

**PENGARUH VARIASI PUTARAN KIPAS KONDENSOR
TERHADAP UNJUK KERJA SISTEM PENDINGIN (AIR
CONDITIONER) YANG MENGGUNAKAN R-410a**

TUGAS AKHIR

*Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Guna Memperoleh Gelar
Sarjana Pada Program Studi Teknik Mesin
Universitas Islam Riau*

DISUSUN OLEH:

SUKARIYANTO

NPM : 15.331.0645

**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS ISLAM RIAU
PEKANBARU**

2019

PERNYATAAN KEASLIAN PENELITIAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini

Nama : Sukariyanto

Npm : 15.331.0645

Program Studi : Teknik Mesin Universitas Islam Riau

Saya menyatakan dengan sesungguhnya bahwa penelitian yang saya lakukan untuk Tugas Akhir dengan judul **“PENGARUH VARIASI PUTARAN KIPAS KONDENSOR TERHADAP UNJUK KERJA SISTEM PENDINGIN (AIR CONDITIONER) YANG MENGGUNAKAN R-410a”** yang diajukan guna melengkapi syarat untuk mendapatkan gelar Sarjana Teknik Mesin pada Fakultas Teknik Universitas Islam Riau. Adalah merupakan hasil penelitian dan karya ilmiah saya sendiri dengan bantuan dosen pembimbing dan bukan merupakan tiruan atau duplikasi dari tugas akhir yang telah diduplikasikan dan pernah digunakan untuk mendapatkan gelar sarjana di Universitas Islam Riau (UIR) maupun Perguruan Tinggi atau Instansi manapun, kecuali pada bagian yang sumber informasinya telah dicantumkan sebagai mana mestinya.

Pekanbaru, 12 Desember 2019

SUKARIYANTO

NPM:15.331.0645

DAFTAR RIWAYAT HIDUP

DATA PERSONAL

Nama Lengkap : SUKARIYANTO
Npm : 15-331-0645
Tempat Tanggal Lahir : Teluk Pulai, 21 Juli 1997
Jenis Kelamin : Laki-Laki (LK)
Alamat : Jl. Utama, Teluk Pulai, Pasir Limau
Kapas, Rokan Hilir, Riau

PENDIDIKAN

Sekolah Dasar : SD NEGRI 001 Pasir Limau Kapas
Sekolah Menengah Pertama : MTs MUJAHIDIN Pasir Limau Kapas
Sekolah Menengah Atas : SMA NEGRI 001 Pasir Limau Kapas
Perguruan Tinggi : Universitas Islam Riau (Teknik Mesin S1)

TUGAS AKHIR

**"PENGARUH VARIASI PUTARAN KIPAS KONDENSOR TERHADAP
UNJUK KERJA SISTEM PENDINGIN (AIR CONDITIONER) YANG
MENGUNAKAN R-410a"**

Tempat Penelitian : Laboratorium Teknik Mesin, Universitas
Islam Riau
Tanggal Seminar Proposal : 29 April 2019
Tanggal Seminar : 27 November 2019
Tanggal Sidang : 11 Desember 2019

Pekanbaru, 12 Desember 2019

SUKARIYANTO

Npm : 15.331.0645

“Pengaruh Variasi Putaran Kipas Kondensor Terhadap Unjuk Kerja Sistem Pendingin (Air Conditioner) Yang Menggunakan R-410a”

Sukariyanto, Eddy Elfiano

Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Islam Riau

E-mail : sukariyanto@student.uir.ac.id

ABSTRAK

Air conditioning is often referred to as AC (Air Conditioner) is the process of changing the properties of air, especially humidity and temperature to favorable conditions, to increase comfort. Based on the law of conservation of energy, energy cannot be destroyed, it can only be transferred. To get the air temperature in accordance with the desired many alternatives that can be applied, one of them is by increasing the coefficient of heat transfer of condensation and by adding the speed of cooling air to the condenser. The simple cycle of the cooling system consists of standard components such as compressors, condensers, expansion valves and evaporators. The method used in this study was an experiment using equipment from a 1 pk split AC machine. With variations in the condenser fan rotation, the rotation used is (100, 200, 300, 400 and 500) rpm. Recording data in the form of pressure and temperature are then plotted on the P-h diagram for R-410a refrigerant. Based on the discussion that has been done, the following conclusions can be drawn, the heating value released by the condenser increases from the lowest value of 157.212 kJ / kg to the highest value of 185.24 kJ / kg, Compressor work has decreased from the highest value of 38.97 kJ / kg to the lowest value 35.12 kJ / kg, the heating value absorbed by the evaporator increased from the lowest value of 118,242 kJ / kg to the highest value of 150.15 kJ / kg, the value of COP akt _ actual increased from the lowest value of 3.03418 to the highest value of 4.27448, Efficiency value has increased from the lowest value of 79.71% to the highest value of 96.79% and the compressor power value has decreased from the highest value of 0.869 kW to the lowest value of 0.836 kW. Due to the greater air flow rate to cool the condenser at 500 rpm rotation variation, the compressor consumes less power. While on the coefficient of achievement (COP) and efficiency there is an increase in the condenser cooling fan which is getting bigger.

Keywords: Actual achievement coefficient, ideal achievement coefficient, efficiency, compressor power, compressor work, condenser heat release, evaporator heat absorption and variations in condenser fan rotation.

“Pengaruh Variasi Putaran Kipas Kondensor Terhadap Unjuk Kerja Sistem Pendingin (Air Conditioner) Yang Menggunakan R-410a”

Sukariyanto, Eddy Elfiano

Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Islam Riau

E-mail : sukariyanto@student.uir.ac.id

ABSTRAK

Penyejuk udara sering disebut sebagai AC (*Air Conditioner*) adalah proses mengubah sifat-sifat udara, terutama kelembaban dan temperatur ke kondisi yang menguntungkan, untuk meningkatkan kenyamanan. Berdasarkan dengan hukum kekekalan energi maka energi tidak dapat dimusnakan hanya saja dapat dipindah. Untuk mendapatkan suhu udara yang sesuai dengan yang diinginkan banyak alternatif yang dapat diterapkan, diantaranya adalah dengan menaikkan koefisien perpindahan kalor kondensasi dan dengan menambahkan kecepatan udara pendingin pada kondensor. Siklus sederhana dari sistem pendingin terdiri dari komponen-komponen standar seperti kompresor, kondensor, katup ekspansi dan evaporator. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah percobaan dengan menggunakan peralatan dari mesin AC split 1 pk. Dengan variasi putaran kipas kondensor, putaran yang digunakan adalah (100, 200, 300, 400 dan 500) rpm. Data hasil pencatatan berupa tekanan dan temperatur selanjutnya diplot pada diagram P-h untuk refrigerant R-410a. Berdasarkan pembahasan yang telah dilakukan maka dapat ditarik kesimpulan berikut, Nilai kalor yang dilepas kondensor meningkat dari nilai terendah 157,212 kJ/kg menjadi nilai tertinggi 185,24 kJ/kg, Kerja kompresor mengalami penurunan dari nilai tertinggi 38,97 kJ/kg menjadi nilai terendah 35,12 kJ/kg, Nilai kalor yang diserap evaporator meningkat dari nilai terendah 118,242 kJ/kg menjadi nilai tertinggi 150,15 kJ/kg, Nilai COP_{aktual} mengalami peningkatan dari nilai terendah 3,03418 menjadi nilai tertinggi 4,27448, Nilai Efisiensi mengalami peningkatan dari nilai terendah 79,71 % menjadi nilai tertinggi 96,79% dan Nilai daya kompresor menurun dari nilai tertinggi 0,869 kW menjadi nilai terendah 0,836 kW. Dikarenakan semakin besar laju aliran udara untuk mendinginkan kondensor pada variasi putaran 500 rpm maka daya yang dikonsumsi kompresor menjadi lebih sedikit. Sedangkan pada koefisien prestasi (COP) dan Efisiensi terjadi peningkatan pada putaran kipas pendingin kondensor yang semakin besar.

Kata kunci : Koefisien prestasi actual, koefisien prestasi ideal, efisiensi, daya kompresor, kerja kompresor, pelepasan kalor kondensor, penyerapan kalor evaporator dan variasi putaran kipas kondensor.

KATA PENGANTAR



Puji syukur kehadiran Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang merupakan Program Studi Mahasiswa Teknik Mesin Universitas Islam Riau.

Tugas Akhir yang berjudul “Pengaruh Variasi Putaran Kipas Kondensor Terhadap Unjuk Kerja Sistem Pendingin (*Air Conditioner*) Yang Menggunakan R-410a” ini bertujuan supaya mahasiswa bisa belajar tentang masalah Sistem Konversi Energi Khusus-Nya dalam Sistem Pendingin.

Pada kesempatan ini penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada :

1. Kedua Orang Tua penulis yang telah memberikan dukungan moril maupun materil yang tak mungkin terbalaskan.
2. Bapak Ir.H,Abdul Kudus Z.,MT selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Islam Riau.
3. Bapak Dody Yulianto, ST., MT. selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Islam Riau.
4. Bapak Dr.Dedikarni,ST.,MSc selaku Sekretaris jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Islam Riau.
5. Bapak Eddy Elfiano .ST.,M.Eng. selaku Pembimbing Tugas Akhir

Penulis mengucapkan banyak trimakasi, semoga tulisan ini dapat bermanfaat bagi banyak orang khususnya bagi penulis pribadi.

Pekanbaru, 19 November 2019

Penulis

SUKARIYANTO
NPM : 153310645



Dokumen ini adalah Arsip Miik :
Perpustakaan Universitas Islam Riau

DAFTAR ISI

ABSTRAK	i
KATA PENGANTAR	iii
DAFTAR ISI.....	v
DAFTAR GAMBAR.....	viii
DAFTAR TABEL	x
DAFTAR NOTASI	xi
BAB I PENDAHULUAN	
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan masalah	2
1.3. Batasan Masalah	3
1.4. Tujuan	3
1.5. Manfaat	3
1.6. Sistematika Penulisan	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Konsep Dasar Refrigerasi	6
2.2 Prinsip Kerja Mesin Pendingin	7
2.2.1 Kompresor	8
2.2.2 Kondensor	10
2.2.3 Evaporator	14

2.2.4	Ekspansi	17
2.3	<i>Refrigerant</i>	18
2.3.1	<i>Refrigerant Alternatif Yang Ramah Lingkungan</i>	19
2.3.2	<i>Refrigeran 410a</i>	20
2.4	Mekanisme Perpindahan Panas.....	21
2.4.1	Perpindahan Panas Konduksi.....	22
2.4.2	Perpindahan Panas Radiasi	22
2.4.3	Perpindahan Panas Konveksi.....	23
2.5	Siklus Ideal Refrigerasi Kompresi Uap.....	24
2.5.1	Tahapan Siklus Kompresi Uap	25
2.5.2	Rumus-rumus Perhitungan Unjuk Kerja Mesin Pendingin	27
 BAB III METODOLOGI PENELITIAN		
3.1	Diagram Alir	32
3.2	Studi Literatur	33
3.3	Waktu dan Tempat Penelitian.....	33
3.4	Tahapan Penelitian	34
3.5	Mesin Pendingin Yang Digunakan	34
3.6	Alat dan Bahan Pengujian.....	35
3.6.1	Alat Pengujian.....	35
3.6.2	Bahan Pengujian	41
3.7	Prosedur Pengujian	41
3.8	Metode Pengumpulan Data	43

3.9 Analisa Data	43
3.10 Jadwal Kegiatan Penelitian	45

BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN

4.1 Gambaran Umum	46
4.2 Perhitungan dan Analisa Data	48
4.2.1 Perhitungan Data <i>Enthalpy</i>	48
4.2.2 Perhitungan Unjuk Kerja Sistem Pendingin	49
4.3 Pembahasan	56
4.3.1 Grafik Pelepasan Kalor Kondensor	57
4.3.2 Grafik Kerja Kompresor	58
4.3.3 Grafik Penyerapan Kalor Evaporator	59
4.3.4 Grafik Koefisien Prestasi aktual (COP_{aktual})	61
4.3.5 Grafik Koefisien Prestasi ideal (COP_{ideal})	62
4.3.6 Grafik Hubungan Putaran Kipas Kondensor dengan <i>Efisiensi</i> ...	63
4.3.7 Grafik Laju Aliran Massa <i>Refrigerant</i> (m)	64
4.3.8 Grafik Hubungan Daya Kompresor Terhadap Putaran Kipas	65

BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan	67
5.2 Saran	68

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Siklus Kompresi Uap	8
Gambar 2.2	Kompresor	9
Gambar 2.3	Kondensor Berpendingin Udara.....	11
Gambar 2.4	<i>Fan</i> Kondensor.....	12
Gambar 2.5	Siklus Refrigerasi Pada Mesin Refrigerasi	14
Gambar 2,6	Pipa-pipa Dalam Evaporator	15
Gambar 2.7	Katup Ekspansi	18
Gambar 2.8	Diagram Mollier Dan Siklus Refrigerasi	24
Gambar 2.9	Diagram P-h Siklus Kompresi Uap.....	25
Gambar 2.10	Diagram T-s Siklus Kompresi Uap	25
Gambar 3.1	Diagram Alir Penelitian	32
Gambar 3.2	Workshop Teknik Mesin	33
Gambar 3.3	Skema Alat Ukur Sistem Pendingin	35
Gambar 3.4	Alat Uji Mesin Pendingin (AC)	36
Gambar 3.5	Kipas Pendingin Kondensor.....	37
Gambar 3.6	Termometer digital	37
Gambar 3.7	<i>Pressure Gauge</i>	38
Gambar 3.8	Tang Ampere.....	39
Gambar 3.9	<i>Tachometer</i>	40
Gambar 3.10	<i>Stop Watch</i>	40
Gambar 4.1	Grafik pelepasan kalor kondensor.....	57
Gambar 4.2.	Grafik kerja kompresor.	58

Gambar 4.3 Grafik kalor yang diserap evaporator	60
Gambar 4.4 Grafik pengaruh variasi putaran kipas kondensor terhadap COP	61
Gambar 4.5 Grafik pengaruh variasi putaran kipas terhadap daya kompresor	61



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Karakteristik CFC, HFC dan HC <i>Refrigerant</i>	20
Tabel 2.2 Perbandingan Jenis <i>Refrigerant</i>	21
Tabel 3.1 Jadwal Kegiatan Penelitian	45
Tabel 4.1 Dada pengujian arus listrik kompresor	46
Tabel 4.2 Data hasil pengujian tekanan dan temperatur	47
Tabel 4.3 Data putaran kipas kondensor dan <i>enthalpy</i>	49
Tabel 4.4 Hasil perhitungan kalor yang diserap evaporator.....	50
Tabel 4.5 Hasil perhitungan kerja compressor.....	51
Tabel 4.6 Hasil perhitungan kalor yang dilepas kondensor	52
Tabel 4.7 Hasil perhitungan unjuk kerja system pendingin	56
Tabel 4.8 Hasil perhitungan unjuk kerja system pendingin.....	56

DAFTAR NOTASI

$\dot{m}_{ref}$	= Laju aliran massa <i>refrigerant</i> [kg/min]
$\dot{W}_{in}$	= Kerja yang diterima Kompresor [kW]
Q_{out}	= Panas yang dilepaskan Kondensor [kW]
Q_{in}	= Panas yang diterima Evaporator [kW]
COP	= <i>Coefficient of Performance</i>
h_1	= Entalpi keluar evaporator [kJ/kg]
h_2	= Entalpi masuk kondensor [kJ/kg]
h_3	= Entalpi keluar kondensor [kJ/kg]
h_4	= Entalpi masuk evaporator [kJ/kg]
T_1	= Temperatur keluar <i>evaporator</i> [°C]
T_2	= Temperatur masuk kondensor [°C]
T_3	= Temperatur keluar kondensor [°C]
T_4	= Temperatur masuk <i>evaporator</i> [°C]
P_1	= Tekanan keluar <i>evaporato</i> [kPa]
P_2	= Tekanan masuk kondensor [kPa]
P_3	= Tekanan keluar kondensor [kPa]
P_4	= Tekanan masuk <i>evaporator</i> [kPa]

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Penyejuk udara sering disebut sebagai AC (*Air Conditioner*) adalah proses mengubah sifat-sifat udara (terutama kelembaban dan suhu) ke kondisi yang menguntungkan, biasanya dengan tujuan mendistribusikan udara terkondisi ke ruangan yang ditempati untuk meningkatkan kenyamanan. Dalam arti paling umum, AC dapat merujuk pada segala bentuk teknologi kenyamanan, pemanasan, pendinginan, pembersihan, ventilasi, atau pergerakan udara yang mengubah kondisi udara. Berdasarkan dengan hukum kekekalan energi maka energi tidak dapat dimusnakan hanya saja dapat dipindahkan dari satu tempat ke tempat lainnya. Untuk memindahkan energi panas didalam ruangan, dibutuhkan suatu *fluida* penukar kalor yang disebut dengan *refrigeran*. Dalam sistem pendingin ruangan yang paling sederhana umumnya memiliki komponen utama yaitu kompresor, kondensor, katup ekspansi, dan evaporator (Kusnanto, S. 2004).

Untuk mendapatkan suhu udara yang sesuai dengan yang diinginkan banyak alternatif yang dapat diterapkan, diantaranya adalah dengan menaikkan koefisien perpindahan kalor kondensasi dan dengan menambahkan kecepatan udara pendingin pada kondensor sehingga akan diperoleh harga koefisien prestasi yang lebih besar. (Yawara,dkk. 2002)

Lebih lanjut Kusnanto mengatakan bahwa dengan menambahkan kecepatan udara pendingin pada kondensor maka laju aliran massa akan menurun sehingga menyebabkan daya kompresor juga mengalami penurunan. (Kusnanto, S. 2004).

Penelitian ini sebelumnya telah dilakukan oleh Saut Siagian (2015) dengan R-134a dan Imam Faozan (2015) dengan R-22. Mereka mendapatkan kesimpulan, Semakin besar laju aliran udara untuk mendinginkan kondensor maka besarnya koefisien prestasi semakin meningkat. Karena laju pelepasan kalor yang besar akan berimbas pada temperature kondensor yang semakin rendah, sehingga dapat mencapai temperatur yang lebih rendah lagi pada keluaran evaporator. Jadi kerja compressor lebih ringan pada variasi laju pelepasan kalor yang paling besar. sehingga penulis ingin mengetahui pengaruh variasi putaran kipas kondensor berdasarkan pada unjuk kerja sistem pendingin (*Air Conditioner*) yang menggunakan R-410a.

1.2 Rumusan Masalah

Pada penulisan tugas akhir ini, pembahasan pengujian kali ini adalah :

1. Bagaimana pengaruh variasi putaran kipas kondensor terhadap unjuk kerja mesin pendingin yang menggunakan R-410a ?
2. Pada putaran kipas kondensor berapa rpm unjuk kerja dari mesin pendingin menggunakan R-410a yang paling bagus berdasarkan variasi putaran (100, 200, 300, 400 dan 500) rpm ?

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini sebagai berikut :

1. Untuk Mengetahui hubungan antara pengaruh variasi putaran kipas kondensor terhadap unjuk kerja mesin pendingin menggunakan R-410a.
2. Untuk mengetahui putaran kipas kondensor berapa rpm unjuk kerja dari mesin pendingin menggunakan R-410a yang paling bagus berdasarkan variasi putaran (100, 200, 300, 400 dan 500) rpm.

1.4 Batasan Masalah

Dalam penulisan tugas akhir ini penulis membatasi masalah pada pembahasan judul ini dikarenakan cakupan pembahasan dalam judul cukup luas. Adapun pembahasannya yang dibatasi pada:

1. Pengukuran dilakukan pada satu sistem yang sama dengan menggunakan *refrigerant* R-410a.
2. Pengaruh lingkungan disekitar mesin pendingin diabaikan.
3. Menganalisa prestasi kerja atau kinerja dari mesin pendingin AC (*Air Conditioner*) 1 pk yang menggunakan *refrigerant* R-410a dengan variasi kipas kondensor pada putaran (100, 200, 300, 400 dan 500) rpm.

1.5 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penelitian ini sebagai berikut :

1. Hasil dari penelitian diharapkan dapat menambah pengetahuan dan literatur keilmuan terkait dengan studi analisa perbandingan kinerja pada mesin pendingin (*Air Conditioner*) pada variasi putaran kipas kondensor.
2. Meningkatkan keilmuan bagi penulis terutama dalam ruang lingkup Konversi energi dalam bidang keilmuan *Refrigerasi*.
3. Memberikan gambaran tentang hubungan antara pengaruh putaran kipas kondensor terhadap kinerja *Air Conditioner*.

1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika pembahasan dalam penulisan tugas akhir ini dikelompokkan kedalam beberapa bab yaitu :

BAB I : Pendahuluan

Pada bab ini di bahas tentang latar belakang, perumusan masalah , tujuan penelitian, manfaat penelitian, batasan masalah dan sistematika penulisan.

BAB II : Tinjauan Pustaka

Pada bab ini di bahas tentang landasan teori yang diperoleh dari literatur untuk mendukung penelitan tentang pengaruh variasi putaran kipas kondensor padan unjuk kerja system pendingin (*Air Conditioner*).

BAB III : Metode Penelitian

Pada bab ini dibahas tentang waktu dan tempat penelitian, alat dan bahan pembuatan dan prosedur dalam pembuatan dan pengujian alat unjuk kerja system pendingin air conditioner.

BAB IV : Hasil dan Pembahasan

Pada bab ini dibahas tentang hasil penelitian pada kerja system pendingin air conditioner dengan pengaruh putaran kipas kondensor .

BAB V : Kesimpulan dan Saran

Pada bab ini berikan tentang kesimpulan dan saran-saran dari keseluruhan tugas akhir.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Konsep Dasar Refrigerasi

Refrigerasi adalah suatu usaha untuk mencapai sistem atau memperoleh dan menjaga temperatur lebih rendah dari temperatur *atmosfir*. Refrigerasi merupakan proses penurunan temperatur dari suatu zat hingga temperatur zat tersebut lebih rendah dari temperatur lingkungannya, dimana refrigerasi ini bekerja dengan membentuk suatu siklus. Dengan adanya siklus refrigerasi ini, telah merintis pembuatan mesin pendingin atau refrigerator dosmetik untuk keperluan rumah tangga atau yang lebih dikenal dengan kulkas (Amrullah.dkk, 2017).

Teknik pendingin adalah suatu ilmu yang mempelajari suatu sistem pendingin dengan jalan perpindahan panas dari suatu tempat yang bertemperatur rendah ke suatu tempat yang bertemperatur lebih tinggi. Secara garis besar teknik pendingin (refrigerasi) bertujuan antara lain untuk mengurangi atau menurunkan temperatur dari suatu zat. (Imam Faozan, 2015)

1. Mengubah fasa suatu zat dari suatu keadaan menjadi keadaan lain, misalnya:
$$\text{Uap} \rightarrow \text{Air} \rightarrow \text{Es}$$
2. Memelihara suatu zat atau ruangan di dalam suatu kondisi tertentu.

Pengkondisian udara (*Air Conditioning*) adalah proses perlakuan terhadap udara untuk mengatur suhu, kelembaban, kebersihan dan pendistribusiannya secara serentak guna mencapai kondisi nyaman yang dibutuhkan oleh penghuni yang berada di dalamnya. (McGraw-Hill Inc, *Refrigration and Air Conditioning*).

2.2. Prinsip Kerja Mesin Pendingin

Fungsi utama dari pendingin udara sistem kontrol adalah memodulasi kapasitas sistem A/C agar sesuai dengan kondisi yang ditentukan dan perubahan temperatur ruang, untuk menjaga lingkungan dalam ruangan yang diinginkan pada tingkat penggunaan energi optimal. Salah satu bagian penting dalam sistem pendingin udara adalah kondensor. Kondensor adalah penukar panas yang terletak di luar ruangan dan menerima *refrigerant* panas tekanan tinggi dari kompresor. Dalam sistem pendingin, udara mengalir melalui kondensor yang disebabkan oleh kipas pendingin listrik. Kondensor di mana superheating uap suhu tinggi mengubah fase dari uap menjadi cair dan pendinginan terjadi disebut kondensat. Perangkat dan fungsi utama kondensor adalah untuk menghapus panas *refrigerant* pada saat uap panas yang dikeluarkan dari kompresor sesuai dengan siklus refrigerasi. (Heroe Poernomo, 2015). Siklus refrigerasi dapat dilihat pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1 : Siklus Kompresi Uap

(Sumber : Imam Faozan, 2015)

Siklus sederhana dari sistem pendingin dapat dilihat pada gambar 2.1 diatas dan komponen-komponen standar dari sistem pendingin terdiri dari kompresor, kondensor, katup ekspansi dan evaporator.

2.2.1 Kompresor

Kompresor adalah suatu alat mekanis dan bertugas untuk mengisap uap refrigerant dari evaporator. Kemudian menekannya (mengkompres) dan dengan demikian suhu dan tekanan uap tersebut menjadi lebih tinggi. Tugas kompresor adalah mempertahankan perbedaan tekanan dalam sistem. Kompresor atau pompa hisap tekan berfungsi mengalirkan refrigeran ke seluruh sistem pendingin. Sistem kerjanya adalah dengan mengubah tekanan sehingga berpindah dari sisi bertekanan tinggi ke sisi bertekanan lebih rendah. Semakin tinggi

temperatur yang dipompakan semakin besar tenaga yang dikeluarkan oleh kompresor.



Gambar 2.2 Kompresor

(Sumber : Imam Faozan, 2015)

Kompresor dalam sistem refrigerasi berfungsi untuk menyerap *refrigerant* gas dari sisi tekanan rendah evaporator melalui pipa dan menekan *refrigerant*, ini meningkatkan suhu dan tekanan *refrigerant* sebelum meneruskan cairan ke kondensor. Pada kompresor daya motor kemampuan tenaga yang dihasilkan dinyatakan dalam daya kuda disebut dengan horse power (hp) dalam satuan watts. Adapun efisiensi tenaga energi yang dihasilkan kompresor, sebanding dengan kapasitas

pendingin dan daya kompresor atau disebut *Energy Efficiency Ratio* (EER).

1.2.2 Kondensor

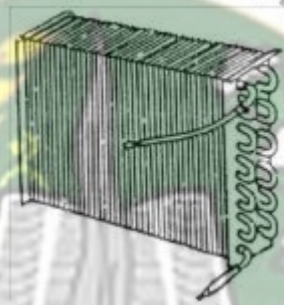
Kondensor adalah suatu alat yang berfungsi untuk membuang udara panas dari AC referigerator pada tempratur dan tekanan tinggi, sehingga digunakan untuk mencairkan uap/gas *refrigrant* dan membuang udara panas keluar. Kondensor akan merubah uap refrigeran tekanan tinggi tersebut menjadi cairan tekanan tinggi dan adanya medium pendingin pada kondensor (udara maupun air). Jadi panas dari ruangan dan panas dari kompresor akan diserap medium pendingin.

Uap *refrigerant* yang bertekanan dan bertemperatur tinggi pada akhir kompresi dapat dengan mudah didinginkan dengan udara pendingin yang ada pada temperatur normal. Dengan kata lain, uap *refrigerant* menyerahkan panasnya (kalor laten pengembunan) pada udara pendingin didalam kondensor sehingga mengembun dan menjadi cair. Karena udara pendingin menyerap udara dari *refrigerant*, maka udara akan menjadi panas pada saat keluar dari kondensor. (Amrullah, dkk, 2017)

Kondensor terbagi dalam tiga macam berdasarkan pada media pendinginannya yaitu :

1. Kondensor menggunakan pendingi udara (*air cooled*)

Pendinginan dilakukan oleh udara yang dilakukan pada susunan pipa-pipa yang mengalirkan uap *refrigeran*. Kapasitas dari pendinginan ini sangat tergantung pada suhu udara luar. Jika udara luarnya sangat panas, maka efisiensi pendinginannya berkurang.



Gambar 2.2 : Kondensor berpendinginan udara

(Sumber : Hartoyo)

Fan yang terletak pada *outdoor* berbentuk seperti kipas, berfungsi untuk mensirkulasikan udara yang melewati susunan pipa-pipa kondensor yang mengalirkan uap *refrigerant*, setelah udara melewati kondensor udarah panas yang dari kondensor akan diarahkan ke lingkungan luar. Komponen tersebut digerakan oleh motor listrik, jika motor listrik berputar semangkin cepat maka akan menghasilkan aliran udara mengalir semangkin cepat pula sehingga akan terjadi perpindahan panas yang besar karena pendinginan pada pipa-pipa kondensor yang

mengalirkan *refrigerant* terjadi secara paksa, pendinginan ini disebut juga dengan pendinginan secara konveksi paksa.



Gambar 2.3 : *Fan* kondensor

2. Kondensor dengan pendinginan air (*water cooled*)

Kondensor type ini terdiri dari suatu ruangan untuk menampung gas refrigerant dari kompresor. Di dalamnya terdapat jalur-jalur pipa untuk pendinginan. Air dialirkan melewati pipa-pipa ini baik dari aliran air minum kota (PDAM) atau dari tempat-tempat lain. Air tidak boleh kotor atau mengandung larutan-larutan kimia yang bisa menyumbat dan merusak pipa-pipa tersebut. (Hartoyo)

3. Kondensor dengan pendingin campuran udara dan air (*evaporative*)

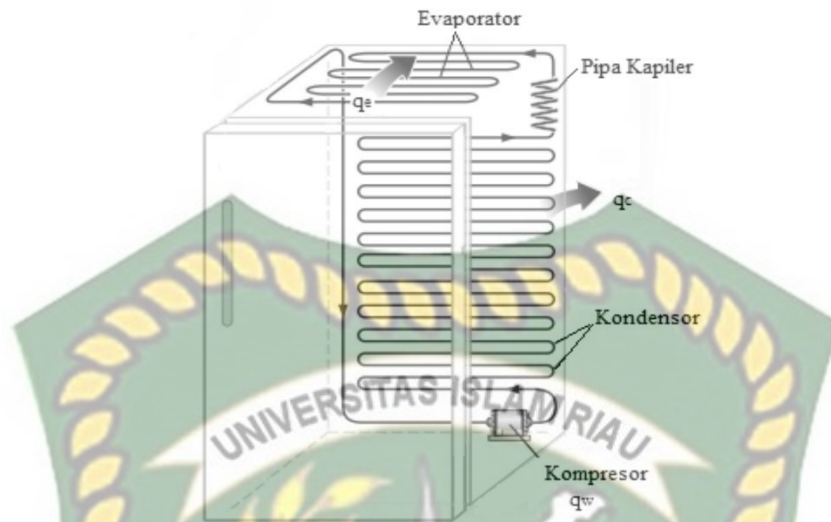
Cara kerjanya sama dengan kondensor jenis penguapan air. Hanya saja disini air diatur oleh suatu klep dan hanya bekerja

dengan adanya ketidakmampuan dari udara pendinginan untuk mencapai suhu pendinginan yang dikehendaki. (Hartoyo)

Beberapa faktor penting dalam menentukan kapasitas kondensor dengan media pendingin udara sebagai berikut:

1. Luas permukaan yang didinginkan dan sifat perpindahan panasnya.
2. Jumlah udara permenit yang digunakan untuk mendinginkan
3. Perbedaan suhu antara bahan pendingin dengan udara luar.
4. Sifat dan karakteristik *refrigerant* yang dipakai.

Ketika uap bersentuhan dengan dinding pada suhu di bawah suhu kejenuhannya, kondensat dihasilkan pada permukaan dinding. Kondensat dapat membangun film atau tetesan. Kondensasi dapat terjadi dengan uap superheated, jenuh atau basah murni tetapi juga dengan campuran gas seperti dalam pembentukan embun. Pada kondensasi koefisien perpindahan panas adalah fungsi dari geometri, sifat material dan perbedaan suhu antara dinding dan suhu saturasi. Pada kecepatan uap tinggi, gaya belokan aliran uap mempengaruhi lapisan batas dan mengatur koefisien perpindahan panas. (Peter von Böckh, 2012)



Gambar 2.4: Siklus refrigrerasi pada mesin refrigrerasi

(Sumber: Amrullah, dkk, 2017)

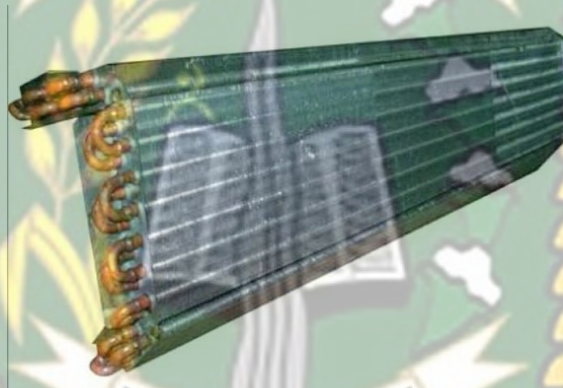
Semakin tinggi kualitas uap *refrigerant* maka semakin tinggi harga koefisien perpindahan kalor kondensasinya dan semakin tinggi laju aliran massa *refrigerant* semakin tinggi harga perpindahan kalor kondensasi nya. (Eka Yawara, 2002).

Sebelum masuk kompresor, *refrigerant* dengan kondisi uap jenuh dikompresikan sehingga uap keluar kompresor menjadi uap panas lanjut. Uap tersebut mengalir pada bagian kondensor untuk melepaskan kalor ke lingkungan sehingga terjadi proses kondensasi kemudian uap berubah menjadi cair jenuh. (Marwan Effendy, 2005)

1.2.3 Evaporator

Proses evaporasi terjadi pada evaporator atau penguap yang digunakan pada mesin refrigrerasi berbentuk pipa bersirip plat.

Tekanan cairan *refrigerant* yang diturunkan pada katup ekspansi didistribusikan secara merata kedalam evaporator. *Refrigerant* akan menguap dan menyerap kalor dari udara ruangan yang dialirkan melalui permukaan luar pipa evaporator. Jadi cairan *refrigerant* diuapkan secara berangsur-angsur karena menerima kalor sebanyak kalor laten penguapan selama mengalir di dalam setiap pipa dari koil evaporator. (Amrullah, dkk, 2017).



Gambar 2.6 : Pipa-pipa dalam evaporator
(Sumber : <https://www.tokopedia.com>)

Evaporator fungsinya kebalikan dari kondensor, yaitu membuang panas kepada udara sekitar tetapi untuk mengambil panas dari udara didekatnya. Perencanaan evaporator harus mencakup penguapan yang efektif dari bahan pendingin dengan penurunan tekanan yang minimum dan pengambilan panas dari zat yang didinginkan secara efisien. Perencanaan evaporator tergantung dalam penempatannya dan zat yang akan langsung didinginkan apakah berwujud gas, cair atau padat. Pada semua keadaan beban, bahan

pendingin akan penguap waktu mengalir sepanjang pipa evaporator atau permukaan evaporator dan diusahakan agar cairan tetap membasai semua bagian dari evaporator.

Berdasarkan prinsip kerjanya evaporator dapat dibagi menjadi 2 macam yaitu:

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

Kapasitas evaporator adalah kemampuan evaporator untuk menyerappanas dalam periode waktu tertentu dan sangat ditentukan oleh perbedaan temperatur evaporator (*evaporator temperature difference*). Perbedaan tempertur evaporator adalah perbedaan antara temperature jenis evaporator (*evaporator saturation temperature*) dengan temperatur substansi/ benda yang didinginkan

Evaporator (penguap) yang dipakai berbentuk pipa bersirip pelat. Tekanan cairan *refrigerant* yang diturunkan pada katup ekspansi, didistribusikan secara merata ke dalam pipa evaporator, oleh distributor *refrigerant*. Dalam hal tersebut *refrigerant* akan menguap dan menyerap kalor dari udara ruangan yang dialirkan melalui permukaan luar dari pipa evaporator. Apabila udara didinginkan (di bawah titik embun), maka air yang ada dalam udara akan mengembun pada permukaan evaporator, kemudian ditampung dan dialirkan keluar. Jadi, cairan *refrigerant* diuapkan secara berangsur – angsur

karena menerima kalor sebanyak kalor laten penguapan, selama mengalir di dalam setiap pipa dari koil evaporator. (Heroe Poernomo, 2015)

2.2.4 Ekspansi

Alat ini digunakan untuk mengatur jumlah cairan *refrigerant* yang masuk ke dalam evaporator. Alat ini terletak diantara evaporator dan kondensor. *Refrigerant* yang keluar dari kondensor mempunyai suhu dan bertekanan tinggi. Sedangkan *refrigerant* yang masuk ke dalam evaporator harus memiliki suhu dan tekanan rendah. Oleh karena itu, untuk menurunkan suhu dan tekanan tinggi ini diperlukan suatu alat ekspansi. Seperti telah dijelaskan sebelumnya bahwa *refrigerant* yang dalam evaporator berbentuk cair dan keluar dalam bentuk panas. Keadaan refrigeran yang keluar dari evaporator inilah yang dijadikan dasar untuk mengatur jumlah *refrigerant* cair yang masuk evaporator. Jenis katup ekspansi yang beredar ada lima yaitu:

1. Pelampung sisi atas (*high side float*)
2. Pelampung sisi bawah (*low side float*)
3. Katup ekspansi thermostatis otomatis, dan
4. Lubang tetap (*fixed bore*)

Pada sistem AC, ketiga jenis terakhir inilah yang paling umum digunakan. Komponen-komponen penting yang terdapat pada katub

ekspansi thermostatis antara lain badan katup, diafragma, jarum dan dudukan pegas, serta bola sensor dan pipa transmisinya. Cairan *refrigerant* mengalir ke dalam evaporator, tekanannya menurun dan menerima kalor penguapan dari udara, sehingga menguap secara berangsur-angsur. Selanjutnya proses siklus tersebut di atas terjadi berulang-ulang. (Saut Siagian, 2015)



Gambar 2.7 Katup Ekspansi
(Sumber : Pratama, 2015)

2.3. Refrigerant

Refrigerant merupakan suatu media pendingin yang dapat berfungsi untuk menyerap kalor dari lingkungan atau untuk melepaskan kalor ke lingkungan. (Mahendra, dkk, 2015).

Refrigerant adalah cairan yang digunakan dalam AC dan kulkas, untuk mengambil panas dari isi kulkas atau ruang dan membuang panas di

atmosfer bumi. Pilihan *refrigerant* yang ideal dibuat berdasarkan sifat termodinamika yang menguntungkan, non-korosif terhadap alam, dan keselamatan (tidak beracun dan tidak mudah terbakar).

2.3.1 **Refrigerant Alternatif yang Ramah Lingkungan**

Hidrokarbon mulai umum digunakan sebagai pendingin pada tahun 1930-an. Kelompok komposisinya adalah: *klorofluorokarbon* (CFC), *hidroklorofluorokarbon* (HCFC) dan *hidrofluorokarbon* (HFC). Di antara mereka, kelompok yang paling umum adalah CFC dan HCFC, namun, saat ini ada tren di seluruh dunia untuk mencari *refrigerant* alternatif "aman ozon" untuk CFC dan HCFC konvensional bahaya terhadap lingkungan dari penipisan ozon. Alternatif lain adalah *hidrofluorokarbon* (HFC), yang merupakan pendingin ramah ozon.

HFC adalah refrigeran yang relatif baru yang menonjol dengan dikeluarkannya fase CFC dan HCFC. HFC tidak memiliki potensi penipisan ozon (ODP = 0). HFC digunakan dalam proses kompresi uap dengan semua jenis kompresor. HFC umumnya efisien dan keamanannya diklasifikasikan sebagai A1 (toksisitas lebih rendah dan tidak ada perambatan api). (Bolaji, 2011)

Tabel 2.1 Karakteristik CFC, HFC dan HC Refrigerant

Jenis	Suhu uap °C	Tekanan Uap Bar (55°C)	Tekanan Uap Bar (-25°C)	Enthalpi KJ/kg
CFC-12	- 29,8	13,7	1,24	120,9
HFC-134a	- 26,2	14,8	1,06	153
HCFC22	- 40,7	-	-	159,8
HC-600	- 0,5	5,6	0,36	306
HC-600a	- 11,7	7,8	0,59	209,6
HC-290	- 42,1	19,1	2,0	290

2.3.2 Refrigerant 410a

R-410a adalah salah satu dari keluarga HFC (*hidrofluorokarbon*) yang merupakan campuran *Azeotropik* dari HFC-32 dan HFC-125. *Refrigerant* Ini telah dikembangkan untuk jangka panjang pengganti R-22 di berbagai peralatan pendingin udara dan pendingin ruangan. R-22 adalah HCFC atau (*hydrochlorofluorocarbon*) yang berarti mengandung klorin, unsur yang merusak lapisan ozon, sedangkan R-410a tidak mengandung klorin sama sekali, potensi penipisan ozon (ODP) adalah nol. (Frank Prah, 2001)

Tabel 2.2. Perbandingan Jenis *Refrigerant*

Jenis Freon	ODP	GWP	Cooling Index	Flammability
R22	0.05	1810	100	Tidak
R410A	0	2090	92	Tidak
R32	0	675	160	Rendah

Catatan istilah :

- a. ODP adalah *Ozone Depletion Potential* alias Potensi Perusakan Ozon
- b. GWP adalah *Global Warming Potential* alias Potensi Pemanasan Global
- c. *Cooling Index* adalah angka index pendinginan
- d. *Flammability* adalah Tingkat mudah terbakar.

2.4. Mekanisme Perpindahan Panas

Mekanisme Perpindahan Panas dibagi menjadi tiga , yaitu :

1. Perpindahan Panas Konduksi
2. Perpindahan Panas Radiasi
3. Perpindahan Panas Konveksi

2.4.1 Perpindahan Panas Konduksi

Perpindahan panas konduksi pada bahan statis adalah proses perpindahan panas dalam benda padat atau statis cairan. Media pembawa transfer energi dapat berupa molekul, atom dan elektron. Yang terakhir adalah kuantum energi dari gelombang elastis, secara non logam dan logam padatan. Elektron mentransfer panas dalam logam, baik dalam keadaan padat maupun fluida. Dalam aliran panas konduksi, perpindahan energi terjadi karena hubungan molekul secara langsung tanpa adanya perpindahan molekul yang cukup besar. (Peter von Böckh, 2012).

2.4.2 Perpindahan Panas Radiasi

Perpindahan panas oleh radiasi termal dilakukan oleh gelombang elektromagnetik. Berlawanan dengan konduksi panas, di mana transfer dikelola oleh pergerakan molekul, atom atau elektron, yaitu media transfer diperlukan, radiasi tidak memerlukan media dan dengan demikian bahkan dapat terjadi dalam ruang hampa. Perpindahan panas oleh radiasi terjadi dalam ruang hampa udara, atau dalam bahan (gelas dan gas) yang memungkinkan transmisi gelombang elektromagnetik. Dalam kasus kedua radiasi berjalan bersama dengan konduksi dan kedua tingkat panas harus dihitung secara terpisah dan ditambahkan. Selanjutnya, gas yang terdiri dari

molekul dengan lebih dari dua atom dapat memancarkan atau menyerap gelombang elektromagnetik. (Peter von Böckh, 2012)

2.4.3 Perpindahan panas Konveksi

Perpindahan panas konveksi adalah proses perpindahan energi dengan kerja gabungan dari konduksi panas, penyimpanan energi dan gerakan mencampur. Konveksi sangat penting sebagai mekanisme perpindahan energi antara permukaan benda padat dan cairan atau gas. (Frank Kreith,dkk)

Berlawanan dengan konveksi paksa, dalam konveksi bebas aliran hanya dihasilkan oleh perbedaan suhu antara dinding dan cairan. Ketika fluida kontak dengan permukaan (dinding) yang memiliki temperatur berbeda dari fluida, perbedaan suhu akan berubah dalam fluida dan selanjutnya densitas fluida akan berubah. Disebabkan oleh gravitasi, lapisan fluida dengan suhu yang lebih tinggi naik, seperti suhu yang lebih rendah turun. Lapisan batas termal dan hidraulik dihasilkan oleh suhu dan perbedaan kepadatan berikutnya. (Peter von Böckh, 2012)

Perpindahan panas secara konveksi terjadi melalui 2 cara, yaitu:

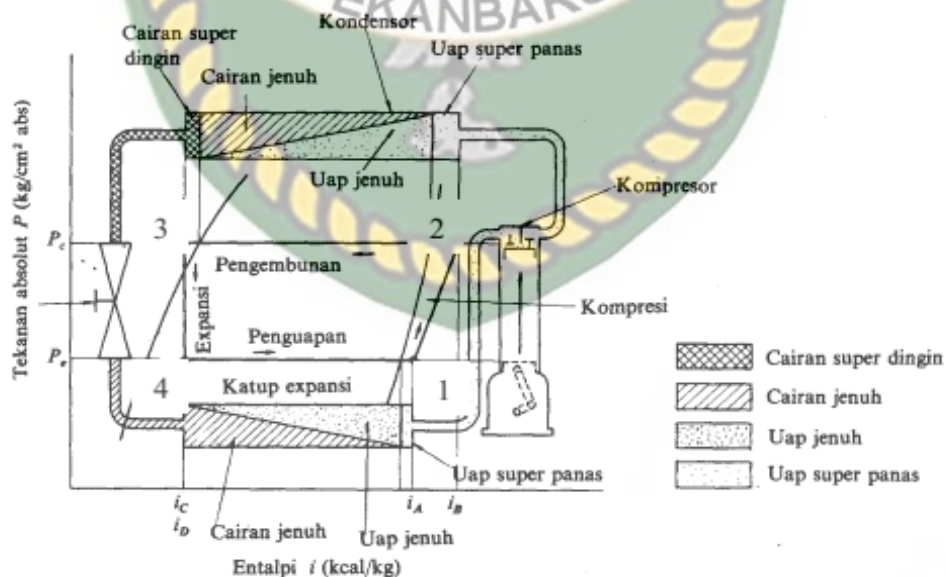
1. Konveksi bebas/konveksi alamiah (*free convection/natural convection*) Adalah perpindahan panas yang disebabkan oleh beda suhu dan beda rapat saja dan tidak ada tenaga dari luar yang

mendorongnya. Contoh: plat panas dibiarkan berada di udara sekitar tanpa ada sumber gerakan dari luar.

2. Konveksi paksaan (*forced convection*) Adalah perpindahan panas yang aliran panas yang aliran gas atau cairannya disebabkan adanya tenaga dari luar. Contoh: plat panas dihembus udara dengan kipas/blower.

2.5 Siklus Ideal Refrigerasi Kompresi Uap

Komponen utama dari sebuah siklus kompresi uap adalah kompresor, kondensor, katup ekspansi dan evaporator. Komponen utama siklus refrigerasi akan dapat diilustrasikan dengan mudah melalui diagram moller secara sekematis pada gambar 2.5 di bawah ini : (Heroe Poernomo, 2015)

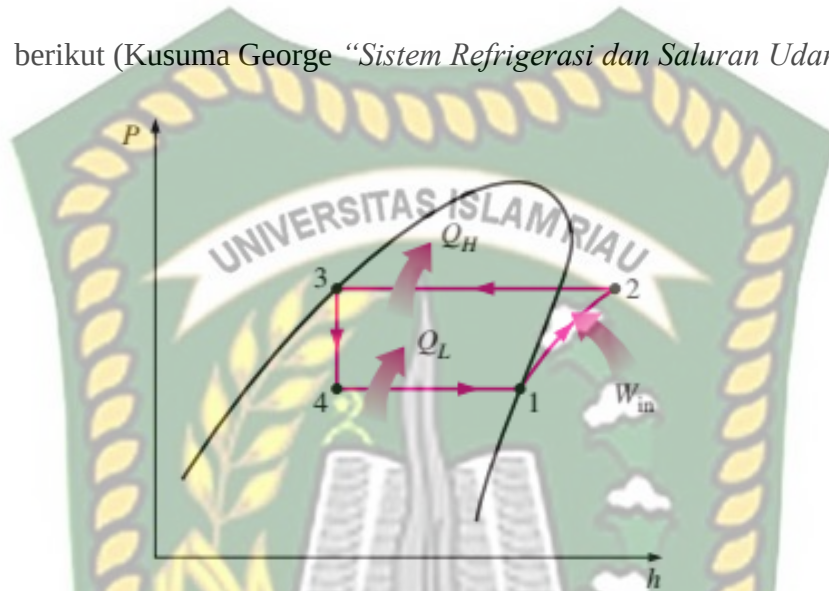


Gambar 2.5 Diagram Mollier dan siklus refrigerasi

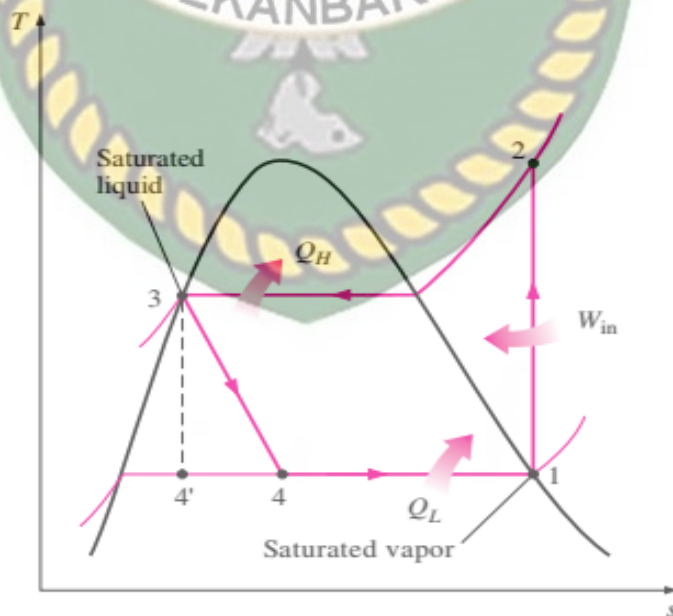
(Sumber : Marwan Effendy, 2005)

2.5.1 Tahapan Siklus Kompresi Uap

Proses thermodinamika pada Siklus Ideal *Refrigerant* Kompresi Uap yang terjadi pada komponen penyusun sebuah sistem refrigerasi sebagai berikut (Kusuma George “*Sistem Refrigerasi dan Saluran Udara*”):



Gambar 2.6: Diagram P-h siklus kompresi uap
(Sumber : Yunus A. Cangel)



Gambar 2.7: Diagram T-S siklus kompresi uap
(Sumber : Yunus A. Cangel)

- 1 – 2 Kompresi *isentropic* pada unit compressor

Siklus kompresi uap standar membentuk beberapa proses diantaranya : Proses 1-2, Apabila perubahan energi kinetik dan energi potensial diabaikan, maka kerja kompresor adalah:

- 2 - 3 Pembuangan panas pada tekanan konstan (*isobaric*) pada kondensor

Proses 2-3 adalah proses pelepasan kalor reversibel pada tekanan konstan, menyebabkan penurunan panas lanjut (*desuperheating*) dan pengembunan *refrigerant*. Kapasitas laju aliran kalor kondensasi.

- 3 – 4 Penurunan tekanan pada katup ekspansi proses ini terjadi secara *Isentalpic*

Proses 3-4 ialah proses ekspansi tidak Reversibel pada entalpi konstan, dari cairan jenuh menuju tekanan evaporator. Proses pengecilan (*throttling process*) pada sistem pendingin terjadi di dalam pipa kapiler atau katup ekspansi. Proses di sini berlangsung pada proses adiabatik, sehingga.

- 4 – 1 Penyerapan panas pada tekanan konstan pada evaporator

Proses 4-1 merupakan penambahan kalor reversibel pada tekanan konstan. Kapasitas laju penyerapan kalor yang masuk saat sistem melewati evaporator dirumuskan.

2.5.2 Rumus-rumus Perhitungan Unjuk Kerja Mesin Pendingin

Dalam analisa unjuk kerja system pendingin di butuhkan rumusan untuk menghitung besar kerja kompresor, besar kalor yang dibuang kondensor, besar kalor yang diserap evaporator, *Coefficient of Performance* aktual (COP_{aktual}), *Coefficient of Performance* ideal (COP_{ideal}), dan efisiensi.

1. Besar kerja kompresi (w_{in})

Kerja kompresor per satuan massa *refrigerant* dapat dihitung menggunakan persamaan 2.1 berikut.

$$w_{in} = h_2 - h_1 \dots\dots\dots \text{Pers. 2.1}$$

(Sumber : Amrullah.dkk, 2017)

Dimana :

h_2 = Entalpi masuk kondensor [kJ/kg]

h_1 = Entalpi keluar evaporator [kJ/kg]

2. Qalor yang dilepas di kondensor (q_c)

Qalor yang dilepas kondensor per satuan massa *refrigerant* dapat dihitung menggunakan persamaan 2.2 berikut.

$$q_c = h_2 - h_3 \dots\dots\dots \text{Pers. 2.2}$$

(Sumber : Amrullah.dkk, 2017)

Dimana :

h_2 = Entalpi masuk kondensor [kJ/kg]

h_3 = Entalpi keluar kondensor [kJ/kg]

3. Qalor yang diterima di evaporator (q_e)

Qalor yang diterima evaporator per satuan massa *refrigerant* dapat dihitung menggunakan persamaan 2.3 berikut.

$$q_e = h_1 - h_4 \dots\dots\dots \text{Pers. 2.3}$$

(Sumber : Amrullah.dkk, 2017)

Dimana :

h_1 = Entalpi keluar evaporator [kJ/kg]

h_4 = Entalpi masuk evaporator [kJ/kg]

4. Coefficient of Performance (COP_{aktual})

Pada unit evaporator dan kondensor tidak terdapat kerja yang dibutuhkan maupun yang dihasilkan karena hanya ada proses penyerapan dan pembuangan panas, kerja yang dibutuhkan hanya

ada pada unit kompresor, sehingga COP_{aktual} dari mesin refrigerasi siklus ideal kompresi uap adalah:

$$COP_{aktual} = \frac{q_e}{w_{in}} = \frac{h_1 - h_4}{h_2 - h_1} \dots\dots\dots \text{Pers. 2.4}$$

(Sumber : Amrullah.dkk, 2017)

Dimana:

q_e = Qalor yang dilepas di kondensor [kJ/kg]

w_{in} = Besar kerja kompresi [kJ/kg]

Istilah prestasi di dalam siklus refrigerasi disebut dengan *Coefficient of Performance* atau (COP). Sedangkan istilah COP itu sendiri adalah rasio pemanasan atau pendinginan yang disediakan untuk kebutuhan kerja. COP_{aktual} berbanding terbalik dengan biaya operasional, apabila COP_{aktual} lebih tinggi maka biaya operasional yang dikeluarkan akan menjadi lebih rendah.

Karena kerja kompresor dalam sistem refrigerasi sangat tergantung dari nilai COP tersebut, sedangkan kompresor dalam sistem refrigerasi merupakan jantung dari sistem tersebut, jika nilai COP dari suatu sistem refrigerasi sangat tinggi maka sistem tersebut tidak bekerja dengan baik atau tidak sesuai dengan kerja

ideal, namun apa bila nilai COP yang kecil berarti kompresor bekerja pada kondisi yang ideal. (Lucki Setyawan, 2014)

5. *Coefficient of Performance* (COP_{ideal})

Sedangkan COP_{ideal} merupakan besarnya koefisien yang menyatakan *performance* dalam posisi ideal pada siklus kompresi uap dapat dihitung dengan persamaan di bawah.

$$COP_{ideal} = \frac{T_e}{T_c - T_e} \dots\dots\dots \text{Pers. 2.5}$$

(Sumber : Amrullah.dkk, 2017)

Dimana:

T_e = Temperatur evaporator [$^{\circ}\text{K}$]

T_c = Temperatur kondensor [$^{\circ}\text{K}$]

6. *Efisiensi mesin AC split 1 pk* (η)

Besarnya *efisiensi* mesin AC split 1 pk dapat dihitung menggunakan persamaan di bawah.

$$\eta = \frac{COP_{aktual}}{COP_{ideal}} \times 100 \% \dots\dots\dots \text{Pers. 2.6}$$

(Sumber : Amrullah.dkk, 2017)

7. Laju aliran massa *refrigerant* ($\dot{m}$)

Besarnya laju aliran massa *refrigerant* dapat dihitung dengan menggunakan persamaan di bawah.

$$\dot{m} = \frac{(VI)/1000}{w_{in}} = \frac{P}{w_{in}} \dots\dots\dots \text{Pers. 2.7}$$

(Sumber : Andreas, 2015)

Dimana:

V = Voltase kompressor [v]

I = Arus kompressor [Amper]

P = Daya kompressor [kJ/s]

8. Kerja kompresi persatuan waktu (P)

Untuk kerja kompresi per satuan waktu refrigerasi (P) yaitu daya untuk setiap kilowatt refrigerasi merupakan kebalikan dari koefisien prestasi dan dapat dihitung sebagai berikut :

$$P = \dot{m} (h_2 - h_1) = \dot{m} \cdot w_{in} \dots\dots\dots \text{Pers. 2.8}$$

(Sumber : Andreas, 2015)

Dimana :

h_1 = Entalpi keluar evaporator [kJ/kg]

h_2 = Entalpi masuk evaporator [kJ/kg]

$\dot{m}$ = Laju aliran massa *refrigerant* [kg/s]

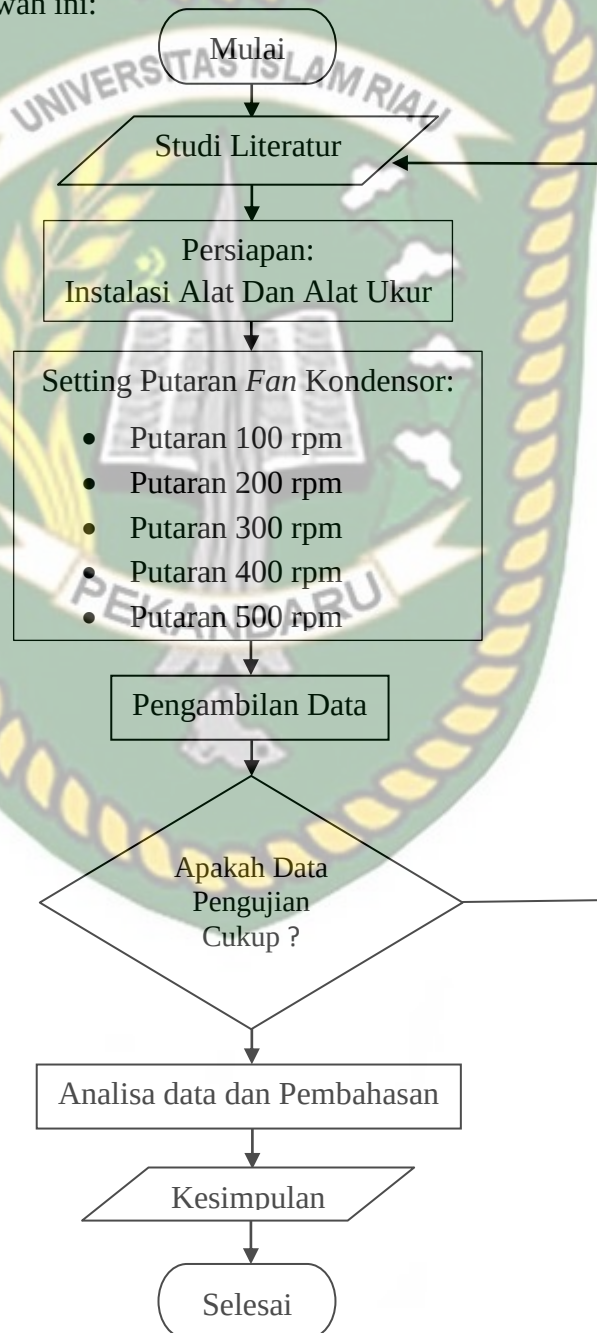
w_{in} = Besar kerja kompresi [kJ/kg]

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Diagram Alir

Untuk mempermudah Penelitian ini maka digunakan diagram alir yang tertera dibawah ini:



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

3.2 Studi Literatur

Tahap studi literatur yaitu studi untuk mengumpulkan bahan-bahan referensi yang diperlukan dan berhubungan dengan masalah-masalah yang akan dibahas. Studi ini dilakukan dengan mempelajari dan mengkaji penelitian-penelitian sebelumnya yang berhubungan dengan sistem pendingin. Studi literature bias didapat dari berbagai sumber, jurnal, buku, dan skripsi. Studi literatur berguna sebagai dasar dalam pembahasan masalah sebagai acuan untuk ketahap penelitian selanjutnya.

3.3 Waktu Dan Tempat Penelitian

Penelitian ini bertempat di *Workshop*, Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Islam Riau (UIR) yang beralamat di Jl.Kaharuddin Nasution No.133, Marpoyan, Pekanbaru.



Gambar 3.2 *Workshop* Teknik mesin

(Sumber : Universitas Islam Riau *Workshop* Teknik Mesin)

3.4 Tahapan Penelitian

Penelitian ini terdiri dari dua tahap, yaitu:

1. Tahapan pra-penelitian

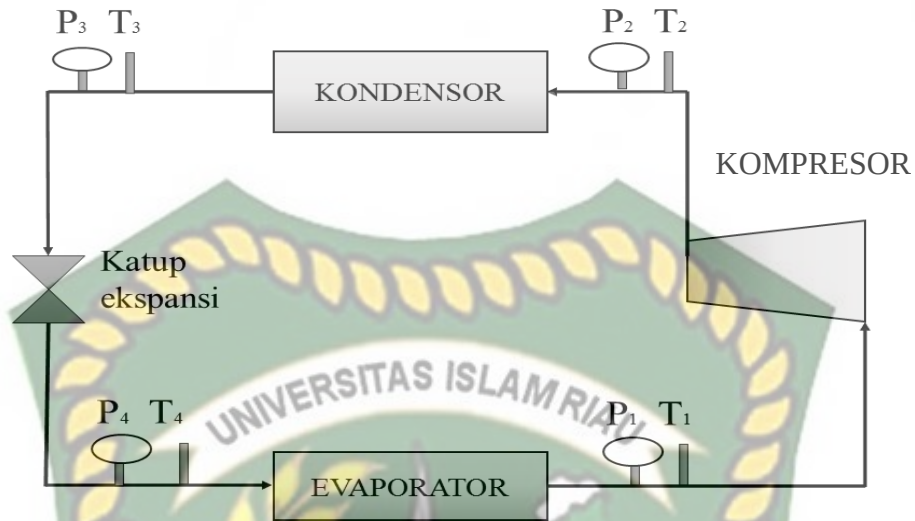
Tahapan ini merupakan tahap awal dimana penelitian melakukan studi literatur yang berhubungan dengan judul dan tujuan yang ingin dicapai dari penelitian. Tahapan ini dilakukan secara terus menerus untuk mendapatkan data dan hasil yang maksimal sampai penelitian berakhir.

2. Tahapan penelitian

Pada tahap ini melakukan kegiatan inti yaitu eksperimen meliputi pengujian unjuk kerja system pendingin (*Air Conditioner*) dengan memvariasikan putaran kipas kondensor.

3.5 Mesin Pendingin Yang Digunakan

Adapun mesin pendingin yang digunakan pada penelitian ini yaitu AC (*Air Conditioner*) split dengan daya 1 PK dimana komponen utama alat pengujian dan alat ukur yang dipasang sesuai dengan diagram instalasi yang terlihat pada gambar 3.3 dibawah ini.



Gambar 3.3 Skema Alat Uji Sistem Pendingin

Tekanan dan temperature masuk kompresor (P_1 T_1), Tekanan dan temperature masuk kondensor (P_2 T_2), Tekanan dan temperature keluar kondensor (P_3 T_3), Tekanan dan temperature masuk evaporator (P_4 T_4).

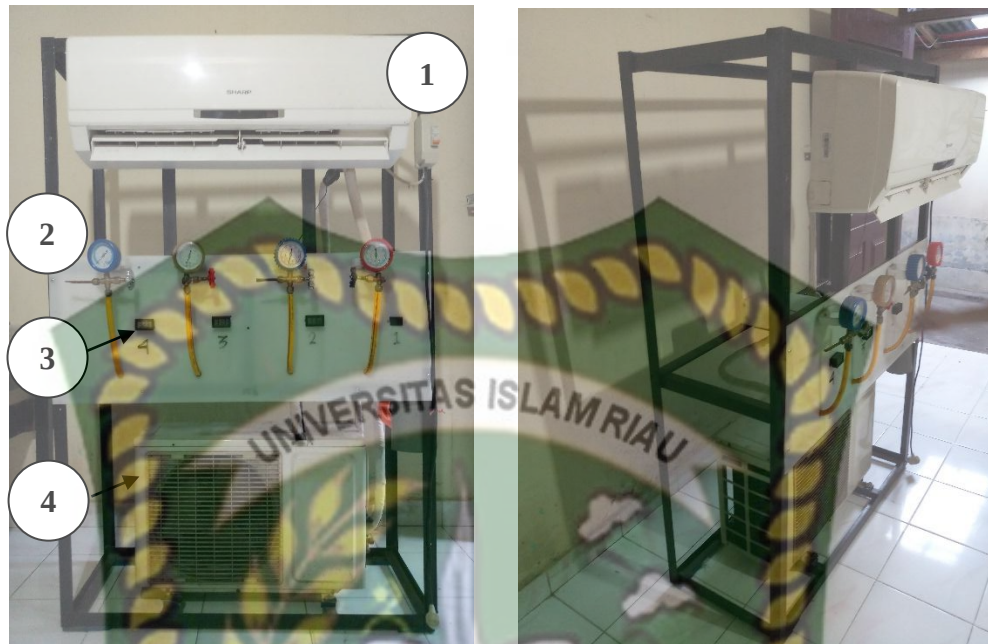
3.6 Alat dan Bahan Pengujian

3.6.1 Alat Pengujian

Adapun alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah peralatan dari mesin pendingin dengan pendingin udara. yaitu sebagai berikut :

1. Air Conditioner (AC)

Air Conditioner (AC) yang digunakan jenis Split dengan motor penggerak kompresor daya 1 PK, berfungsi untuk mengkondisikan suhu dan kelembapan udara ruang.



Gambar 3.4 Alat Uji Mesin Pendingin (AC) 1 pk

Ketrangan :

1. Evaporator
2. *Pressure Gauge*
3. Termometer digital
4. Rumah Kondensor

2. Kipas Udara Pendingin Kondensor

Kipas yang digunakan berpenggerak motor listrik 1 fasa dengan putaran maksimal 950 rpm. Berfungsi sebagai sirkulasi udara pada kondensor untuk menurunkan temperatur *refrigerant* yang terjadi secara konveksi paksa, Seperti pada gambar 3.5 berikut.



Gambar 3.5 Kipas Pendingin Kondensor

3. Termometer digital

Untuk mengukur temperatur yang akan diteliti seperti temperature kompresor, temperature kondensor, temperature evaporator, digunakan termometer digital dengan kapasitas pengukuran maksima $-50 \sim +100$ °C. Termometer digital dapat dilihat pada Gambar 3.6 berikut.



Gambar 3.6 Termometer digital

4. *Pressure Gauge*

Pressure gauge adalah sebuah alat pengukur yang berfungsi untuk mengukur sebuah tekanan fluida yang bisa

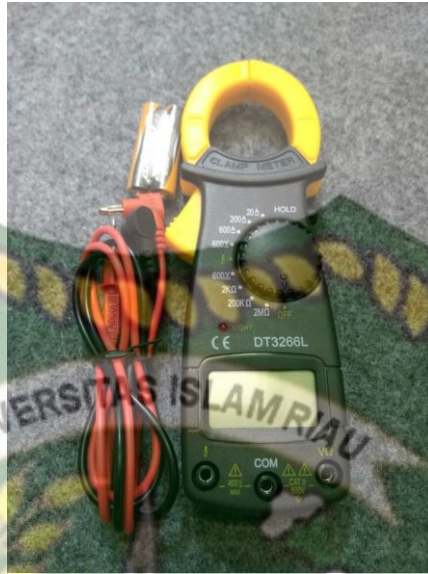
berupa gas atau cair, dalam sebuah tabung tertutup. Untuk satuan pengukurannya sendiri dikenal dengan istilah psi atau *pound per square inch*, ada juga psf atau *pound per square foot*, hingga atm atau *atmosphere*. Seperti pada gambar 3.7 berikut.



Gambar 3.7 Pressure Gauge

5. Tang Ampere

Tang Ampere adalah alat ukur yang digunakan untuk mengukur arus listrik pada sebuah kabel konduktor yang dialiri arus listrik dengan menggunakan dua rahang penjepitnya (*Clamp*) tanpa harus memiliki kontak langsung dengan terminal listriknya. Tang ampere yang digunakan yaitu dengan tipe DT-3266L. Tang ampere dapat dilihat pada gambar 3.8 berikut.



Gambar 3.8 Tang Ampere

6. *Tachometer*

Tachometer berfungsi untuk menghitung putaran yang terjadi pada kipas kondensor. *Tachometer* yang digunakan yaitu *tachometer* digital dengan tipe DT-2234B, mampu mengukur putaran 0,1–5 rpm sampai 999.9 rpm dan 1-1000 rpm sampai 99,999 rpm, *Tachometer* ini juga dilengkapi *memory* untuk menyimpan data hasil setelah pengukuran. *Tachometer* dapat dilihat pada gambar 3.9 berikut.



Gambar 3.9 Tachometer

7. Stop Watch

Digunakan untuk mendapatkan batasan waktu dalam pengambilan data pada tiap menit maupun jam nya. *Stopwatch* dapat dilihat pada Gambar 3.10



Gambar 3.10 Stop Watch

3.6.2. Bahan Pengujian

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah R-410a merupakan *refrigerant* dari keluarga HFC (*hidrofluorokarbon*) yang merupakan campuran *Azeotropik* dari HFC-32 dan HFC-125. sedangkan R-410a tidak mengandung klorin sama sekali, potensi penipisan ozon (ODP) adalah nol.

3.7 Prosedur Pengujian

Prosedur pengujian ini sebelumnya telah dilakukan oleh Heroe Poernomo dengan menggunakan R-22 dan variasi putaran kipas kondensor (50, 100, 150, 200 dan 250) rpm. Sedangkan penulis melakukan dengan prosedur yang tidak jauh berbeda dengan memakai R-410a dan variasi putaran kipas kondensor (100, 200, 300, 400 dan 500) rpm dengan interval 25 menit yang menggunakan alat pendingin *Air Conditioner* (AC) split 1 PK. Data hasil pencatatan berupa nilai tekanan dan temperatur selanjutnya diplot pada diagram P-h dan T-S untuk *refrigerant* 410a.

Dari pembacaan diagram P-h untuk *refrigerant* 410a diketahui besarnya harga entalpi pada setiap titik yaitu , h_1 , h_2 , h_3 , h_4 (kJ/kg). Harga enthalpi ini selanjutnya digunakan sebagai dasar untuk menghitung efek *refrigerasi*, kerja kompresi, dan koefisien prestasi dengan memanfaatkan persamaan (1) sampai (4).

Prosedur pengujian dilakukan berdasarkan tahapan-tahapan yang di tentukan sebagai berikut:

1. Sebelum memasukan *refrigerant* kedalam sistem pendingin, memeriksa semua instalasi kebocoran sambungan pipa dan sambungan alat ukur pada sistem pendingin dengan menggunakan busa sabun.
2. Mempersiapkan *fluida* kerja mesin pendingin dengan *refrigerant* R-410A.
3. Hidupkan alat uji mesin pendingin, dan menyambungkan ke arus listrik PLN dengan daya 220 -240 volt.
4. Masukan satu jenis *refrigerant* kedalam mesin pendingin secara bertahap sampai ukuran *volume refrigerant* yang maksimal sesuai dengan spesifikasi alat uji.
5. Setelah pengisian selesai dilakukan, lepaskan sambungan selang pengisi *refrigerant* pada mesin pendingin.
6. Mengatur putaran kipas kondensor yang akan digunakan dengan kecepatan yang telah di tentukan.
7. Kemudian siapkan jam/*stop watch* untuk menentukan lama pengujian dan batasan waktu dalam pengambilan data.
8. Catat nilai temperatur dan tekanan awal yang terdapat pada bagian-bagian mesin pendingin sesuai dengan data yang dibutuhkan
9. Setelah selesai melakukan pengujian dengan kecepatan putaran petama, biarkan mesin pendingin yang menyambung dengan arus pln.

10. Atur putaran kipas kondensor pada sistem pendingin untuk mengganti dengan kecepatan putaran yang selanjutnya akan diuji.

3.8 Metode Pengumpulan Data

Data yang dipergunakan dalam pengujian ini merupakan data yang diperoleh langsung dari pengukuran dan pembacaan pada alat ukur temperatur dan tekanan pengujian.

3.9 Analisa Data

Setelah dilakukan tahapan-tahapan penelitian diatas, maka didapat beberapa parameter hasil pengujian mesin pendingin diantaranya:

1. T_1 = Temperatur keluar *evaporator* [$^{\circ}\text{C}$]
2. T_2 = Temperatur masuk kondensor [$^{\circ}\text{C}$]
3. T_3 = Temperatur keluar kondensor [$^{\circ}\text{C}$]
4. T_4 = Temperatur masuk *evaporator* [$^{\circ}\text{C}$]
5. P_1 = Tekanan keluar *evaporato* [kPa]
6. P_2 = Tekanan masuk kondensor [kPa]
7. P_3 = Tekanan keluar kondensor [kPa]
8. P_4 = Tekanan masuk *evaporator* [kPa]

Dari semua parameter yang didapat hasil pengujian langkah selanjutnya adalah melakukan perhitungan dengan mensubtitusikan parameter tersebut kedalam persamaan, yang termasuk rumus perhitungan unjuk kerja mesin pendingin adalah sebagai berikut :

1. Kerja kompresi

Dimana kerja kompresor adalah harga entalpi setelah keluar kompresor dikurang harga entalpi sebelum masuk kompresor di kalikan dengan Laju aliran massa *refrigerant*. Sedangkan harga entalpi didapat dari data temperatur dan tekanan sebelum dan sesudah masuk kompresor menggunakan (*R-410a Property Table*).

$$W_k = (h_2 - h_1)$$

2. Kalor yang dibuang

Nilai dari kalor yang dibuang sama dengan harga entalpi sebelum masuk kondensor dikurang harga entalpi setelah keluar kondensor di kalikan dengan Laju aliran massa *refrigerant*.

$$q_k = (h_2 - h_3)$$

3. Kalor yang diterima

Dimana nilai dari kalor yang diterima sama dengan harga entalpi setelah keluar evaporator dikurang entalpi sebelum masuk evaporator di kalikan dengan Laju aliran massa *refrigerant*.

$$q_e = (h_1 - h_4)$$

4. *Coefficient Of Performance (COP)*

Coefficient Of Performance adalah rasio pemanasan atau pendinginan yang disediakan untuk kebutuhan kerja. COP berbanding terbalik dengan biaya operasional, apabila COP lebih tinggi maka biaya operasional yang dikeluarkan akan menjadi lebih rendah.

$$COP_{aktual} = \frac{q_e}{W_k} = \frac{h_1 - h_4}{h_2 - h_1} \quad \text{dan} \quad COP_{ideal} = \frac{T_e}{T_c - T_e}$$

5. Efisiensi mesin AC split 1 pk (η)

Besarnya efisiensi mesin AC split 1 pk dapat dihitung menggunakan persamaan di bawah.

$$\eta = \frac{COP_{aktual}}{COP_{ideal}} \times 100 \%$$

3.10 Jadwal kegiatan Penelitian

Agar penelitian tentang unjuk kerja system pendingin yang memvariasikan putaran kipas kondensor ini dapat berjalan optimal sesuai dengan waktu yang ditentukan maka perlu dibuat jadwal penelitian seperti yang terlihat pada Tabel 3.1 dibawah ini.

Tabel 3.1 Jadwal Kegiatan Penelitian

No	Jenis Kegiatan	Bulan									
		2	3	4	5	6	7	8	9	10	
1	Pembuatan Proposal										
2	Studi Literatur										
3	Persiapan alat dan bahan										
4	Seminar Proposal										
5	Pengujian dan pengumpulan data										
6	Analisa data										
7	Seminar hasil										



Dokumen ini adalah Arsip Miik :

Perpustakaan Universitas Islam Riau

BAB IV

ANALISA DAN PEMBAHASAN

4.1 Data Hasil Percobaan

Pengujian kinerja AC split 1 pk menggunakan *refrigeran* R-410a ini dibagi menjadi beberapa variasi putaran kipas kondensor yaitu putaran 100 rpm, 200 rpm, 300 rpm, 400 rpm dan 500 rpm dengan pembebanan pada remot kontrol yang ditentukan pada suhu evaporator 16 °C kondisi *high cool*. Data pengujian bisa dilihat pada tabel 4.1 dan tabel 4.2 sesuai dengan skema alat uji berikut.

Tabel 4.1. Data pengujian arus listrik kompresor

No.	Putaran Kipas Kondensor (Rpm)	Tegangan (V) (Volt)	Arus (I) (Amper)
1	100	220	3,96
2	200	220	3,93
3	300	220	3,89
4	400	220	3,84
5	500	220	3,80

Tabel 4.2 Data hasil pengujian tekanan dan temperatur

Putaran rpm	Tekanan Psi					Temperatur °C				
	t	15 mnit	20 mnit	25 mnit	Rata- rata	t	15 mnit	20 mnit	25 mnit	Rata- rata
100	P_1	19	16	15	16,66	T_1	25,2	25,4	25,0	52,2
	P_2	307	305.5	304	305,46	T_2	62,9	62,6	62,4	62,63
	P_3	295	300	290	295	T_3	59,5	60,2	58,9	59,53
	P_4	25	25	25	25	T_4	-9,6	-9,4	-9,5	-9,5
200	P_1	14	16	16	15,33	T_1	23,8	23,8	23,9	23,83
	P_2	275	295	304	291,33	T_2	59,8	61,3	60,2	60,43
	P_3	270	273	273	272	T_3	55,7	57,4	56,6	56,57
	P_4	24	25	25	24,67	T_4	-11,2	-10,7	-10,4	-10,77
300	P_1	15	15	15	15	T_1	23,1	22,9	22,7	22,9
	P_2	273	270	260	267,67	T_2	57,8	58,1	57,9	57,92
	P_3	262	259	255	258,67	T_3	53,9	54,2	54,7	54,27
	P_4	23	22	20	21,67	T_4	-12,2	-11,8	-11,6	-11,87
400	P_1	12	12	12	12	T_1	21,5	21,5	21,4	21,47
	P_2	230	236	235	233,67	T_2	54,1	54,3	53,7	54,02
	P_3	216	219	220	218,33	T_3	50,1	50,2	49,8	50,03
	P_4	19	18	19	18,67	T_4	-13,2	-13,4	-12,9	-13,16
500	P_1	11	12	11	11,33	T_1	20,9	20,9	20,6	20,8
	P_2	226	225	225	225,33	T_2	51,2	50,8	50,7	50,86
	P_3	216	215	216	215,67	T_3	45,2	45,0	44,9	45,03
	P_4	19	19	18	18,67	T_4	-13,3	-13,9	-13,9	-13,69

4.2 Perhitungan dan Analisa Data

4.2.1 Perhitungan Data *Enthalpy*

Sebelum langkah perhitungan kinerja Ac split 1 PK yang meliputi, daya kompresor, kapasitas evaporator, kapasitas kompresor, kerja kompresi, efek refrigerasi, dan koefisien prestasi (COP) harus ditentukan dahulu nilai *enthalpy* di setiap kondisi. Dibawah ini adalah contoh perhitungan data dari alat uji sistem pendingin yang menggunakan refrigeran R-410a pada putaran kipas kondensor 100 rpm, suhu evaporator 16 °C pada posisi *high cool* dan data yang dihitung dapat diketahui dari Tabel hasil pengujian. Maka di contohkan perhitungannya sebagai berikut

Keterangan: Nilai dari *entalpi* dilihat berdasarkan *Property Table* pada lampiran untuk jenis *refrigerant* R410a.

- **State 1 Sat. Vapor.** $T_1 = 25,2 \text{ }^{\circ}\text{C}$

Interpolasi :

$$h_i = h_{batas\ atas} + \left\{ \left(\frac{T_i - T_{b.atas}}{T_{b.bawah} - T_{b.atas}} \right) \cdot (h_{b.bawah} - h_{b.atas}) \right\}$$

$$\begin{aligned} h_1 &= 427,3 + \left\{ \left(\frac{25,2 - 25}{26 - 25} \right) \cdot (427,4 - 417,3) \right\} \\ &= 427,32 \text{ kJ/kg} \end{aligned}$$

- **State 2 Super. Vapor** $P_2 = 305,46 \text{ Psi, atau } = 2106,073 \text{ kPa.}$

Interpolasi:

$$\begin{aligned} h_2 &= 468,12 + \left\{ \left(\frac{2106,073 - 2000}{2200 - 2000} \right) \cdot (464,68 - 468,12) \right\} \\ &= 466,29 \text{ kJ/kg} \end{aligned}$$

- **State 3 Sat. Liquid** $T_3 = 59,53 \text{ }^{\circ}\text{C}$

Interpolasi:

$$\begin{aligned}
 h_3 &= 307,7 + \left\{ \left(\frac{59,53 - 59}{60 - 59} \right) \cdot (310,34 - 307,7) \right\} \\
 &= 309,078 \text{ kJ/kg}
 \end{aligned}$$

- **State 4.** $h_4 = h_3 = 309,078 \text{ kJ/kg}$

Tabel 4,3 Data putaran kipas kondensor dan *enthalpy*

No.	Putaran Kipas Kondensor (rpm)	R-410a			
		<i>Enthalpy</i> (kJ/kg)			
		h_1	h_2	h_3	h_4
1	100	427,32	466,29	309,078	309,078
2	200	427,28	465,36	301,668	301,668
3	300	427,19	465,12	296,22	296,22
4	400	426,99	464,59	286,96	286,96
5	500	426,88	462,00	276,76	276,76

4.2.2 Perhitungan Unjuk Kerja Sistem Pendingin

Dari perhitungan *enthalpy* pada setiap kondisi putaran kipas kondensor dan suhu pembebanan evaporator $16 \text{ }^{\circ}\text{C}$ pada kondisi *high cool* untuk R410a, selanjutnya dapat dihitung parameter-parameter yang meliputi :

1. Perhitungan kalor yang diserap Evaporator (q_e)

Jumlah kalor yang diserap dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan (2.4) yaitu $q_e = h_1 - h_4$, kJ/kg. Sebagai contoh perhitungan q_e didapat berdasarkan tabel 4.3 dengan mengambil nilai h_1 dan h_4 pada putaran kipas kondensor 100 rpm.

$$\begin{aligned}
 q_e &= h_1 - h_4, (\text{kJ/kg}) \\
 &= 427,32 - 309,078 \\
 &= 118,242 (\text{kJ/kg})
 \end{aligned}$$

Selanjutnya untuk data variasi putaran kipas kondensor dan hasil perhitungan kalor yang di serap evaporator dengan pembebanan pada suhu evaporator 16 °C pada posisi *high cool* dapat dilihat pada Tabel 4.4 berikut.

Table 4.4 Hasil Perhitungan kalor yang di serap evaporator

No.	Putaran kipas kondensor (rpm)	Enthalpy (kJ/kg)		q_e (kJ/kg)
		h_1	h_4	
1	100	427,32	309,078	118,242
2	200	427,28	301,668	125,612
3	300	427,19	296,22	130,97
4	400	426,99	286,96	140,03
5	500	426,88	276,76	150,12

2. Kerja kompresor persatuan massa *refrigerant*. (w_{in})

Kerja kompresor w_{in} dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan (2.1). Sebagai contoh perhitungan w_{in} didapat berdasarkan data pada tabel 4.3 dengan mengambil nilai h_1 dan h_2 pada putaran kipas kondensor 100 rpm.

$$\begin{aligned}
 w_{in} &= h_2 - h_1 \text{ (kJ/kg)} \\
 &= 466,29 - 427,32 \\
 &= 38,97 \text{ (kJ/kg)}
 \end{aligned}$$

Selanjutnya untuk data variasi putaran kipas kondensor dengan perhitungan kerja kompresor persatuan massa *refrigerant* pada suhu pembebanan evaporator 16 °C pada posisi *high cool* dapat dilihat pada Tabel 4.5 berikut.

Table 4.5 Hasil Perhitungan kerja kompresor

No.	Putaran kipas kondensor (rpm)	Enthalpy (kJ/kg)		W_{in} (kJ/kg)
		h_1	h_2	
1	100	427,32	466,29	38,97
2	200	427,28	465,36	38,08
3	300	427,19	465,12	37,93
4	400	426,99	464,59	37,6
5	500	426,88	462,00	35,12

3. Kalor persatuan massa *refrigerant* yang dilepas kondensor. (q_c)

Jumlah panas yang dilepas kondensor dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan (2.2). Sebagai contoh perhitungan q_c didapat berdasarkan data tabel 4.3 dengan mengambil nilai h_2 dan h_3 pada putaran kipas kondensor 100 rpm.

$$\begin{aligned}
 q_c &= h_2 - h_3, (\text{kJ/kg}) \\
 &= 466,29 - 309,078 \\
 &= 157,212 (\text{kJ/kg})
 \end{aligned}$$

Selanjutnya untuk data variasi putaran kipas kondensor dengan perhitungan kalor persatuan massa *refrigerant* yang dilepas kondensor pada suhu pembebanan evaporator 16 °C pada posisi *high cool* dapat dilihat pada Tabel 4.6 berikut.

Table 4.6 Hasil Perhitungan kalor yang dilepas kondensor

No.	Putaran kipas kondensor (rpm)	Enthalpy (kJ/kg)		q_c (kJ/kg)
		h_2	h_3	
1	100	466,29	309,078	157,212
2	200	465,36	301,668	163,692
3	300	465,12	296,22	168,9
4	400	464,59	286,96	177.63
5	500	462,00	276,76	185,24

4. Perhitungan koefisien prestasi aktual (COP_{aktual})

COP_{aktual} dipergunakan untuk menyatakan *performance* (unjuk kerja) dari mesin AC split 1 pk yang bekerja dengan siklus kompresi uap, dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan (2.5). Sebagai contoh perhitungan COP_{aktual} didapat dengan mengambil nilai data perhitungan q_e dan w_{in} pada putaran kipas kondensor 100 rpm.

$$\begin{aligned}
 COP_{aktual} &= \frac{q_e}{w_{in}} = \frac{h_1 - h_4}{h_2 - h_1} \\
 &= \frac{427,32 - 309,078}{466,29 - 427,32} \\
 &= 3,03418
 \end{aligned}$$

5. Perhitungan koefisien prestasi ideal (COP_{ideal})

Koefisien prestasi ideal (COP_{ideal}) dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan (2.6). Sebagai contoh perhitungan COP_{ideal} didapat dengan mengambil nilai temperatur kondensor (T_c) dan temperatur evaporator (T_e) pada tabel 4.1 dengan putaran kipas kondensor 100 rpm.

$$\begin{aligned}
 COP_{ideal} &= \frac{T_e}{T_c - T_e} \\
 &= \frac{(-9,5 + 273)}{(59,53 + 273) - (-9,5 + 273)} \\
 &= 3,817
 \end{aligned}$$

6. Efisiensi (η)

Efisiensi dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan (2.7). Sebagai contoh, perhitungan efisiensi didapat dengan mengambil nilai COP_{aktual} dan COP_{ideal} berdasarkan hasil perhitungan yang sebelumnya pada putaran kipas kondensor 100 rpm.

$$\begin{aligned}
 \eta &= \frac{COP_{aktual}}{COP_{ideal}} \times 100\% \\
 &= \frac{3,03418}{3,817} \times 100\% \\
 &= 79,49 \%
 \end{aligned}$$

Selanjutnya untuk data variasi putaran kipas kondensor dengan perhitungan koefisien prestasi actual, koefisien prestasi ideal dan efisiensi *general cycle refrigeration* pada suhu pembebanan evaporator 16 °C pada posisi *high cool* dapat dilihat pada Tabel 4.7 berikut.

7. Laju aliran massa *refrigerant* ($\dot{m}$)

Laju aliran massa *refrigerant* ($\dot{m}$) dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan (2.8). Sebagai contoh perhitungan ($\dot{m}$) didapat berdasarkan data pada tabel 4.1 dan tabel 4.5 dengan mengambil nilai arus (I) dan kerja kompresor (w_e) pada putaran kipas kondensor 100 rpm.

$$\begin{aligned}
 \dot{m} &= \frac{(V \cdot D)/1000}{w_{in}} \\
 &= \frac{(220 \cdot 3,96)/1000}{38,97} \\
 &= 0,0223 \text{ kg/s}
 \end{aligned}$$

Selanjutnya untuk data variasi putaran kipas kondensor dengan laju aliran massa *refrigerant* ($\dot{m}$) pada suhu pembebanan evaporator 16 °C pada posisi *high cool* dapat dilihat pada Tabel 4.8 berikut.

8. Kerja kompresi persatuan waktu (P)

Kerja kompresi persatuan waktu (P) dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan (2.9). Sebagai contoh perhitungan (P) didapat berdasarkan data pada tabel 4.8 dengan mengambil nilai ($\dot{m}$) dan kerja kompresor (w_{in}) pada putaran kipas kondensor 100 rpm.

$$\begin{aligned}
 P &= \dot{m} (h_2 - h_1) = \dot{m} \cdot w_{in} \\
 &= 0,0223 \times 38,97 \\
 &= 0,869 \text{ Kw}
 \end{aligned}$$

Selanjutnya untuk data variasi putaran kipas kondensor dengan kerja kompresi persatuan waktu (P) pada suhu pembebanan evaporator 16 °C pada posisi *high cool* dapat dilihat pada Tabel 4.8 berikut.

Table 4.7 Hasil perhitungan unjuk kerja sistem pendingin

No.	Putaran kipas kondensor (rpm)	q_c (kJ/kg)	q_e (kJ/kg)	W_{in} (kJ/kg)	(COP)		η (%)
					Actual	ideal	
1	100	157,212	118,242	38,97	3,03418	3,817	79,49
2	200	163,692	125,612	38,08	3,29863	3,894	84,71
3	300	168,9	130,97	37,93	3,45293	3,948	87,46
4	400	177,63	140,03	37,6	3,72420	4,112	90,56
5	500	185,24	150,12	35,12	4,27448	4,416	96,79

Table 4.8 Hasil perhitungan unjuk kerja sistem pendingin (lanjutan)

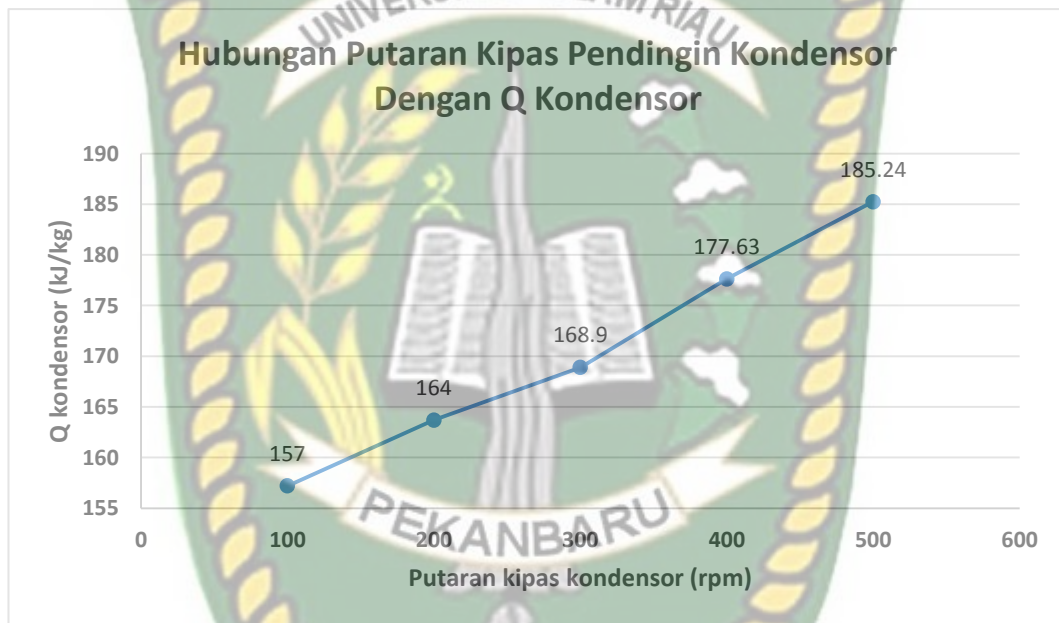
No.	Putaran kipas kondensor (rpm)	$\dot{m}$ (kg/s)	P (kW)
1	100	0,0223	0,869
2	200	0,0226	0,864
3	300	0,0224	0,857
4	400	0,0219	0,842
5	500	0,0238	0,836

4.3 Pembahasan

Hasil pengujian dan perhitungan yang didapat berdasarkan hasil penelitian dapat dianalisa dengan melihat tabel dan grafik yang sudah tertera diatas. Analisa tersebut dijelaskan dengan beberapa objek, seperti dibawah ini:

4.3.1 Grafik Pelepasan Kalor Kondensor Persatuan Massa *Refrigerant*

Berdasarkan data dan hasil perhitungan diatas, maka diperoleh perbandingan laju putaran kipas pendingin kondensor terhadap pelepasan kalor kondensor q_c (kJ/kg), dapat dilihat pada grafik dibawah ini:



Gambar 4.1 Grafik pengaruh laju putaran kipas pendingin kondensor terhadap pelepasan kalor kondensor.

Gambar 4.1 memperlihatkan besar nilai kalor persatuan massa refrigerant yang dilepas kondensor dari waktu ke waktu. Nilai kalor persatuan massa *refrigerant* terendah yang dilepas kondensor adalah 157,212 kJ/kg pada putaran kipas kondensor 100 rpm dan nilai kalor persatuan massa *refrigerant* tertinggi yang dilepas kondensor adalah sebesar 185,24 kJ/kg pada putaran kipas kondensor 500 rpm. Nilai kalor persatuan massa *refrigerant* yang dilepas kondensor berubah

pada setiap putaran. Hal ini sesuai dengan perubahan kecepatan udara yang melalui kondensor. Karena semakin besar putaran kipas pendingin kondensor, maka semakin besar pula kalor persatuan massa *refrigerant* yang dilepaskan kondensor.

4.3.2 Grafik Kerja Kompresor Persatuan Massa Refrigerant

Berdasarkan data dan hasil perhitungan diatas, maka diperoleh kerja kompresor W_{in} (kJ/kg), dapat dilihat pada grafik dibawah ini:



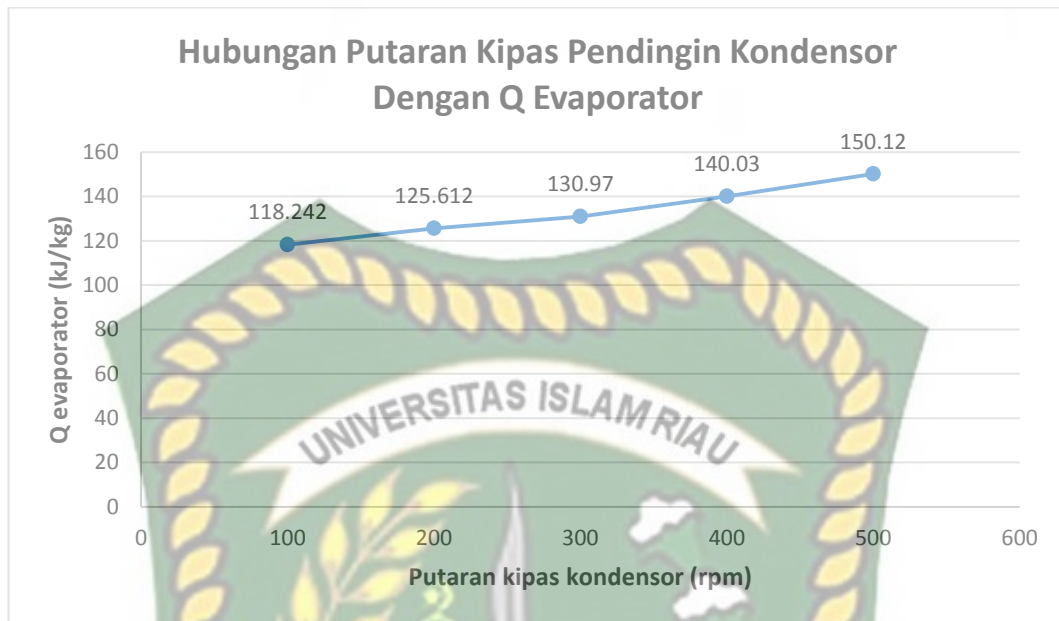
Gambar 4.2. Grafik pengaruh laju putaran kipas pendingin kondensor terhadap kerja kompresor.

Gambar 4.2 memperlihatkan besar nilai kerja kompresor persatuan massa *refrigerant* yang dihasilkan kompresor dari waktu ke waktu. Kerja kompresor persatuan massa *refrigerant* terendah yang dilepas kondensor adalah 35,12 kJ/kg pada putaran kipas kondensor

500 rpm dan kerja kompresor persatuan massa *refrigerant* tertinggi yang dilepas kondensor adalah sebesar 38,97 kJ/kg pada putaran kipas kondensor 100 rpm. Kerja kompresor persatuan massa *refrigerant* yang dihasilkan kompresor berubah pada setiap putaran. Hal ini sesuai dengan perubahan kecepatan udara yang melalui kondensor. Karena semakin besar putaran kipas pendingin kondensor, maka semakin kecil kerja kompresor persatuan massa *refrigerant* yang dihasilkan kompresor.

4.3.3 Grafik Penyerapan Kalor Evaporator Persatuan Massa *Refrigerant*

Berdasarkan data dan hasil perhitungan diatas, maka diperoleh perbandingan laju putaran kipas pendingin kondensor terhadap penyerapan kalor evaporator q_e (kJ/kg), dapat dilihat pada grafik dibawah ini:



Gambar 4.3 Grafik pengaruh laju putaran kipas pendingin kondensor terhadap kalor yang diserap evaporator.

Gambar 4.3 memperlihatkan besar nilai kalor persatuan massa *refrigerant* yang diserap evaporator dari waktu ke waktu. Nilai kalor persatuan massa *refrigerant* terendah yang diserap evaporator adalah 118,242 kJ/kg pada putaran kipas kondensor 100 rpm dan nilai kalor persatuan massa *refrigerant* tertinggi yang diserap evaporator adalah sebesar 150,15 kJ/kg pada putaran kipas kondensor 500 rpm. Nilai kalor persatuan massa *refrigerant* yang diserap evaporator berubah pada setiap putaran. Hal ini sesuai dengan perubahan kecepatan udara yang melalui kondensor. Karena semakin besar putaran kipas pendingin kondensor, maka semakin besar pula kalor persatuan massa *refrigerant* yang diserap evaporator.

4.3.4 Grafik Hubungan Putaran Kipas Kondensor dengan Koefisien Prestasi aktual (COP_{aktual})

Berdasarkan data dan hasil perhitungan diatas, maka didapatkan karakteristik dari Koefisien Prestasi aktual (COP_{aktual}) terhadap variasi putaran kipas kondensor, seperti grafik dibawah ini:



Gambar 4.4. Pengaruh variasi putaran kipas kondensor terhadap COP_{aktual}

Pada gambar 4.4 bahwa grafik memiliki tren yang relatif naik, dengan kenaikan putaran kipas pendingin di kondensor maka nilai koefisien prestasi (COP_{aktual}) juga mengalami `kenaikan. Nilai COP_{aktual} terendah adalah 3,03418 pada putaran kipas kondensor 100 rpm dan nilai COP_{aktual} tertinggi adalah sebesar 4,27448 pada putaran kipas kondensor 500 rpm. Dimana koefisien prestasi adalah bentuk penilaian dari suatu mesin refrigeransi. Dari grafik diatas dapat

disimpulkan bahwa dengan naiknya COP maka kerja dari sistem semakin baik, karena COP merupakan koefisien prestasi mesin pendingin.

4.3.5 Grafik Hubungan Putaran Kipas Kondensor dengan Koefisien Prestasi ideal (COP_{ideal})

Berdasarkan data dan hasil perhitungan diatas, maka didapatkan karakteristik dari Koefisien Prestasi ideal (COP_{ideal}) terhadap variasi putaran kipas kondensor, seperti grafik dibawah ini:



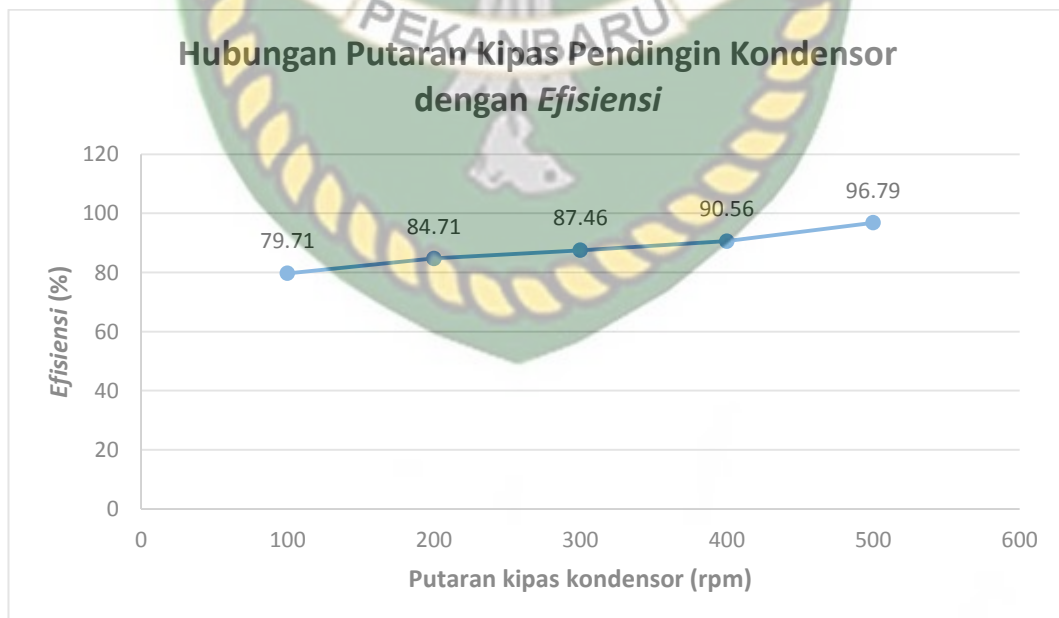
Gambar 4.5. Pengaruh variasi putaran kipas kondensor terhadap COP_{ideal}

Pada gambar 4.4 bahwa grafik memiliki tren yang relatif naik, dengan kenaikan putaran kipas pendingin di kondensor maka nilai koefisien prestasi ideal (COP_{ideal}) juga mengalami `kenaikan. Nilai

COP_{ideal} terendah adalah 3,817 pada putaran kipas kondensor 100 rpm dan nilai COP_{ideal} tertinggi adalah sebesar 4,416 pada putaran kipas kondensor 500 rpm. Dimana koefisien prestasi adalah bentuk penilaian dari suatu mesin refrigeransi. Dari grafik diatas dapat disimpulkan bahwa dengan naiknya COP maka kerja dari sistem semakin baik, karena COP merupakan koefisien prestasi mesin pendingin

4.3.6 Grafik Hubungan Putaran Kipas Kondensor dengan Efisiensi

Berdasarkan data dan hasil perhitungan diatas, maka didapatkan karakteristik dari Efisiensi (η) terhadap variasi putaran kipas kondensor, seperti grafik dibawah ini:



Gambar 4.6. Pengaruh variasi putaran kipas kondensor terhadap Efisiensi

Pada gambar 4.6 bahwa grafik memiliki tren yang relatif naik, dengan kenaikan putaran kipas pendingin di kondensor maka nilai *Efisiensi* (η) juga mengalami `kenaikan. Nilai *Efisiensi* terendah adalah 79,71 % pada putaran kipas kondensor 100 rpm dan nilai *Efisiensi* tertinggi adalah sebesar 96,79% pada putaran kipas kondensor 500 rpm. Dimana *Efisiensi* system pendingin adalah bentuk penilaian dari suatu mesin refrigeransi. Sistem perpipaan tertekuk yang menyebabkan aliran *refrigerant* tidak sempurna dan pembalut/isolasi pipa kurang rapat menyebabkan kan kalor keluar/masuk ke system. Dan hal ini kemungkinan membuat *Efisiensi* kurang dari 100 %.

4.3.7 Grafik Laju Aliran Massa *Refrigerant* ($\dot{m}$)

Berdasarkan data dan hasil perhitungan diatas, maka diperoleh perbandingan laju putaran kipas pendingin kondensor terhadap laju aliran massa *refrigerant* dapat dilihat pada grafik dibawah ini:

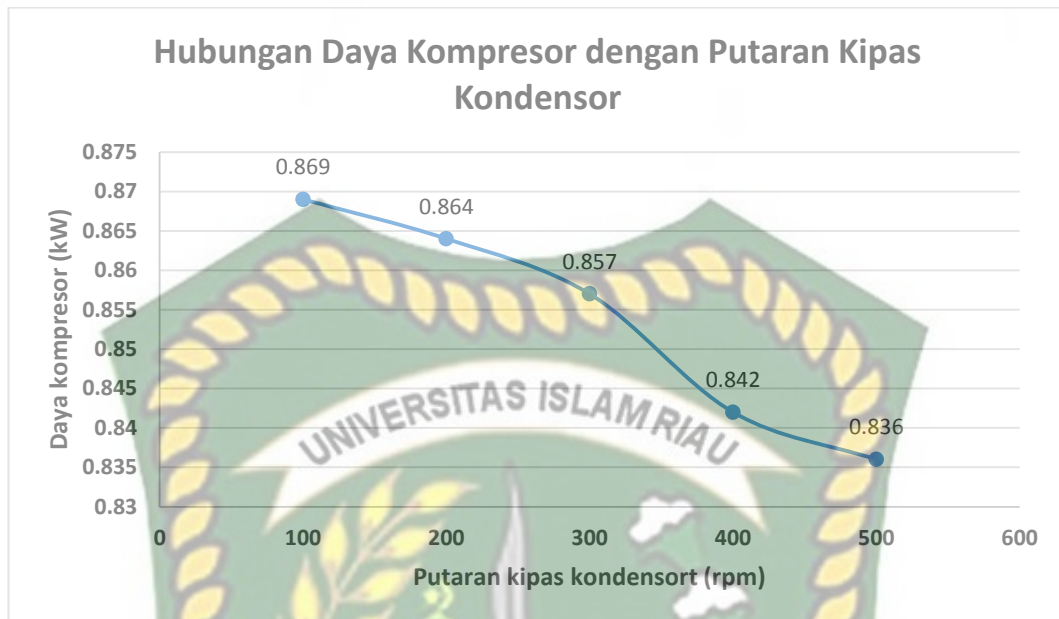


Gambar 4.7. Pengaruh variasi putaran kipas kondensor terhadap laju aliran massa refrigerant

Gambar 4.7 memperlihatkan besar nilai laju aliran massa refrigerant dari waktu ke waktu. Laju aliran massa refrigerant terendah adalah 0,0223 kg/s pada putaran kipas kondensor 100 rpm dan laju aliran massa refrigerant tertinggi adalah sebesar 0,0238 kg/s pada putaran kipas kondensor 500 rpm.

4.3.8 Grafik Hubungan Daya Kompresor Terhadap Putaran Kipas Pendingi Kondensor

Berdasarkan data dan hasil perhitungan diatas, maka didapatkan karakteristik dari daya kompresor (P) terhadap variasi putaran kipas kondensor, seperti grafik dibawah ini:



Gambar 4.7. Pengaruh variasi putaran kipas kondensor daya kompresor

Grafik diatas menunjukkan Tren dari nilai daya kompresor semakin menurun seiring dengan bertambahnya putaran pada kipas kondensor. sedankan nilai daya kompresor tertinggi sebesar 0,869 (kW) pada putaran kipas kondensor 100 rpm dan nilai terendah sebesar 0,836 (kW) pada putaran kipas kondensor 500 rpm.

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan pembahasan dan pengolahan data yang telah dilakukan, maka dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Nilai kalor yang dilepas kondensor meningkat dengan nilai tertinggi 185,24 kJ/kg pada putaran kipas kondensor 500 rpm, Kerja kompresor mengalami penurunan dengan nilai terendah 35,12 kJ/kg pada putaran kipas kondensor 500 rpm, Nilai kalor yang diserap evaporator meningkat dengan nilai tertinggi 150,15 kJ/kg pada putaran kipas kondensor 500 rpm, Nilai COP_{aktual} mengalami peningkatan dengan nilai tertinggi 4,27448 pada putaran kipas kondensor 500 rpm, Nilai COP_{ideal} mengalami peningkatan dengan nilai tertinggi 4,416 pada putaran kipas kondensor 500 rpm, Nilai *Efisiensi* mengalami peningkatan dengan nilai tertinggi 96,79% pada putaran kipas kondensor 500 rpm, Laju aliran massa *refrigerant* meningkat dengan nilai tertinggi 0,0238 kg/s pada putaran kipas kondensor 500 rpm dan Nilai daya kompresor menurun dengan nilai terendah 0,836 kW pada putaran kipas kondensor 500 rpm.
2. Unjuk kerja dari sistem pendingin yang menggunakan R-410a pada variasi putaran kipas kondensor memiliki unjuk kerja yang terbaik pada putaran 500 rpm, dengan nilai *Coefficient Of Performance (COP)* dan

Efisiensi yang tinggi sedangkan konsumsi daya kompresor yang paling rendah.

5.2 Saran

Berdasarkan pembahasan yang telah dilakukan, adapun saran yang dapat saya sampaikan bagi pembaca sebagai berikut:

1. Dalam penelitian ini agar lebih memperhatikan tekanan *refrigerant* yang diisi kedalam sistem pendingin supaya jangan sampai tekanan terlalu rendah atau tekanan terlalu tinggi.
2. Untuk penelitian lebih lanjut dapat menggunakan jenis media pendingin yang bervariasi.

DAFTAR PUSTAKA

- Kusnanto, S. 2004. "Optimasi Pengaruh Kecepatan Udara Pendingin pada AC Mobil". Tugas Akhir S-1 Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Surakarta
- Yawara, Eka. Purnomo, Prajitno. 2002, "Koefisien Perpindahan Kalor Kondensasi Petrozon Rossy-12 di Dalam Pipa Vertikal", Prosiding Simposium Nasional I RAPI UMS Surakarta, 21 Desember 2002, hal: 24-28.
- Yawara, Eka 2003, "Koefisien Perpindahan Kalor Kondensasi Petrozon di dalam Pipa Vertikal", Tesis S-2 Teknik Mesin Universitas Gadjah Mada, Jogjakarta.
- Heroe Poernomo, "Analisis Karakteristik Unjuk Kerja Sistem Pendingin (Air Conditioning) Yang Menggunakan Freon R-22 Berdasarkan Pada Variasi Putaran Kipas Pendingin Kondensor" Jurnal Teknik Permesinan Kapal, Vol. 12, No.1. 2015.
- Marwan Efendi, "Pengaruh kecepatan Udara pendingin kondensor terhadap koefisien Prestasi Air Conditioning". Jurnal teknik Gelagar vol 16. 2005.
- Wahyu H. Piarah, Zuryati Djafar, Amrullah, "Analisa Kinerja Mesin Refrigerasi Rumah Tangga Dengan Variasi Refrigeran" Jurnal Teknologi Terapan, Volume 3, Nomor 2, September 2017.
- Imam Faozan, "Analisis Perbandingan Evaporator Kulkas (Lemari Es) Dengan

Menggunakan Refrigerant R-22 Dan R-134a” Jurnal Teknik Mesin (JTM): Vol. 04, No. 3, Oktober 2015.

Saut Siagian, “Analisis Karakteristik Unjuk Kerja Kondensor Pada Sistem Pendingin (Air Conditioning) Yang Menggunakan Freon R-134 A Berdasarkan Pada Variasi Putaran Kipas Pendingin” Bina Teknik, Vol. 11, No. 2, Desember 2015.

Sapto Widodo, Syamsuri Hasan “Sistem Refrigerasi Dan Tata Udara” Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan, Jakarta 2008.

Marwani, “Pengaruh perubahan Putaran Fan Kondensor terhadap Performansi Mesin pengkondisian Udara”. Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin ke 9 Palembang. 2010.

Bolaji, B.O, “Selection Of Environment-Friendly Refrigerants And The Current Alternatives in Vapour Compression Refrigeration Systems” Journal of Science and Management, Vol. 1, No. 1, August 2011.

Hartoyo, “Ac Window dan AC Split”, Materi Kuliah Teknik Pendingin dan Tata Udara, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Yogyakarta.