



UNIVERSITAS INDONESIA

**UNJUK KERJA SISTEM REFRIGERASI DAN TATA UDARA
AC PRESISI PADA KONDISI ALIRAN UDARA TERTUTUP
DENGAN VARIASI BUKAAN KATUP KONDENSER *REHEAT***

SKRIPSI

**EKA SUTRISNA
0706266986**

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



UNIVERSITAS INDONESIA

**UNJUK KERJA SISTEM REFRIGERASI DAN TATA UDARA
AC PRESISI PADA KONDISI ALIRAN UDARA TERTUTUP
DENGAN VARIASI BUKAAN KATUP KONDENSER *REHEAT***

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik

**EKA SUTRISNA
0706266986**

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

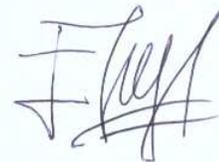
PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Kami menyatakan dengan sesungguhnya bahwa skripsi dengan judul :

**UNJUK KERJA SISTEM REFRIGERASI DAN TATA UDARA
AC PRESISI PADA KONDISI ALIRAN UDARA TERTUTUP DENGAN
VARIASI BUKAAN KATUP KONDENSER *REHEAT***

yang dibuat untuk melengkapi sebagian persyaratan menjadi Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Mesin Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Indonesia, sejauh yang kami ketahui bukan merupakan tiruan atau duplikasi dari skripsi yang sudah dipublikasikan dan atau pernah dipakai untuk mendapatkan gelar kesarjanaan di lingkungan Universitas Indonesia maupun di Perguruan Tinggi atau Instansi manapun, kecuali bagian yang sumber informasinya dicantumkan sebagaimana mestinya.

Depok, 27 Juni 2011



EKA SUTRISNA

NPM : 0706266986

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :

Nama : Eka Sutrisna
NPM : 0706266986
Program Studi : Teknik Mesin S-1 Reguler
Judul Skripsi :

**UNJUK KERJA SISTEM REFRIGERASI DAN TATA UDARA
AC PRESISI PADA KONDISI ALIRAN UDARA TERTUTUP DENGAN
VARIASI BUKAAN KATUP KONDENSER *RE-HEAT***

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Indonesia

DEWAN PENGUJI

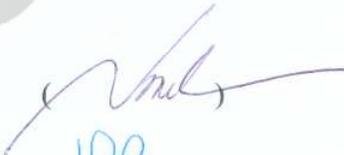
Pembimbing : Dr.-Ing. Ir. Nasruddin, M.Eng

Penguji : Dr.Ir. Muhammad Idrus Alhamid

Penguji : Dr. Ir. Budiharjo, Dipl.Ing

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 27 Juni 2011

()
()
()

HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

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

Nama : Eka Sutrisna
NPM : 0706266986
Program Studi : Teknik Mesin S-1 Reguler
Departemen : Teknik Mesin
Fakultas : Teknik
Jenis karya : Skripsi

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

UNJUK KERJA SISTEM REFRIGERASI DAN TATA UDARA AC PRESISI PADA KONDISI ALIRAN UDARA TERTUTUP DENGAN VARIASI BUKAAN KATUP KONDENSER *REHEAT*

beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan memublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok

Pada tanggal : 27 Juni 2011

Yang menyatakan



(Eka Sutrisna)

KATA PENGANTAR

Assalamualaikum.wr.wb,

Puji syukur kehadirat Allah swt. atas segala nikmat kesehatan, kekuatan serta hidayah-Nya sehingga penulis mampu menyelesaikan tugas akhir ini. Segala upaya dan kerja keras telah dilakukan dalam serangkaian eksperimen panjang nan berkelanjutan. Ucapan terimakasih penulis sampaikan pada pihak-pihak yang turut andil atas rampungnya karya ilmiah ini, diantaranya :

1. Orang tua tercinta yang tak letih memberi dukungan moral serta doa yang tiada hentinya dilantunkan.
2. Bapak DR.-Ing.Ir. Nasruddin, M.Eng atas segala kesabaran dan keikhlasan dalam bimbingannya.
3. Rekan kerja Lucky Jayadi yang turut membantu segala proses perbaikan terkait eksperimen yang dilakukan
4. Rekan seperjuangan laboratorium teknik pendingin , Pak Darwin, Pak Yulianto, Rizky,Zico, Rio, Novel serta rekan-rekan lain yang tak dapat disebutkan satu per satu yang selalu menebar aura motivasi pantang menyerah pada setiap derap langkah.
5. Rekan-rekan seperjuangan Teknik Mesin angkatan 2007 atas motivasi dan semangat juang Gerakan Indonesia Mandiri 2020.
6. Serta seluruh pihak yang telah membantu secara langsung maupun tidak langsung proses penelitian ini. Semoga Allah swt. memberikan ganjaran yang lebih besar kepada kalian semua.

Sebagai manusia biasa, penulis menyadari adanya kekurangan yang terkandung dalam karya tulis ilmiah ini. Semoga hal tersebut menjadi motivasi penulis untuk terus memperbaiki diri dalam pembelajaran lebih lanjut. Semoga hasil penelitian ini dapat berguna bagi banyak pihak di kemudian hari.

Depok, 27 Juni 2011

Penulis

ABSTRAK

Nama : Eka Sutrisna
Program Studi : Teknik Mesin
Judul :

UNJUK KERJA SISTEM REFRIGERASI DAN TATA UDARA AC PRESISI PADA KONDISI ALIRAN UDARA TERTUTUP DENGAN VARIASI BUKAAN KATUP KONDENSER *REHEAT*

Data centre memiliki kriteria kondisi kerja yang optimal suhu dan kelembaban relatif guna menjaga performa kerja sebuah server. Kondisi kerja optimum sebuah *data centre* menurut ASHRAE, 2004 adalah pada suhu 20-25°C dan kelembaban 40-55%. Selama ini proses pendinginan sebuah *data centre* dilakukan dengan metode *Hot-Cold Aisle* namun metode tersebut dinilai belum mampu mengakomodir kebutuhan pendinginan akibat area pendinginan yang dicakup terlalu besar. Maka dari itu, diperlukan suatu penerapan sistem pendinginan tersendiri pada sebuah kabinet server. Sistem pendinginan tersendiri tersebut dinamakan AC presisi. Sistem AC Presisi memungkinkan terjadinya pengaturan nilai kelembaban relatif yang dikontrol melalui variasi bukaan katup kondenser *reheat* yang diparalelkan ke dalam sistem utama. Udara terdinginkan yang biasanya memiliki nilai RH yang tinggi kemudian dilewatkan pada koil kondenser *reheat* sehingga kelembabannya menurun. Melalui pengujian sistem pada massa refrigeran R 134a 200gram didapatkan kondisi optimum yang memenuhi syarat suhu dan kelembaban udara terpenuhi pada variasi bukaan katup 75% dengan pencapaian nilai suhu 22.8 °C dengan kelembaban relatif 49.8%.

Kata Kunci : AC Presisi, data centre, variasi bukaan katup

ABSTRACT

Name : Eka Sutrisna
Majority : Mechanical Engineering
Tittle :

PERFORMANCE OF AIR CONDITIONING AND REFRIGERATION AC PRECISION IN CLOSED AIR SYSTEM WITH VARIATION VALVE OPENING OF REHEAT CONDENSER

The data center have an criteria condition of temperature and humidity to work optimally. Basic on ASHRAE Publication, 2004, a data centre must be maintained at 20-25°C (68-77°F) and relative humidity at 40-55% for the device can work optimally. In the beginning the cooling process of data center is a comprehensive to data center room by directing air flow evenly to all corners of the room and next with Hot-Cold Aisle concept. Hot-Cold Aisle is still considered not yet able to overcome heat problem of data centre because the area which covered by the cooling load is still too broad. Therefore, to handle this problem needed an application of a separate air conditioning in the data center cabinet. Air conditioning machines, named AC-precision. This refrigeration system can control the value of temperature and humidity the output air. With varying the value of opening valve to the reheat condensor, the humidity air output can controlled. Cooling air which cooled by evaporator must be warmed by the coil condenser reheat to reduce the humidity. AC-precision used R134a as a refrigerant with 200 gram of mass. In this research, the variation opening valve reheat condenser of 75% have the most optimum performance which temperature 22.8 °C and 49.8% of relative rumidity (RH).

Key Words : AC Precision, data centre, variation re-heat valve

DAFTAR ISI

BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Perumusan Masalah.....	4
1.3 Tujuan.....	4
1.4 Batasan Masalah.....	5
1.5 Metodologi Pengujian.....	5
1.6 Sistematika Penulisan.....	7
BAB II LANDASAN TEORI.....	8
2.1 Sistem Refrigerasi.....	8
2.2 Komponen Utama Sistem Refrigerasi.....	9
2.3 Siklus Refrigerasi.....	11
2.3.1 Siklus Refrigerasi Kompresi Uap Ideal.....	11
2.3.2 Analisis Termodinamik Sistem Pendingin.....	13
2.4 Refrigeran.....	19
2.4.1 Jenis Refrigeran.....	19
2.5 Psychrometric Chart.....	21
2.6 Proses Perubahan Kondisi Udara.....	24
2.6.1 Pemanasan dan pendinginan sensibel.....	24
2.6.2 Pendinginan/pemanasan dengan perubahan RH.....	25
BAB III DESKRIPSI ALAT DAN METODE PENGUJIAN.....	26
3.1. Deskripsi AC Presisi.....	26
3.1.1 AC Presisi Periode 1.....	26
3.1.2. AC Presisi Generasi 2.....	27
3.1.3. AC Presisi Generasi 3.....	28
3.2. Prinsip Kerja Alat.....	30
3.3. Komponen-Komponen Utama AC Presisi.....	31
3.4 Persiapan Alat Uji.....	35
3.4.1 DC Power Supply.....	35
3.4.2 Data Akusisi.....	35

3.4.3	Komputer	37
3.4.4	Hygro Thermometer	37
3.5	Prosedur Persiapan Alat Uji	38
3.5.1	Tahap Instalasi Sistem	38
3.5.2	Tahap Pengujian Kebocoran	38
3.5.3	Prosedur Pengambilan Data	39
3.5.4	Tahap Pemvakuman sistem	39
3.5.5	Tahap pengisian refrigerant	40
3.5.6	Tahap Menjalankan Alat Uji	40
3.5.7	Tahap Pengambilan Data	41
BAB IV	HASIL DAN ANALISIS.....	42
4.1.	Data Uji Sistem Output Suhu dan RH	42
4.2.	Analisis Pencapaian Suhu dan RH	46
4.3	Data Uji Sistem Internal	49
4.3.1	Perhitungan $q_{\text{evaporator}}$, W_{spesifik} dan COP	50
4.3.2.	Perhitungan Laju Aliran Massa Udara.....	51
4.3.3.	Perhitungan $Q_{\text{evaporator}}$	51
4.3.4	Perhitungan M_{ref} dan $W_{\text{kompresor}}$	52
4.3.5	Diagram P-h Sistem Refrigerasi	53
4.4.	Analisis Sistem Energi.....	55
4.4.1.	Analisis $W_{\text{kompresor}}$, $Q_{\text{evaporator}}$ & COP	55
4.4.2.	Analisis P-h Diagram	56
4.5	Analisis Pada Kondisi Bukaan Katup Dinamis.....	57
BAB V	KESIMPULAN	59
5.1	Kesimpulan	59
5.2	Saran	59
DAFTAR PUSTAKA.....		61
LAMPIRAN.....		62

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Ruang data centre	1
Gambar 1.2 Kondisi kerja optimum <i>data centre</i> pada diagram psikometrik.....	2
Gambar 1.3 Sistem AC <i>Hot-Cold Aisle</i>	3
Gambar 1.4 Sistem AC tersendiri (AC Presisi)	3
Gambar 2.1 Skematik sistem refrigerasi	8
Gambar 2.2 Siklus refrigerasi kompresi uap	12
Gambar 2.3 T-s diagram siklus refrigerasi kompresi uap ideal	13
Gambar 2.4 Diagram P-h untuk R-12	14
Gambar 2.5 P-h diagram untuk Siklus refrigerasi kompresi uap ideal	15
Gambar 2.6 Diagram psikometrik	21
Gambar 2.7 Garis <i>Dry-Bulb</i> temperatur pada Psikometrik Chart	22
Gambar 2.8 Garis <i>Wet-Bulb</i> temperatur pada Psikometrik Chart	22
Gambar 2.9 Garis <i>Dew-Point</i> temperatur pada Psikometrik Chart	23
Gambar 2.10 Garis <i>Relative Humidity</i> pada Psikometrik Chart.....	23
Gambar 2.11 Proses perubahan kondisi udara pada diagram psikometrik	24
Gambar 3.1 AC Presisi generasi pertama	26
Gambar 3.2 Kompresor DC Danfoss type <i>BD250GH</i>	27
Gambar 3.3 AC Presisi generasi 2	27
Gambar 3.4 AC Presisi generasi 3	28
Gambar 3.5 Skema perbandingan aliran udara pada AC Presisi	29
Gambar 3.6 Diagram pemipaan dan skema aliran udara AC Presisi	30
Gambar 3.7 Kompresor Kulthorn Model : AE 4440Y	32
Gambar 3.8 Kondenser 2 (<i>reheat</i>) dan evaporator sistem AC presisi	33
Gambar 3.9 <i>Check Valve</i> (katup satu arah) dan <i>hand valve</i> dari AC presisi	33

Gambar 3.10 Pipa kapiler sebagai alat ekspansi di AC presisi portable	34
Gambar 3.11 Fan DC pada AC presisi.....	34
Gambar 3.12 <i>Power supply</i> yang digunakan pada sistem AC presisi	35
Gambar 3.13 DAQ National Instruments	36
Gambar 3.14 Tampilan Program LabView	37
Gambar 4.1 Grafik perubahan suhu room air terhadap variasi bukaan katup	42
Gambar 4.2 Grafik perubahan RH room air terhadap variasi bukaan katup	43
Gambar 4.3 Proses perubahan suhu dan RH pada diagram psikometrik.....	44
Gambar 4.4 Tampilan software CYT Soft Psychrometric	45
Gambar 4.5 Diagram P-h pada bukaan katup reheat 0%	53
Gambar 4.6 Diagram P-h pada bukaan katup reheat 25%	53
Gambar 4.7 Diagram P-h pada bukaan katup reheat 50%	54
Gambar 4.8 Diagram P-h pada bukaan katup reheat 75%	54
Gambar 4.9 Diagram P-h pada bukaan katup reheat 100%	55
Gambar 4.10 Grafik temperatur pada kondisi dinamis.....	57
Gambar 4.11 Grafik RH pada kondisi dinamis	58

DAFTAR TABEL

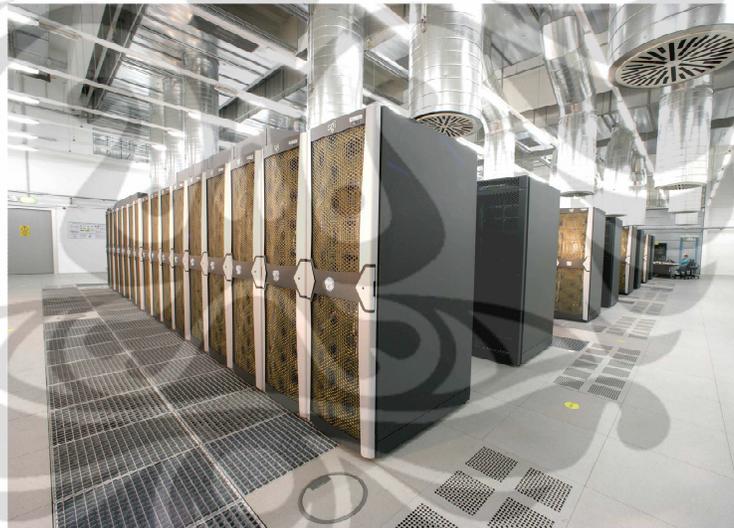
Tabel. 4.5 Hasil perhitungan Q_{evap} , Q_{kond} , dan COP sistem	5
Tabel 2.1. Jenis refrigeran halocarbon	20
Tabel 3.2 Data spesifikasi dari kompresor AE 4440Y	32
Tabel 3.3 Titik pengukuran suhu sistem AC Presisi.....	36
Tabel 4.1 Perbandingan nilai suhu dan RH pada kondisi ambient & <i>steady</i>	43
Tabel 4.2 Besarnya energi sensible dan energi latent proses pendinginan	45
Tabel 4.3 Perubahan nilai suhu dan RH pada variasi bukaan katup <i>reheat</i>	47
Tabel 4.4 Nilai suhu pengukuran pada sistem AC Presisi	51
Tabel. 4.5 Hasil perhitungan Q_{evap} , Q_{kond} , dan COP sistem	52
Tabel 4.6 Perubahan nilai enthalpy udara	52
Tabel 4.7 Perhitungan laju aliran massa refrigeran, W komp dan condenser.....	52
Tabel 4.8 Perbandingan daya dan COP sistem.....	5

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

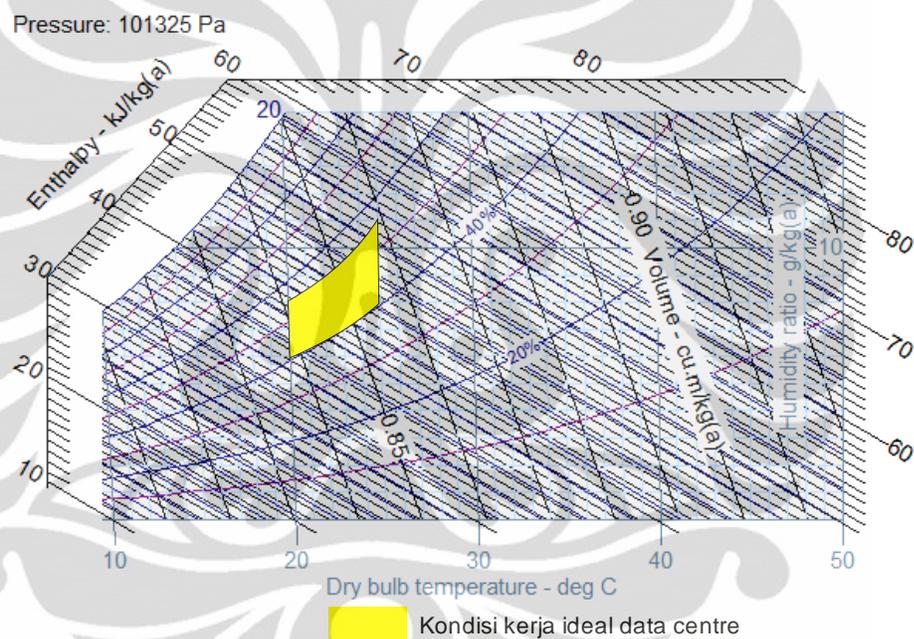
Pesatnya perkembangan teknologi informasi maupun komunikasi menyebabkan semakin maraknya penggunaan berbagai piranti elektronik di dalam dunia industri. Salah satu piranti elektronik yang tak terelakkan penggunaannya dalam dunia industri saat ini adalah penggunaan *data centre*. *Data centre* merupakan suatu struktur fisik yang dirancang sebagai pusat penyimpanan seluruh perangkat IT, pusat komunikasi, serta pusat penyimpanan data sebuah perusahaan ataupun instansi tertentu.



Gambar 1.1 Ruang *data centre*

Sebuah ruang *data centre* tersusun atas beberapa kabinet server yang bekerja sebagai satu kesatuan sistem. Layaknya perangkat elektronik lain, sebuah kabinet server *data centre* menghasilkan panas (*heat*) ketika dioperasikan. Besarnya panas yang dihasilkan oleh sebuah server ketika beroperasi dapat mencapai besaran 4 kilowatt. Panas tersebut dibuang ke ruang *data centre* secara kontinu selama server masih beroperasi.

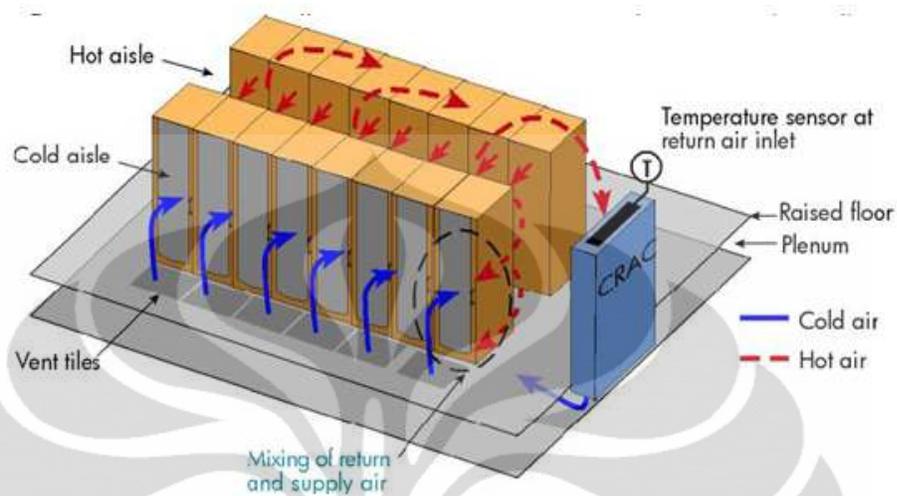
Pada dasarnya, sebuah *data centre* memiliki kriteria kondisi temperatur serta kelembaban udara (Relatif Humidity) yang semestinya dipenuhi agar server dapat bekerja secara optimal. Merujuk pada ASHRAE Publication, “Thermal guidelines for Data Centers and other Data Processing Environments”, Atlanta, 2004, sebuah *data centre* sebaiknya dikondisikan pada temperatur 20° C - 25° C (68° F - 77° F) serta kelembaban (Relatif Humidity) 40% - 55%. Berikut ini adalah batasan kondisi temperatur dan RH optimum sebuah *data centre* yang digambarkan pada grafik psikometrik :



Gambar1.2 Kondisi kerja optimum *data centre* pada diagram psikometrik

Jikalau temperatur dan kelembaban sebuah *data centre* tak terjaga pada acuan standar, maka sangat memungkinkan berakibat pada kerusakan komponen elektrikal ataupun kegagalan fungsi kerja sebuah server. Maka dari itu, pengkondisian temperatur serta kelembaban udara sebuah *data centre* menjadi hal penting yang perlu dicermati secara seksama. Pentingnya pengkondisian temperatur serta kelembaban tersebut memunculkan berbagai metode pendinginan *data centre*. Sejauh perkembangan teknologi hingga saat ini, proses pendinginan *data centre* dilakukan dengan metode *Hot Cold Aisle*. *Hot-Cold Aisle* adalah

metode pendinginan ruang *data centre* dengan mengatur arah aliran udara disertai dengan penyusunan rak kabinet server.



Gambar 1.3 Sistem AC *Hot-Cold Aisle*

Sejauh ini, proses pendinginan *data centre* dengan menggunakan metode *Hot-Cold Aisle* dinilai belum mampu bekerja secara optimal. Hal tersebut dikarenakan beban area pendinginan yang terlalu luas, ditambah lagi adanya kemungkinan terjadi pencampuran antara udara dingin dengan udara panas yang membuat berkurangnya efektifitas pendinginan.

Berdasarkan hal tersebut tercetuslah ide penggunaan sistem AC tersendiri pada tiap kabinet server. Mesin pengkondisian udara (AC) tersendiri ini dinamakan AC Presisi. AC presisi tidak sekedar mengatur temperatur saja seperti AC kebanyakan, melainkan juga dapat mengatur nilai kelembaban relatif (RH) udara lingkungannya. Mekanisme pengoperasian mesin pendingin AC presisi ini adalah dengan menempelkannya pada unit kabinet *data centre* sehingga menjadi satu kesatuan utuh. Berikut ini adalah ilustrasi mekanisme kesatuan antara kabinet *data centre* dengan unit AC presisi :



Gambar 1.4 Sistem AC tersendiri (AC Presisi)

Adanya sistem pendinginan AC Presisi diharapkan dapat memenuhi kebutuhan pendinginan sebuah kabinet server sehingga dapat bekerja secara optimal serta terhindar dari kegagalan kerja. Di lain sisi, penggunaan AC Presisi diharapkan dapat meningkatkan efektifitas pendinginan, karena udara dingin langsung menuju beban area pendinginan yang hanya meliputi sebuah rak server saja. Pada akhirnya hal tersebut diharapkan dapat menghemat energi yang digunakan dalam proses pendinginan sebuah *data centre*. Performasi dari AC Presisi ini akan diamati melalui pengujian lebih lanjut.

1.2 Perumusan Masalah

AC Presisi menggunakan metode pendinginan *direct-expansion coil* (dx-coil) dengan menambahkan sebuah *reheat coil* yang diparalel dari kondenser utama. Fungsi *reheat coil* akan dijelaskan kemudian. AC presisi menggunakan pipa kapiler berdiameter 0,054 inch dengan panjang 1 meter. Target dari rancangan AC presisi ini adalah mencapai kondisi temperatur dan RH kabinet data center yang direkomendasikan oleh ASHRAE, yaitu pada temperatur 20-25°C (68-77°F) dan kelembaban relatif 40-55% dalam kondisi tanpa beban.

AC Presisi menggunakan refrigerant jenis R134a dengan massa 200 gram. AC Presisi mengadopsi sistem pendinginan aliran udara tertutup (*closed air system*) dengan memanfaatkan *return air* sebagai media pendinginan ulang. Hal tersebut merupakan metode pendinginan yang berbeda dari prototipe sebelumnya yang pernah dibuat. AC presisi ini diujikan dengan melihat hasil perubahan nilai temperatur dan RH terhadap variasi bukaan katup *reheat* 0%,25%,50%,75% dan 100%.

1.3 Tujuan

Adapun tujuan dalam penulisan tugas akhir ini antara lain :

1. Menguji performa AC Presisi Portable menggunakan sistem aliran udara tertutup.
2. Menguji pengaruh dari bukaan katup kondenser *reheat* terhadap temperatur dan kelembaban relatif (RH).

1.4 Batasan Masalah

Batasan masalah pada penelitian ini antara lain :

1. Sistem AC Presisi menggunakan kompresor 220 Volt dengan kapasitas 0,5 hp.
2. Refrigerant yang digunakan R-134a dengan massa 200 gram.
3. Pengujian performa sistem dilakukan pada variasi bukaan katup kondenser *reheat* 0%, 25%, 50%, 75% dan 100%.

1.5 Metodologi Pengujian

Metodologi pengujian yang dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Studi Literatur

Studi literatur merupakan proses pengumpulan informasi yang berkaitan dengan materi bahasan yang berasal dari buku-buku, jurnal serta literature terdahulu yang dapat didapatkan melalui internet serta perpustakaan.

2. Modifikasi Sistem Refrigerasi

Modifikasi ini meliputi perancangan ulang sistem pemipaan, serta pemodelan ulang konsep aliran udara yang semula menggunakan sistem pendinginan udara terbuka (*open air system*) kini diubah menjadi sistem pendinginan udara tertutup, dimana udara yang didinginkan berputar dalam sistem yang tertutup (*closed air system*) dengan memanfaatkan *return air* sebagai media pendinginan berulang. Modifikasi sistem tersebut dilakukan dengan menambahkan komponen *ducting* sebagai sarana aliran balik udara yang didinginkan.

3. Pengadaan Alat

Proses ini meliputi persiapan dan pembelian alat-alat yang dibutuhkan untuk melakukan perbaikan alat serta pengujiannya. Pengadaan alat-alat tersebut antara lain meliputi pipa tembaga, kawat las, hygrometer digital sebagai piranti pengukuran nilai RH, DAQ National Instruments, Labview, perangkat isolasi.

4. Perbaikan Alat Uji

Tahapan ini meliputi perbaikan, penggantian serta penambahan alat uji. Hal ini dilakukan untuk mengembalikan dan meningkatkan kondisi alat, sehingga pengujian dapat dilakukan dan data yang diperoleh lebih akurat, perbaikan dilakukan pada sistem pembuangan air kondensasi, insulasi dinding saluran udara, penambahan alat ukur temperatur. Perbaikan mendasar yang dilakukan dari alat terdahulu adalah penambahan ducting yang terbuat dari akrilik sebagai sarana aliran balik udara.

5. Verifikasi Alat Ukur Uji

Verifikasi adalah membandingkan alat ukur yang akan digunakan dengan alat ukur standar, sebelum pengujian dilakukan verifikasi terhadap alat ukur temperatur dan kelembaban relatif agar data yang dihasilkan lebih akurat.

6. Pengecekan Sistem

Dilakukan setelah proses perbaikan selesai. Proses ini meliputi tes kebocoran dengan memberikan sistem tekanan yang tinggi serta *vaccum test* yaitu dengan membuat sistem menjadi kedap udara .

7. Pengujian Sistem

Pengujian dilakukan dengan memantau data dari alat ukur seperti termokopel yang mengukur temperatur, hygrometer yang mengukur kelembaban relatif serta mencatat tekanan yang ditunjukkan pada *pressure gauge* baik tekanan *suction* maupun tekanan *discharge*, temperatur dan kelembaban relatif udara yang dihasilkan .

8. Analisis dan Kesimpulan Hasil Pengujian

Data yang telah didapat setelah melalui tahap pengujian sistem kemudian diolah dalam berbagai tipe penyajian data untuk selanjutnya dianalisis secara mendalam mengenai performansi mesin pendingin yang telah diujikan serta evaluasi terhadap hasil yang dicapai. Melalui hasil analisa yang tepat dan

mendalam didapatkan sebuah kesimpulan yang menjadi intisari hasil pengujian AC Presisi.

1.6 Sistematika Penulisan

Penulisan tugas akhir ini mengikuti sistematika penulisan sebagai berikut:

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini membahas tentang latar belakang, perumusan masalah, tujuan penulisan, pembatasan masalah, dan sistematika penulisan.

BAB II LANDASAN TEORI

Bab ini membahas tentang konsep-konsep yang menjadi dasar teori dalam penelitian ini, seperti komponen sistem refrigerasi, siklus kompresi uap, refrigerant ramah lingkungan serta grafik psikometrik.

BAB III DESKRIPSI ALAT DAN METODE PENGUJIAN

Bab ini membahas mengenai prinsip kerja alat, instalasi sistem refrigerasi, sistem kelistrikan, tes kebocoran, *system vaccum process* dan pengisian refrigerant. Tak lupa juga dijelaskan mengenai metode pengujian serta pengambilan data.

BAB IV HASIL DAN ANALISIS

Bab ini membahas analisis data dari hasil pengujian yang telah diolah kemudian disajikan dalam bentuk tabel maupun grafik.

BAB V KESIMPULAN

Bab ini membahas kesimpulan yang merupakan intisari dari pengujian yang telah dilakukan serta penyampaian saran untuk pengembangan desain AC Presisi selanjutnya.

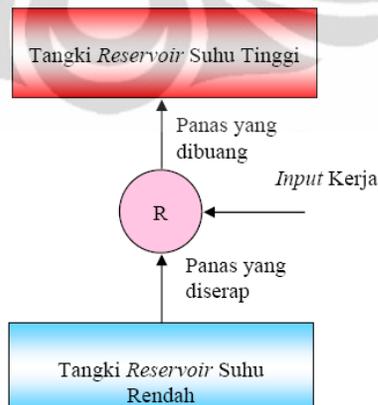
BAB II

LANDASAN TEORI

2.1 Sistem Refrigerasi

Refrigerasi adalah metode pengkondisian temperatur ruangan agar tetap berada di bawah temperatur lingkungan. Refrigerasi disebut juga sebagai metode pendinginan. Penggunaan refrigerasi sudah sangat umum dalam keseharian manusia, diantaranya digunakan pada sistem pendingin udara pada bangunan, sarana transportasi, serta dalam proses pengawetan suatu bahan makanan dan minuman. Penggunaan refrigerasi juga dapat ditemukan pada pabrik skala besar, contohnya, proses dehidrasi gas, aplikasi pada industri petroleum seperti pemurnian minyak pelumas, reaksi temperatur rendah, dan proses pemisahan hidrokarbon yang mudah menguap.

Dalam pengoperasiannya, sistem refrigerasi membutuhkan suatu zat yang berfungsi sebagai media penyerap dan pemindah panas. Zat yang dimaksud disebut refrigerant. Refrigerant merupakan suatu zat yang mudah berubah fasa dari cair menjadi uap ataupun sebaliknya pada kondisi tekanan serta temperatur yang berubah. Refrigerasi ataupun proses pendinginan dapat dicapai dengan melakukan penyerapan panas yang dilakukan oleh refrigerant secara terus menerus.



Gambar 2.1 Skematik sistem refigrerasi

Sistem refrigerasi sangat erat kaitannya dengan sistem pengkondisian udara. Dalam sistem pengkondisian udara diperhatikan mengenai kenyamanan pengguna atau pemakai (*Comfort Air Conditioning*) pada temperatur udara yang terdinginkan. Dalam konteks yang lebih dalam, pengkondisian udara didefinisikan sebagai pengaturan secara simultan beberapa parameter udara seperti temperatur, kelembaban, aliran dan kebersihan udara di dalam suatu ruangan. Pengkondisian udara juga mencakup usaha pemanasan atau penghangatan ruangan. Penerapan sistem pengkondisian udara banyak dijumpai pada pusat perbelanjaan, rumah tinggal, perhotelan, dan perkantoran.

2.2 Komponen Utama Sistem Refrigerasi

Komponen-komponen utama sistem refrigerasi terdiri dari :

1. Kompresor
2. Kondenser
3. Alat ekspansi
4. Evaporator

Komponen-komponen tersebut dihubungkan dengan pipa tembaga sehingga membentuk suatu sistem tertutup.

2.2.1 Kompresor

Kompresor merupakan komponen yang bersifat vital dalam suatu sistem refrigerasi. Kompresor adalah alat yang digunakan untuk menghisap uap refrigerant kemudian mengkompresikannya sehingga temperature dan tekanan uap refrigerant naik sampai pada kondisi yang diperlukan untuk pengembunan (kondensasi) uap refrigeran di dalam kondenser

Berdasarkan cara kerjanya, kompresor dibagi menjadi lima jenis, yaitu :

1. Kompresor torak (*reciproacting*)
2. Kompresor putar (*rotary*)
3. Kompresor sentrifugal (*centrifugal*)
4. Kompresor heliks atau sekrup (*helix/screw*)
5. Kompresor *scroll*

Berdasarkan penempatan motornya kompresor terbagi menjadi 3 macam, yaitu :

1. Kompresor hermetik
2. Kompresor semihmetik
3. Kompresor *open type*

Masing-masing kompresor mempunyai keunggulan tersendiri tergantung dari pemakaiannya. Secara umum pemakaian jenis-jenis kompresor tersebut ditentukan oleh besarnya kapasitas, penggunaannya, instalasinya, dan jenis refrigerant yang digunakan.

2.2.2 Kondenser

Kondenser adalah suatu alat yang digunakan untuk proses perpindahan panas. Pada kondenser akan terjadi proses kondensasi (pengembunan), dimana refrigerant berubah fasa dari uap menjadi fasa cair. Proses kondensasi di kondenser terjadi karena uap refrigerant yang bertekanan dan bertemperatur tinggi melepas kalor ke lingkungan. Berdasarkan cara pendinginannya, kondenser dibagi menjadi tiga jenis, antara lain sebagai berikut :

1. Kondenser berpendingin udara (*air cooled kondenser*)
2. Kondenser berpendingin air (*water cooled kondenser*)
3. Kondenser berpendingin air dan udara (*evaporative kondenser*)

Pada dasarnya media sistem pendinginan kondenser mempunyai fungsi yang sama, yaitu untuk meningkatkan laju pengembunan sehingga mempercepat terjadinya proses kondensasi. Salah satu alat bantu kondenser untuk mempercepat laju pengembunan adalah fan. Fan digunakan sebagai sarana konveksi paksa kalor dari kondenser ke lingkungan.

2.2.3 Alat Ekspansi

Pada sistem refrigerasi kompresi uap, alat ini berfungsi untuk mengatur laju aliran refrigerant dari kondenser menuju ke evaporator .Tujuan utama dari penggunaan alat ekspansi adalah untuk menurunkan tekanan refrigerant cair sebelum memasuki evaporator, sehingga memudahkan refrigerant menguap serta

menyerap kalor (panas) dari media yang didinginkan. Alat ekspansi dapat berupa sebuah katup ekspansi ataupun pipa kapiler..

2.2.4 Evaporator

Evaporator adalah suatu alat penukar kalor yang digunakan untuk menguapkan refrigerant hingga berubah fasa dari cair menjadi uap. Pada evaporator terjadi perpindahan kalor dari lingkungan (sistem yang didinginkan) ke refrigerant yang berada dalam evaporator. Kalor yang diserap evaporator akan menyebabkan refrigerant yang terkandung di dalamnya menguap, seketika itu pula temperatur lingkungan akan turun. Menurut konstruksinya *evaporator* dapat dibedakan menjadi beberapa tipe, antara lain :

1. Pipa dengan rusuk-rusuk (*finned*)
2. Pipa telanjang (*bare tube*)
3. Permukaan pelat (*plate surface*)
4. Tabung dengan pipa (*shell and tube*)

Sedangkan menurut cara kerjanya evaporator dibagi menjadi dua yaitu :

1. *Evaporator* kering (*dry or direct evaporator*)
2. *Evaporator* banjir (*flooded evaporator*)

Selain itu evaporator juga dapat dibagi berdasarkan pemakaiannya, yaitu :

1. Ekspansi langsung (*direct expansion*)
2. Ekspansi tidak langsung (*indirect expansion*)

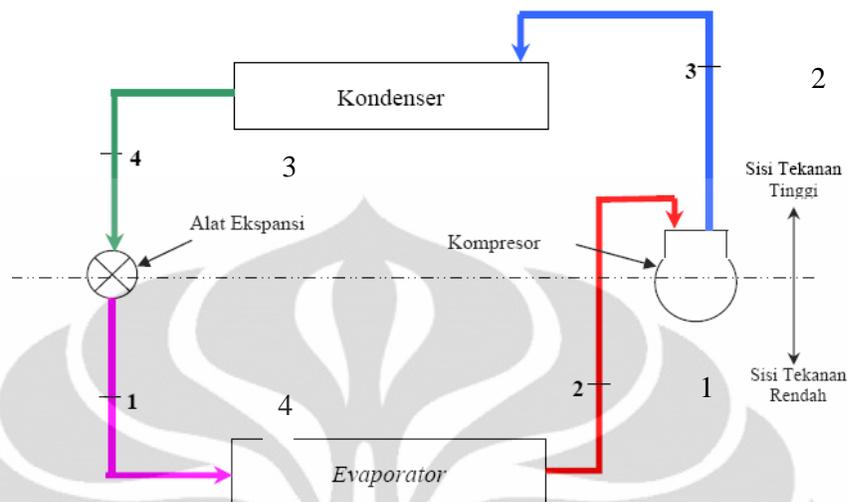
2.3 Siklus Refrigerasi

2.3.1 Siklus Refrigerasi Kompresi Uap Ideal

Siklus refrigerasi kompresi uap minimal tersusun dari empat buah komponen utama yaitu :

- Kompresor
- Kondenser
- Alat ekspansi berupa katup ekspansi ataupun pipa kapiler
- Evaporator

Berikut ini adalah skematik dari siklus refrigerasi kompresi uap :



Gambar 2.2 Siklus refrigerasi kompresi uap

Sistem pendinginan kompresi uap menggunakan cairan refrigerant yang bersirkulasi di dalam sistem tertutup. Refrigerant berguna sebagai media penyerap panas dari tempat/ruangan akan didinginkan kemudian membuang panas tersebut ke lingkungan. Pada Gambar 2.2 terlihat suatu skema sistem kompresi uap satu tingkat, sistem tersebut terdiri dari empat komponen utama yaitu : kompresor, kondenser, alat ekspansi dan evaporator. Penjelasan terperinci dari proses refrigerasi kompresi uap tersebut adalah sebagai berikut :

- Proses Kompresi Uap (1 – 2)

Refrigerant masuk ke kompresor dalam keadaan uap jenuh (*saturated vapor*) kemudian ditekan dalam kompresor ke tekanan yang lebih tinggi, menghasilkan tekanan dan temperatur refrigerant yang tinggi.

- Proses Kondensasi (2 – 3)

Uap refrigerant keluar dari kompresor dalam keadaan uap panas tingkat lanjut (*superheated vapor*). Uap tersebut mengalir menuju kondenser dimana di dalam kondenser, refrigerant akan didinginkan dan dikondensasikan menjadi cairan dengan cara melewatkannya melalui *tube* bersirip. Proses pendinginan pada kondenser terdapat 2 cara yaitu dengan udara yang dihasilkan dari fan/blower

ataupun dengan media cairan pendingin. Pada proses ini terjadi peristiwa pembuangan kalor dari refrigerant/sistem ke lingkungan.

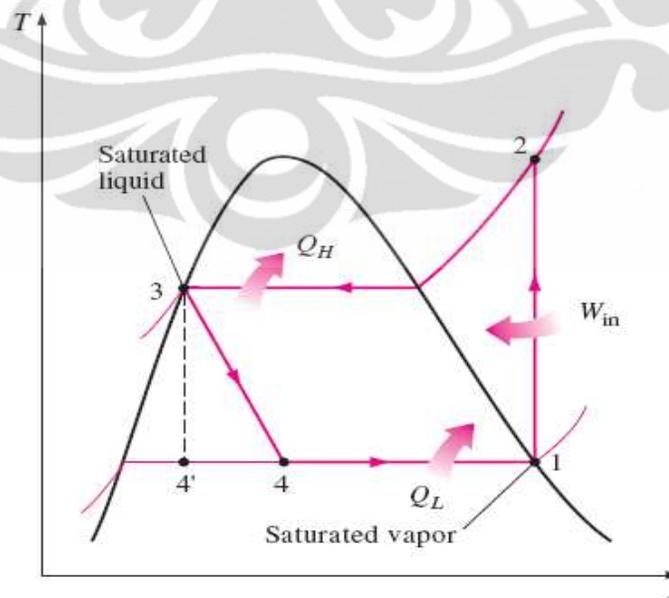
- Proses Ekspansi (3-4)

Refrigerant yang telah terkondensasi menjadi cairan, dikenal dengan cairan jenuh (*saturated liquid*). Refrigerant tersebut menuju alat ekspansi guna menurunkan tekanannya. Penurunan tekanan ini akan menghasilkan campuran x % liquid dan y % uap. Proses penurunan tekanan dilakukan oleh alat ekspansi (*expansion device*) yang dapat berupa katup ekspansi atau pipa kapiler.

- Proses Evaporasi (4 – 1)

Refrigerant yang memiliki temperatur dan tekanan rendah kemudian memasuki evaporator. Fan mensirkulasikan udara lingkungan yang temperaturnya lebih hangat dari temperatur campuran cairan dan uap refrigerant. Udara ini membuat refrigerant cair berevaporasi sampai ke kondisi uap jenuh (*saturated vapor*) . Seketika itu udara lingkungan menjadi dingin, kemudian uap refrigerant memasuki kompresor kembali guna mengulangi siklus yang sama secara terus menerus.

2.3.2 Analisis Termodinamik Sistem Pendingin

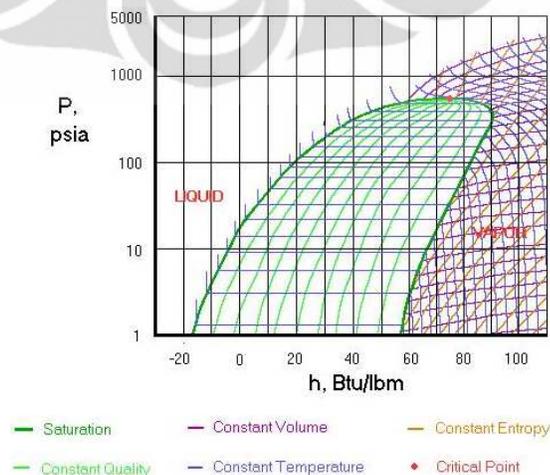


Gambar 2.3 T-s diagram siklus refrigerasi kompresi uap ideal (Yunus A. Cengel, 2005 : 611)

Gambar 2.3 memperlihatkan diagram temperatur terhadap entropi untuk siklus refrigerasi kompresi uap ideal. Proses termodinamik yang terjadi antara lain:

- Pada titik 1, refrigerant memasuki kompresor sebagai uap jenuh (*saturated vapor*). Dari titik 1 ke titik 2, uap mengalami kompresi isentropik ($s_1 = s_2$) dan keluar dari kompresor sebagai uap panas tingkat lanjut (*superheated vapor*).
- Titik 2 - 3, uap panas tingkat lanjut masuk ke kondenser kemudian melepaskan panas dan terkondensasi menjadi cair jenuh (*saturated liquid*). Proses pada kondenser terjadi pada tekanan konstan ($P_2 = P_3$).
- Titik 3 - 4, *saturated liquid* refrigerant melewati *expansion device*. Proses yang terjadi adalah *isenthalpic* ($h_3 = h_4$)
- Titik 4 - 1, campuran cairan dan uap refrigerant melalui koil evaporator dimana semua cairan refrigerant yang tersisa akan menguap sampai ke titik *saturated vapor*. Proses ini terjadi pada tekanan konstan ($P_4 = P_1$).Selanjutnya uap jenuh akan kembali ke kompresor untuk melengkapi 1 siklus termodinamika.

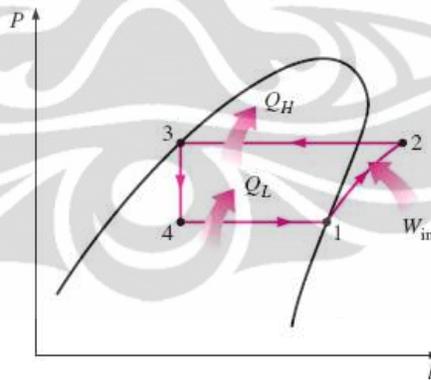
Berdasarkan sifat perubahan tekanan dan entalphy pada refrigerant, maka dikembangkan suatu diagram tekanan-entalphy (diagram molier) yang digunakan untuk analisa sistem pendinginan kompresi uap. Berikut ini adalah gambar diagram molier :



Gambar 2.4 Diagram P-h untuk R-12

Sumbu mendatar pada diagram P-h gambar 2.4 menggambarkan nilai entalphy sedangkan sumbu tegak adalah tekanan, sehingga garis-garis mendatar menunjukkan tekanan konstan sedangkan garis-garis tegak menunjukkan entalphy konstan. Garis melengkung dari kiri bawah ke kanan atas hingga titik kritis adalah garis cair jenuh (*saturated liquid line*). Di sebelah kiri garis cair jenuh refrigerant berada pada keadaan cair super-dingin (*sub-cooled*) atau cair terkondensasi. Pada garis cair jenuh refrigerant berada pada keadaan keseimbangan dengan nilai mutu uap 0 (nol), artinya seluruh refrigerant berada pada keadaan cair. Semakin ke kanan garis cair jenuh nilai mutu uap refrigerant semakin besar hingga mencapai nilai 1 (satu) pada garis uap jenuh (*saturated vapour line*), yaitu garis melengkung dari kanan bawah ke kanan atas mencapai titik kritis. Di sebelah kanan garis uap jenuh, refrigerant berada pada keadaan uap super-panas (*super heated*).

Keseluruhan siklus yang terjadi pada pendingin kompresi uap, mencakup kompresi, kondensasi, ekspansi, dan evaporasi dapat digambarkan pada diagram tersebut. Berikut adalah gambaran proses pendingin kompresi uap pada diagram P – h.



Gambar 2.5 P-h diagram untuk Siklus refrigerasi kompresi uap ideal
(Yunus A. Cengel, 2005 : 612)

Gambar di atas menunjukkan siklus pendinginan kompresi uap yang bekerja secara ideal dengan jumlah kalor yang diserap Q_L dan jumlah kalor yang dilepas Q_H . Proses kompresi (1-2) digambarkan bekerja secara isentropik, sehingga berada pada garis entropi yang sama. Proses kondensasi (2-3) bekerja pada keadaan tekanan tetap pada temperatur kondensasi, sehingga berada pada

garis mendatar. Pengekikan (3-4) bekerja pada keadaan isenthalpyk sehingga merupakan garis tegak lurus entalphy sama, dalam hal ini $h_3 = h_4$. Proses penguapan (4-1) kembali bekerja pada tekanan tetap tapi pada temperatur evaporasi yang merupakan perpotongan antara garis pengembunan dengan garis cair jenuh.

Setiap proses yang terjadi sepanjang siklus dinyatakan dalam besaran-besaran yang dapat ditentukan secara matematik. Pada Termodinamika pendinginan telah ditunjukkan bahwa untuk proses tekanan tetap, seperti terjadi pada proses evaporasi dan kondensasi dalam mesin pendingin kompresi uap, $dq=dh$.

Dengan demikian, panas yang diserap dan digunakan untuk menguapkan refrigerant adalah :

$$q_{\text{evaporator}} = h_1 - h_4$$

Juga telah diketahui bahwa pada proses pengekikan (ekspansi) tidak dilakukan kerja, sehingga entalphy refrigerant yang masuk dan keluar dari katup ekspansi adalah sama,

$$h_3 = h_4$$

Kerja spesifik dari kompresor di hitung dengan persamaan :

$$w_{\text{spesifik}} = h_2 - h_1$$

sedangkan nilai COP (*Coefficient of Performance*) dari mesin pendingin dapat dihitung dengan persamaan :

$$COP_R = \frac{q_{\text{evaporator}}}{|w_{\text{kompresor}}|} = \frac{h_1 - h_4}{h_2 - h_1}$$

Semua persamaan di atas berlaku pada siklus kompresi uap yang ideal. Namun pada kondisi nyata, siklus kompresi uap tersebut tidak dapat berlangsung secara ideal atau sesuai teoritis. Terdapat beberapa perbedaan yang terjadi antara siklus kompresi uap ideal dengan kompresi uap aktual yang terjadi, perbedaan tersebut antara lain :

- Proses 1-2 (kompresi), sering dianggap berlangsung secara insentropik, akan tetapi dapat berlangsung tidak isentropik dan tidak juga politropik.

Meskipun berlangsung secara isentropik, dimana dianggap tidak terjadi pertukaran panas antara refrigerant dengan dinding kompresor, pada kenyataannya temperatur dinding silinder kompresor bisa lebih tinggi dari temperatur gas refrigerant yang masuk dan lebih rendah dari temperatur gas yang keluar dari kompresor sehingga menyebabkan perpindahan panas antara dinding kompresor dengan gas refrigerant.

- Selama proses 2-3, refrigerant cair mengalami pendinginan lanjut (*subcooling*) sebelum memasuki katup ekspansi.
- Pada proses 4-1, uap refrigerant yang meninggalkan evaporator mengalami pemanasan lanjut (*superheat*) sebelum memasuki kompresor. Pemanasan lanjut tersebut dapat disebabkan oleh jenis pengendali katup ekspansi yang digunakan, dimana penyerapan panas dapat terjadi pada jalur antara evaporator dan kompresor.
- Terjadi kehilangan tekanan sepanjang pipa tempat mengalirnya refrigerant.

2.4 Refrigerant

Refrigerant adalah fluida kerja yang bersirkulasi dalam siklus refrigerasi. Refrigerant merupakan komponen terpenting siklus refrigerasi karena refrigerant yang menimbulkan efek pendinginan dan pemanasan pada mesin refrigerasi. ASHRAE (2005) mendefinisikan refrigerant sebagai fluida kerja di dalam mesin refrigerasi, pengkondisian udara, dan sistem pompa kalor. Refrigerant menyerap panas dari satu lokasi dan membuangnya ke lokasi yang lain, biasanya melalui mekanisme evaporasi dan kondensasi. Refrigerant yang baik harus memenuhi syarat-syarat tertentu, diantaranya :

1. Tidak beracun dan tidak berbau dalam semua keadaan.
2. Tidak berwarna.
3. Tidak dapat terbakar atau meledak sendiri, saat bercampur dengan udara, minyak pelumas, dan bahan lainnya.
4. Tidak mempunyai daya korosi terhadap logam yang dipakai dalam sistem refrigerasi dan tata udara.
5. Dapat bercampur dengan minyak pelumas kompresor, tetapi tidak merusak atau mempengaruhi minyak pelumas tersebut.

6. Mempunyai struktur kimia yang stabil, tidak boleh terurai setiap kali dimampatkan (kompresi), diembunkan (kondensasi), dan diuapkan (evaporasi).
7. Mempunyai titik penguapan atau titik didih (*boilling point*) yang rendah, dan harus lebih rendah dari temperatur evaporator yang direncanakan.
8. 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 bocor besar.
9. Mempunyai tekanan evaporasi yang sedikit lebih tinggi dari tekanan atmosfer, sehingga apabila terjadi kebocoran udara luar tidak masuk kedalam sistem.
10. Mempunyai kalor laten penguapan yang besar, sehingga panas yang diambil oleh refrigerant di *evaporator* pun besar.
11. Mudah dideteksi apabila sistem mengalami kebocoran.
12. Mempunyai volume spesifik uap yang cukup kecil.
13. Tidak merusak lapisan ozon dan tidak menyebabkan efek pemanasan global.

Dalam perkembangannya , refrigerant mengalami 3 periode penting, antara lain :

- Periode pertama, 1830-an hingga 1930-an, dengan kriteria refrigerant "apa pun yang bekerja di dalam mesin refrigerasi". Refrigerant yang digunakan dalam periode ini adalah ether, CO₂, NH₃, SO₂, hidrokarbon, H₂O, CCl₄, CHCs.
- Periode ke-dua, 1930-an hingga 1990-an menggunakan kriteria refrigerant: aman dan tahan lama (*durable*). Refrigerant pada periode ini adalah CFCs (*Chloro Fluoro Carbons*), HCFCs (*Hydro Chloro Fluoro Carbons*), HFCs (*Hydro Fluoro Carbons*), NH₃, H₂O.
- Periode ke-tiga, setelah 1990-an, dengan kriteria refrigerant "ramah lingkungan". Refrigerant pada periode ini adalah HCFCs, NH₃, HFCs, H₂O, CO₂.

Perkembangan mutakhir di bidang refrigerant utamanya didorong oleh dua masalah lingkungan, yakni lubang ozon dan pemanasan global. Sifat merusak ozon yang dimiliki oleh refrigerant utama yang digunakan pada periode kedua, yakni CFCs, dikemukakan oleh Molina dan Rowland (1974) yang kemudian didukung oleh data pengukuran lapangan oleh Farman dkk. (1985). Setelah keberadaan lubang ozon di lapisan atmosfer diverifikasi secara saintifik, perjanjian internasional untuk mengatur dan melarang penggunaan zat-zat perusak ozon disepakati pada 1987 yang terkenal dengan sebutan Protokol Montreal. CFCs dan HCFCs merupakan dua refrigerant utama yang dijadwalkan untuk dihapuskan masing-masing pada tahun 1996 dan 2030 untuk negara-negara maju (*United Nation Environment Programme*, 2000).

Sedangkan untuk negara-negara berkembang, kedua refrigerant utama tersebut masing-masing dijadwalkan untuk dihapus (*phased-out*) pada tahun 2010 (CFCs) dan 2040 (HCFCs) (Powell, 2002). Pada tahun 1997, Protokol Kyoto mengatur pembatasan dan pengurangan gas-gas penyebab rumah kaca, termasuk HFCs. Maka dari itu, saat ini sedang digencarkan refrigerant pengganti, syarat yang harus dimiliki oleh refrigerant pengganti, yakni :

- Memiliki sifat-sifat termodinamika yang berdekatan dengan refrigerant yang hendak digantikannya, utamanya pada tekanan maksimum operasi refrigerant baru yang diharapkan tidak terlalu jauh berbeda dibandingkan dengan tekanan refrigerant lama yang ber-klorin.
- Tidak mudah terbakar dan tidak beracun.
- Bisa bercampur (*miscible*) dengan pelumas yang umum digunakan dalam mesin refrigerasi.
- Setiap refrigerant CFC hendaknya digantikan oleh satu jenis refrigerant ramah lingkungan.

2.4.1 Jenis Refrigerant

a. Golongan Halokarbon

Refrigerant golongan halokarbon adalah jenis refrigerant yang umum digunakan. Refrigerant jenis ini meliputi refrigerant yang terdiri dari satu atau

lebih dari tiga jenis ion golongan halogen (klorin, fluorin, dan bromin). Beberapa jenis refrigerant halokarbon yang umum digunakan disajikan pada Tabel 2.1

Tabel 2.1. Jenis refrigerant halokarbon

Nomor refrigerant	Nama kimia	Rumus kimia
11	Trikloromonofluorometan	CCl ₃ F
12	Diklorodifluorometan	CCl ₂ F ₂
13	Monoklorotrifluorometan	CClF ₃
22	Monoklorodifluorometan	CHClF ₂
40	Metilklorida	CH ₃ Cl
113	Triklorotrifluoroetan	CCl ₂ FCClF ₂
115	Diklorotetrafluoroetan	CClF ₂ CClF ₂

b. Senyawa Inorganik

Awalnya hanya amoniak dan karbon dioksida yang dapat digunakan sebagai refrigerant. Namun seiring berkembangnya zaman, dikenal sulfur dioksida, metil klorida dan metilen klorida digunakan sebagai refrigerant. Metil klorida dan karbon dioksida digunakan untuk sistem pengkondisian udara (AC).

c. Senyawa Hidrokarbon

Banyak senyawa hidrokarbon yang digunakan sebagai refrigerant, umumnya digunakan pada industri minyak bumi, seperti metana, etana, propana, etilen, dan isobutilen. Semua senyawa hidrokarbon bersifat *flammable* dan eksplosif. Digolongkan sedikit beracun karena mengandung efek bius pada tingkat tertentu. Etana, metana, dan etilen digunakan pada pendinginan temperatur ekstra rendah.

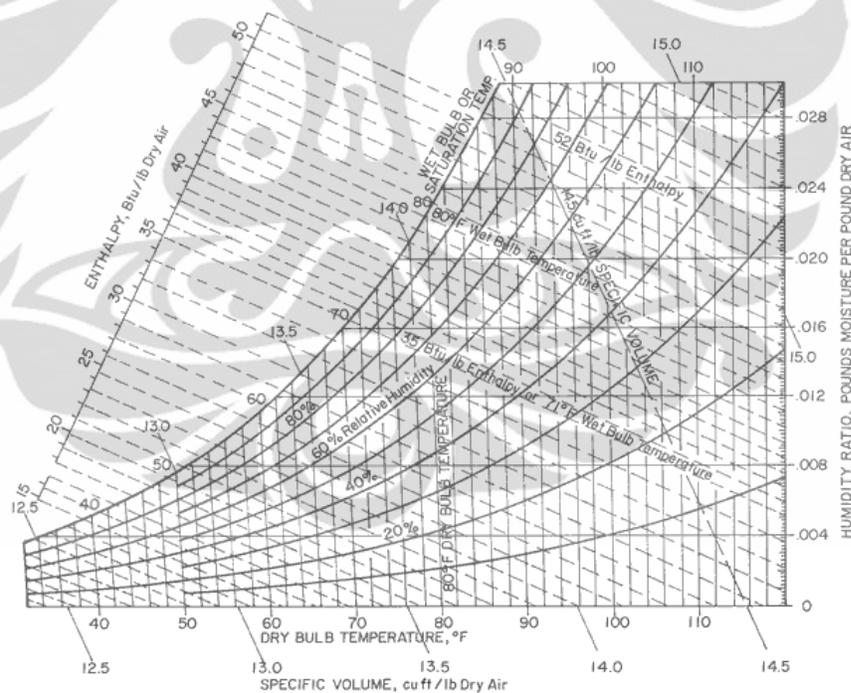
Hidrokarbon telah dikenal sejak tahun 1920-an sebelum refrigerant sintetik dikenal. Ilmuwan yang tercatat sebagai promotor hidrokarbon sebagai refrigerant antara lain Linde (1916) dan Ilmuwan Dunia Albert Einstein (1920). Hidrokarbon kembali diperhitungkan sebagai alternatif pengganti CFC, setelah aspek lingkungan mengemuka, dan timbulnya permasalahan dalam peralihan dari CFC ke HFC, dikarenakan perlu adanya penyesuaian perangkat keras, pelumas, serta perlakuan khusus dalam operasional penggunaan bahan HFC.

d. Azeotrop

Senyawa azeotrop adalah suatu campuran yang tak dapat dipisahkan menjadi senyawa penyusunnya dengan cara distilasi. Senyawa ini menguap dan mengembun sebagai satu zat, tidak seperti campuran lainnya. Azeotrop yang paling dikenal adalah R502 yang merupakan campuran 48.8% R22 dan 51.2% R115. Azeotrop lainnya adalah R-500, campuran dari 73.8% R-12 dan 26.2% R-152a.

2.5 Psychrometric Chart

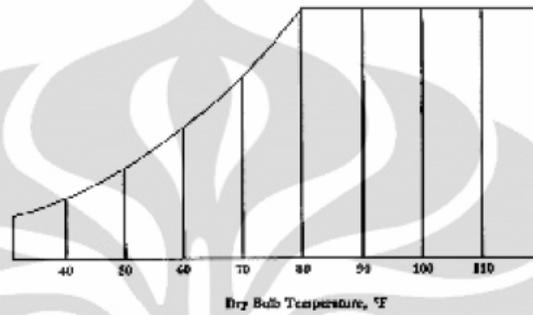
Psikometrik adalah ilmu yang mempelajari properties atau sifat-sifat dari udara berikut dengan komposisinya. Willis Carrier membuat *Psychrometrics* pada tahun 1911, dan *tool* nya dinamakan *Psychrometric Chart*. Berikut ini adalah gambar diagram psikometrik :



Gambar 2.6 Diagram psikometrik

Diagram psikometrik merepresentasikan sifat-sifat/ properties dari udara dan moisture-nya. Properties-properties tersebut antara lain :

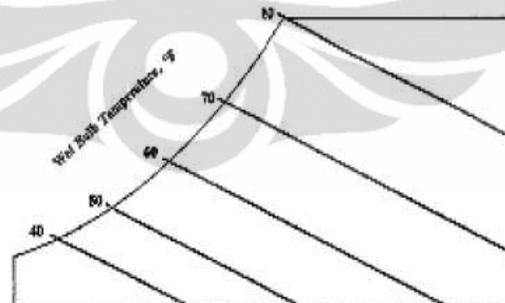
- Temperatur bola kering (*The Dry-Bulb Temperature*) adalah temperatur yang terlihat pada termometer standar. Temperatur ini ditunjukkan di sepanjang garis sumbu x pada diagram psikometrik dengan garis vertikal ke atas yang diperpanjang hingga ke atas sejajar sumbu y menunjukkan nilai temperatur konstan.



Gambar 2.7 Garis *Dry-Bulb* temperatur pada Psikometrik Chart

Sumber : (<http://www.p1m.com/PSY-Chart.pdf>)

- Temperatur bola basah (*The Wet-Bulb Temperature*) adalah temperatur yang diindikasikan oleh termometer yang ujungnya diselubungi semacam *wick*/sumbu yang akan menyerap kandungan air di dalam udara. Pada diagram psikometrik, garis *wet-bulb* ditunjukkan dengan garis lurus yang dimulai dari ujung sebelah kanan diagram menuju ke kiri sampai ke garis kurva saturasinya.

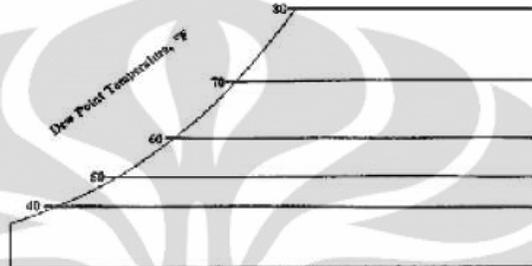


Gambar 2.8 Garis *Wet-Bulb* temperatur pada Psikometrik Chart

Sumber : (<http://www.p1m.com/PSY-Chart.pdf>)

- Dew-point temperature merupakan suatu area temperatur di mana udara mulai menunjukkan aksi pengembunan ketika didinginkan (temperatur menurun). Temperatur dew-point ditandai sebagai titik sepanjang garis

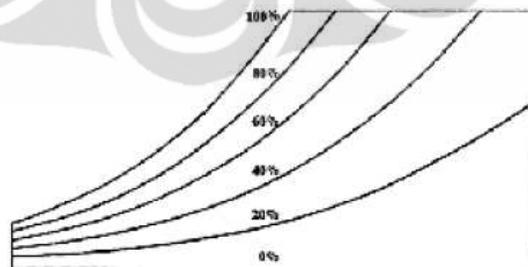
saturasi. Pada saat udara ruang mengalami saturasi (jenuh) maka besarnya temperatur dew point sama dengan temperatur wet bulb. Temperatur dew point merupakan ukuran dari panas laten yang diberikan oleh sistem. Adanya perubahan temperatur dew point menunjukkan adanya perubahan panas laten atau adanya perubahan kandungan uap air di udara.



Gambar 2.9 Garis *Dew-Point* temperatur pada Psikometrik Chart

Sumber : (<http://www.p1m.com/PSY-Chart.pdf>)

- Kelembaban relatif (Relatif Humidity - RH) adalah perbandingan jumlah *moisture* (uap air) di dalam udara dengan jumlah *moisture* maksimal yang dapat ditahan pada kondisi yang diberikan. Dapat diartikan pula sebagai perbandingan tekanan parsial uap air di dalam udara dengan tekanan uap jika udara dalam keadaan jenuh pada temperatur yang sama. Kelembaban relatif dinyatakan dalam bentuk persen (%). Udara kering mempunyai 0% RH, sementara udara pada titik embunnya (*saturated*) mempunyai 100% RH.

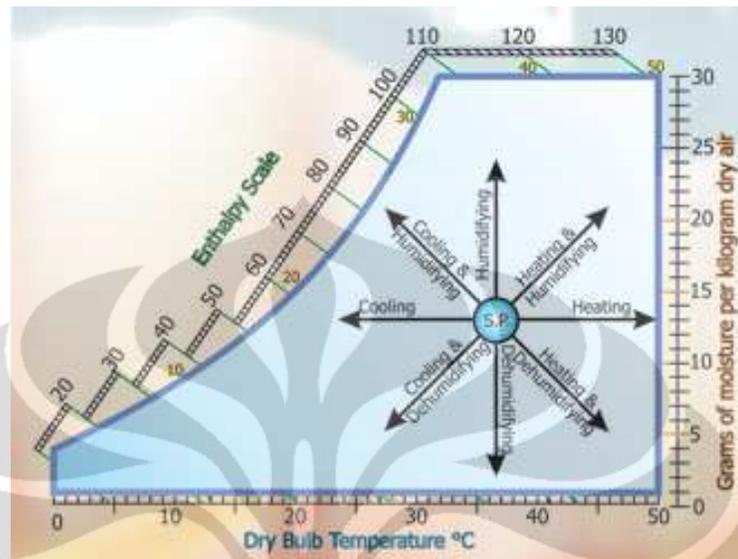


Gambar 2.10 Garis Relatif Humidity pada Psikometrik Chart

Sumber : (<http://www.p1m.com/PSY-Chart.pdf>)

- Rasio kelembaban/Humidity *Ratio* (ω) adalah berat atau massa air yang terkandung dalam setiap kilogram udara kering.

2.6 Proses Perubahan Kondisi Udara



Gambar 2.11 Proses perubahan kondisi udara pada diagram psikometrik

Setiap proses yang mengakibatkan perubahan keadaan/sifat-sifat udara dapat digambarkan dalam diagram psikometrik seperti terlihat pada gambar 2.11. Adapun beberapa proses perlakuan udara yang sering diterapkan dalam dunia refrigerasi serta pengkondisian udara antara lain:

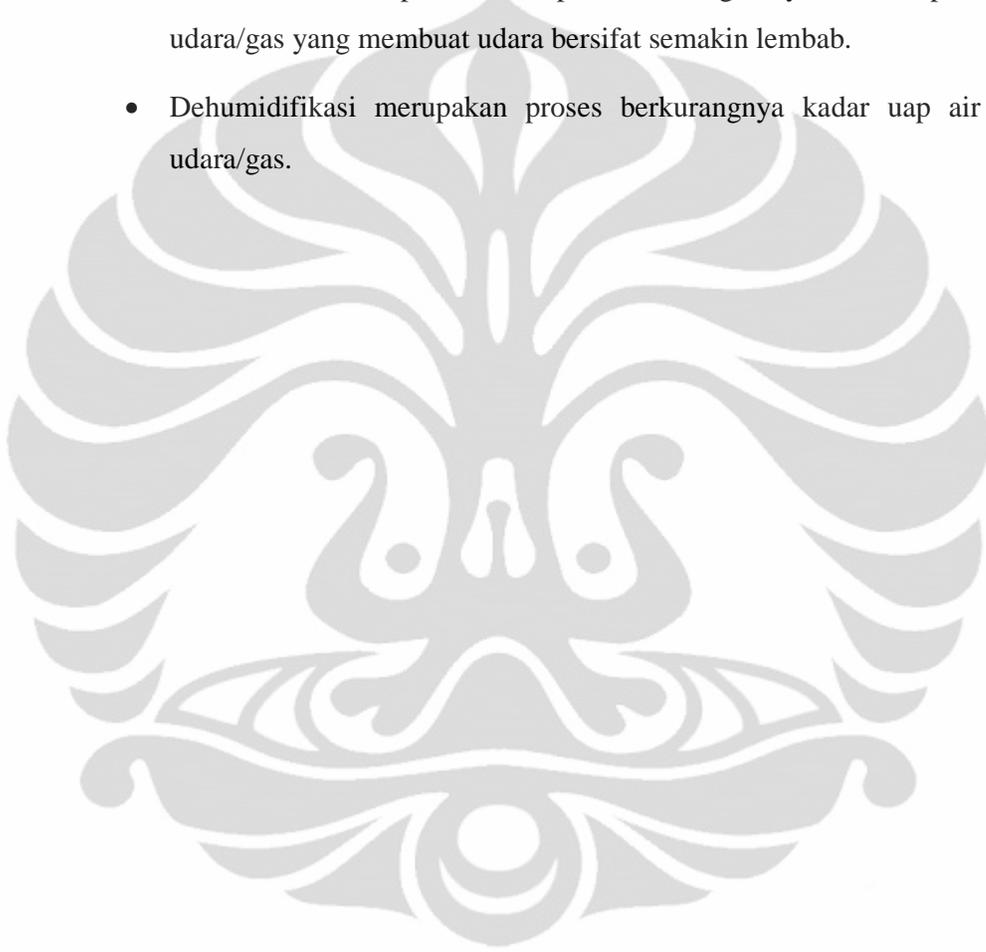
2.6.1 Pemanasan dan pendinginan sensibel

Pemanasan sensibel terjadi apabila udara melintasi permukaan pemanas yang kering dimana temperaturnya di atas temperatur bola kering udara. Dalam sistem refrigerasi, pemanasan sensibel terjadi pada kondenser. Pada saat melintasi koil, udara akan menyerap kalor (*sensible*) dari permukaan yang lebih panas, sehingga temperaturnya naik mendekati temperatur pemanas. Karena tidak ada uap air yang ditambahkan atau diambil dari udara maka kelembaban spesifik, titik embun dan kalor laten dari udara tidak berubah. Sedangkan proses pendinginan sensibel terjadi apabila udara melintasi koil pendingin, dimana temperatur koilnya dibawah temperatur bola kering udara tetapi masih di atas titik embun udara yang melintasinya. Pada pendinginan sensibel juga tidak ada perubahan kandungan uap air. Dengan demikian perubahan kalor total udara sama dengan perubahan kalor sensibel udara.

2.6.2 Pendinginan/pemanasan dengan perubahan nilai kelembaban

Proses pendinginan/pemanasan dapat menyebabkan perubahan nilai kelembaban/kadar uap air dalam suatu gas ataupun udara. Proses perubahan kelembaban terbagi menjadi 2 bagian yaitu

- Humidifikasi merupakan suatu proses meningkatnya kadar uap air dalam udara/gas yang membuat udara bersifat semakin lembab.
- Dehumidifikasi merupakan proses berkurangnya kadar uap air dalam udara/gas.



BAB III

DESKRIPSI ALAT DAN METODE PENGUJIAN

3.1. Deskripsi AC Presisi

AC Presisi merupakan sebuah sistem pendingin yang digunakan sebagai sarana pengkondisian udara pada sebuah data center. Alat ini tak hanya mengatur temperatur udara, melainkan juga dapat mengatur nilai kelembaban relatif (RH) melalui konsep pengaturan bukaan katup *reheat*. AC Presisi diinstalasikan secara personal pada sebuah kabinet server sehingga beban area pendinginan hanya mencakup sebuah kabinet server itu sendiri. Penelitian mengenai AC Presisi telah dilakukan sejak tahun 2009, hingga saat ini telah memasuki periode penelitian yang ketiga. Berikut ini adalah histori penelitian AC presisi yang telah dilakukan sejak periode pertama sampai peroido ketiga yang kini dijalani :

3.1.1 AC Presisi Periode 1



Gambar 3.1 AC Presisi generasi pertama

AC Presisi periode pertama menggunakan sebuah kompresor DC 12-24 V tipe *hermetic reciprocating* (*Branded Danfoss*). Kompresor tipe DC ini memiliki kelebihan tersendiri, yaitu nilai rpm dapat diatur dengan menggunakan variasi nilai hambatan sehingga penyesuaian kerja kompresor dapat diatur sesuai beban yang diterima.



Gambar 3.2 Kompresor DC *Danfoss* type BD250GH

Berikut ini adalah parameter pencapaian dari AC Presisi periode pertama :

1. Temperatur minimum yang dapat dicapai bernilai 19.9°C pada kondisi kerja maksimum kompresornya
2. RH atau kelembaban yang dihasilkan, hanya dapat menurunkan 2-3% dari temperatur ambient yang bernilai 50% menjadi bernilai 49%.

3.1.2. AC Presisi Generasi 2



Gambar 3.3 AC Presisi generasi 2

AC Presisi generasi kedua ini mengalami perubahan dalam hal penggunaan kompresor. Kompresor yang digunakan adalah kompresor AC 0,5 hp type *hermetic reciprocating* (*Branded Kulthorn*) dengan menggunakan tegangan 220-240 V.

Perubahan jenis kompresor ini dilakukan guna meningkatkan daya pendinginan yang kurang maksimal dari prototipe sebelumnya. Pencapaian dari AC Presisi generasi kedua ini adalah sebagai berikut :

1. Temperatur minimum yang dapat dicapai bernilai 19.39°C pada kondisi bukaan katup *reheat* 0% serta massa refrigerant 190 gram, namun pada kondisi ini nilai RH yang dihasilkan cukup tinggi, yaitu 81.65%.
2. RH minimum yang dihasilkan bernilai 54.93% pada massa refrigerant 160 gram dengan bukaan katup *reheat* 100%, namun pada kondisi ini temperatur yang dihasilkan cukup tinggi, yaitu $29,10^{\circ}\text{C}$

Kedua pencapaian tersebut belum memenuhi nilai ideal target kondisi yang ingin dicapai, yaitu berkisar pada RH 40%-55% dan temperatur $20-25^{\circ}\text{C}$. Hal tersebut mendorong adanya pembaharuan model sistem AC Presisi dalam penelitian selanjutnya.

3.1.3 AC Presisi Generasi 3

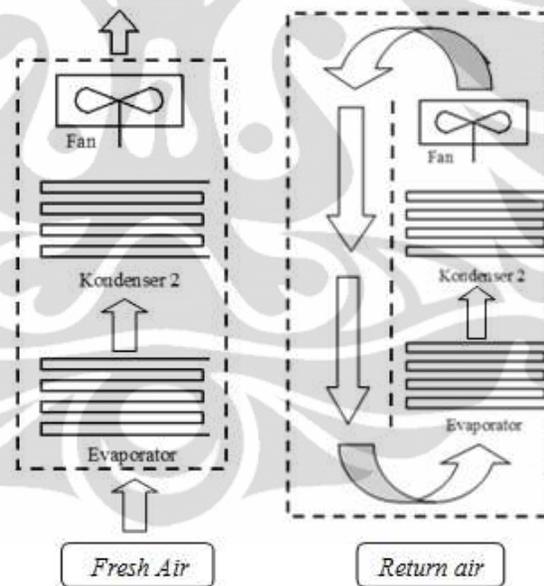


Gambar 3.4 AC Presisi generasi 3

AC Presisi generasi ketiga menggunakan perangkat perangkat *hardware* yang sama dengan AC Presisi generasi kedua. Hanya saja, pada periode ketiga ini dilakukan perubahan konsep pendinginan yang mendasar pada sistem. Perubahan

konsep tersebut adalah mengenai penggunaan sistem aliran udara balik (*return air*) yang didinginkan kembali, sehingga proses pendinginan udara berlangsung secara tertutup. (*closed air system*).

Pada AC Presisi generasi 1 dan 2, digunakan media udara *fresh air* sebagai beban yang harus didinginkan. *Fresh air* merupakan udara lingkungan yang diserap oleh fan untuk melalui proses pendinginan dalam sistem. *Fresh air* diserap secara kontinu ke dalam sistem sehingga menyebabkan beban pendinginan yang diterima sistem terbilang besar. Sedangkan pada AC Presisi prototipe ketiga, konsep aliran udara pendinginan dilakukan dengan media udara balik (*return air*). Dengan demikian diharapkan dapat mengurangi beban pendinginan sistem sehingga dapat mencapai kondisi pendinginan yang optimum. Berikut ini adalah skema perbandingan aliran udara *fresh air* dengan *return air*.

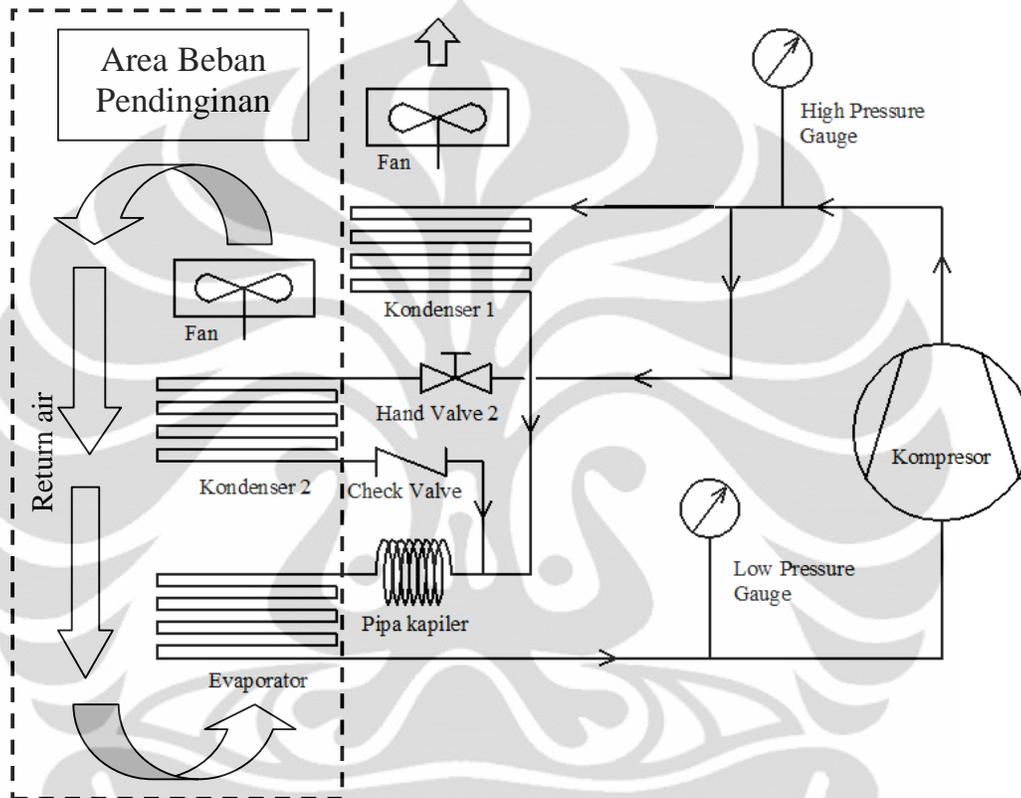


Gambar 3.5 Skema perbandingan aliran udara pada AC Presisi

Adanya perubahan sistem aliran udara dari *open air system* menjadi *closed air system* diharapkan dapat menghasilkan performa AC Presisi yang lebih baik dibanding generasi sebelumnya. Performa system AC Presisi generasi ketiga inilah yang akan diujikan dalam penelitian ini.

3.2 Prinsip Kerja Alat

Prinsip kerja AC Presisi secara garis besar sama dengan siklus kompresi uap pada umumnya, hanya bedanya alat ini memiliki satu kondenser tambahan yang fungsinya akan dijelaskan kemudian. Berikut ini adalah skematik prinsip kerja beserta pemipaan AC presisi secara detail :



Gambar 3.6 Diagram pemipaan dan skema aliran udara AC Presisi

Sistem AC Presisi secara fisik terbagi menjadi dua tingkat. Tingkat pertama berisikan kompresor, kondenser 1, pipa kapiler dan evaporator. Sedangkan tingkat kedua berisikan *hand valve*, kondenser 2 dan *check valve*. Prinsip kerja alat ini pertama-tama kompresor menaikkan tekanan refrigerant kemudian mengalirkannya ke kondenser pertama. Di kondenser pertama ini sejumlah panas dari refrigerant akan dibuang ke lingkungan melalui konveksi paksa dari fan. Sistem ini menggunakan dua kondenser dengan tujuan untuk pemanasan kembali udara yang melewati evaporator. Karena jika pada kondisi bukaan katup tertutup penuh, udara yang dihasilkan mempunyai temperatur rendah serta kelembaban yang tinggi maka diharapkan dengan adanya pengaturan

bukaan katup akan didapatkan temperatur dan kelembaban relatif yang sesuai dengan standar yaitu terjaga pada temperatur 20 -25°C (68-77°F) dan kelembaban pada 40-55%.

Fungsi kondenser kedua (*reheat*) pada sistem ini adalah untuk mengatur temperatur dan kelembaban relatif setelah melewati evaporator. Sebuah *check valve* dipasang antara jalur percabangan dari kondenser pertama menuju ke pipa kapiler, *check valve* dipasang agar refrigerant dari kondenser pertama tidak masuk ke kondenser kedua. Alat ini menggunakan refrigerant R134a sebagai fluida kerjanya.

3.3 Komponen-Komponen Utama AC Presisi

Komponen-komponen dari sistem refrigerasi AC Presisi prototipe ketiga ini ditunjukkan pada tabel berikut :

Tabel 3.1 Daftar komponen sistem AC presisi portable

Komponen	Jumlah
Kompresor	1
Kondenser	2
Evaporator	1
<i>Hand-Valve</i>	1
<i>Check Valve</i>	1
Fan	2
Pipa Kapiler	1
High pressure gauge	1
Low pressure gauge	1

3.3.1 Kompresor

Pada AC presisi generasi ketiga ini menggunakan kompresor AC type *hermetic reciprocating* (*Branded Kulthorn*) dengan menggunakan tegangan 220-240 VAC.



Gambar 3.7 Kompresor Kulthorn Model : AE 4440Y

Spesifikasi dari kompresor tersebut terlihat pada tabel di bawah ini :

Tabel 3.2 Data spesifikasi dari kompresor AE 4440Y

Electrical: 220-240 Volt	50 Hz	1 Phase
Nominal Performance:		
Cooling Capacity	1,060.00/0.00 Watts	
	3,616.72/0.00 BTU/Hr	
	911.47/0.00 Kcal/Hr	
Power Input	520.00/0.00 Watts	
Lock Rotor Amps	14.40 Amps	
Rated Load Amps	3.20 Amps	
COP	2.04/0.00 Watts / Watts	
Testing Conditions:		
Condensing Temperature	54.4 C	
Evaporating Temperature	+7.2 C	
Liquid Temperature	46.1 C	
Return Gas Temperature	35 C	
Ambient Temperature	35 C	

3.3.2 Kondenser

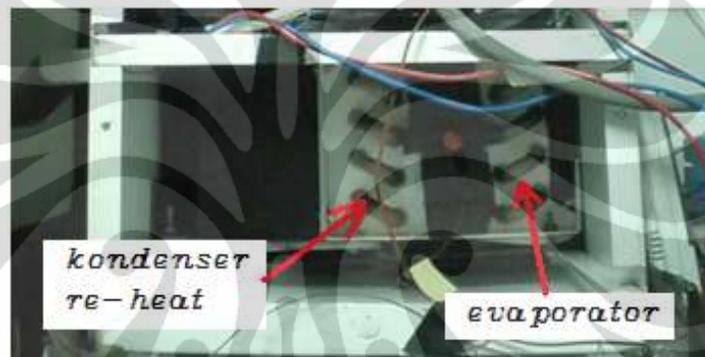
Kondenser 1 dan 2 yang digunakan pada sistem ini bertipe berpendingin udara (*air-cooled*) dengan sebuah fan DC sebagai alat untuk membantu terjadinya konveksi paksa. Spesifikasi kondenser kedua tersebut adalah sebagai berikut :

Kapasitas	: 0.49 KW
Luas Permukaan	: 1.2 m ²
Volume tube	: 0.3 L
Dimensi kondenser	: 265 x 187 x 110 mm
Dimensi <i>fin</i>	: 150 x 100 mm
Material	: Alumunium

3.3.3 Evaporator

Evaporator yang digunakan adalah tipe *finned tube* dan tipe *dry / direct evaporator*. Spesifikasinya adalah sebagai berikut :

Kapasitas	: 0.39 KW
Luas Permukaan	: 0.5 m ²
Volume tube	: 0.2 L
Dimensi evaporator	: 250 x 143 x 110 mm
Dimensi <i>fin</i>	: 150 x 100 mm
Material	: Alumunium



Gambar 3.8 Kondenser 2 (*reheat*) dan evaporator sistem AC presisi

3.3.4 Check Valve & Hand Valve

Check valve berfungsi untuk menyearahkan aliran refrigerant. Penggunaan *check valve* pada sistem ini bertujuan untuk mencegah masuknya refrigerant dari kondenser pertama ke kondenser ke dua. Sedangkan *Hand Valve* berfungsi untuk mengatur jumlah aliran refrigerant yang masuk ke kondenser 2 (*reheat*).



Gambar 3.9 *Check Valve* (katup satu arah) dan *hand valve* dari AC presisi

3.3.5 Alat Ekspansi

Alat ekspansi berfungsi untuk menurunkan tekanan refrigerant cair, sehingga temperatur refrigerant pada evaporator akan menjadi lebih rendah dari temperatur lingkungan sehingga menyebabkan terjadinya perpindahan kalor dari lingkungan ke refrigerant cair di evaporator. Adapun alat ekspansi yang digunakan pada sistem refrigerasi AC Presisi ini adalah pipa kapiler. Panjang pipa kapiler yang digunakan adalah 1 meter dengan diameter dalam sebesar 1.37 mm (0,054 inch).



Gambar 3.10 Pipa kapiler sebagai alat ekspansi di AC presisi portable

3.3.6 Kipas DC (Fan)

Kipas (fan) ini berfungsi sebagai media konveksi paksa. Berikut ini adalah spesifikasi fan yang digunakan :



Type	4418 F	
Nominal voltage	[VDC]	48
Nominal voltage range	[VDC]	28 .. 53
Speed	[min ⁻¹]	2900
Power input	[W]	5.5
Min. ambient temperature	[°C]	-20
Max. ambient temperature	[°C]	60
Air flow	[m ³ /h]	170
Sound power level	[B]	5.3
Sound pressure level	[dB(A)]	43

Gambar 3.11 Fan DC pada AC presisi

Fan yang digunakan bersumber tenaga DC 48 Volts, dengan daya max 6,5 Watt. *Airflow* yang dihasilkan sebesar 170 m³/h (100 CFM). Fan ini memiliki dimensi dimensinya 119 x 119 x 25 mm.

3.4 Persiapan Alat Uji

Untuk menjalankan dan menguji performa dari sistem AC Presisi ini maka dibutuhkan beberapa alat tambahan yang akan dipasang pada sistem. Alat tambahan tersebut antara lain :

3.4.1 DC Power Supply

DC power supply yang digunakan pada pengujian ini yaitu tegangan 24V dc, 0-30V dc dan 48V dc. Power supply dirangkai sendiri dengan sebuah rangkaian penyearah yang divariasikan keluarannya sesuai dengan kebutuhan. Power supply digunakan sebagai sumber tegangan dari fan DC 48 V.



Gambar 3.12 *Power supply* yang digunakan pada sistem AC presisi

3.4.2 Data Akusisi

Data akusisi digunakan untuk menerima sinyal atau *analog output* dari alat ukur, yaitu termokopel. Data *analog* yang diterima data akusisi dari alat ukur diubah menjadi sinyal digital, sehingga mampu dibaca dan disimpan komputer. Data akusisi yang digunakan pada alat uji ini adalah DAQ National Instruments.



Gambar 3.13 DAQ National Instruments

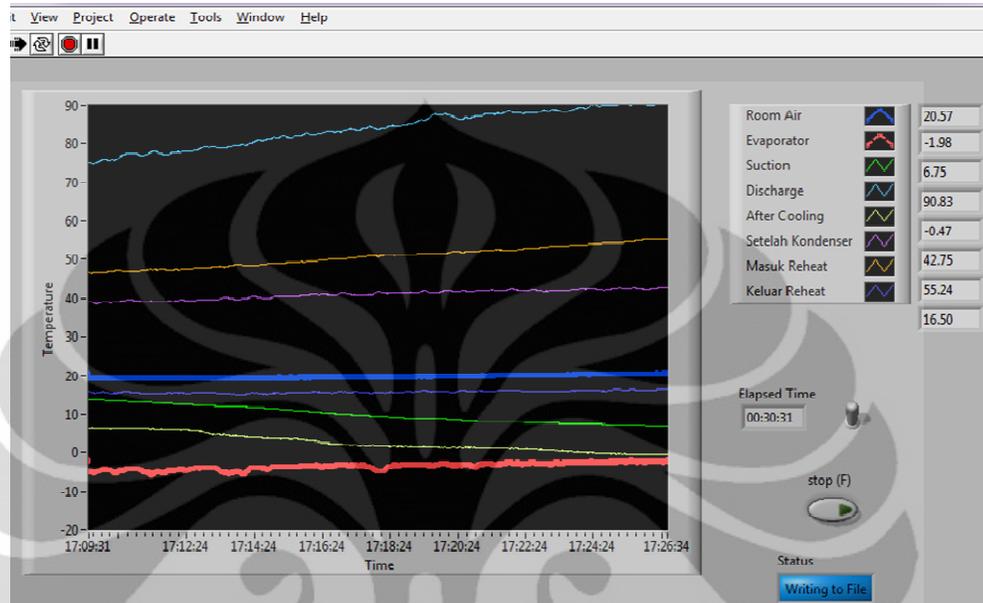
Pengujian AC Presisi ini menggunakan 2 buah modul National Instruments. Tiap modul dapat melakukan pengukuran temperature maksimal pada 4 titik. Artinya dengan 2 buah modul dapat dilakukan pengukuran di 8 titik pada sistem. Berikut ini adalah tabel yang memerinci penggunaan 8 titik pengukuran yang dilakukan pada pengujian AC Presisi :

Tabel 3.3 Titik pengukuran temperatur sistem AC Presisi

Modul	Titik Pengukuran	Penjelasan
Modul 1	1 = Room Air	pengukuran temperatur udara ruang yang didinginkan
	2 = Masuk Evaporator	pengukuran pada titik refrigerant memasuki evaporator
	3 = Suction	pengukuran pada titik refrigerant akan memasuki kompresor
	4 = Discharge	pengukuran pada titik refrigerant keluar dari kompresor
Modul 2	5 = After Cooling	pengukuran temperatur udara setelah evaporator (sebelum re-heat)
	6 = Keluar Kondenser	pengukuran pada titik refrigerant keluar dari kondenser
	7 = Masuk Reheat	pengukuran pada titik refrigerant akan memasuki reheat
	8 = Keluar Reheat	pengukuran pada titik refrigerant keluar dari reheat

Untuk menampilkan data nilai pengukuran yang dilakukan oleh data akuisi ataupun menampilkan grafik dibutuhkan sebuah piranti lunak. Piranti lunak yang merupakan bawaan dari DAQ National Instruments adalah Labview.

Pada pengujian kali ini digunakan labview versi 8.5. Berikut ini adalah tampilan program labview :



Gambar 3.14 Tampilan Program LabView

3.4.3 Komputer

Komputer pada alat uji digunakan sebagai alat penerima sinyal dari data akusisi dan penyimpan data pengujian. Komputer yang digunakan pada alat uji adalah jenis netbook ASUS seri eePC 1015 PEM dengan spesifikasi sebagai berikut :

Processor : Intel Atom Dual Core N550
 Memory : 1 GB of RAM
 OS : Windows 7

3.4.4 Hygro Thermometer

Hygro thermometer merupakan alat yang digunakan untuk mengukur temperatur dan kelembaban relatif (RH) room air. *Range* pengukuran kelembaban alat ini adalah 20%-99% nilai kelembaban relatif. Alat ini diletakkan dalam ruang pendinginan yang terbuat dari sterofoam agar meminimalkan adanya perpindahan panas dari lingkungan ke dalam sistem pendingin.



Gambar 3.15 Hygro-thermometer

3.5 Prosedur Persiapan Alat Uji

Persiapan alat uji meliputi langkah-langkah sebagai berikut:

- Tahap instalasi sistem
- Tahap pengujian kebocoran

3.5.1 Tahap Instalasi Sistem

Instalasi sistem dilakukan dengan merencanakan jalur pipa yang menghubungkan komponen satu dengan yang lainnya. Dengan dimensi yang terbatas, komponen-komponen dihubungkan dengan las brazing serta flering dan *nut*. Instalasi sistem pemipaan yang meliputi pengelasan serta pemasangan flering dan *nut* harus dilakukan secara cermat dan hati-hati. Bila terjadi kecerobohan ataupun kesalahan pada saat instalasi dapat menyebabkan kebocoran yang membuat sistem tidak layak memasuki tahap pengujian

3.5.2 Tahap Pengujian Kebocoran

Pengujian kebocoran dilakukan dengan memberikan tekanan udara tinggi pada sistem. Apabila sistem yang diberi tekanan udara tinggi, dengan memperhatikan indikator tekanan. Tekanan yang berkurang mengindikasikan terdapat kebocoran pada sistem yang telah dibuat. Untuk mengetahui titik yang mengalami kebocoran dapat dilakukan dengan mengoleskan busa sabun pada permukaan instalasi. Apabila kebocoran terjadi pada sambungan-sambungan berulir, maka sambungan tersebut kurang kuat dan harus dikencangkan. Apabila terjadi pada sambungan las, maka sambungan tersebut harus dilepas dari instalasi kemudian dilas kembali.

3.5.3 Prosedur Pengambilan Data

Setelah alat pengujian selesai diinstalasi, maka langkah-langkah selanjutnya adalah :

- Tahap pemvakuman sistem
- Tahap pengisian refrigerant
- Tahap menjalankan alat uji
- Tahap pengambilan data

3.5.4 Tahap Pemvakuman Sistem

Sebelum refrigerant diisikan kedalam sistem, perlu dilakukan proses pemvakuman terlebih dahulu. Tujuannya adalah untuk memastikan tidak adanya udara dan uap air didalam sistem karena udara dan uap air dapat menghambat perpindahan kalor. Adapun langkah-langkah pemvakuman sistem adalah sebagai berikut:

1. Memasang *manifold gauge* pada sistem.
2. Menghubungkan selang warna kuning ke pentil isi/buang yang terdapat pada kompresor.
3. Menghubungkan selang warna biru kepompa vakum.
4. Menghubungkan selang warna merah ke tabung refrigerant.
5. Menutup rapat katup merah dan biru yang terdapat pada *manifold gauge*.
6. Menghidupkan pompa vakum, kemudian membuka katup warna biru pada *manifold gauge*, biarkan selama ± 20 menit sampai tekanan pada *manifold gauge compaunt* mencapai -30 inHg.
7. Membuka katup warna merah pada *manifold gauge* untuk membuang udara yang terdapat pada selang warna merah.
8. Menutup semua katup pada *manifold gauge* setelah kondisi vakum tercapai, dan mematikan pompa vakum.
9. Membiarkan kondisi ini ± 10 menit dengan mempertahankan tekanan pada *manifold gauge*.
10. Jika terdapat kenaikan tekanan setelah langkah no. 9 berarti terdapat kebocoran pada sistem, lakukan pemeriksaan ulang dan memperbaikinya.

11. Mengulangi langkah pemvakuman no. 1 sampai no. 9 hingga diyakini tidak terjadi kebocoran.

3.5.5 Tahap pengisian refrigerant

Sistem pada *AC Presisi Portable* diisi dengan massa 200 gram refrigerant R134a. Adapun langkah-langkah pengisiannya sebagai berikut :

1. Menimbang massa awal tabung refrigerant R-134a dan selang lalu mencatatnya,
2. Melakukan proses pemvakuman seperti yang dijelaskan dalam sub bab pemvakuman sistem.
3. Setelah pemvakuman selesai, rangkaian selang pada *manifold gauge*, kompresor dan pompa vakum tidak perlu dilepas.
4. Melihat tekanan awal pada kompresor.
5. Menghidupkan kompresor setelah proses vakum selesai.
6. Melanjutkan dengan langkah membuka keran pada tabung refrigerant kemudian dilanjutkan dengan membuka keran warna merah pada *manifold gauge*, perhatikan massa yang ditunjukkan pada timbangan digital.
7. Menutup keran masukan refrigerant menuju sistem jika jumlah pengisian sudah cukup 200 gram. Hal ini dapat diketahui melalui selisih massa yang terlihat pada timbangan antara sebelum dengan sesudah pengisian.
8. Menutup keran pada tabung refrigerant dan melepas semua selang dari kompresor dan pompa vakum.

3.5.6 Tahap Menjalankan Alat Uji

Setelah refrigerant diisikan ke dalam sistem, maka langkah selanjutnya adalah menjalankan sistem. Berikut ini adalah *checklist* serta prosedur pengoperasian alat uji:

1. Pastikan semua *instrument* penunjang telah siap dan semua sensor temperatur telah terpasang dengan baik sesuai dengan posisinya masing-masing.
2. Hubungkan steker dari DC Power Supply ke *socket* PLN, penghubungan steker ini akan member tegangan sumber untuk menghidupkan fan.
3. Hubungkan steket kompresor ke socket PLN.

4. Buka program Labview 8.5 sebagai sarana *monitoring* serta pencatatan data yang akan diukur.
5. Operasikan fan terlebih dulu, kemudian langsung diikuti dengan pengoperasian kompresor serta pengaktifan proses pencatatan data pada Labview yang dilakukan secara bersamaan.
6. Proses uji AC Presisi telah berjalan. Proses pengujian dilakukan selama 90 menit.
7. Setelah menempuh waktu pengujian setelah 90 menit, maka proses pencatatan data pengukuran pada Labview 8.5 diakhiri, kemudian dilanjutkan dengan mengakhiri kerja kompresor serta fan dengan memutuskan koneksi sumber tegangan kedua piranti tersebut.

3.5.7 Tahap Pengambilan Data

1. Pengambilan data dilakukan pada massa refrigerant R-134a yaitu 200 gram dengan 5 variasi pengujian yaitu :
 - Buka katup ke kondenser dua 0% (tertutup penuh)
 - Buka katup ke kondenser dua 25%
 - Buka katup ke kondenser dua 50%
 - Buka katup ke kondenser dua 75%
 - Buka katup ke kondenser dua 100% (terbuka penuh)
2. Mencatat kondisi awal RH dan temperatur ruang sistem (room air).
3. Mencatat perubahan temperatur dan kelembaban relatif *room air* serta perubahan tekanan *discharge* dan tekanan *suction* setiap 5 menit selama masa pengoperasian.
4. Setiap selesai tahapan pengambilan data, dan menuju ke variasi selanjutnya maka sistem harus ditunggu terlebih dulu untuk mencapai kondisi temperatur dan RH sesuai kondisi ambient.

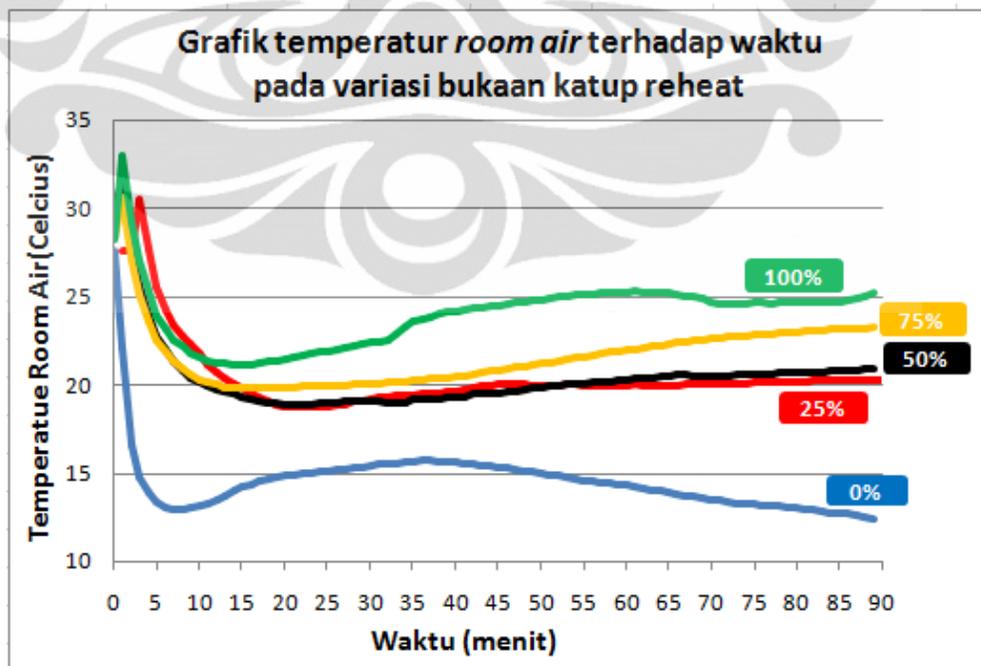
BAB IV

HASIL DAN ANALISIS

4.1. Data Uji Sistem Output Temperatur dan RH

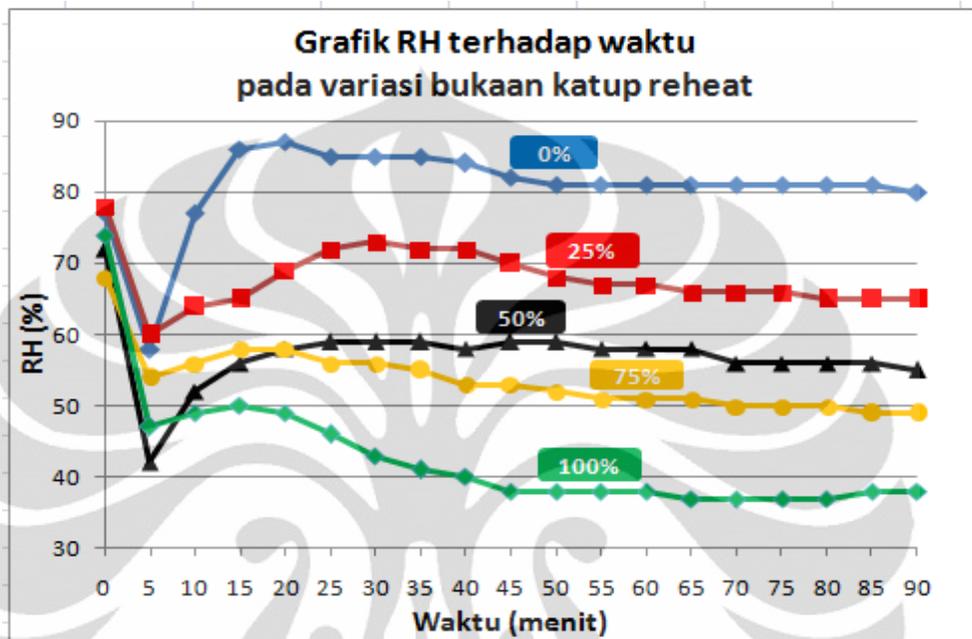
Pengujian ditujukan untuk melihat performa kerja AC Presisi pada kondisi aliran udara tertutup (*closed air system*). Pengujian dilakukan dengan menggunakan refrigerant jenis R134a dengan massa 200 gram. Massa 200 gram dinilai memiliki kapasitas pendinginan optimal guna mencapai kondisi yang diinginkan. Parameter massa refrigerant didapat melalui proses *trial and error* pada pengujian sebelumnya.

Sistem AC Presisi diujikan melalui variasi bukaan katup *reheat* kondenser 0%, 25%, 50%, 75% sampai 100%. Nilai bukaan katup didapat melalui interpolasi sudut putaran mulai dari kondisi tertutup penuh (*fully closed*) 0% hingga terbuka penuh 100% (*fully open*). Berikut ini ditampilkan hasil uji nilai temperatur serta kelembaban yang berhasil dicapai oleh sistem dalam tampilan grafik.



Gambar 4.1 Grafik perubahan temperatur room air terhadap variasi bukaan katup

Selain didapat nilai perubahan temperatur, dari pengujian ini pun didapat nilai perubahan kelembaban relatif. Berikut ini ditampilkan grafik perubahan nilai RH terhadap variasi bukaan katup *reheat*.



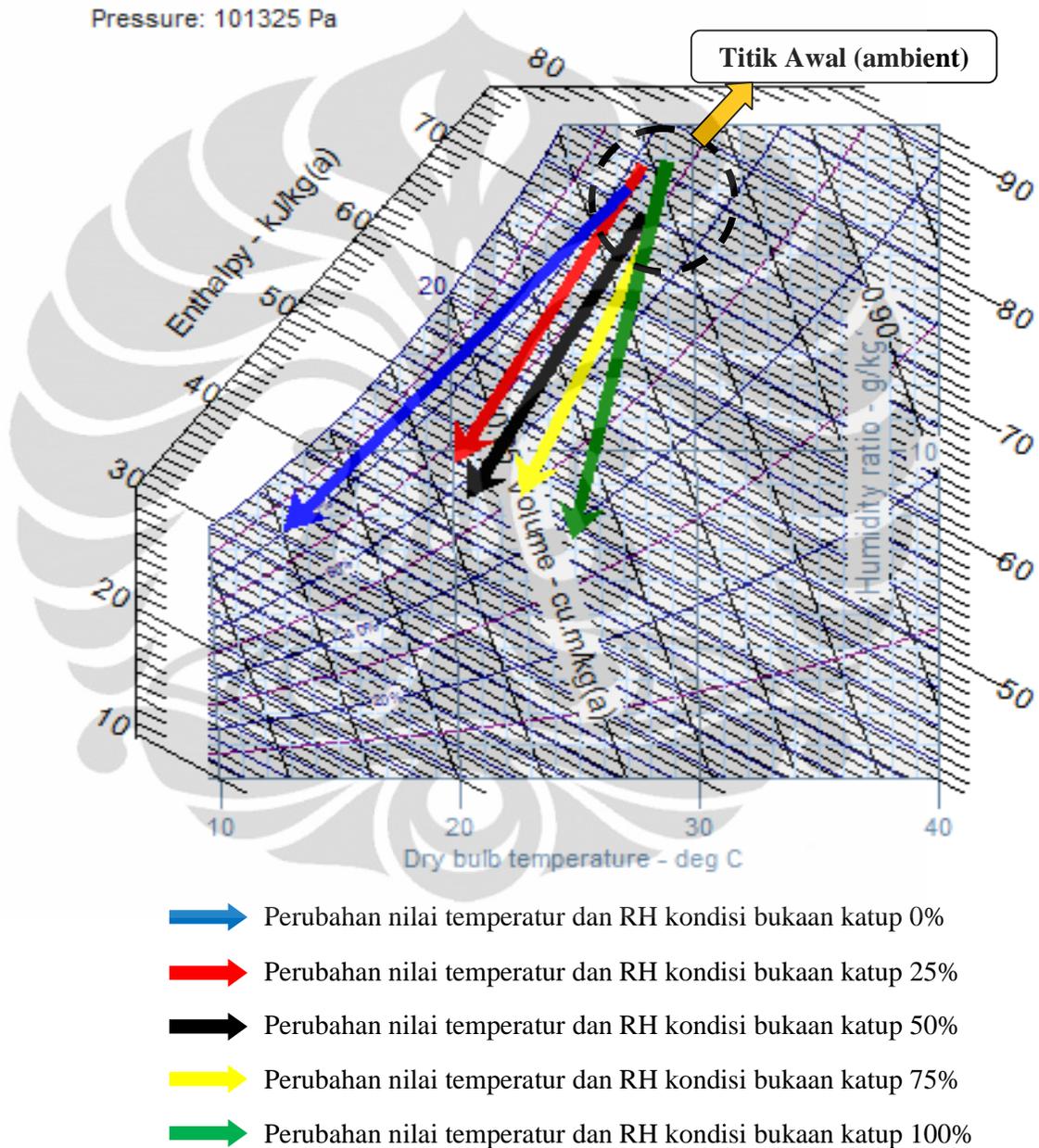
Gambar 4.2 Grafik perubahan RH room air terhadap variasi bukaan katup

Kedua grafik yang di atas menggambarkan perubahan nilai RH serta temperatur yang berhasil dicapai sistem pada tiap satuan waktu. Dari kedua grafik diatas terlihat bahwa sistem mencapai kondisi steady setelah dioperasikan selama 90 menit. Untuk melihat lebih jelas mengenai perbandingan nilai temperatur dan RH dalam kondisi steady, kondisi ambient, serta selisih perubahannya, berikut disajikan pada tabel 4.2.

Tabel 4.1 Perbandingan nilai temperatur dan RH kondisi ambient & *steady*

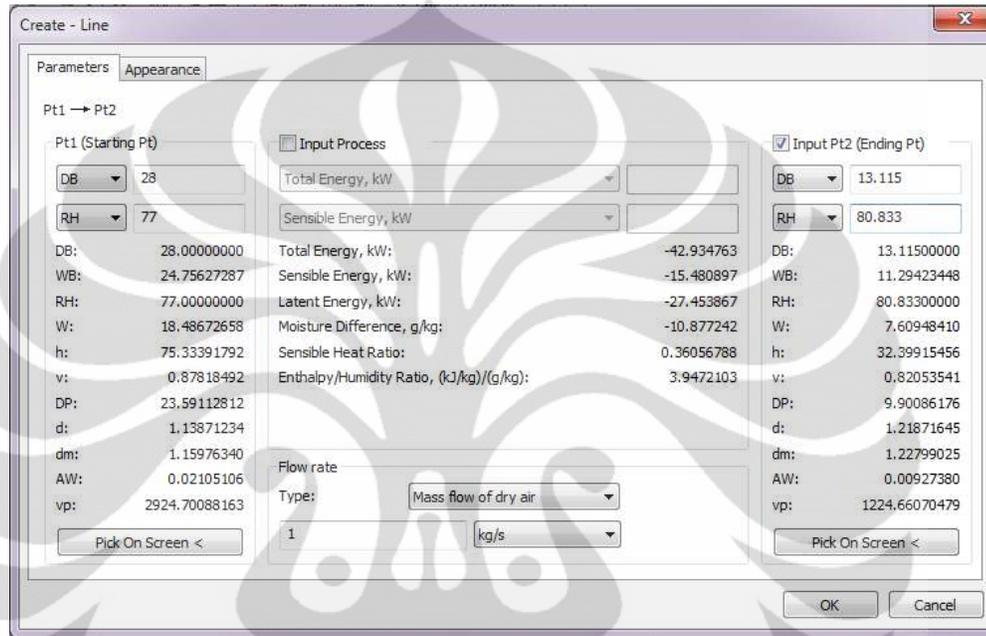
Variasi Bukaan Katup	Kondisi ambient		Kondisi steady		Δ (delta)	
	Temperatur ($^{\circ}\text{C}$)	RH (%)	Temperatur ($^{\circ}\text{C}$)	RH(%)	Temperatur ($^{\circ}\text{C}$)	RH(%)
0%	28	77	12.3	80	15.7	-3
25%	28	78	20.4	65	7.6	12
50%	28	72	20.9	55	7.1	17
75%	28	68	23.3	49	4.7	19
100%	29	74	25.3	38	3.7	36

Perubahan kondisi ambient menuju kondisi sistem *steady* sistem dapat digambarkan pada diagram psikometrik. Berikut ini gambaran proses perubahan nilai temperatur serta RH awal menuju kondisi *steady* pada variasi bukaan katup *reheat*.



Gambar 4.3 Proses perubahan temperatur dan RH pada diagram psikometrik

Proses perubahan nilai temperatur room air serta kelembabannya melibatkan 2 jenis energy pada proses tersebut, yaitu *sensible energy* dan *latent energy*. Nilai tersebut didapat dengan menggunakan bantuan software CYT Soft Psychrometric dengan memasukkan nilai temperatur dan RH kondisi ambient serta kondisi *steady* room air.



Gambar 4.4 Tampilan software CYT Soft Psychrometric

Berikut ini adalah tabel yang menunjukkan besarnya energy total, energi sensible dan energi latent udara *room air* pada kondisi variasi bukaan *reheat* kondenser.

Tabel 4.2 Besarnya energi sensible dan energi latent proses pendinginan

Variasi Bukaan Katup	Nilai Entalpy Udara (kJ/kg)		Total Energy (kJ/kg)	Sensible energy (kJ/kg)	Latent Energy (kJ/kg)
	Kondisi Ambient	Kondisi Steady			
0%	75.33	30.37	44.96	16.33	28.63
25%	75.96	45.27	30.69	7.9	22.79
50%	72.19	42.59	29.6	7.37	22.23
75%	69.68	45.73	23.95	4.87	19.08
100%	77.27	44.93	32.34	3.85	28.49

4.2. Analisis Pencapaian Temperatur dan RH

Pada grafik 4.1 diketahui bahwa temperatur *steady* dianggap terjadi pada saat sistem beroperasi di menit ke 90 dimana cenderung tak terjadi perubahan nilai temperature dan RH. Terlihat bahwa temperatur terendah yang dapat dicapai sistem bernilai 12.3° C yaitu pada kondisi bukaan katup *reheat* sebesar 0%. Sebaliknya, pada kondisi bukaan katup maksimum, temperatur room air menjadi bernilai 25.3° C. Jika dicermati lebih dalam terlihat bahwa besarnya bukaan katup *reheat* mempengaruhi nilai temperatur room air. Semakin besar bukaan katup *reheat* akan menyebabkan temperatur room air menjadi lebih tinggi. Hal tersebut terjadi karena aliran refrigerant menuju kondenser 2 (*reheat*) meningkat. Sebagai akibatnya, kapasitas pemanasan kondenser *reheat* semakin bertambah. Hal inilah yang menyebabkan terjadinya kenaikan temperatur room air seiring besarnya bukaan katup *reheat*.

Jika dicermati lebih jauh mengenai grafik yang terbentuk, terlihat bahwa kondisi temperatur setiap variasi bukaan katup bernilai fluktuatif sebelum menyentuh kondisi *steady*. Hal tersebut terjadi akibat pengaruh sistem aliran udara tertutup yang diadopsi pada alat ini. Sistem aliran udara tertutup menyebabkan proses pendinginan terjadi secara berulang pada media udara yang sama. Dengan kata lain, udara yang terdapat dalam siklus tertutup melewati evaporator selama berulang kali sehingga terjadi perubahan nilai temperature secara berkesinambungan sebelum mencapai kondisi *steady*.

Pada grafik 4.2 terlihat bahwa semakin besar bukaan katup *reheat* menyebabkan semakin rendah nilai kelembaban udara. Kelembaban udara terendah yang dicapai bernilai 38% yaitu pada kondisi bukaan katup *reheat* 100%. Sebaliknya, pada kondisi bukaan katup 0% terjadi tercapai kondisi RH tertinggi yang bernilai 80%. Pada titik tersebut, udara berada dalam kondisi yang sangat lembab.

Berbeda dengan tren pada temperatur room air yang cenderung fluktuatif sebelum mencapai kondisi *steady*, nilai RH cenderung bersifat konstan ketika sistem beroperasi. Hal tersebut menandakan bahwa perubahan nilai RH

cenderung lebih sulit terjadi karena melibatkan aktivitas pelepasan/penyerapan kalor latent suatu zat. Kedua hasil dari eksperimen ini yang berupa temperatur *room air* serta kelembaban memiliki keterkaitan satu sama lain. Agar hasil analisis lebih komprehensif, maka dikaji lebih dalam mengenai keterkaitan antara kedua parameter tersebut. Berikut ini disajikan tabel berisikan karakteristik korelasi antara output temperatur serta kelembaban udara pada pengujian yang telah dilakukan.

Tabel 4.3 Perubahan nilai temperatur dan RH pada variasi bukaan katup *reheat*

Menit ke	Bukaan Katup Reheat									
	0%		25%		50%		75%		100%	
	S	RH	S	RH	S	RH	S	RH	S	RH
0	28.0	77	28.0	78	28.0	72	28.0	68	29.0	74
5	13.2	58	23.1	60	22.3	42	22.2	54	23.6	47
10	13.2	77	20.5	64	20.7	52	20.2	56	21.5	49
15	14.3	86	19.3	65	19.3	56	19.8	58	21.2	50
20	14.9	87	18.7	69	18.9	58	19.8	58	21.5	49
25	15.2	85	19.0	72	19.0	59	19.9	56	21.9	46
30	15.4	85	19.4	73	19.0	59	20.1	56	22.4	43
35	15.7	85	19.6	72	19.2	59	20.3	55	23.7	41
40	15.6	84	19.9	72	19.3	58	20.5	53	24.2	40
45	15.3	82	20.0	70	19.6	59	20.9	53	24.5	38
50	15.0	81	20.0	68	20.0	59	21.3	52	24.9	38
55	14.6	81	19.9	67	20.1	58	21.7	51	25.2	38
60	14.3	81	20.0	67	20.3	58	22.0	51	25.3	38
65	13.9	81	20.0	66	20.5	58	22.4	51	25.1	37
70	13.5	81	20.0	66	20.5	56	22.6	50	24.6	37
75	13.3	81	20.1	66	20.6	56	22.8	50	24.6	37
80	13.0	81	20.2	65	20.7	56	23.0	50	24.8	37
85	12.7	81	20.3	65	20.8	56	23.1	49	24.7	38
90	12.3	80	20.4	65	20.9	55	23.3	49	25.3	38
Keterangan	kondisi kerja optimum sebuah data centre					Temperatur (S) °C =			20-25 °C	
						Kelembaban (RH) % =			40-55%	
Legenda	Titik terpenuhinya kedua syarat temperatur dan RH									
	Titik terpenuhinya salah satu syarat temperatur atau RH									

Tabel diatas menggambarkan kondisi pencapaian temperatur dan RH setiap interval waktu 5 menit. Data di atas diolah dengan cara mengklasifikasikan

nilai temperatur serta RH yang memenuhi syarat kondisi kerja optimum sebuah *data centre* yaitu pada temperatur 20-25 °C serta kelembaban 40-55%. Sebuah penanda pewarnaan hijau mengindikasikan bahwa pada titik tersebut kedua syarat kondisi kerja optimum sebuah *data centre* telah terpenuhi/tercapai. Sedangkan penandaan warna kuning mengindikasikan bahwa hanya salah satu kondisi syarat yang terpenuhi pada titik tersebut, yaitu RH saja atau temperatur saja. Terlihat bahwa kondisi optimum kerja sebuah *data centre* dominan tercapai pada kondisi bukaan katup sebesar 75%. Pada kondisi tersebut terdapat 13 titik yang memenuhi syarat temperatur dan RH target yang ingin dicapai. Tak hanya pada nilai bukaan katup 75%, pada variasi bukaan katup 50% dan 100% pun tercapai nilai yang disyaratkan. Namun, jumlah kondisi pencapaian terjadi hanya 3 titik pada katup *reheat* 50% serta 8 titik pada kondisi katup *reheat* 100%.

Terlihat bahwa sesungguhnya temperatur kerja optimum mulai tercapai pada saat kondisi bukaan katup sebesar 25%. Temperatur *steady* yang dapat dicapai pada kondisi ini adalah 20,4 °C. Namun di lain sisi, pencapaian nilai temperatur tersebut tidak diimbangi dengan pencapaian nilai kelembaban udara target. Pada kondisi ini kelembaban udara yang tercapai bernilai dominan pada 65- 68% RH. Nilai RH ini terlalu lembab untuk kondisi kerja sebuah *data centre*. Tingginya nilai kelembaban udara disebabkan kecilnya bukaan katup *reheat* sehingga aliran refrigerant menuju kondenser kedua relatif sedikit,. Hal tersebut mengakibatkan kapasitas pemanasan kondenser 2 bernilai rendah.

Tidak jauh berbeda dengan yang terjadi pada bukaan katup 25%, pada variasi bukaan katup 50% terjadi pencapaian nilai temperatur yang tidak diimbangi dengan pencapaian nilai kelembaban relatif. Terdapat 7 titik pencapaian temperatur optimum yang berada pada kisaran 20 °C. Nilai kelembaban relatif yang dapat dicapai adalah 55% yang menandakan terjadinya penurunan nilai RH dari kondisi variasi bukaan katup 25%. Penurunan nilai RH menandakan kandungan uap air dalam udara berkurang. Hal ini terjadi karena adanya peningkatan kapasitas kerja kondenser 2 akibat peningkatan jumlah aliran refrigerant. Sebaliknya, peningkatan jumlah aliran refrigerant menuju *reheat* menyebabkan berkurangnya aliran refrigerant menuju evaporator. Akibatnya,

kapasitas pendinginan pada evaporator berkurang, terlihat dengan adanya peningkatan temperatur *room air* dibanding pada kondisi variasi bukaan katup 25%. Begitu pula yang terjadi pada kondisi variasi bukaan katup selanjutnya yaitu 75%, 50% dan 100%, semakin besar bukaan katup *reheat* maka semakin tinggi temperatur *room air* dan semakin rendah nilai kelembaban relatif.

Melalui variasi pengujian dapat diketahui bahwa komponen evaporator dan *reheat* memiliki karakteristik unjuk kerja yang saling mempengaruhi satu sama lain (*dependent*). Hal tersebut dapat dilihat pada saat terjadinya peningkatan kapasitas kerja *reheat* yang secara langsung mempengaruhi penurunan performa pendinginan pada evaporator. Pada gambar 4.3 terlihat proses perubahan nilai temperatur dan kelembaban udara yang digambarkan pada diagram psikometrik. Terlihat bahwa garis yang terbentuk bergerak dari kanan (titik ambient) menyerong turun ke kiri bawah yang menandakan terjadinya penurunan temperatur serta penurunan nilai kelembaban relatif, kecuali pada variasi bukaan katup 0%, terjadi peningkatan nilai RH. Pada seluruh variasi bukaan katup terjadi proses pendinginan yang disertai proses dehumidifikasi, artinya kandungan uap air spesifik pada udara tersebut berkurang.

4.3 Data Uji Sistem Internal

Pada pengujian sistem AC presisi, dilakukan beberapa parameter pengukuran guna mendapatkan nilai enthalpy dari tiap proses termodinamika. Berikut ini adalah data pengukuran temperatur maupun tekanan rata-rata yang didapat dari hasil pengujian pada kondisi variasi bukaan katup *reheat* tertentu.

Tabel 4.4 Nilai temperatur pengukuran pada sistem AC Presisi

Titik Pengukuran	Unit	Variasi Bukaan Katup <i>Reheat</i>				
		0%	25%	50%	75%	100%
T Suction (1)	°C	5.9	17.6	12.02	12.5	2.9
T discharge (2)	°C	101.9	94.7	92.8	76.6	101.6
T subcooling (3)	°C	61.4	42.4	44.5	40.7	51.2
T evaporator (4)	°C	0.2	-13.9	-15.3	-17.2	-7.7
P suction (1) (4)	bar	3.4	2.3	1.7	1.5	2.9
P discharge (2) (3)	bar	24.6	12.9	14.2	12.3	17.9

Tabel yang disajikan di atas menampilkan hasil pengukuran temperature pada 4 titik dan besarnya tekanan pada 2 titik. Nilai tekanan serta temperatur yang terjadi pada titik tertentu digunakan sebagai acuan mendapatkan besaran nilai enthalpy (h). Gambaran proses yang terjadi ketika sistem beroperasi adalah sebagai berikut :

- Pada titik 1 (keluar evaporator dan masuk kompresor) dengan menggunakan parameter tekanan suction dan temperatur suction maka didapatkan nilai enthalpy 1 (h1). Pada titik ini refrigerant berada pada kondisi *superheated*.
- Pada titik 2 (keluar kompresor dan masuk kondenser) dengan menggunakan parameter tekanan discharge dan temperatur discharge akan diketahui enthalpy 2 (h2). Pada titik ini refrigerant berada pada kondisi *superheated*.
- Pada titik 3 (keluar kondenser) dengan menggunakan parameter tekanan discharge dan temperatur liquid akan diketahui enthalpy 3 (h3) dengan refrigerant dalam kondisi *subcooled*.
- Pada titik 4 (masuk evaporator) nilai entalphy pada kondisi ini adalah sama dengan nilai entalphy yang terjadi pada titik 3 (h3) dimana pada kondisi ini terjadi penurunan tekanan akibat adanya pipa kapiler.

4.3.1 Perhitungan $q_{\text{evaporator}}$, w_{spesifik} dan COP

Nilai enthalpy didapat menggunakan bantuan software Refprop dengan memasukkan parameter temperatur dan tekanan pada jenis refrigerant R134a pada titik-titik yang telah dijabarkan sebelumnya. Nilai $q_{\text{evaporator}}$ dan w_{spesifik} didapat dengan mengurangi nilai selisih perubahan enthalpy, antara lain :

- $q_{\text{evaporator}} = h_1 - h_4$
- $w_{\text{spesifik}} = h_2 - h_1$

Sedangkan nilai COP (*Coefficient of Performance*) dari mesin pendingin dapat dihitung dengan persamaan :

$$COP_R = \frac{h_1 - h_4}{h_2 - h_1}$$

Proses perhitungan dilakukan dengan bantuan Ms. Excel dengan menggunakan persamaan sebelumnya. Berikut ini adalah table hasil perhitungannya :

Tabel. 4.5 Hasil perhitungan $q_{\text{evaporator}}$, W_{spesifik} dan COP sistem

Titik Pengukuran	Unit	Variasi Buka-an Katup Reheat				
		0%	25%	50%	75%	100%
h (1)	kJ/kg	402.62	415.53	412.12	412.99	401.35
h (2)	kJ/kg	465.9	474.11	470.26	455.45	475.23
h (3)	kJ/kg	289.28	259.97	263.14	257.39	273.36
h (4)	kJ/kg	289.28	259.97	263.14	257.39	273.36
$q_{\text{evaporator}}$	kJ/kg	113.34	155.56	148.98	155.6	127.99
W_{spesifik}	kJ/kg	63.28	58.58	58.14	42.46	73.88
COP		1.79	2.66	2.56	3.66	1.73

4.3.2. Perhitungan Laju Aliran Massa Udara

Laju aliran massa udara diperoleh dengan mengetahui spesifikasi laju aliran volume fan suplai yang digunakan, yaitu sebesar 100 CFM atau 0,0472 m³/s. Dengan mengambil acuan massa jenis udara sebesar 1,2 kg/m³, maka dapat diketahui laju aliran massa dari udara evaporator dengan persamaan berikut:

$$M_{\text{ud.evap}} \left(\frac{\text{kg}}{\text{s}} \right) = \text{laju aliran volume} \left(\frac{\text{m}^3}{\text{s}} \right) \times \text{massa jenis} \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right)$$

$$\text{Maka, } M_{\text{ud.evap}} = 0,0472 \text{ m}^3/\text{s} \times 1,2 \text{ kg/m}^3 = 0,057 \text{ kg/s.}$$

4.3.3. Perhitungan $Q_{\text{evaporator}}$

$Q_{\text{evaporator}}$ adalah besarnya energi total yang dihasilkan evaporator untuk mendinginkan udara dari kondisi ambient menuju kondisi pendinginan *room air* (*steady*). $Q_{\text{evaporator}}$ dihitung dengan mengalikan nilai laju aliran udara dengan selisih enthalpy udara yang terdinginkan.

$$Q_{\text{evaporator}} = M_{\text{ud.evap}} \cdot (\Delta \text{Enthalpy}) \quad ; 0,057 \text{ kg/s}$$

Dalam perhitungan $Q_{\text{evaporator}}$, maka diperlukan nilai enthalpy udara *ambient* dengan udara *room air*. Nilai entalphy didapat melalui software CYT Soft Psychrometric dengan memasukkan nilai temperatur dan RH pada kondisi *ambient* dan kondisi *steady*. Berikut adalah tabel yang menampilkan perubahan

nilai enthalpy udara dan hasil perhitungan $Q_{\text{evaporator}}$ pada kondisi variasi bukaan katup kondenser *reheat* :

Tabel 4.6 Perubahan nilai enthalpy udara

Variasi Bukaan Katup	Nilai Entalphy Udara(kJ/kg)		Δ Entalphy (kJ/kg)	$Q_{\text{evaporator}}$ (kW)
	Kondisi Ambient	Kondisi Steady		
0%	75.33	30.37	44.96	2.56
25%	75.96	45.27	30.69	1.75
50%	72.19	42.59	29.6	1.69
75%	69.68	45.73	23.95	1.37
100%	77.27	44.93	32.34	1.84

4.3.4 Perhitungan M_{ref} dan $W_{\text{kompresor}}$

Dengan menganggap besarnya energi yang dihasilkan evaporator digunakan sepenuhnya untuk mendinginkan udara tanpa adanya *losses*, maka laju aliran massa refrigerant dapat dihitung dengan :

$$M_{\text{ref}} = Q_{\text{evaporator}} / q_{\text{evaporator}}$$

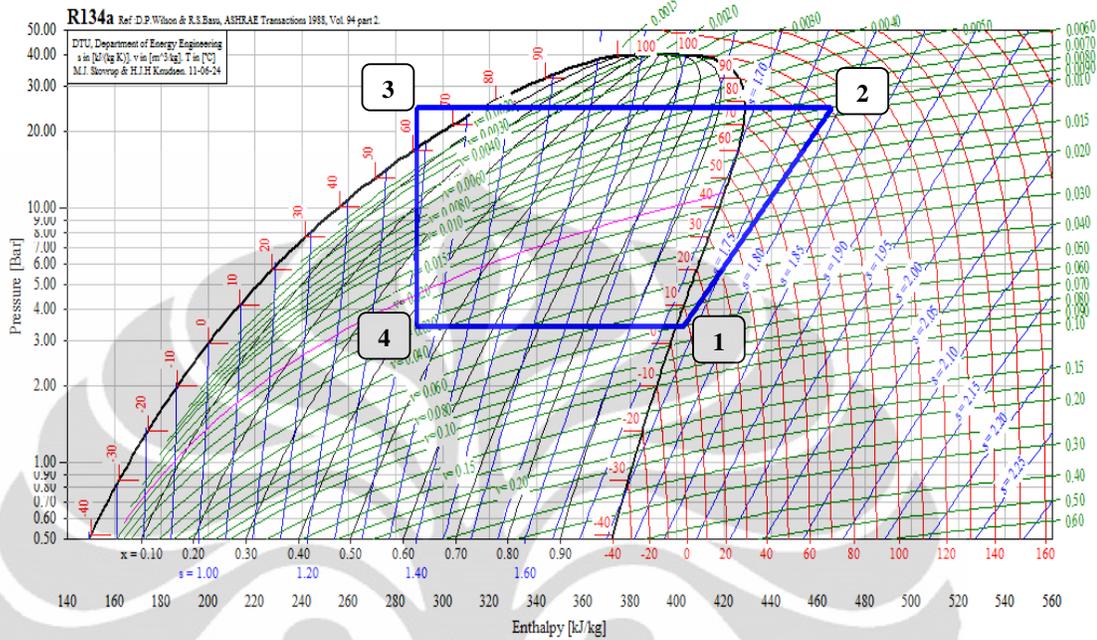
sedangkan kerja kompresor dihitung dengan :

$$W_{\text{kompresor}} = w_{\text{spesifik}} \cdot M_{\text{ref}}$$

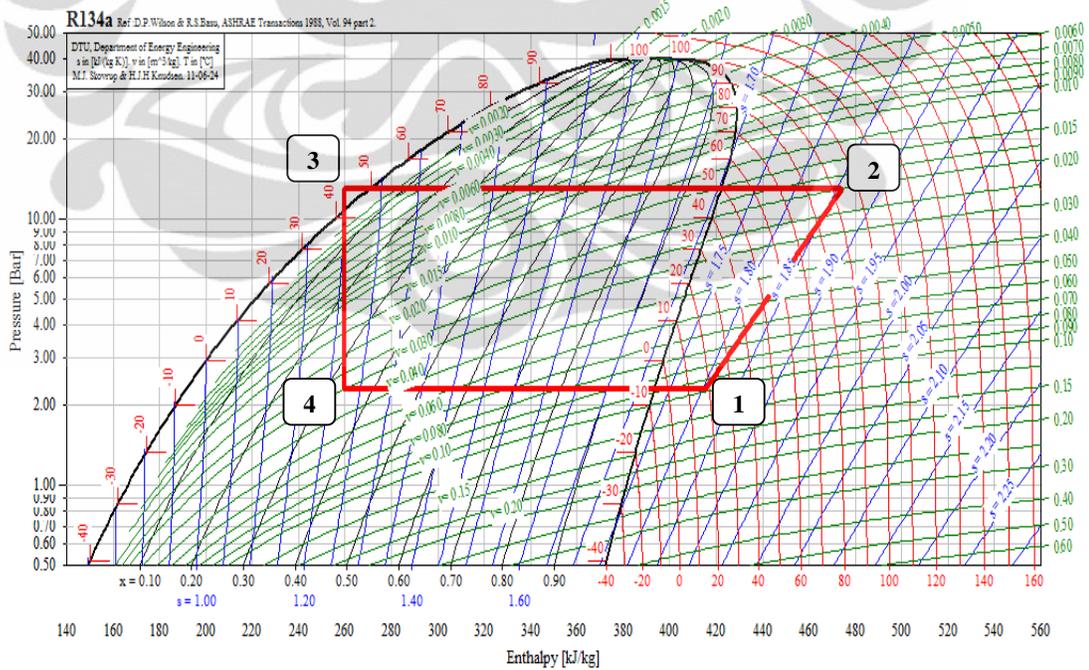
Tabel 4.7 Perhitungan laju aliran massa refrigerant & daya kompresor

Variasi Bukaan Katup	$Q_{\text{evaporator}}$ (kW)	$q_{\text{evaporator}}$ (kJ/kg)	w_{spesifik} (kJ/kg)	M_{ref} (kg/s)	$W_{\text{kompresor}}$ (kW)
0%	2.56	113.34	63.28	0.023	1.43
25%	1.75	155.56	58.58	0.011	0.66
50%	1.69	148.98	58.14	0.011	0.66
75%	1.37	155.6	42.46	0.009	0.37
100%	1.84	127.99	73.88	0.014	1.06

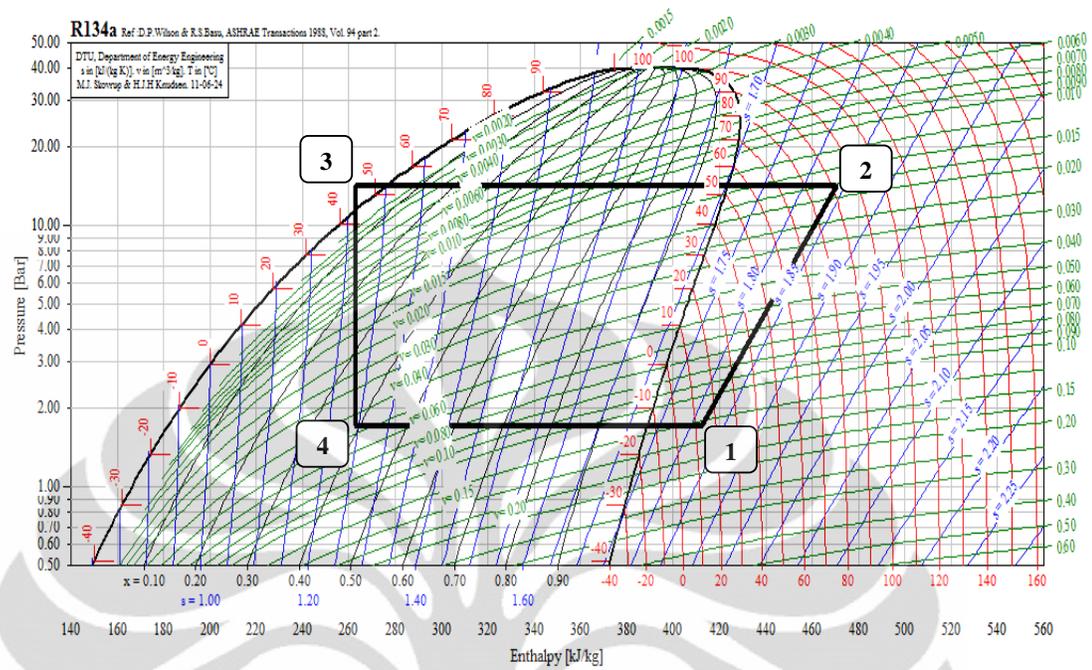
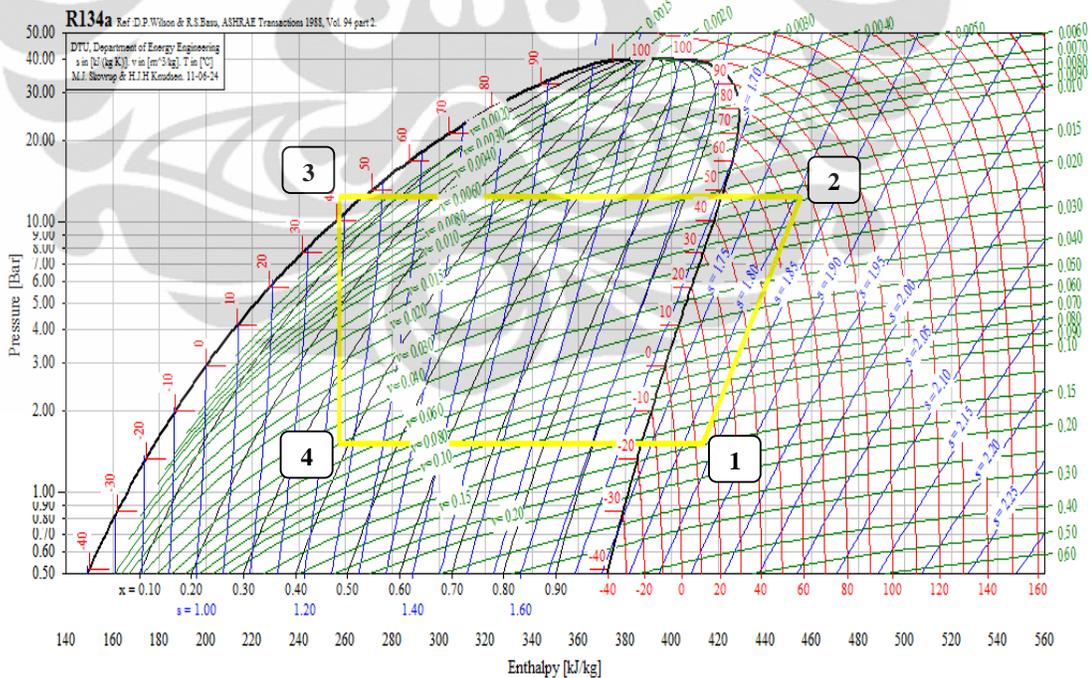
4.3.5 Diagram P-h Sistem Refrigerasi

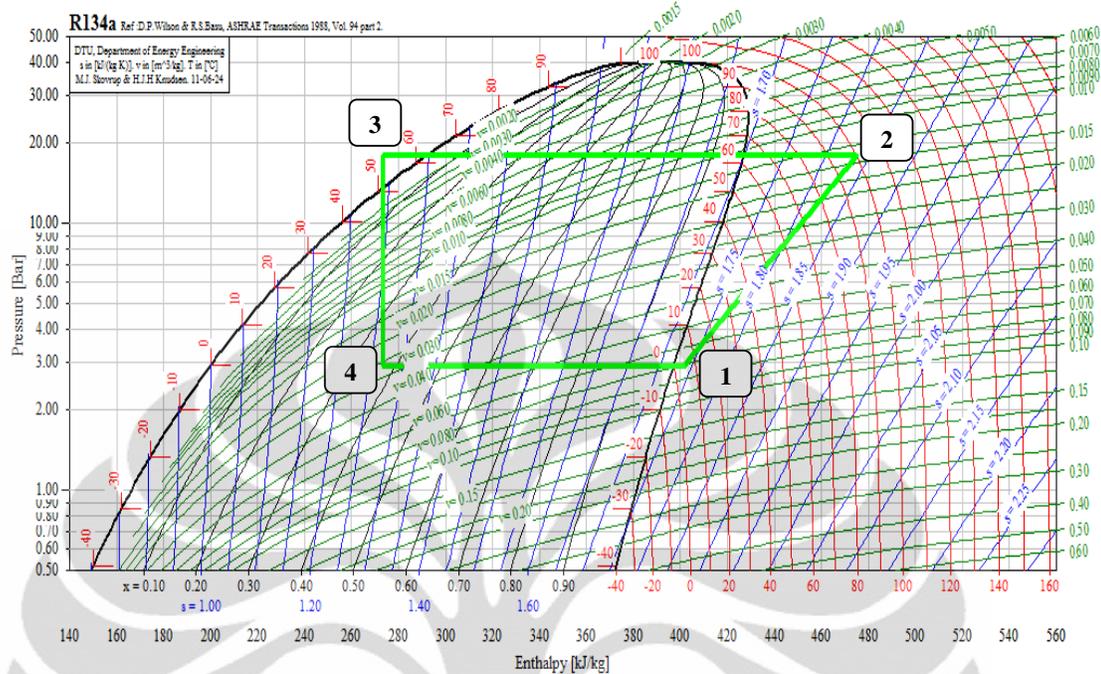


Gambar 4.5 Diagram P-h pada bukaan katup *reheat* 0%



Gambar 4.6 Diagram P-h pada bukaan katup *reheat* 25%

Gambar 4.7 Diagram P-h pada bukaan katup *reheat* 50%Gambar 4.8 Diagram P-h pada bukaan katup *reheat* 75%



Gambar 4.9 Diagram P-h pada bukaan katup *reheat* 100%

4.4. Analisis Sistem Energi

4.4.1. Analisis $W_{\text{kompresor}}$, $Q_{\text{evaporator}}$ & COP

Untuk mempermudah proses analisis, berikut ini ditampilkan perbandingan nilai $W_{\text{kompresor}}$, $Q_{\text{evaporator}}$ & COP sistem AC presisi :

Tabel 4.8 Perbandingan daya dan COP sistem

Variasi Bukaan Katup	$Q_{\text{evaporator}}$ (kW)	$W_{\text{kompresor}}$ (kW)	COP
0%	2.56	1.43	1.79
25%	1.75	0.66	2.66
50%	1.69	0.66	2.56
75%	1.37	0.37	3.66
100%	1.84	1.06	1.73

Daya pada komponen refrigerasi menggambarkan besarnya nilai energi yang dibutuhkan untuk melakukan kerja. Tabel 4.9 menggambarkan perbandingan nilai daya yang dibutuhkan masing-masing komponen refrigerasi dalam sistem AC Presisi. Terlihat bahwa pada kondisi bukaan katup kondenser *reheat* 0%, nilai $W_{\text{kompresor}}$ dan $Q_{\text{evaporator}}$ mencapai nilai tertinggi. Hal tersebut terjadi karena pada

kondisi ini tidak ada refrigerant yang menuju kondenser *reheat*, yang berarti siklus yang bekerja hanya siklus sistem tingkat 1. Pada kondisi ini seluruh refrigerant yang terkandung dalam sistem bekerja seperti siklus kompresi uap biasa tanpa adanya proses pembagian aliran refrigerant menuju kondenser 2. Hal ini pula yang menyebabkan tekanan kerja discharge yang dihasilkan pada titik ini mencapai titik tertinggi, yaitu 24,6 bar.

Peningkatan tekanan kerja sistem memberikan indikasi bahwa kerja kompresor semakin meningkat, terlihat bahwa pada kondisi tersebut kompresor menghasilkan daya yang paling besar yaitu bernilai 1,43 kW. Besarnya daya kompresor tentunya memiliki efek yang terjadi pada sistem, salah satunya adalah kalor buang yang dihasilkan akibat kerja kompresor semakin meningkat. Kalor yang berasal dari kerja kompresor ini harus disirkulasikan secara cermat. Jika panas yang dihasilkan kompresor tidak disirkulasikan secara baik, dapat menyebabkan terjadinya kegagalan kerja akibat *overheating* yang mengakibatkan kompresor kehilangan daya kompresinya.

Jika dikaitkan dengan temperatur *output room air*, semakin besar kerja yang dilakukan kompresor maka akan menghasilkan performa pendinginan paling maksimal. Hal tersebut terjadi akibat laju aliran massa refrigerant pada kondisi ini mencapai titik tertinggi seperti terlihat pada tabel 4.8. Besarnya aliran refrigerant secara langsung mempengaruhi besarnya daya pendinginan yang dapat dicapai sistem.

Nilai COP tertinggi dicapai pada kondisi variasi bukaan katup sebesar 75% yaitu bernilai 3.66. Besarnya nilai COP menandakan tingkat efektifitas kerja kompresor dalam menghasilkan daya pendinginan maksimum.

4.4.2. Analisis P-h Diagram

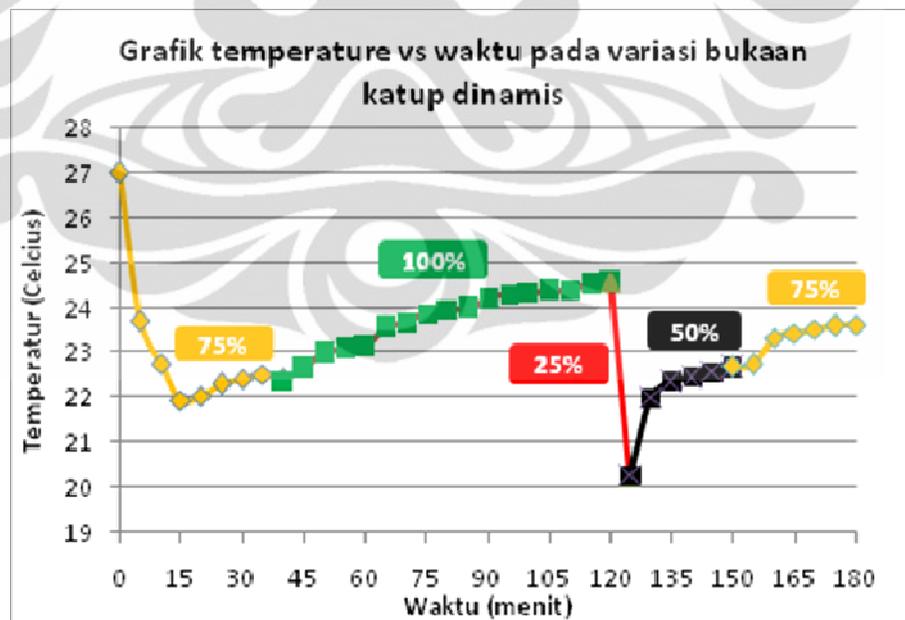
Mencermati lebih lanjut mengenai diagram P-h aktual yang terbentuk. Terlihat pada beberapa variasi bukaan katup terjadi proses *subcooling* dan *superheating* pada titik 1 yaitu saat refrigerant melewati komponen evaporator dan titik 3 yaitu saat refrigerant melewati komponen kondenser. Besarnya nilai *superheating* dan *subcooling* yang terjadi menyebabkan besarnya selisih

perubahan enthalpy pada kondenser dan evaporator. Hal tersebut mengindikasikan semakin bertambahnya nilai kalor yang dilepas kondenser dan kalor yang diserap evaporator.

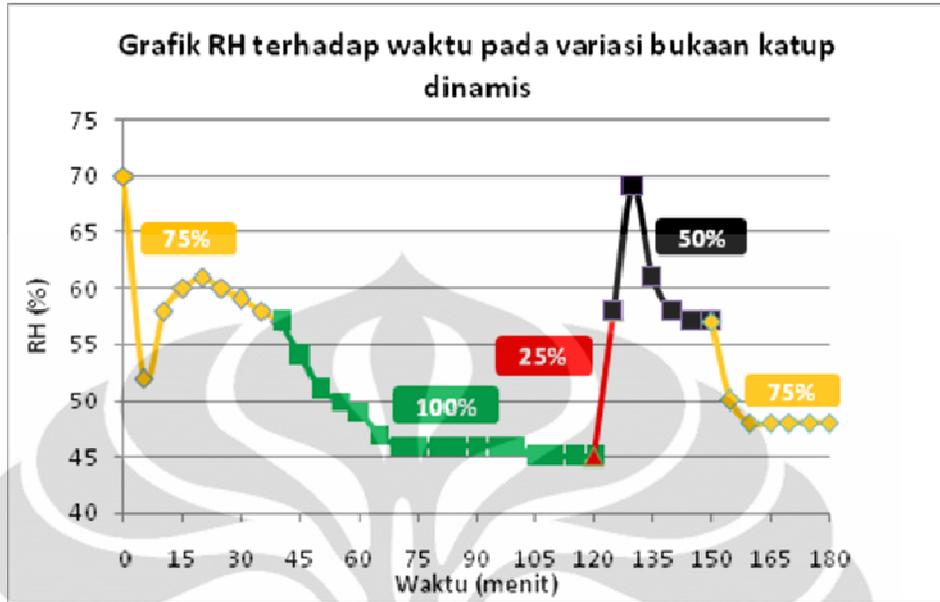
Poin terpenting yang harus dicermati dari diagram P-h ini adalah kondisi titik 1 yang harus dijaga agar berada pada kondisi vapour seluruhnya karena pada titik ini terjadi proses masuknya refrigerant ke dalam kompresor. Adanya refrigerant yang berfasa liquid pada proses ini dapat menyebabkan kerusakan pada kompresor. Sejalan ini, kondisi titik 1 yang dijalani selama percobaan selalu berada pada fasa vapour seluruhnya.

4.5 Analisis Pada Kondisi Buka-an Katup Dinamis

Pada pengujian ini pula dilakukan variasi bukaan katup pada kondisi dinamis. Hal ini dilakukan guna melihat respon yang dapat dicapai ketika sistem beroperasi. Kondisi awal pada saat sistem dijalankan adalah pada bukaan katup 75%. Kemudian dilakukan variasi perubahan nilai bukaan katup di beberapa titik uji pada waktu tertentu. Berikut ini ditampilkan hasil uji pada kondisi dinamis :



Gambar 4.10 Grafik temperatur pada kondisi dinamis



Gambar 4.11 Grafik RH pada kondisi dinamis

Pada pengujian dinamis ini terlihat bahwa respon yang dihasilkan sistem terhadap perubahan nilai bukaan katup berlangsung secara cepat. Seperti diketahui bahwa kondisi awal bukaan katup adalah 75%. Hingga sampai pada saat menit ke 40 dilakukan perbesaran bukaan katup menjadi 100% guna mempercepat respon turunya nilai RH yang masih dinilai tinggi (belum mencapai kondisi ideal). Setelah bukaan diperbesar terlihat bahwa respon yang diberikan sistem cukup cepat, nilai RH awal pada menit 40 sebesar 57% berkurang menjadi 47% hanya dalam waktu 5 menit. Respon lain yang ditunjukkan dari perbesaran bukaan katup ini adalah meningkatnya temperatur room air.

Pada pengujian yang sama dilakukan variasi kembali pada menit 120, dimana bukaan katup diperkecil menjadi 25% dari posisi 100%. Ternyata respon yang diberikan pun cukup cepat, terlihat terdapat lonjakan tajam pada grafik RH yang menunjukkan peningkatan kadar uap air akibat temperatur room air yang turun. Respon tersebut terjadi hanya dalam kurun waktu 5 menit. Melalui pengujian tersebut dapat diketahui bahwa karakteristik sistem terhadap bukaan katup pada kondisi dinamis menghasilkan respon yang cepat terhadap perubahan temperatur dan RH. Hal tersebut adalah akibat terjadinya perubahan massa aliran refrigerant pada saat nilai bukaan katup divariasikan secara dinamis

BAB V

KESIMPULAN

5.1 Kesimpulan

Melalui pengujian yang telah dilakukan pada sistem AC Presisi ini pada kondisi aliran udara tertutup (*closed air system*), maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

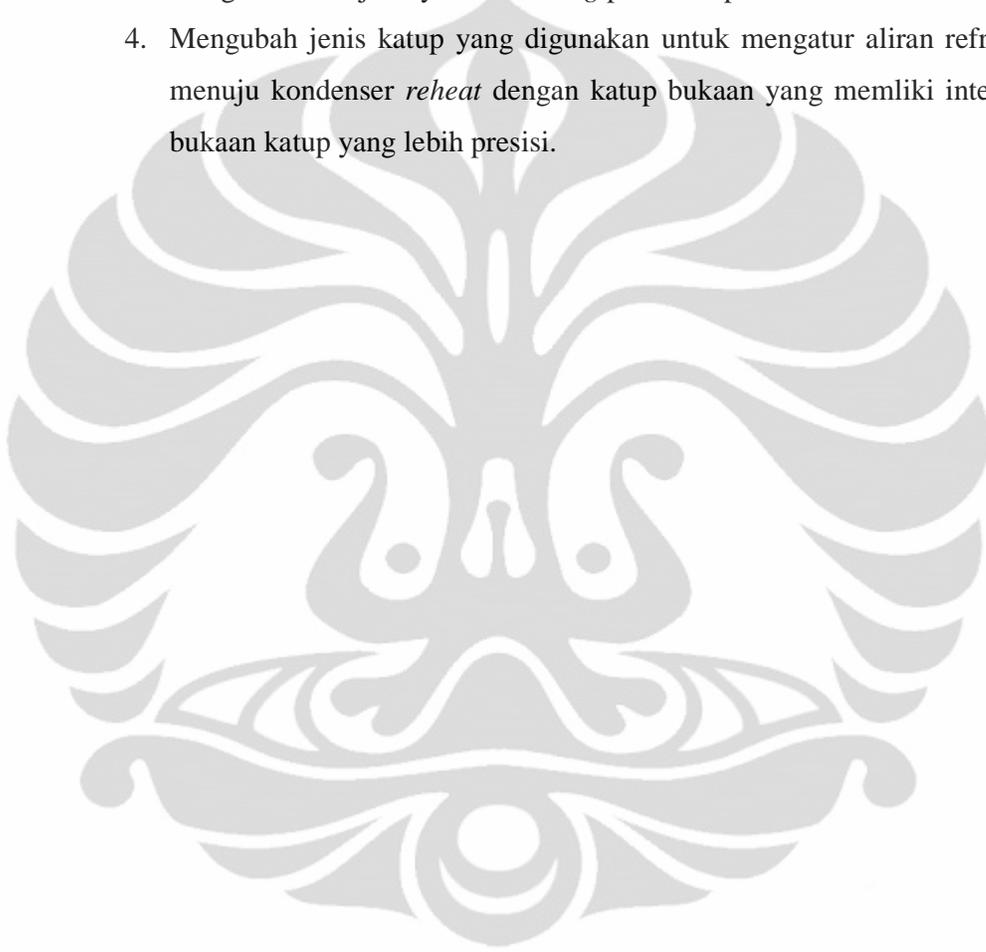
1. Sistem aliran udara tertutup (*closed air system*) yang diadopsi pada sistem kerja AC Presisi memberikan efek pendinginan serta pemanasan kembali (*reheat*) yang lebih optimum.
2. Nilai temperatur *steady* terendah yang dapat dicapai sistem AC Presisi bernilai 12.3°C pada kondisi bukaan katup 0% sedangkan nilai temperatur tertinggi yang dicapai sistem terjadi pada kondisi bukaan katup kondenser *reheat* 100% dengan temperatur capaiannya sebesar 25.3 °C.
3. Nilai RH *steady* tertinggi yang dapat dicapai oleh sistem AC Presisi bernilai 80% pada kondisi bukaan katup kondenser *reheat* sebesar 0% sedangkan nilai RH *steady* terendah yang dapat dicapai sistem AC Presisi bernilai 38% pada kondisi bukaan katup 0%.
4. Variasi bukaan katup sebesar 75% merupakan variasi yang memberikan hasil temperatur dan kelembaban relatif paling optimum yang memenuhi kondisi kerja sebuah *data centre*. Pada kondisi tersebut tercapai nilai *steady* pada temperatur 23.3°C dengan kelembaban relatif 49%.

5.2 Saran

Pada pengujian AC Presisi ini penulis menyarankan beberapa hal yang harus diperbaiki guna meningkatkan kinerja sistem, antara lain :

1. Penginsulasian serapat mungkin pada jalur aliran udara serta bagian *ducting*, sehingga memperkecil kemungkinan terjadinya daya pendinginan yang hilang akibat adanya udara luar yang memasuki sistem.

2. Isolasi terhadap sistem pemipaan juga dinilai perlu dilakukan guna menjaga kestabilan temperatur sistem.
3. Menambahkan komponen fan yang digunakan untuk membuang kalor hasil kerja kompresor agar kinerja kompresor tidak menurun serta menghindari terjadinya *overheating* pada kompresor.
4. Mengubah jenis katup yang digunakan untuk mengatur aliran refrigerant menuju kondenser *reheat* dengan katup bukaan yang memiliki interpolasi bukaan katup yang lebih presisi.



DAFTAR PUSTAKA

Cengel, Yunus A. dan Michael A Boles, *Thermodynamics : An Engineering Approach 5th edition*. McGraw-Hill Science/Engineering/Math, 2005

ASHRAE Publication, *Thermal guidelines for Data Centers and other Data Processing Environments*, Atlanta, 2004

Whitman, Johnson, Tomczyk. *Refrigeration & Air Conditioning Technology 5th edition*. Thompson Delmar Learning, 2005

Arora, CP, Indian Institute of Technology, *Refrigeration and Air Conditioning*, Tata McGraw-Hill Publishing Company limited, New Delhi, 1983

Kavanaugh, Stephen P, *HVAC Simplified*, ASHRAE Inc, Atlanta, 2006

Dossat, Roy J., *Principles of Refrigeration*, SI version, Second Edition, Prentice Hall Career & Technology Inc., New Jersey, 1991.

LAMPIRAN

a. Data Pengukuran Bukaan Katup Reheat 0%

Data Variasi Bukaan Katup Reheat 0%				
Menit ke	Temperatur Room Air (°C)	RH Room Air (%)	P Suction (bar)	P discharge (bar)
0	28.0	77	6.3	6.6
5	13.2	58	3.3	25.8
10	13.2	77	3.4	26.8
15	14.3	86	3.7	27.6
20	14.9	87	3.8	28
25	15.2	85	3.8	28.2
30	15.4	85	3.8	28.2
35	15.7	85	3.8	28.2
40	15.6	84	3.8	28
45	15.3	82	3.7	27.5
50	15	81	3.7	27.5
55	14.6	81	3.5	16.5
60	14.3	81	3.4	26.2
65	13.9	81	3.3	25.8
70	13.5	81	3.2	25
75	13.3	81	3.2	25
80	13.0	81	3.4	24.4
85	12.7	81	3.4	24.6
90	12.3	80	3.4	24.6

b. Data Pengukuran Buka-an Katup Reheat 25%

Data Variasi Buka-an Katup Reheat 25%				
Menit ke	Temperatur Room Air (°C)	RH Room Air (%)	P Suction (bar)	P discharge (bar)
0	28.0	78	6	6.2
5	23.1	60	1.5	10.8
10	20.5	64	1.7	11.6
15	19.3	65	1.7	11.8
20	18.7	69	1.8	11.8
25	19.0	72	1.8	12
30	19.4	73	1.8	12
35	19.6	72	1.8	12
40	19.9	72	1.9	12.2
45	20.0	70	1.9	12.4
50	20.0	68	1.9	12.6
55	19.9	67	2	12.5
60	20.0	67	2	12.8
65	20.0	66	2	12.7
70	20.0	66	2.1	12.8
75	20.1	66	2.1	12.9
80	20.2	65	2.1	13
85	20.3	65	2.3	13
90	20.4	65	2.3	12.9

c. Data Pengukuran Bukaannya Katup Reheat 50%

Data Variasi Bukaannya Katup Reheat 50%				
Menit ke	Temperatur Room Air (°C)	RH Room Air (%)	P Suction (bar)	P discharge (bar)
0	28.0	72	6.6	6.9
5	22.3	42	1.1	12.7
10	20.7	52	1	12.4
15	19.3	56	1.1	12.8
20	18.9	58	1.2	13.2
25	19.0	59	1.2	13.4
30	19.0	59	1.3	13.8
35	19.2	59	1.3	13.9
40	19.3	58	1.4	14
45	19.6	59	1.4	14
50	20.0	59	1.4	14
55	20.1	58	1.4	14.1
60	20.3	58	1.4	14.2
65	20.5	58	1.4	14.2
70	20.5	56	1.4	14.2
75	20.6	56	1.7	14.2
80	20.7	56	1.7	14.2
85	20.8	56	1.7	14.2
90	20.9	55	1.7	14.2

d. Data Pengukuran Bukaannya Katup Reheat 75%

Data Variasi Bukaannya Katup Reheat 75%				
Menit ke	Temperatur Room Air (°C)	RH Room Air (%)	P Suction (bar)	P discharge (bar)
0	28.0	68	6.4	6.7
5	22.2	54	0.6	10.8
10	20.2	56	0.8	11.2
15	19.8	58	0.8	11.4
20	19.8	58	0.9	11.8
25	19.9	56	1	11.8
30	20.1	56	1	12
35	20.3	55	1	12
40	20.5	53	1	12.2
45	20.9	53	1	12.4
50	21.3	52	1.1	12.4
55	21.7	51	1.1	12.6
60	22.0	51	1.1	12.4
65	22.4	51	1.1	12.4
70	22.6	50	1.1	12.4
75	22.8	50	1.3	12.3
80	23.0	50	1.3	12.2
85	23.1	49	1.5	12.3
90	23.3	49	1.5	12.3

e. Data Pengukuran Bukaan Katup Reheat 100%

Data Variasi Bukaan Katup Reheat 100%				
Menit ke	Temperatur Room Air (°C)	RH Room Air (%)	P Suction (bar)	P discharge (bar)
0	29.0	74	6.8	7.1
5	23.6	47	1.2	13.2
10	21.5	49	1.3	13.8
15	21.2	50	1.4	14.3
20	21.5	49	1.5	15
25	21.9	46	1.7	15.5
30	22.4	43	1.8	16
35	23.7	41	2	16.9
40	24.2	40	2	17.2
45	24.5	38	2.1	17.2
50	24.9	38	2.2	17.5
55	25.2	38	2.2	17.6
60	25.3	38	2.4	17.8
65	25.1	37	2.4	17.8
70	24.6	37	2.4	17.8
75	24.6	37	2.6	17.8
80	24.8	37	2.6	18
85	24.7	38	2.6	18
90	25.3	38	2.9	17.9

f. Data Pengukuran Bukaan Katup Dinamis

Data Variasi Bukaan Katup Dinamis					
Menit ke	Temperatur Room Air (°C)	RH Room Air (%)	P Suction (bar)	P discharge (bar)	Besarnya Bukaan Katup Reheat (%)
0	26.0	75	5.4	5.7	75
5	22.2	55	0.4	9.8	75
10	20.3	60	0.5	10.2	75
15	20.1	61	0.8	10.4	75
20	19.8	60	0.7	10.8	75
25	19.9	59	0.8	11	75
30	20.2	58	0.8	11.4	75
35	20.3	57	1	11.7	75
40	20.6	57	1	11.8	75
45	20.9	56	1	12	75
50	21.1	55	1	12.1	75
55	21.4	54	1	12.2	75
60	21.7	54	1.1	12.4	100
65	22.0	51	1.2	12.8	100
70	22.2	50	1.2	13	100
75	22.4	49	1.2	13	100
80	22.6	49	1.2	13	100
85	22.9	48	1.2	13	100
90	23.0	48	1.2	13	100
95	23.3	47	1.2	13	100
100	23.4	47	1.2	13	100
105	23.7	46	1.2	13	100
110	23.9	45	1.3	13.2	100
115	24.3	44	1.3	13.2	50
120	21.3	57	1.6	11.6	75
125	20.6	65	1.6	10.7	75
130	20.4	68	0.7	10.7	75
135	20.9	68	1.7	11.8	100
140	21.0	68	0.7	11	100
145	21.2	67	0.7	11	100
150	21.3	66	0.7	11	100
155	21.4	66	0.7	11	100
160	21.3	65	0.7	11	100
165	21.3	65	0.7	11	100
170	21.3	65	0.7	11	100
175	21.5	65	0.7	11	100
180	21.5	64	0.7	11	100

