempunyai klasifikasi yang bermacam – macam, akan tetapi pada umumnya dapat dibagi menjadi dua jenis utama yaitu :

- a. Kompresor langkah positif, dimana gas dihisap masuk kedalam silinder dan dikompresikan.
- b. Kompresor dinamis, dimana gas yang dihisap masuk dipercepat alirannya oleh sebuah impeller yang kemudian mengubah energi kinetik untuk menaikkan tekanan.

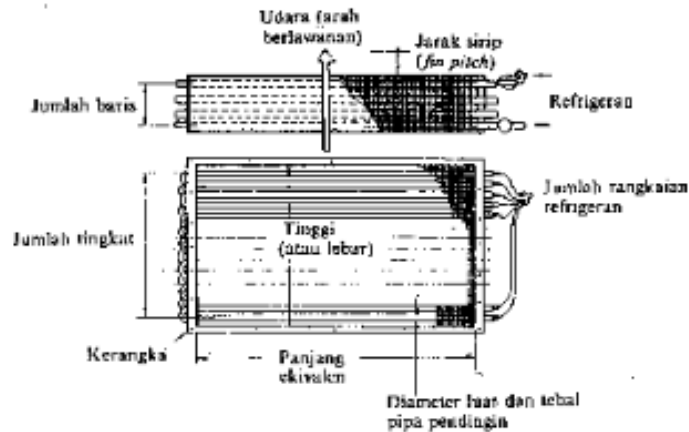
Fungsi kompresor antara lain :

- a. Mensirkulasikan bahan pendingin (refrigerant).
- b. Menaikkan tekanan agar bahan pendingin dapat berkondensasi pada kondisi ruangan.
- c. Mempertahankan tekanan yang konstan pada evaporator.
- d. Menghisap gas bertekanan dan bertemperatur rendah dari evaporator, kemudian menekan atau memampatkan gas tersebut, sehingga menjadi gas yang bertekanan dan suhu tinggi, lalu dialirkan ke kondensor.

2.3.2 Kondensor

Kondensor akan mengubah uap tekanan tinggi tersebut menjadi cairan bertekanan tinggi dengan adanya medium pendingin pada kondensor (udara maupun cair). Kalor dari ruangan dan panas dari kompresor akan diserap medium pendingin. Seperti halnya dengan kompresor, kondensor juga terdiri

dari beberapa jenis diantaranya jenis tabung dan pipa horizontal, jenis tabung dan koil, jenis pipa ganda dan jenis pendingin udara.



Gambar 2.7 Kondensor pendingin udara jenis koil bersirip (Stoecker, 1982 : 153)

Gambar di atas menunjukkan kondensor jenis pendingin udara yang dipakai pada instalasi AC ini. Kondensor yang dipakai dalam penelitian ini adalah kondensor pendingin udara jenis koil bersirip yang terdiri dari koil pipa pendingin bersirip pelat (*pipa tembaga dengan sirip aluminium atau pipa tembaga dengan sirip tembaga*). Udara mengalir dengan arah tegak lurus pada bidang pendingin, dan gas refrigeran yang berada di dalam pipa yang bertemperatur tinggi masuk ke bagian atas dari koil dan berangsur-angsur mencair dibagian bawah dari koil.

2.3.3 Alat ekspansi

Pipa kapiler dibuat dari tembaga dengan diameter lubang dalam yang sangat kecil. Panjang dan lubang pipa kapiler dapat mengontrol jumlah bahan pendingin yang masuk evaporator. Karena tekanan dan temperatur cairan dari kondensor terlalu tinggi untuk terjadinya penguapan dalam kondisi ruangan, maka digunakan pipa kapiler (*liquid control device*) yang bekerja sebagai suatu tahanan aliran fluida (bahan pendingin cair).

Dengan adanya tahanan tersebut, tekanan fluida akan turun dan sebagian kecil cairan pendingin menguap (*flash gas*). Penguapan ini akan menyerap kalor dari cairan pendingin, sehingga temperatur cairan berkurang

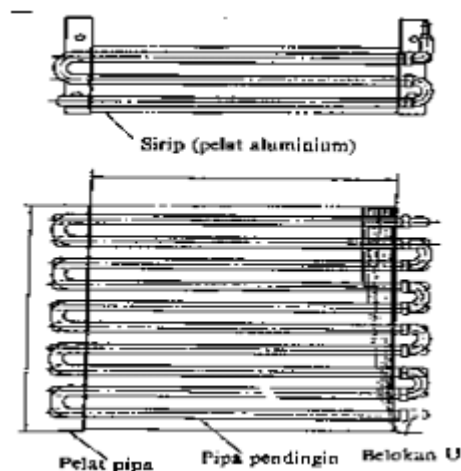
sampai temperatur jenuh pada tekanan yang berkurang tersebut. Pipa kapiler (*capillary tube*) berguna untuk :

- Menurunkan tekanan bahan pendingin cair yang mengalir didalamnya.
- Mengatur jumlah tekanan bahan pendingin cair yang mengalir melaluinya.
- Membangkitkan tekanan bahan pendingin di kondensor.

Alat ekspansi yang sering digunakan adalah katup ekspansi termostatik dan pipa kapiler. Katup ekspansi termostatik merupakan katup ekspansi berkendali panas lanjut yang berfungsi agar refrigeran yang masuk evaporator sesuai dengan beban pendingin yang harus dilayani. Pipa kapiler berfungsi sebagai alat ekspansi dengan memanfaatkan tahanan gesek refrigeran terhadap pipa, sehingga tekanannya turun. Pipa kapiler biasanya mempunyai diameter yang kecil (0,031 – 0,054 inch) dengan panjang 5 – 20 ft. Pipa kapiler digunakan karena kemudahan dan murah.

2.3.4 Evaporator

Evaporator adalah penukar kalor yang berfungsi untuk mendinginkan media sekitarnya. Berdasarkan konstruksinya evaporator dibedakan atas jenis tabung-koil, tabung-pipa jenis ekspansi kering dan jenis koil pendingin udara. Pada instalasi AC ini dipakai evaporator jenis koil pendingin udara tipe ekspansi langsung, yaitu refrigeran diuapkan secara langsung di dalam pipa evaporator sebagaimana terlihat pada gambar di bawah ini .



Gambar 2.8 Evaporator koil bersirip (Stoecker, 1982 : 160)

2.4 Refrigeran

Refrigeran adalah media perpindahan panas yang menyerap panas atau kalor dengan penguapan (evaporator) pada temperatur rendah dan memberikan kalor dengan pengembunan (kondensor) pada temperatur dan tekanan tinggi. Refrigeran dalam perdagangan telah diklasifikasikan oleh ASRE (*American Society Of Refrigerating Engineers*). Standar dari ASRE membagi refrigeran dalam beberapa kelompok penting yaitu senyawa Halokarbon, Anorganik, Hidrokarbon, dan Aezotop.

2.4.1 Refrigeran Primer

Refrigeran adalah zat yang berfungsi sebagai media pendingin dengan menyerap kalor dari benda atau bahan lain seperti air atau udara ruangan, sehingga refrigeran tersebut dapat dengan mudah merubah fhasanya dari cair menjadi gas. Sedangkan pada saat terjadinya pelepasan 20 kalor oleh refrigeran terjadi perubahan fhasa dari gas bertekanan tinggi jenuh menjadi cair.

Refrigeran primer yang biasa digunakan dapat digolongkan sebagai berikut :

a. Senyawa Halokarbon

Refrigeran yang memiliki satu atau lebih atom dari salah satu halogen yang tiga (*klirin, fluorin, bromin*). Ketentuan bilangan, nama kimia, dan rumus kimia sejumlah anggota kelompok ini yang ditemukan diperdagangan, dimuat dalam tabel berikut :

Tabel 2.1 Beberapa Senyawa Halokarbon

Ketentuan Panorama	Nama Kimia	Rumus Kimia
R-11	Trikloromonofluorometana	CCl_3F
R-12	Diklorodifluorometana	CCl_2F_2
R-13	Monoklorotrifluorometana	CClF_3
R-22	Monoklorodifluorometana	CHClF_2
R-40	Meniklorida	CCH_3Cl
R-113	Triklorotrifluoroetan	$\text{CCl}_2\text{FCClF}_2$
R-114	Diklorotetrafluoroetana	$\text{CClF}_2\text{CClF}_2$

b. Senyawa Anorganik

Senyawa anorganik sering digunakan pada masa awal perkembangan bidang refrigerasi dan pengkondisian udara.

Tabel 2.2 Beberapa Senyawa Anorganik

Ketentuan Panorama	Nama Kimia	Rumus Kimia
717	Amoniak	NH ₃
718	Air	H ₂ O
729	Udara	O ₂
744	Karbondioksida	CO ₂
764	Sulfur dioksida	SO ₂

c. Senyawa Hidrokarbon

Banyak senyawa hidrokarbon yang cocok digunakan sebagai refrigeran, khususnya dipakai untuk industri perminyakan dan petrokimia.

Tabel 2.3 Beberapa Senyawa Hidrokarbon

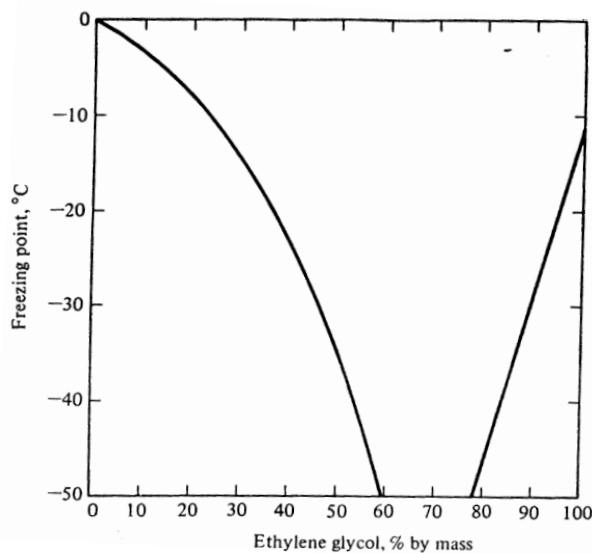
Ketentuan Panorama	Nama Kimia	Rumus Kimia
50	Metana	Ch ₄
170	Etana	C ₂ h ₆
290	Propana	C ₃ h ₈

d. Azeotrop

Campuran Azeotrop dua substansi adalah campuran yang tidak dapat dipisahkan menjadi komponen-komponennya dengan cara *destilasi*. Azeotrop menguap dan mengembun sebagai substansi tunggal yang sifatnya berbeda dengan sifat pembentukannya. Azeotrop yang paling banyak dikenal adalah R-502 yang merupakan campuran 48,8% R-22 dan 51,2% R-115.

2.4.2 Refrigeran Sekunder

Refrigeran sekunder adalah fluida yang mengangkut kalor dari bahan yang sedang didinginkan ke evaporator pada sistem refrigerasi. Refrigeran sekunder mengalami perubahan temperatur bila menyerap kalor dan membebaskannya pada evaporator, tetapi tidak mengalami perubahan fasa. Anti beku yang banyak digunakan adalah larutan air dan glikol etalin, glikol propelin, ataupun kalsium klorida. Salah satu sifat larutan anti beku yang penting adalah titik pembekuannya, yang tampak pada gambar dibawah ini :



Gambar 2.9 Titik beku larutan glikol etilen
(Stoecker, 1982 : 284)

2.4.3 Sifat - Sifat Refrigeran Ideal

Pada refrigerator, refrigeran yang ideal sekurang-kurangnya mengikuti sifat-sifat sebagai berikut :

a. Tekanan penguapan positif

Tekanan penguapan positif mencegah kemungkinan terjadinya kebocoran udara ke dalam sistem selama operasi.

b. Tekanan pembekuan yang cukup rendah

Suhu pembekuan harus cukup rendah, agar pemadatan refrigeran tidak terjadi selama operasi normal.

c. Daya larut minyak pelumas

Minyak yang digunakan sebagai pelumas dalam refrigerator terutama pada sistem, harus mudah larut, karena bersentuhan langsung dengan refrigeran.

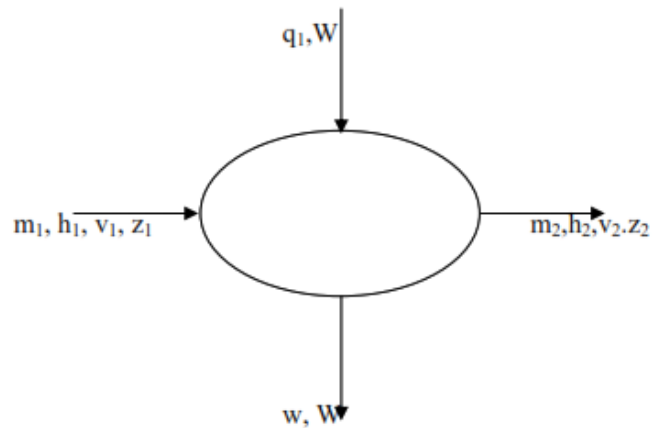
- d. Refrigeran yang murah.
- e. Tidak mudah terbakar
Uap refrigeran tidak boleh terbakar atau mengakibatkan kebakaran pada setiap konsentrasi dengan udara.
- f. Mempunyai tekanan kondensasi yang tidak terlalu tinggi, karena dengan tekanan kondensasi yang tinggi memerlukan kompresor yang besar dan kuat, juga pipa-pipa harus kuat dan kemungkinan terjadinya kebocoran sangat besar.
- g. Kekuatan *dielektrik* yang tinggi.
- h. Mempunyai struktur kimia yang stabil, tidak boleh terurai setiap kali dimampatkan, diembungkan, dan diuapkan.

Sifat-sifat diatas jarang sekali dijumpai pada refrigeran yang mempunyai sifat secara mutlak memuaskan untuk semua sistem pendingin.

2.5 Analisis Termodinamika Siklus Kompresi Uap

2.5.1 Persamaan Energi Aliran *Steady*

Dalam sistem refregerasi, laju aliran massa dianggap tetap. Keseimbangan energi menyatakan bahwa besarnya energi yang masuk dititik 1 ditambah besarnya energi yang ditambahkan berupa kalor, dikurangi dengan energi yang keluar dalam bentuk kerja yang meninggalkan sistem pada titik 2 sama dengan besarnya perubahan energi didalam volume kendali [Stoecker, 1992 : 20]. Gambar 2.10 menunjukkan keseimbangan energi di dalam volume kendali.



Gambar 2.10 Keseimbangan energi pada volume kendali

Persamaan energi dapat ditulis sebagai berikut (Stoecker, 1982 : 20) :

$$m \left[h_1 + \frac{v_1^2}{2} + gz_1 \right] + q - m \left[h_2 + \frac{v_2^2}{2} + gz_2 \right] - W = \frac{dE}{d\theta}$$

Dengan :

- m = Laju aliran massa (kg/s)
- h = Entalpi (kJ/kg)
- v = Kecepatan (m/s)
- z = Ketinggian (m)
- g = Percepatan gravitasi (m/s^2)
- W = Laju aliran energi dalam bentuk kalor (kJ/s)
- E = Energi sistem (kJ)

Oleh karena aliran *steady* tidak ada perubahan laju aliran massa pada sistem, maka laju aliran massa yang masuk pada titik 1 sama dengan laju aliran massa yang keluar pada titik 2. Demikian pula tidak ada perubahan harga energi sistem terhadap waktu sehingga $dE/d\theta = 0$

Persamaan energi aliran *steady* menjadi (Stoecker, 1982 : 20) :

$$m \left[h_1 + \frac{v_1^2}{2} + gz_1 \right] + q = m \left[h_2 + \frac{v_2^2}{2} + gz_2 \right] + W \dots\dots\dots(1)$$

2.5.2 Proses Kompresi

Proses kompresi dianggap berlangsung secara adiabatik yang artinya tidak ada kalor yang dipindahkan baik masuk maupun keluar sistem. Dengan demikian harga $d\theta = 0$. Perubahan energi kinetik dan potensial juga diabaikan, sehingga kerja kompresi dirumuskan sebagai berikut :

$$W = m(h_2 - h_1) \dots\dots\dots(2)$$

Dengan :

- W = Daya kompressor (kJ/s)
- h_1 = Entalpi refrigeran pada titik 1 (kJ/kg)
- h_2 = Entalpi refrigeran pada titik 2 (kJ/kg)
- m = Laju aliran massa refrigeran (kg/s)

2.5.3 Proses Evaporasi dan Kondensasi

Pada proses evaporasi dan kondensasi perubahan energi kinetik dan energi potensial diabaikan sehingga harga $v^2/2$ dan gz pada titik 1 dan 2 dianggap nol. Karena pada evaporator dan kondensor tidak ada kerja yang dilakukan maka $W = 0$, sehingga dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$Q_e = m(h_1 - h_4) \dots\dots\dots(3)$$

Dengan :

- Q_e = Besarnya laju aliran kalor evaporasi (kJ/s)
- h_1 = Entalpi refrigeran pada titik 1 (kJ/kg)
- h_4 = Entalpi refrigeran pada titik 4 (kJ/kg)
- m = Laju aliran massa refrigeran (kg/s)

Laju aliran kalor pada proses kondensasi dirumuskan sebagai berikut :

$$Q_c = m(h_2 - h_3) \dots\dots\dots(4)$$

Dengan :

- Q_c = Besarnya laju aliran kalor kondensasi (kJ/s)
- h_2 = Entalpi refrigeran pada titik 2 (kJ/kg)
- h_3 = Entalpi refrigeran pada titik 3 (kJ/kg)

2.5.4 Proses Pengekikan (*throttling process*)

Proses ini terjadi pada pipa kapiler atau katup ekspansi. Pada proses ini tidak ada kerja yang dilakukan atau ditimbulkan sehingga $W = 0$. Perubahan energi kinetik dan energi potensial dianggap nol. Proses dianggap adiabatik sehingga $q = 0$. Persamaan energi aliran ini adalah :

$$h_3 = h_4 \quad (\text{kJ/kg}) \dots \dots \dots (5)$$

2.5.5 Efek refrigerasi

Efek refrigerasi adalah besarnya kalor yang diserap oleh refrigeran pada proses evaporasi. Dari gambar diagram tekanan entalpi siklus kompresi uap diatas, efek refrigerasi dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$RE = h_1 - h_4 \quad (\text{kJ/kg}) \dots \dots \dots (6)$$

Dengan :

- RE = Efek refrigerasi (kJ/kg)
- h_1 = Entalpi refrigeran pada titik 1 (kJ/kg)
- h_4 = Entalpi refrigeran pada titik 4 (kJ/kg)

2.5.6 Laju Aliran Kalor Evaporator

Laju aliran kalor udara evaporator dirumuskan sebagai berikut :

$$Q_{\text{evaporator}} = m_{\text{udara evaporator}}(h_{\text{in}} - h_{\text{out}}) \dots \dots \dots (7)$$

Dengan :

- $Q_{\text{evaporator}}$ = Laju aliran kalor evaporator (kJ/s)
- $m_{\text{udara evaporator}}$ = Laju aliran massa udara evaporator (kg/s)
- h_{in} = Entalpi udara pada sisi masuk evaporator dan dikoreksi pada T_{wb} ruang (kJ/kg)
- h_{out} = Entalpi udara pada sisi keluar evaporator dan dikoreksi pada T_{wb} ruang (kJ/kg)

2.5.7 Laju Aliran Udara Evaporator

Laju aliran udara melalui evaporator dirumuskan sebagai berikut :

$$M_{udara\ evaporator} = \rho_{udara} \cdot A \cdot V \dots\dots\dots(8)$$

Dengan :

- $M_{udara\ evaporator}$ = Laju massa udara evaporator (kg/s)
- ρ_{udara} = Massa jenis udara (kg/m³)
- A = Luas penampang saluran udara evaporator (m²)
- V = Kecepatan udara melalui saluran udara evaporator (m/s)

2.5.8 Laju Aliran Massa Refrigeran

Laju aliran massa refrigeran menyatakan jumlah refrigeran yang disirkulasikan tiap satuan waktu dan dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$m_{refrigeran} = \frac{Q_{evap}}{h_1 - h_4} \dots\dots\dots(9)$$

Dengan :

- $m_{refrigeran}$ = Laju aliran massa refrigeran (kg/s)
- Q_{evap} = Laju aliran kalor udara evaporator (kJ/s)
- h_1 = Entalpi refrigeran pada titik 1 (kJ/kg)
- h_4 = Entalpi refrigeran pada titik 4 (kJ/kg)

2.5.9 Koefisien Prestasi

Koefisien prestasi dari sistem refrigerasi adalah perbandingan antara kalor yang diserap dari ruang pendingin (*efek refrigerasi*) dengan kerja yang dilakukan kompresor. Koefisien prestasi dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$COP = \frac{h_1 - h_4}{h_2 - h_1} \dots\dots\dots(10)$$

Dengan :

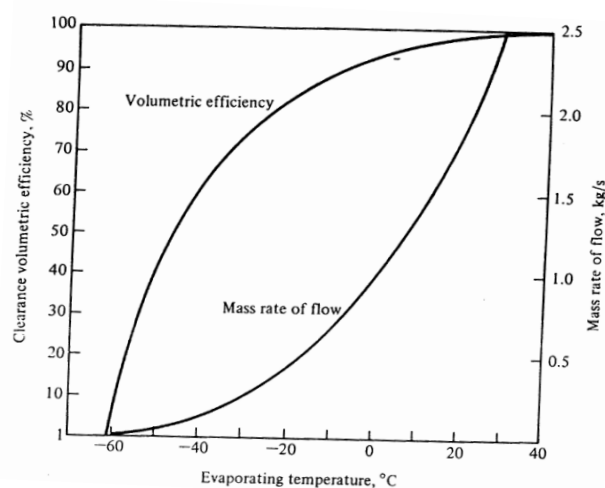
- COP = Coefficient of performance
- h_1 = Entalpi refrigeran pada titik 1 (kJ/kg)
- h_4 = Entalpi refrigeran pada titik 4 (kJ/kg)
- h_2 = Entalpi refrigeran pada titik 2 (kJ/kg)

2.6 Analisa Grafik Sistem Kompresi Uap

Dalam aplikasi mesin pendingin ruangan, salah satu faktor yang mempengaruhi unjuk kerja mesin pendingin adalah temperatur keluar evaporator dan temperatur ini akan berubah seiring dengan besarnya beban pendingin yang ada diruangan tersebut.

Dalam beberapa halaman berikut terlihat beberapa grafik pengaruh temperatur keluar evaporator (T_1) terhadap dampak refrigerasi, kerja kompresi, laju aliran massa refrigerasi, daya listrik kompresor, kapasitas refrigerasi dan *coefficient of performance*, dengan refrigeran 22, ruang sisa 4,5 persen, laju volume langkah piston 50 langkah/detik, dan suhu kondensor 35°C pada kompresor ideal.

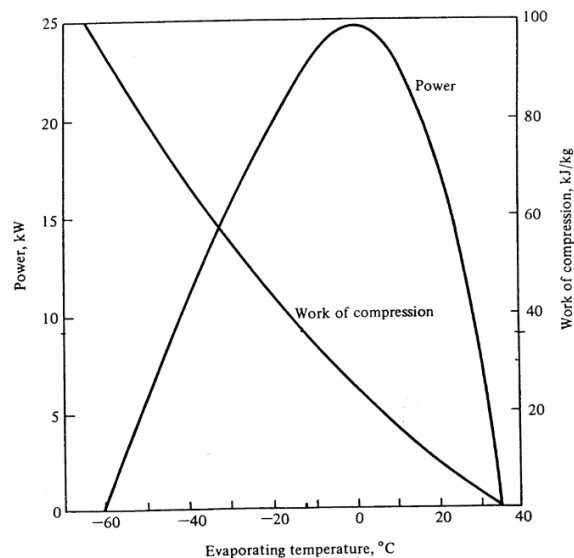
Efisiensi volumetrik ruang sisa akan berharga nol bila suhu evaporator -61°C, jika tekanan hisap dan buang sama (tekanan evaporator sama dengan tekanan kondensor), efisiensi volumetrik akan menjadi 100%. Laju aliran massa mengendalikan kapasitas dan daya yang diperlukan langsung daripada laju aliran volume. Laju aliran massa yang melewati kompresor sebanding dengan laju volume langkah dan efisiensi volumetrik, dan berbanding terbalik dengan volume spesifik gas yang memasuki kompresor, (seperti terlihat pada Gambar. 2.11)



**Gambar 2.11 Efisiensi volumetrik ruang sisa dan laju aliran massa
(Stoecker, 1982 : 199)**

Dengan turunnya tekanan hisap, volume spesifik gas yang masuk ke kompresor naik, yang bersama dengan efisiensi volumetrik, menurunkan laju aliran massa ketika suhu evaporator rendah.

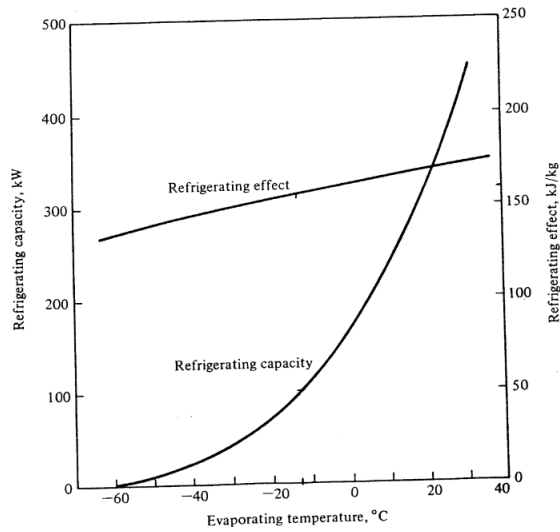
Kurva kebutuhan daya (terlihat pada Gambar 2.12) menunjukkan harga nol pada dua titik, yaitu saat suhu evaporator menyamai suhu kondensor dan saat laju aliran massa menjadi nol. Diantara kedua titik ekstrim tersebut, terdapat puncak kebutuhan daya. Selama kerja yang teratur (*regular*), dengan beban-beban refrigeran yang berat, suhu evaporator naik, sehingga kebutuhan daya kompresor naik dan dapat menyebabkan kelebihan beban (*overload*).



Gambar 2.12 Kerja kompresi dan daya yang dibutuhkan.

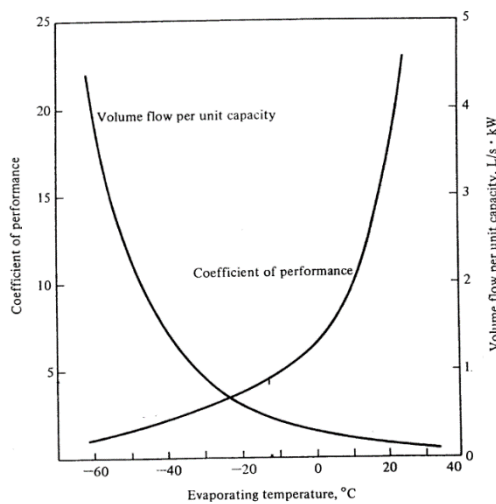
(Stoecker, 1982 : 200)

Dalam Gambar 2.12 dapat dilihat dampak refrigerasi akan naik sedikit dengan naiknya tekanan hisap dengan catatan refrigeran yang masuk katup ekspansi tetap konstan. Kenaikan ini disebabkan oleh entalpi uap jenuh yang sedikit lebih tinggi pada suhu evaporator yang lebih tinggi. Kapasitas refrigerasi akan berharga nol pada titik dimana laju aliran massa berharga nol. Kapasitas refrigerasi dapat dilipat-duakan dengan menaikkan suhu evaporator dari nol hingga 20°C .



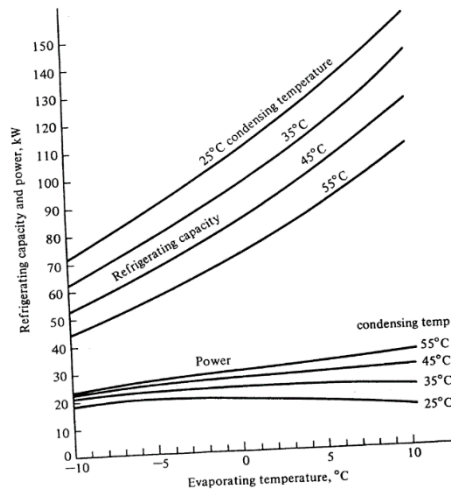
Gambar 2.13 Dampak refrigerasi dan kapasitas kompresor (Stoecker, 1982 : 201)

Dari Gambar 2.13 dapat dilihat kenaikan koefisien prestasi dipengaruhi oleh naiknya suhu evaporator. Laju aliran volume per-satuan kapasitas refrigerasi merupakan pertanda ukuran fisik atau kecepatan kompresor yang dibutuhkan untuk menghasilkan satu kilowatt refrigeran. Untuk suatu kapasitas tertentu dengan suhu evaporator yang rendah, harus dipompakan aliran volume yang besar karena volume spesifik yang tinggi.



Gambar 2.14 Koefisien prestasi dan aliran volume per kilowatt (Stoecker, 1982 : 202)

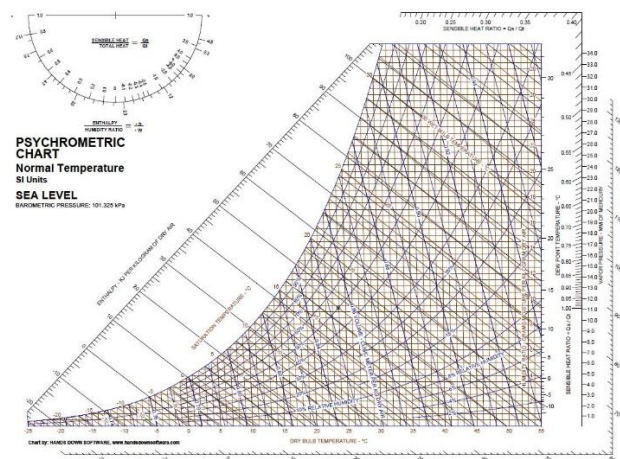
Uap refrigeran yang masuk kondensor berada dalam keadaan panas lanjut (*superheated*). Pengembunan yang terjadi didalam pipa, fraksi cair dan uap selalu berubah di sepanjang pipa kondensor. Kapasitas refrigeran akan naik dengan naiknya suhu penguapan menyebabkan penurunan pada suhu pengembunan dan perubahan daya yang relatif kecil (lihat Gambar 2.15).



Gambar 2.15 Kapasitas refrigerasi dan kebutuhan daya (Stoecker, 1982 : 268)

2.7 Diagram Psikometrik dan Sifat Udara Basah

Sifat termal dari udara basah pada umumnya ditunjukkan dengan menggunakan diagram psikometrik, seperti pada gambar dibawah ini.



Gambar 2.16 Diagram psikometrik (Stoecker, 1982 : 39)

Beberapa istilah (sifat-sifat udara) yang sering dipakai dan berkaitan dengan diagram psikometrik ini, diantaranya adalah :

2.7.1 Temperatur bola kering (Tdb)

Temperatur bola kering adalah temperatur udara yang diukur dengan termometer biasa dengan sensor kering dan terbuka.

2.7.2 Temperatur bola basah (Twb)

Temperatur bola basah adalah temperatur udara yang diukur dengan termometer biasa dengan sensor yang dibalut kain basah.

2.7.3 Temperatur jenuh (Tdp)

Temperatur jenuh adalah temperatur ketika uap air yang terkandung dalam udara mulai mengembun jika udara didinginkan pada temperatur konstan.

2.7.4 Rasio kelembaban/*Humidity Ratio* (ω)

Rasio kelembaban adalah berat atau massa air yang terkandung dalam setiap kilogram udara kering. Dalam teknik pengkondisian udara, untuk menghitung perbandingan (*ratio*) kelembaban dapat digunakan persamaan gas ideal, sehingga mengikuti persamaan $Pv = RT$, serta mempunyai kalor spesifik yang tetap. Udara dianggap gas ideal karena, suhunya cukup tinggi dibandingkan dengan suhu jenuhnya, dan uap air dianggap ideal karena tekanannya cukup rendah dibandingkan dengan tekanan jenuhnya.

2.7.5 Kelembaban relatif (Rh) ϕ

Kelembaban relatif adalah perbandingan tekanan parsial uap air didalam udara dengan tekanan uap jika udara dalam keadaan jenuh pada temperatur yang sama. Kelembaban relatif sering dinyatakan dalam bentuk persen (%).

2.7.6 Volume spesifik (v)

Volume spesifik adalah volume udara campuran dengan satuan meter kubik perkilogram udara kering. Dapat juga dikatakan sebagai meter kubik udara kering atau meter kubik campuran per kilogram udara

kering, karena volume yang diisi oleh masing-masing substansi yang sama.

2.7.7 Entalpi (h)

Entalpi adalah kandungan kalor tiap satu satuan massa udara kering. Suatu persamaan dari entalpi adalah (Stoecker, 1982 : 42) :

$$h = C_p t + W h_g \dots\dots\dots(11)$$

dengan :

h = Entalpi (kJ/kg udara kering)

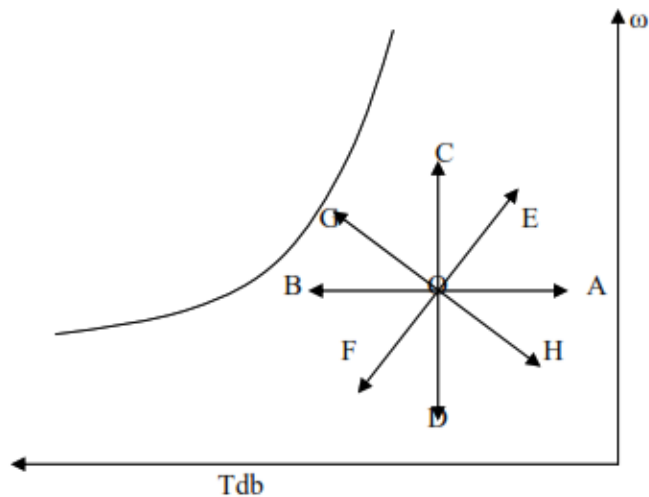
C_p = Kalor spesifik kering pada tekanan konstan = 1,0 kJ/kg K

t = Suhu campuran udara – uap (K)

h_g = Entalpi uap air (*steam*) jenuh pada suhu campuran udara – uap (kJ/kg)

2.8 Proses Perubahan Keadaan Udara

Setiap macam proses yang mengakibatkan perubahan keadaan atau sifat-sifat udara dapat digambarkan dalam diagram psikometrik, seperti pada gambar dibawah ini :



Gambar 2.17 Macam-macam proses perubahan keadaan udara.