

### BAB III METODE PENELITIAN

#### 3.1 Bahan Penelitian

Bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah refrigeran dan air. Dalam hal ini refrigeran berfungsi sebagai fluida penghantar panas di seluruh sistem refrigerasi, sedangkan air sebagai sumber kalor bagi evaporator. Evaporator direndam dalam air tersebut untuk menyerap kalor yang berasal dari air. Pada penelitian ini digunakan bahan atau fluida kerja yaitu Refrigeran R-134a yang dimasukkan dalam alat uji hingga fase refrigeran yang terlihat pada *sight glass* adalah cair sepenuhnya. Kompresor untuk pelumasannya juga dimasukkan Oli AC pada alat uji ini sebanyak 100 ml. Refrigeran ini buatan PT Polarin Xinindo dengan merek KLEA. Refrigeran ini dibeli di Toko Yogya Teknik Sentul. Refrigeran ini memiliki beberapa sifat-sifat yang diambil dari website [polarin.co.id/klea/](http://polarin.co.id/klea/) yang ditampilkan pada tabel 3.1.

Tabel 3.1. Sifat-sifat dari Refrigeran R-134a

Freon KLEA	Spesifikasi
R-134a	Komposisi: HFC134a (100%) Berat molekul: 102 Titik didih pada tekanan 1 atm: -26,2°C Tekanan uap (MPa(gauge)@25 °C): 0,565 Berat jenis uap (kg/m <sup>3</sup> @nBpt): 5,23 ODP (Ozone Depleting Potential): 0 GWP (Global Warming Potential): 1430

Sifat fisik dan termodinamik Refrigeran R-134a yang dibandingkan dengan R-12 dan R-22 dapat dilihat pada tabel 3.2.

Tabel 3.2. Sifat Fisik dan Termodinamik R-134a, R-12, dan R-22 (Fitriandi, 2007)

No	Parameter	R-12	R-22	R-134a
1.	Normal boiling point, °C	-29.75	-40.80	-26.07
2.	Temperatur kritis, °C	111,97	96	101,06

3.	Tekanan Kritis, psia	599,9	723,7	588,7
No	Parameter	R-12	R-22	R-134a
4.	Panas jenis cairan jenuh pada 37,8°C (kJ /kg.K)	1,026	1.325	1,486
5.	Panas jenis uap jenuh pada 37,8°C (kJ /kg.K)	0.7493	0,9736	1,126
6.	Tekanan cairan jenuh pada 37,8°C, psia	131,7	210,7	138,9
7.	Kerapatan cairan jenuh pada 37,8°C (kg/m <sup>3</sup> )	1263	1138	1156
8.	Kerapatan uap jenuh pada 37,8°C ( kg/m <sup>3</sup> )	51,46	62,46	47,05
9.	Kerapatan uap jenuh pada NBP (kg/m <sup>3</sup> )	6,29	4,705	5,259
10.	Konduktivitas Termal cairan jenuh 37,8°C, (Watt/m.K)	0,0628	0.0778	0.0756
11.	Konduktivitas Termal uap jenuh 37,8°C (Watt/m.K)	0.0112	0.0128	0.0195
12.	Viskositas cairan jenuh pada 37,8°C (μPa.s)	166,5	143,1	102,5
13.	Viskositas uap jenuh pada 37,8°C (μPa.s)	12,37	13,39	8,064

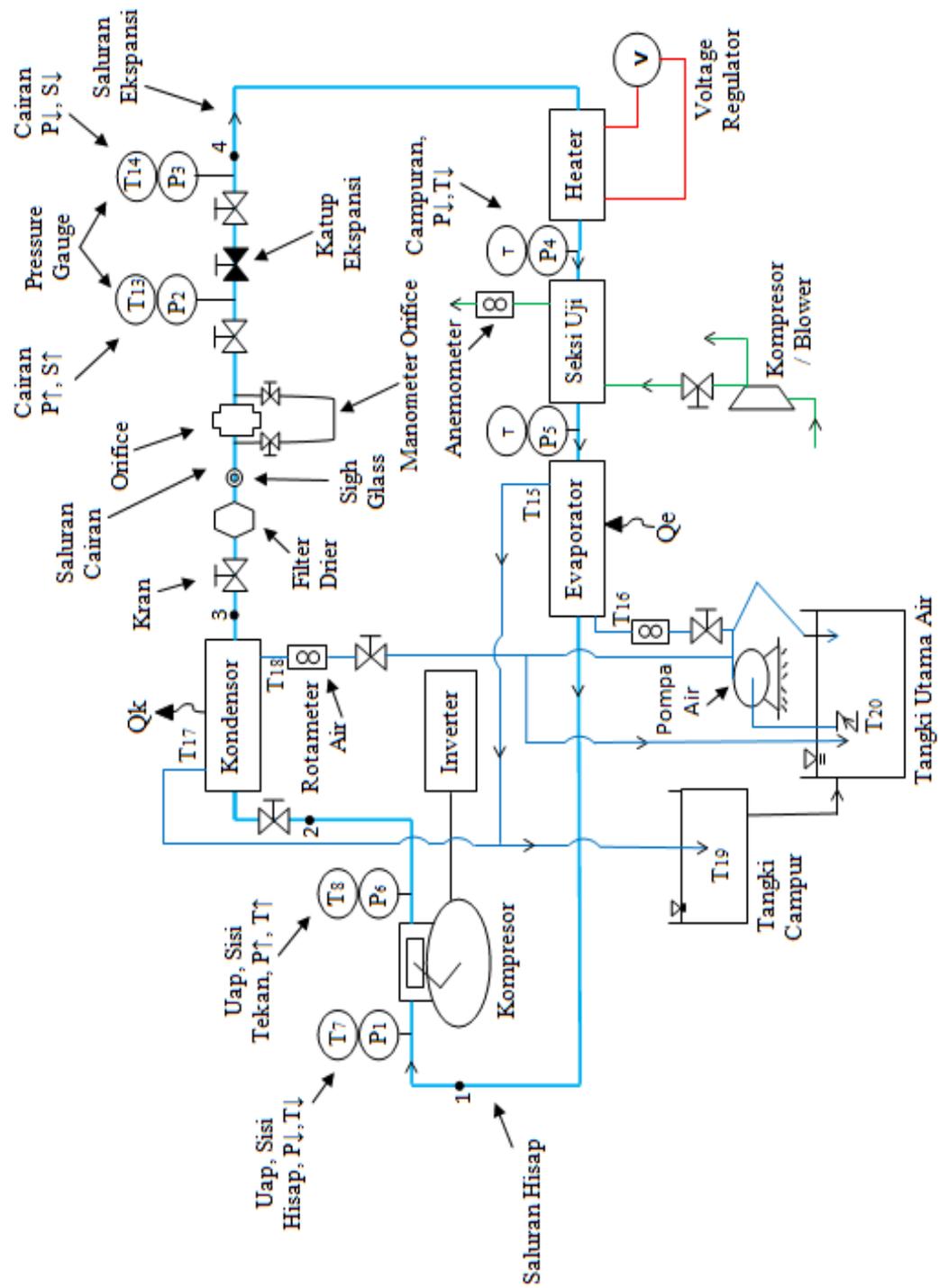
Dari tabel 3.2. menunjukkan beberapa sifat R-134a pada suatu kondisi tertentu. Analisis penelitian ini membutuhkan sifat R-134a pada berbagai kondisi. Grafik tekanan *enthalpy* R-134a (diagram P-h) dapat dilihat pada lampiran 5.

### 3.2 Skema Alat Uji

Data yang diambil berasal dari alat uji sistem kompresi uap sederhana yang dimodifikasi dengan ditambahkan *heater* (pemanas) untuk mengatur kualitas uap refrigerant dan seksi uji untuk mengetahui nilai koefisien evaporasi. Refrigeran yang digunakan dalam penelitian ini adalah R-134a. Pengambilan data *Coefficient of Performance* dilakukan dengan mengambil data kerja kompresor ( $w_{komp}$ ) dan kalor serapan evaporator ( $q_{evap}$ ). Data kerja kompresor didapat dari data voltase dan arus keluar inverter, data kalor serapan evaporator didapat dari selisih temperatur

air masuk dan keluar evaporator, laju aliran massa refrigeran, dan kalor jenis refrigeran yang digunakan. Skema alat uji dapat dilihat pada gambar 3.1

Gambar 3.1 Skema Alat Uji



Keterangan:

Pada skema alat uji yang ditunjukkan pada gambar 3.1 terdapat enam titik *pressure gauge* yang digunakan untuk membaca tekanan yang terjadi pada titik-titik sebagai berikut:

- $P_1$  = Tekanan pada sisi hisap kompresor
- $P_2$  = Tekanan pada sisi masuk katup ekspansi
- $P_3$  = Tekanan pada sisi keluar katup ekspansi
- $P_4$  = Tekanan pada sisi masuk seksi uji
- $P_5$  = Tekanan pada sisi keluar seksi uji
- $P_6$  = Tekanan pada sisi tekan kompresor

Pada alat uji juga akan diberikan 20 titik termokopel yang digunakan untuk membaca temperatur yang terdapat pada titik-titik sebagai berikut:

- $T_1$  = Temperatur aliran refrigerant pada sisi masuk seksi uji
- $T_{2,3,4}$  = Temperatur dinding pada sisi masuk seksi uji
- $T_5$  = Temperatur udara sebelum masuk seksi uji
- $T_6$  = Temperatur udara setelah masuk seksi uji
- $T_7$  = Temperatur aliran sisi hisap kompresor
- $T_8$  = Temperatur aliran sisi tekan kompresor
- $T_9$  = Temperatur aliran refrigerant pada sisi keluar seksi uji
- $T_{10,11,12}$  = Temperatur dinding pada sisi keluar seksi uji
- $T_{13}$  = Temperatur aliran masuk katup ekspansi
- $T_{14}$  = Temperatur aliran keluar katup ekspansi
- $T_{15}$  = Temperatur aliran air keluar evaporator
- $T_{16}$  = Temperatur aliran air masuk evaporator
- $T_{17}$  = Temperatur aliran air keluar kondensor
- $T_{18}$  = Temperatur aliran air masuk kondensor
- $T_{19}$  = Temperatur air pada tangki campur
- $T_{20}$  = Temperatur air pada tangki utama

Tekanan dan temperatur yang di dapatkan nantinya digunakan untuk mendeteksi fase refrigeran yang terdapat pada titik tersebut, titik tekanan dan temperatur tersebut juga digunakan untuk menghitung performa mesin.

Foto alat uji ditunjukkan pada gambar 3.2



(a) Pandangan Depan



(b) Pandangan Belakang



(c) Pandangan Samping Kanan



(d) Pandangan Samping Kiri

Gambar 3.2 Foto Alat Uji

### 3.3 Peralatan Uji

Penelitian ini menggunakan mesin siklus kompresi uap sederhana yang dimodifikasi. Penelitian ini difokuskan pada perubahan *Coefficient of Performance* (COP) dengan variasi beban pendinginan.

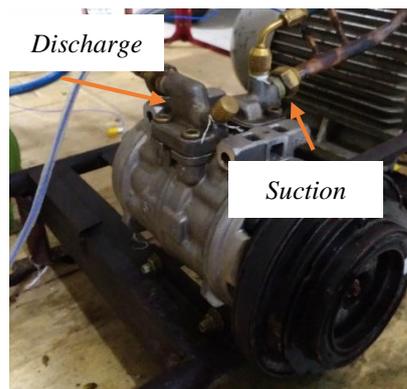
Alat dan komponen yang digunakan antara lain:

a. Kompresor

Kompresor digunakan untuk memompa refrigeran ke seluruh sistem refrigerasi. Kompresor digerakkan oleh sebuah motor penggerak 3 phase, apabila semakin kencang putaran motor maka semakin kencang pula putaran kompresor yang dihasilkan dan tekanan kompresi yang dihasilkan pun akan semakin besar. Kompresor yang digunakan adalah merk NIPPONDENSO tipe 10P15C yang berarti kompresor memiliki 10 langkah piston dengan kapasitas kompresi 150cc seperti yang ditunjukkan pada gambar 3.3.

Berikut adalah spesifikasi kompresor yang digunakan:

Merk	: NIPPONDENSO
Type	: 10P15C
Sistem kerja	: Memiliki 10 piston (5 langkah hisap, 5 langkah tekan)
Kapasitas kompresi	: 150cc



Gambar 3.3 Kompresor NIPPONDENSO 10P15C

b. Motor Listrik

Motor listrik digunakan untuk menggerakkan kompresor. Motor listrik yang digunakan adalah motor listrik 3 *phase* seperti yang ditunjukkan pada gambar 3.4 dengan spesifikasi sebagai berikut:

Tipe	: Y100L-4
Frekuensi	: 50 Hz
Kebisingan	: 70 dB
<i>Output</i>	: 3 HP (2,2 kW)
Kecepatan	: 1430 RPM
Voltase	: 220/380 V
Hubungan	: $\Delta$ /Y
Arus	: 8,4/4,9 A



Gambar 3.4 Motor Listrik

### c. *Inverter*

*Inverter* berfungsi sebagai pengatur kecepatan putar motor, prinsip kerjanya adalah mengatur arus yang masuk ke dalam motor, semakin besar frekuensi *inverter* akan semakin besar arus keluaran *inverter* maka semakin kencang pula putaran motor yang dihasilkan. *Inverter* yang digunakan adalah *Inverter 3 phase* merk CHINT dengan spesifikasi sebagai berikut:

Merk	: CHINT
Tipe	: NVF2G-3.7/TS4
Daya keluaran maksimal	: 3,7 kW
<i>3 phase input</i>	: 380 V/440 V
Frekuensi maksimal	: 50 Hz

*Inverter* yang digunakan ditunjukkan pada gambar 3.5.



Gambar 3.5 *Inverter 3 phase* merk CHINT

*d. Pressure Gauge*

*Pressure gauge* adalah alat yang digunakan untuk mengukur tekanan pada suatu titik, di dalam *pressure gauge* terdapat beberapa satuan tekanan yang digunakan antara lain bar, psi, dan inHg. *Pressure gauge* ada dua macam, *pressure gauge low pressure* yang ditunjukkan pada gambar 3.6(a) dengan tekanan maksimal 220 psi dan *pressure gauge high pressure* yang ditunjukkan pada gambar 3.6(b) dengan tekanan maksimal 500 psi.



(a)



(b)

Gambar 3.6 (a) *Pressure gauge high pressure* dan (b) *pressure gauge low pressure*

e. Rotameter Air

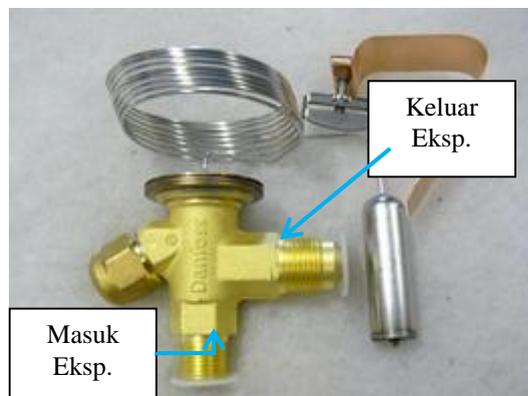
Rotameter air digunakan untuk mengukur debit aliran air yang masuk ke kondensor dan evaporator. Rotameter yang digunakan adalah merek *YYZX Instrument Company* yang berkapasitas maksimal 7,2 LPM ditunjukkan pada gambar 3.7



Gambar 3.7 Rotameter Air

f. Katup Ekspansi

Katup Ekspansi digunakan untuk menurunkan tekanan refrigeran dan mengubah fase refrigeran dari cair jenuh ke campuran. Katup ekspansi yang digunakan adalah katup ekspansi berpengendali panas dengan merk *DANFOSS TX 2* yang ditunjukkan pada gambar 3.8.



Gambar 3.8 Katup Ekspansi

g. *Filter Dryer*

*Filter Dryer* berfungsi untuk menyaring kotoran yang mungkin ada di dalam refrigeran, kotoran itu mungkin berasal dari peralatan atau sepanjang pipa di dalam saluran sistem refrigerasi. *Filter Dryer* yang digunakan adalah type EK-083. *Filter dryer* yang digunakan ditunjukkan pada gambar 3.9.



Gambar 3.9 *Filter Dryer*

h. Pompa Air

Pompa air digunakan untuk memompa air dan mengalirkannya ke kondensor dan evaporator. Air dalam kondensor berfungsi sebagai media penyerap kalor untuk mendinginkan refrigeran, sedangkan di evaporator air berperan sebagai sumber kalor atau beban pendinginan bagi evaporator yang berguna untuk analisa performa evaporator. Spesifikasi pompa air yang digunakan adalah:

Merk	: DAP Sunrise
Daya hisap	: 9 meter
Daya dorong	: 24 meter
Daya	: 125 Watt
Debit air	: 42 L/menit
Pipa hisap dan dorong:	1 inch

Pompa air yang digunakan ditunjukkan pada gambar 3.10.



Gambar 3.10 Pompa Air Merk Sunrise

*i. Manifold*

*Manifold* berfungsi sebagai media pengukuran pada saat pengisian refrigeran untuk unit AC dan mesin mesin pendingin lainnya. *Manifold* juga berfungsi sebagai alat ukur pada saat pengisian refrigeran sehingga tidak terjadi kekurangan ataupun kelebihan tekanan dalam sistem refrigerasi. *Manifold* yang digunakan ditunjukkan pada gambar 3.11. *Manifold* yang digunakan ada dua sisi yaitu *manifold* tekanan tinggi dan tekanan rendah. Tekanan maksimal yang mampu dicapai oleh bagian tekanan rendah adalah 200 psi sedangkan tekanan yang mampu oleh bagian tekanan tinggi adalah 500 psi.



Gambar 3.11 *Manifold*

j. *Orifice*

*Orifice* digunakan untuk mengukur laju aliran massa refrigerant secara tidak langsung dengan cara mengamati perubahan tinggi air raksa dalam manometer U. Pembahasan *orifice* secara mendetail akan dilakukan pada subbab 3.7.

k. *Sight Glass* (Kaca Penduga)

Kaca penduga berfungsi sebagai media penunjuk untuk menunjukkan refrigeran di dalam sistem refrigerasi sudah penuh ataukah belum. Kaca penduga diletakkan pada fase refrigeran cair jenuh yaitu setelah kondensor. *Sight glass* yang digunakan ditunjukkan pada gambar 3.12.



Gambar 3.12 *Sight Glass*

l. *MCB (Mini Circuit Breaker)*

*MCB (Mini Circuit Breaker)* adalah alat yang digunakan untuk membatasi arus serta pengaman instalasi listrik. *MCB* secara otomatis akan memutus arus bila arus yang melewatinya melebihi batas nominal yang tertera. *MCB* yang digunakan ditunjukkan pada gambar 3.13. Berikut adalah spesifikasi *MCB* yang digunakan:

Merk : CHINT

Maksimal arus: 16 Ampere



Gambar 3.13 *MCB (Mini Circuit Breaker)*

m. *Thermoreader*

*Thermoreader* adalah jenis sensor temperatur yang digunakan untuk mendeteksi atau mengukur temperatur yang sudah terpasang di dalam rangkaian sistem alat. *Thermoreader* yang digunakan adalah *termoreader* tipe T dengan 4 input dan rentang temperature antara -50 °C sampai 1300 °C dengan toleransi  $\pm 0,5\% \pm 1^\circ\text{C}$ . *Thermoreader* ditunjukkan pada gambar 3.14.



Gambar 3.14 *Thermoreader*

n. *Anemometer*

*Anemometer* adalah sebuah alat yang digunakan untuk mengukur kecepatan angin. Dimana cara kerja alat ini adalah membaca seberapa besar kecepatan angin yang berasal dari *blower*. *Anemometer* yang digunakan ditunjukkan pada gambar 3.15. Berikut adalah spesifikasi *anemometer* yang digunakan:

Merk/Tipe	: Benetech / GM816
Rentang kecepatan udara	: 0,7-30 m/s
Ketelitian	: 0,1 m/s
Akurasi	: $\pm 5\%$



Gambar 3.15 *Anemometer*

o. *Voltage regulator*

*Voltage regulator* adalah alat yang berfungsi untuk mengatur tegangan keluaran yang akan dialirkan ke *heater*. *Voltage regulator* yang digunakan ditunjukkan pada gambar 3.16 dengan spesifikasi sebagai berikut:

Merk	: KRISBOW
Tipe	: KW2001220
Tegangan <i>input</i>	: Satu fasa = 220V $\pm$ 10%
Tegangan <i>output</i>	: Fasa tunggal = 0-250V $\pm$ 10%
Frekuensi	: > 90%
Temperatur naik	: < 60°C
Kekuatan dielektrik	: 1500V/min
Resistensi isolasi	: Fasa tunggal > 5M $\Omega$

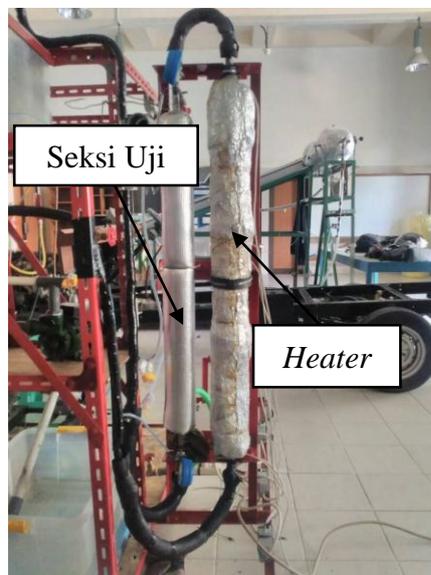


Gambar 3.16 *Voltage Regulator* KRISBOW

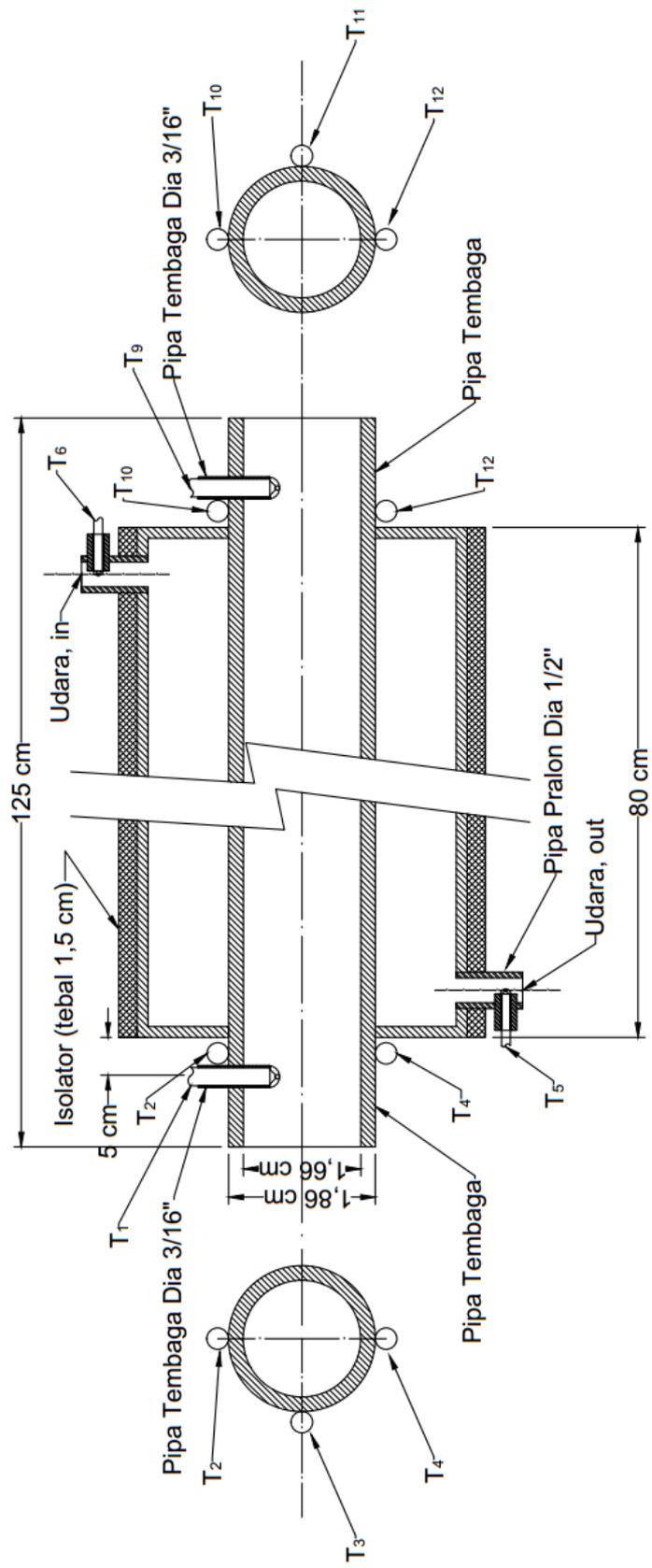
p. *Heater* dan Seksi Uji

*Heater* (pemanas) berfungsi untuk memanaskan refrigeran yang melewati jalur pipa untuk memvariasikan kualitas uap refrigeran setelah keluar katup ekspansi. Pemanas menggunakan pipa tembaga berdinding tebal dengan diameter nominal  $\frac{3}{4}$  inci, diameter dinding dalam 16,6 mm, dan diameter dinding luar 18,5 mm, panjang pipa tembaga 1,2 m. Pipa tembaga dililit dengan kawat nikelin sepanjang 7,5 m yang dibagi menjadi tiga bagian sama panjang 2,5 m. Kawat nikelin dihubungkan dengan *voltage regulator* menggunakan kabel tahan panas. Pemanas diisolasi menggunakan pita asbes, *glasswool*, dan ditutup dengan *aluminium foil*.

Seksi uji merupakan penukar kalor pipa ganda dengan aliran berlawanan arah yang digunakan untuk mengukur koefisien evaporasi dengan media udara yang dihembuskan oleh *blower*. Seksi uji sebelah dalam menggunakan pipa tembaga berdinding tebal dengan diameter nominal  $\frac{3}{4}$  inci, diameter dinding dalam 16,6 mm, dan diameter dinding luar 18,5 mm, panjang pipa tembaga 1,2 m. Pipa sebelah luar menggunakan pipa paralon dengan panjang 80 cm dan diameter nominal 2 inci. Desain Seksi Uji secara lengkap diberikan dalam gambar 3.18. Pipa paralon diisolasi menggunakan karet busa dan *aluminium foil*. Termokopel dipasang pada dinding luar pipa tembaga pada sisi masuk dan keluar. Masing-masing penampang dipasang tiga titik termokopel (atas, tengah, bawah). Termokopel kemudian diplester agar tidak bergeser. Termokopel juga dipasang di bagian masuk dan keluar pipa tembaga untuk mengukur temperatur jenuh refrigeran. Pipa tembaga  $\frac{3}{16}$  inci disumbat pada satu lubang dan dilas pada pipa tembaga seksi uji. Ujung pipa tembaga yang disumbat tepat berada di tengah aliran pipa utama. Termokopel disisipkan ke dalam pipa tembaga  $\frac{3}{16}$  inci yang sebelumnya disisipi pasta termal. *Heater* dan seksi uji ditunjukkan pada gambar 3.17



Gambar 3.17 *Heater* dan Seksi Uji



Gambar 3.18 Desain Seksi Uji

q. *Blower*

*Blower* digunakan untuk meniupkan udara yang akan dihembuskan kedalam seksi uji berlawanan arah dengan aliran refrigeran dalam pipa tembaga. Spesifikasi *Blower* yang digunakan adalah:

Ukuran	: 2,5 inch
Diameter luar	: 4 inch
Daya listrik	: 260 Watt x 220 Volt x 1 phase
Kecepatan putar	: 3600 rpm

*Blower* yang digunakan ditunjukkan pada gambar 3.19.



Gambar 3.19 *Blower*

r. *Pipa Tembaga*

*Pipa tembaga* digunakan untuk mengalirkan refrigeran ke seluruh sistem refrigerasi dan menghubungkan antar komponen. *Pipa tembaga* yang digunakan terdiri dari beberapa ukuran yaitu  $3/16$ ,  $3/8$ ,  $1/4$ ,  $1/2$ , dan  $3/4$  inci.

s. *Pipa PVC*

*Pipa PVC* digunakan untuk mengalirkan air dari tangki utama menuju ke evaporator dan kondensor yang diatur menggunakan rotameter air. *Pipa PVC* yang digunakan adalah pipa berukuran 2 inci.

t. *Kondensor*

*Kondensor* digunakan untuk mengubah fase refrigeran dari uap panas lanjut menjadi cair jenuh. *Kondensor* direndam dalam air lalu melepaskan kalor dari uap refrigeran ke air. *Kondensor* yang digunakan adalah kondensor AC Mobil *Toyota Kijang Grand R-12*. *Kondensor* ditunjukkan pada gambar 3.20.



Gambar 3.20 Kondensor

u. Evaporator

Evaporator digunakan untuk mengubah fase refrigeran dari campuran menjadi uap jenuh. Temperatur di evaporator rendah sehingga memerlukan kalor agar evaporator dan refrigeran didalamnya tidak membeku. Evaporator direndam di dalam air yang menjadi sumber kalor bagi evaporator. Evaporator yang digunakan adalah evaporator untuk mobil *Avanza*. Evaporator ditunjukkan pada gambar 3.21.



Gambar 3.21 Evaporator

v. Tangki Utama dan Tangki Campur

Tangki Utama berfungsi sebagai penampung air sistem secara keseluruhan yang akan dipompakan ke seluruh sistem. Tangki campur berfungsi sebagai penampung sementara air yang keluar dari evaporator dan kondensor agar temperatur air kembali seperti semula sebelum dialirkan kembali ke tangki utama. Tangki yang digunakan ditunjukkan pada gambar 3.22.



Gambar 3.22 Tangki

w. Bak Evaporator dan Kondensor

Bak berfungsi untuk wadah air, evaporator dan kondensor akan direndam didalam bak yang berisi air tersebut. Bak terbuat dari seng dan dibentuk seperti pada gambar 3.23. Dengan dimensi bak adalah sebagai berikut:

Bak Evaporator:

Panjang : 30 cm  
Lebar : 15 cm  
Tinggi : 20 cm

Bak Kondensor:

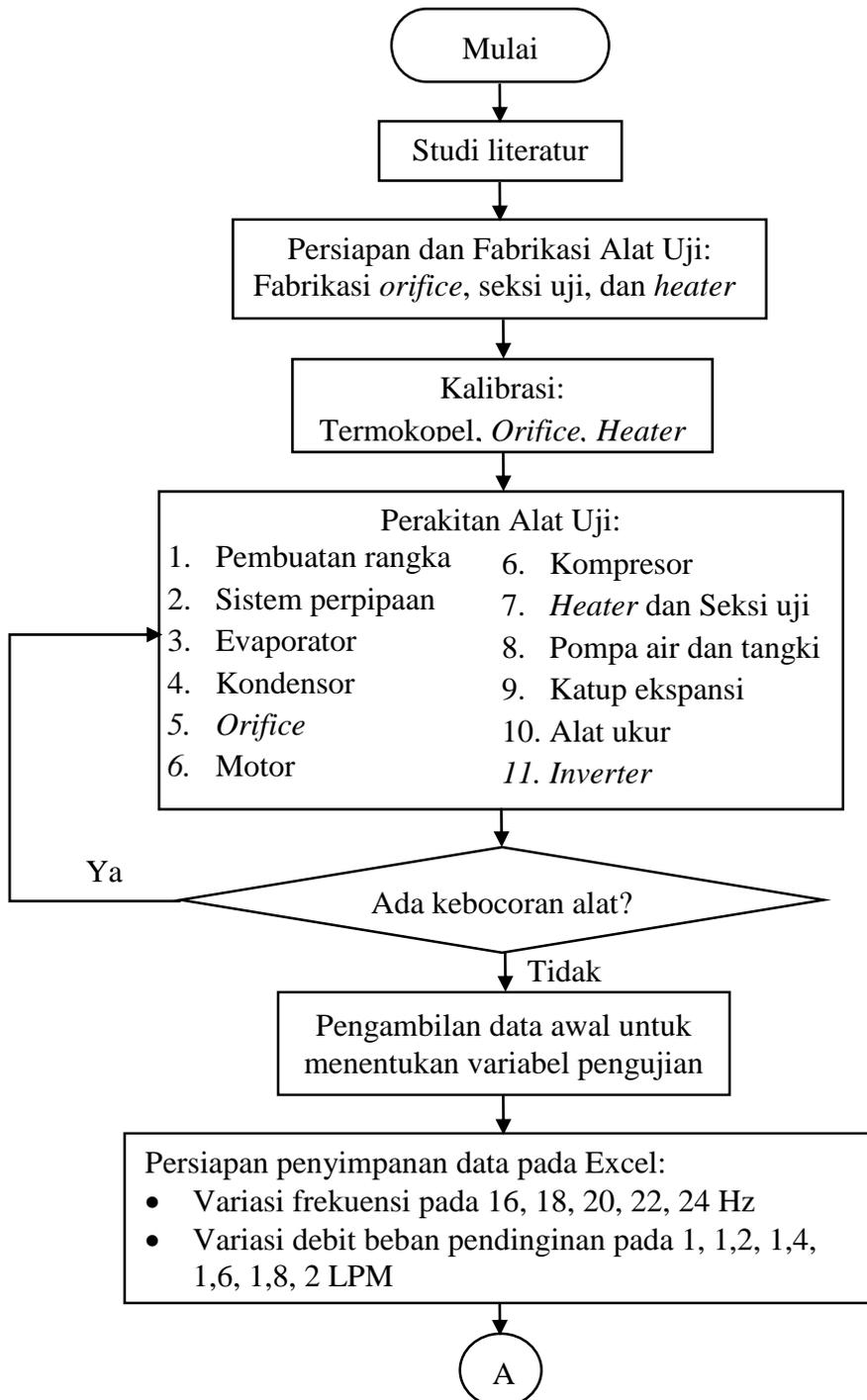
Panjang : 75 cm  
Lebar : 10 cm  
Tinggi : 40 cm



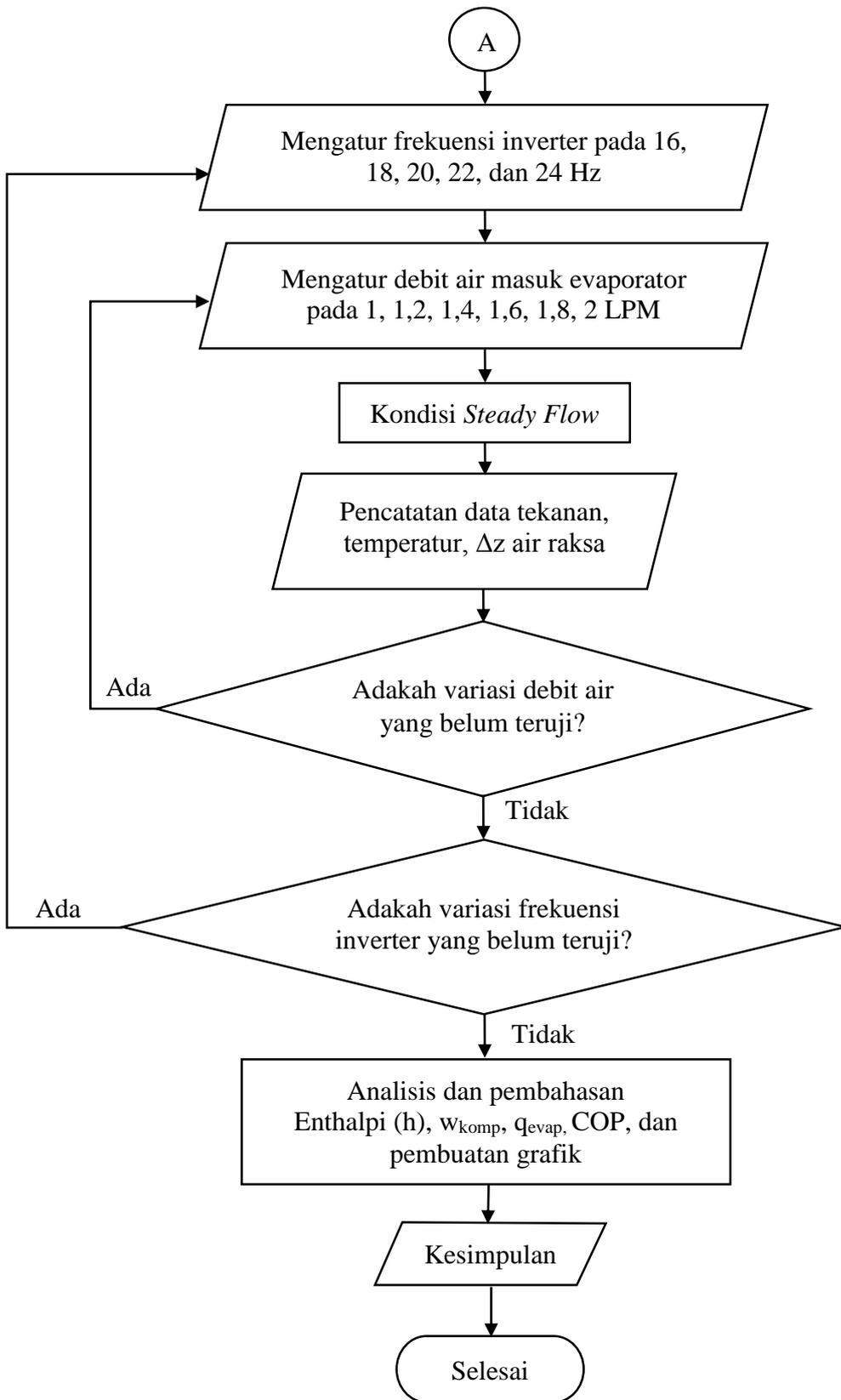
Gambar 3.23 Bak Evaporator dan Kondensor

### 3.4 Diagram Alir Penelitian

Diagram alir digunakan untuk merencanakan tahap-tahap penyelesaian penelitian. Diagram ini menampilkan urutan kegiatan yang dilaksanakan dalam penelitiannya, urutan penelitian ditunjukkan pada gambar 3.24 sebagai berikut:



Gambar 3.24 Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.24 Diagram Alir Penelitian  
(Lanjutan)

### **3.5 Kalibrasi Termokopel**

Kalibrasi termokopel dilakukan dengan temperatur standard antara 6 °C sampai 73 °C. Es batu digunakan untuk mengkalibrasi termokopel pada temperatur rendah. Sedangkan pada temperatur tinggi kalibrasi dilakukan dengan menggunakan air panas. Temperatur acuan ditentukan lalu mulai mencelupkan termokopel ke dalam air lalu temperature akan terbaca pada *termoreader*. Selanjutnya data diinput pada *spreadsheet* lalu dilakukan regresi linier untuk masing-masing titik pengukuran temperatur. Regresi linier dilakukan dengan rentang suhu 10 °C. Hasil kalibrasi termokopel dan hasil regresi linier ditampilkan dalam lampiran 4 dan lampiran 5.

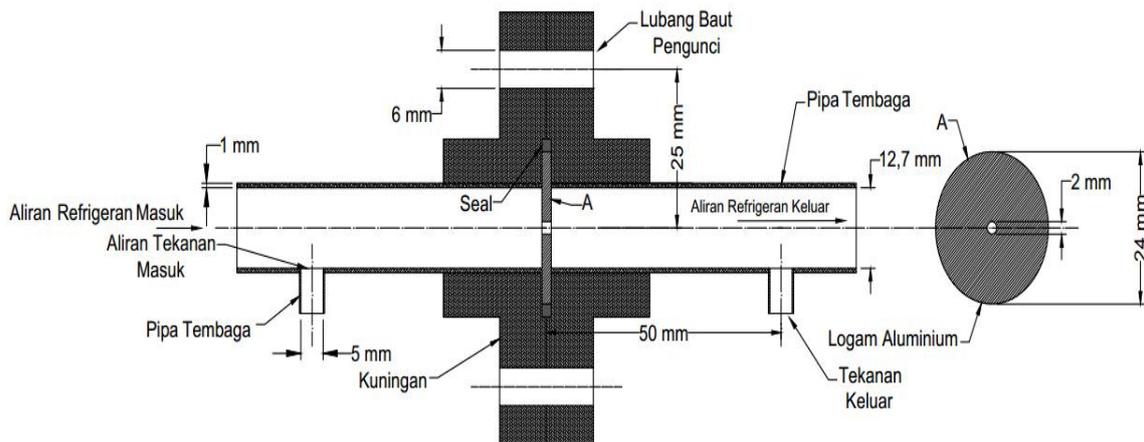
### **3.6 Kalibrasi dan Uji *Steady Heater***

Heater digunakan untuk mengubah kualitas uap refrigeran setelah keluar katup ekspansi. Prinsip kerja heater adalah untuk memanaskan jalur refrigeran dengan menggunakan kawat pemanas yang dialiri listrik. Proses kalibrasi dan uji *steady heater* digunakan untuk mengetahui seberapa lama untuk mengetahui waktu temperatur heater mampu mencapai kondisi *steady* pada suatu daya masukan. Proses kalibrasi dan uji *steady* dilakukan dengan menggunakan air yang dialirkan melewati pipa *heater*, debit air diukur menggunakan rotameter. Uji *steady* dan kalibrasi dilakukan dengan variasi debit aliran air dan daya masukan air yang berbeda, lalu data hasil kalibrasi yang dicatat adalah perubahan temperatur masuk dan keluar *heater* pada setiap menit hingga mencapai kondisi *steady* dan catat berapa waktu yang dibutuhkan untuk mencapai kondisi *steady*.

### **3.7 Kalibrasi *Orifice***

*Orifice* digunakan untuk mengukur laju aliran massa secara tidak langsung melalui pengukuran laju aliran volume menggunakan air dengan *orifice* dan manometer U (Santosa, 2003). Prinsip kerja dari manometer untuk mengukur laju aliran massa adalah dengan menggunakan beda tekanan yang terjadi antara sisi masuk dan keluar *orifice*. Perubahan tekanan diindikasikan dengan perbedaan level fluida yang berada di dalam manometer. Proses pengukuran perbedaan tekanan

pada *orifice* adalah menggunakan manometer U. Manometer U dibuat menggunakan selang berbahan *polyurethane* dan diberi pengukur panjang menggunakan millimeter blok. Perangkat *orifice* dibuat dengan menggunakan kuningan yang desain dan ukurannya diberikan dalam gambar 3.25.



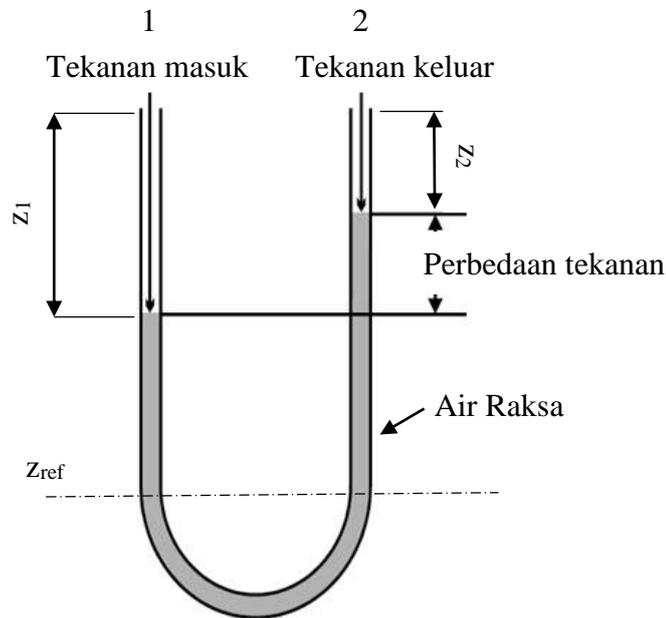
Gambar 3.25 Desain *Orifice*

Sedangkan hasil pembuatan orifice ditunjukkan pada gambar 3.26.



Gambar 3.26 Hasil pembuatan *orifice*

Skema manometer ditunjukkan pada gambar 3.27. Fluida manometer yang digunakan adalah air raksa dengan densitas  $13.600 \text{ kg/m}^3$ .



Gambar 3.27 Skema Manometer (Azhar, 2011)

Beda tekanan antara sisi masuk dan sisi keluar manometer dapat dihitung sebagai dengan persamaan 3.1.

$$P_1 - P_2 = \rho_{Hg} \cdot g \cdot (z_1 - z_2) \dots \dots \dots (3.1)$$

Dengan:

- $P_1 - P_2$  = Beda tekanan sisi masuk dan keluar orifice (Pa)
- $\rho_{Hg}$  = Massa Jenis air raksa (13.600 kg/m<sup>3</sup>)
- $g$  = Percepatan gravitasi bumi (9,81 m/s<sup>2</sup>)
- $z_1 - z_2$  = Beda level fluida pada sisi masuk dan keluar (m)

Menurut Santosa (2003), penentuan laju aliran massa refrigeran dilakukan dengan menerapkan persamaan kontinuitas dan persamaan Bernoulli. Persamaan kontinuitas untuk penampang pipa tembaga dan orifice bisa ditulis dalam persamaan 3.2.

$$\dot{m}_{wtr} = \rho_{wtr.1} \cdot A_1 \cdot v_1 = \rho_{wtr.2} \cdot A_2 \cdot v_2 \dots \dots \dots (3.2)$$

Dengan:

- $\dot{m}_{wtr}$  = laju aliran massa air (kg/s)
- $\rho_{wtr.1}$  = massa jenis air pada aliran pipa tembaga (kg/m<sup>3</sup>)
- $\rho_{wtr.2}$  = massa jenis air pada aliran orifice (kg/m<sup>3</sup>)
- $A_2$  = luas penampang orifice (m<sup>2</sup>)
- $A_1$  = luas penampang pipa tembaga (m<sup>2</sup>)
- $v_1$  = kecepatan alir fluida pada pipa tembaga (m/s)
- $v_2$  = kecepatan alir fluida pada orifice (m/s)

Air yang masuk orifice adalah fluida tak mampat sehingga:

$$\rho_1 = \rho_2 = \rho_{wtr} \dots\dots\dots (3.3)$$

$$v_1 = \frac{A_2}{A_1} \cdot v_2 \dots\dots\dots (3.4)$$

Aliran diasumsikan mengalami proses adiabatik, tanpa gesekan, aliran tunak, fluida tak mampat, dan beda potensial diabaikan, maka digunakan persamaan Bernoulli seperti yang tertulis pada persamaan 3.5 dan 3.6.

$$\frac{P_1}{\rho_{wtr}} + \frac{v_1^2}{2} = \frac{P_2}{\rho_{wtr}} + \frac{v_2^2}{2} \dots\dots\dots (3.5)$$

$$P_1 - P_2 = \frac{\rho_{wtr}}{2} \cdot (v_2^2 - v_1^2) \dots\dots\dots (3.6)$$

Dengan:

$P_1 - P_2$  = Beda tekanan pada sisi masuk dan keluar orifice (Pa)

$\rho_{wtr}$  = massa jenis air (kg/m<sup>3</sup>)

Dengan mensubstitusikan persamaan 3.4 ke persamaan 3.6, maka persamaan dapat ditulis seperti pada persamaan 3.7.

$$P_1 - P_2 = \frac{\rho_{wtr} \cdot v_2^2}{2} \cdot \left[ 1 - \left( \frac{A_2}{A_1} \right)^2 \right] \dots\dots\dots (3.7)$$

$$v_2 = \frac{\sqrt{\frac{2}{\rho_{wtr}} \cdot \sqrt{P_1 - P_2}}}{\sqrt{1 - \left( \frac{A_2}{A_1} \right)^2}} \dots\dots\dots (3.8)$$

Persamaan laju aliran volume ideal ditunjukkan pada persamaan 3.9.

$$\dot{V}_{ideal} = A_2 \cdot v_2 \dots\dots\dots (3.9)$$

Dengan mensubstitusikan persamaan 3.8 ke persamaan 3.9, laju aliran volume ideal dapat ditulis pada persamaan 3.10.

$$\dot{V}_{ideal} = A_2 \cdot \frac{\sqrt{\frac{2}{\rho_{wtr}} \cdot \sqrt{P_1 - P_2}}}{\sqrt{1 - \left( \frac{A_2}{A_1} \right)^2}} \dots\dots\dots (3.10)$$

Hubungan antara laju aliran volume air ideal dan aktual dapat ditulis pada persamaan 3.11.

$$\dot{V}_{aktual} = C \cdot \dot{V}_{ideal} \dots\dots\dots (3.11)$$

Dengan:

$C$  = koefisien curah (*discharge coefficient*)  
 $\dot{V}_{\text{aktual}}$  ditentukan pada saat pembacaan rotameter air

Hubungan antara laju aliran volume air aktual dengan beda tekanan sisi masuk dan keluar orifice dilakukan dengan mensubstitusikan persamaan 3.10 ke persamaan 3.11.  $\dot{V}_{\text{aktual}}$  dapat ditulis pada persamaan 3.12.

$$\dot{V}_{\text{aktual}} = C \cdot A_2 \cdot \frac{\sqrt{\frac{2}{\rho_{wtr}} \cdot \sqrt{P_1 - P_2}}}{\sqrt{1 - \left(\frac{A_2}{A_1}\right)^2}} \dots\dots\dots (3.12)$$

Bilangan *Reynolds* ( $Re$ ) aliran dapat ditulis pada persamaan 3.13.

$$Re = \frac{4 \cdot \rho_{wtr}}{\pi \cdot D_1 \cdot \mu_{wtr}} \dot{V}_{\text{aktual}} \dots\dots\dots (3.13)$$

Dengan  $D_1$  adalah diameter pipa tembaga (m).

Untuk menghitung laju aliran volume fluida harus ditentukan koefisien curah ( $C$ ) (Santosa, 2003). Persamaan 3.13 dapat ditulis seperti persamaan 3.14.

$$\dot{V}_{\text{aktual}} = \frac{\pi \cdot D_1 \cdot \mu_{wtr}}{4 \cdot \rho_{wtr}} \cdot Re \dots\dots\dots (3.14)$$

Persamaan 3.14 disubstitusikan ke persamaan 3.12 menjadi persamaan 3.15.

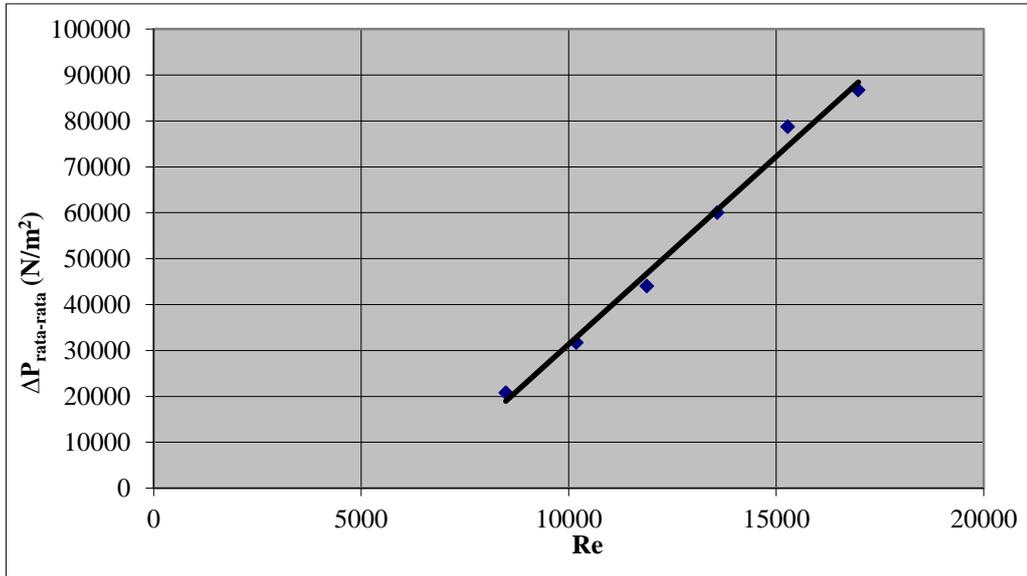
$$\frac{\pi \cdot D_1 \cdot \mu_{wtr}}{4 \cdot \rho_{wtr}} \cdot Re = C \cdot A_2 \cdot \frac{\sqrt{\frac{2}{\rho_{wtr}} \cdot \sqrt{P_1 - P_2}}}{\sqrt{1 - \left(\frac{A_2}{A_1}\right)^2}} \dots\dots\dots (3.15)$$

Sehingga persamaan untuk mencari koefisien curah ( $C$ ) dapat ditulis pada persamaan 3.16.

$$C = \frac{\pi \cdot D_1 \cdot \mu_{wtr}}{4 \cdot \rho_{wtr}} \cdot \frac{\sqrt{1 - \left(\frac{A_2}{A_1}\right)^2}}{A_2 \cdot \sqrt{\frac{2}{\rho_{wtr}}}} \cdot \frac{Re}{\sqrt{P_1 - P_2}} \dots\dots\dots (3.16)$$

Untuk menghitung laju aliran massa refrigeran perlu dibuat grafik hubungan antara beda tekanan orifice dengan bilangan  $Re$  dan grafik hubungan bilangan  $Re$  dengan koefisien curah ( $C$ ) (Santosa, 2003). Hasil kalibrasi *orifice* diberikan pada lampiran 2. Grafik hubungan antara beda tekanan orifice dengan bilangan  $Re$

ditunjukkan pada gambar 3.28 dan grafik hubungan bilangan Re dengan koefisien curah (C) ditunjukkan pada gambar 3.29.

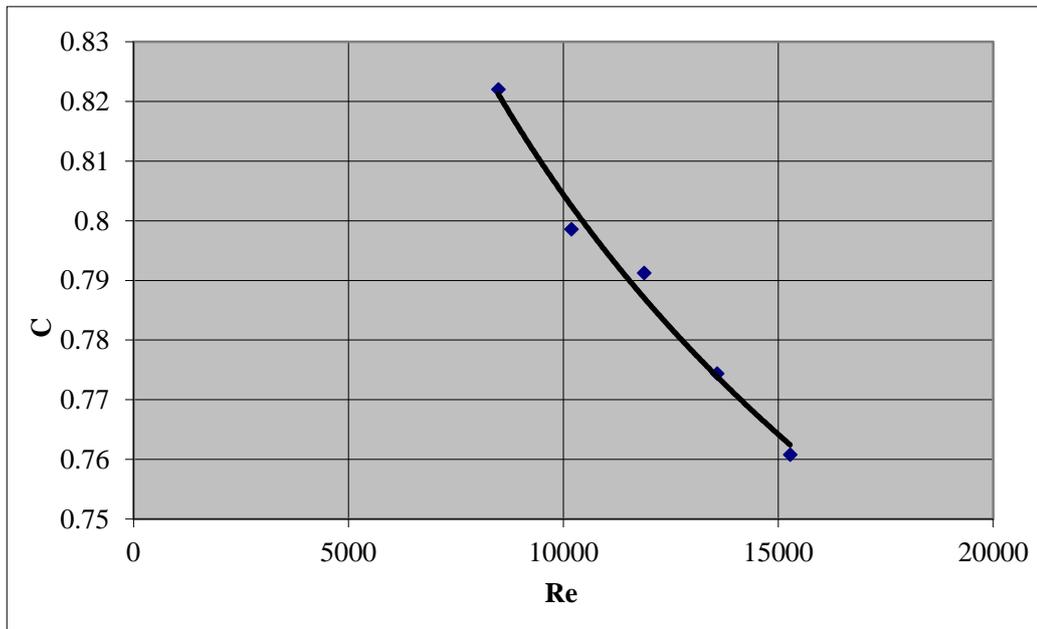


Gambar 3.28 Grafik hubungan beda tekanan orifice dengan bilangan Re

Dengan persamaan regresi grafik gambar 3.28:

$$\Delta P = 8,1867Re - 50558$$

$$R^2 = 0,9904$$



Gambar 3.29 Grafik hubungan bilangan Re dengan koefisien curah (C)

Dengan persamaan regresi grafik gambar 3.29:

$$C = 2,5774Re^{-0,126}$$

$$R^2 = 0,9834$$

Menurut Santosa (2003), pengukuran laju aliran massa refrigeran dapat ditentukan dengan langkah-langkah sebagai berikut:

1. Mengamati dan menghitung perubahan level fluida pada manometer
2. Menghitung beda tekanan orifice menggunakan persamaan 3.1
3. Dengan data beda tekanan tentukan bilangan *Reynold* menggunakan persamaan regresi grafik gambar 3.24
4. Dengan data bilangan *Reynold* tentukan koefisien curah menggunakan persamaan regresi grafik gambar 3.25
5. Menghitung laju aliran volume refrigeran aktual menggunakan persamaan (3.12) dengan mengganti massa jenis air dengan massa jenis refrigeran
6. Laju aliran massa refrigeran dapat ditulis pada persamaan 3.17.

$$\dot{m}_{R-134a} = \rho_{R-134a} \cdot \dot{V}_{R-134a, \text{ aktual}} \dots\dots\dots (3.17)$$

### 3.8 Tes Kebocoran

Setelah dilakukan perakitan seperti pada gambar 3.1, tes kebocoran dilakukan baik pada sisi aliran refrigeran maupun pada sisi aliran air. Kebocoran pada sisi aliran air dapat diketahui dengan mensirkulasikan air ke seluruh sistem aliran air, kebocoran air dapat dideteksi apabila ada tetesan air. Tes kebocoran pada sisi aliran refrigeran dilakukan dengan memberi tekanan ke seluruh sistem aliran refrigeran hingga tekanan 100 psi, air sabun dioleskan ke tiap sambungan untuk mendeteksi kebocoran, kebocoran terjadi apabila terdapat gelembung udara yang terus membesar dan pecah pada olesan air sabun. Apabila terjadi kebocoran pada sambungan las, maka sambungan di las ulang. Apabila terjadi pada pipa sambungan air, maka sambungan dilem menggunakan lem pipa. Apabila kebocoran terjadi pada *nipple* dan sambungan bukan las, maka *nipple* dipasang ulang dan ditambahkan *plastic steel* pada sambungan bukan las.

### 3.9 Pengisian Refrigeran

Setelah dipastikan alat tidak bocor, alat uji divakumkan dengan pompa vakum hingga 0 psi(abs) untuk menghilangkan sisa udara. Untuk mencegah raksa dalam manometer terhisap keluar, katup manometer ditutup penuh. Selanjutnya air

di dalam tangka utama dialirkan menuju ke kondensor dan evaporator menggunakan pompa air. Debit air menuju evaporator ditetapkan 1,4 LPM, sedangkan debit kondensor menyesuaikan dengan posisi katup menuju kondensor terbuka penuh. *Blower* dinyalakan penuh untuk mengaliri udara pada seksi uji, katup menuju seksi uji dan kipas *blower* dibuka penuh.

Setelah air bersirkulasi dengan baik, nyalakan motor listrik sehingga kompresor mulai bekerja. Refrigeran dimasukkan ke kompresor sambil mengamati perubahan tekanan pada *pressure gauge* sisi tekan kompresor, sesekali mengamati *sight glass*. Pengisian refrigeran dikatakan penuh apabila di dalam *sight glass* sudah penuh terisi cairan refrigeran dan tidak terdapat gelembung udara yang menandakan bahwa fasa uap telah seluruhnya menjadi fasa cair setelah keluar kondensor. Refrigeran sebelum masuk *orifice* harus berfasa cair untuk pengukuran laju aliran massanya. Buka katup manometer pelan-pelan sehingga terlihat beda ketinggian raksa pada manometer. Biarkan sistem beroperasi sampai kondisi *steady*.

### **3.10 Pengambilan Data Awal**

Pengambilan data awal dilakukan untuk menentukan variasi yang digunakan dalam pengambilan data yang sebenarnya. Pengambilan data awal bertujuan untuk mengetahui dan memastikan setiap komponen mampu berfungsi dengan baik pada berbagai variasi. Variasi yang digunakan pada pengambilan data awal ini adalah variasi *inverter* untuk mengatur kecepatan putar motor, dan rotameter untuk mengatur debit aliran fluida. Dalam pengambilan data awal diusahakan untuk mencoba seluruh variasi yang ada, namun karena keterbatasan waktu dan kemampuan mesin maka diambil variasi dengan selisih konstan setiap variasinya.

*Inverter* yang kami gunakan memiliki frekuensi maksimal 50 Hz. Digunakan variasi 10, 20, 30, 40, dan 50 Hz untuk menjangkau semua tingkatan kecepatan putar. Pada saat frekuensi 10 Hz, kompresor bergerak sangat pelan sehingga arus yang masuk pada motor tidak lancar yang mengakibatkan motor panas. Pada saat frekuensi tinggi yaitu 30-40 Hz, tekanan pada sisi masuk katup ekspansi sangat tinggi mencapai 265 psi (gauge). Puncaknya pada saat tekanan masuk sisi ekspansi lebih dari 265 psi, pipa kapiler pada *orifice* pecah karena tidak

mampu menahan tekanan. Dari pertimbangan data awal, maka frekuensi inverter yang digunakan adalah frekuensi 14, 16, 18, 20, 22, dan 24 Hz. Frekuensi ini dipilih karena tidak terlalu rendah supaya motor tidak panas dan tidak terlalu tinggi supaya tekanan yang dihasilkan tidak terlalu besar. Frekuensi aman bertujuan agar mesin mampu beroperasi lebih lama sehingga pengambilan data tidak terpotong potong.

Rotameter yang digunakan memiliki debit maksimal 7 LPM. Pada pengambilan data awal digunakan variasi dari 1 hingga 5 LPM dengan selisih 0,4 LPM. Pada saat mencapai debit tinggi yaitu 3 sampai 5 LPM, kondensor sangat panas dikarenakan jalur masuk air evaporator dan kondensor dirangkai dalam satu pompa yang dicabangkan pipanya. Sehingga pada saat evaporator menerima debit yang besar, kondensor akan sangat kecil menerima debit air. Ini menyebabkan medium penukar kalor sangat minim, akibatnya kondensor sangat panas dan tekanan sisi kondensor sangat besar. Dari pertimbangan data awal, maka debit aliran air yang digunakan adalah 1, 1,2, 1,4, 1,6, 1,8, dan 2 LPM. Variasi ini digunakan untuk menjaga debit aliran kondensor relatif tetap ketika dibuka penuh, dan debit evaporator bisa diatur sesuai variasi yang diinginkan.

### **3.11 Pelaksanaan Penelitian**

Persiapan dan pengecekan pada peralatan sangat penting dilakukan karena sangat membantu dalam mencapai keakuratan pengambilan data, serta memastikan alat tidak berbahaya pada saat pelaksanaan pengujian. Ada dua tahapan persiapan sebelum dilakukan pengujian yaitu:

#### **3.11.1 Persiapan**

Persiapan yang perlu dilakukan sebelum melakukan pengujian yaitu:

##### **a. Pemeriksaan alat uji:**

1. Melakukan persiapan alat uji meliputi: Mengisi air pada tangki utama, tangka campur, bak rendaman kondensor, dan bak rendaman evaporator.
2. Memastikan alat uji tidak terjadi kebocoran dengan mengisi alat uji menggunakan udara dan mendeteksi kebocoran menggunakan sabun.
3. Menyalakan pompa air dan memastikan air bersirkulasi dengan baik

4. Menyalakan *inverter* dan memastikan motor dapat berjalan dengan lancar.

**b. Persiapan pengujian:**

1. Memasang termokopel pada setiap titik yang sudah ditentukan dan memastikan temperatur terbaca dengan benar
2. Membuka semua katup dan memastikan tidak ada katup yang tersumbat
3. Memasang selang *manifold* pada sisi hisap kompresor, memasang *V-belt* penghubung motor dan kompresor.
4. Memasang tabung refrigeran pada sisi masuk *manifold*
5. Menyalakan *inverter* dan memutar inverter pada frekuensi rendah untuk mengisi refrigeran kedalam kompresor
6. Mengamati *sight glass* dan memastikan jalur terisi penuh oleh refrigeran, setelah penuh tutup *manifold* agar refrigeran tidak bocor
7. Membiarkan alat beroperasi sambil memastikan semua alat ukur dan komponen berfungsi dengan baik
8. Mematikan alat dan membiarkan beberapa saat sampai temperatur dan tekanan di semua titik seragam.

### 3.11.2 Tahap Pengujian

Tahapan yang dilakukan saat memulai pengujian pengambilan data COP yaitu:

1. Memastikan variabel yang akan digunakan dalam pengujian, dan menyiapkan tabel pengamatan
2. *Heater* dalam posisi mati, *blower* meniupkan udara pada kecepatan konstan, katup ekspansi pada posisi konstan
3. Variabel yang digunakan adalah debit pendinginan evaporator yaitu 1, 1,2, 1,4, 1,6, 1,8, dan 2 LPM. Frekuensi inverter yang digunakan adalah 16, 18, 20, 22, dan 24 Hz
4. Menyalakan *inverter* dan pompa air lalu menyetelnya pada setiap variable, lalu biarkan selama lima menit agar kondisi mendekati *steady*.

5. Menaikkan laju debit pendinginan hingga variabel debit pendinginan habis
6. Menaikkan frekuensi *inverter* lalu mengulangi poin lima dan seterusnya hingga kedua variabel habis.

### 3.11.3 Tahap Pengambilan Data

Tahapan dalam pengambilan data meliputi:

1. Menyetel *inverter* pada frekuensi 16 Hz dan laju beban pendinginan 1 LPM, biarkan selama lima menit
2. Setelah alat uji beroperasi selama lima menit, catat data tekanan  $P_1$  hingga  $P_6$ , data temperatur  $T_1$  hingga  $T_{20}$ , putaran motor dan kompresor, arus dan tegangan keluaran *inverter*, dan perubahan ketinggian air raksa pada manometer U
3. Menaikkan laju beban pendinginan menjadi 1,2 LPM lalu mengulangi langkah poin dua
4. Melakukan pengujian untuk laju beban pendinginan 1,4, 1,6, 1,8, dan 2 LPM
5. Menaikkan frekuensi *inverter* menjadi 18 Hz dan mengembalikan laju beban pendinginan menjadi 1 LPM lalu mengulangi langkah poin dua
6. Terus mengulangi langkah diatas hingga semua variabel terpenuhi.

### 3.12 Parameter yang Digunakan dalam Perhitungan

Parameter yang digunakan dalam perhitungan *Coefficient of Performance (COP)* adalah sebagai berikut:

1. Data tekanan (P) dan Temperatur (T)

Data tekanan didapatkan dari hasil pembacaan *pressure gauge* pada enam titik yaitu:

$P_1$  = Tekanan pada sisi hisap kompresor

$P_2$  = Tekanan pada sisi masuk katup ekspansi

$P_3$  = Tekanan pada sisi keluar katup ekspansi

$P_4$  = Tekanan pada sisi masuk seksi uji

$P_5$  = Tekanan pada sisi keluar seksi uji

$P_6$  = Tekanan pada sisi tekan kompresor

Sedangkan data temperatur didapatkan dari pembacaan *termoreader* pada 20 titik yaitu:

$T_1$  = Temperatur aliran refrigerant pada sisi masuk seksi uji

$T_{2,3,4}$  = Temperatur dinding pada sisi masuk seksi uji

$T_5$  = Temperatur udara sebelum masuk seksi uji

$T_6$  = Temperatur udara setelah masuk seksi uji

$T_7$  = Temperatur aliran sisi hisap kompresor

$T_8$  = Temperatur aliran sisi tekan kompresor

$T_9$  = Temperatur aliran refrigerant pada sisi keluar seksi uji

$T_{10,11,12}$  = Temperatur dinding pada sisi keluar seksi uji

$T_{13}$  = Temperatur aliran masuk katup ekspansi

$T_{14}$  = Temperatur aliran keluar katup ekspansi

$T_{15}$  = Temperatur aliran air keluar evaporator

$T_{16}$  = Temperatur aliran air masuk evaporator

$T_{17}$  = Temperatur aliran air keluar kondensor

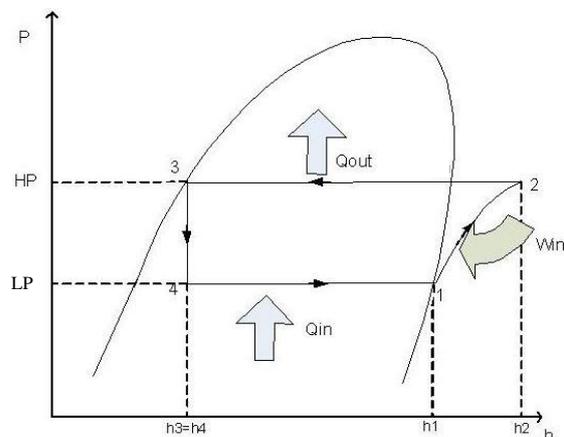
$T_{18}$  = Temperatur aliran air masuk kondensor

$T_{19}$  = Temperatur air pada tangki campur

$T_{20}$  = Temperatur air pada tangki utama

## 2. Data Enthalpi (h)

Data enthalpi dapat dijelaskan dengan diagram P-h seperti yang ditunjukkan pada gambar 3.30



Gambar 3.30 Diagram P-h Siklus Kompresi Uap

Nilai enthalpi (h) pada perhitungan *Coefficient of Performance* (COP) ditunjukkan pada gambar 3.26 yaitu:

1.  $h_1$  adalah enthalpi masuk kompresor, data tekanan yang digunakan adalah  $P_1$  dan data temperatur yang digunakan adalah  $T_7$ .
2.  $h_2$  adalah enthalpi masuk kondensor, data tekanan yang digunakan adalah  $P_6$  dan data temperatur yang digunakan adalah  $T_8$ .
3.  $h_3 = h_4$  adalah enthalpi masuk evaporator, data tekanan yang digunakan adalah  $P_2$  dan data temperatur yang digunakan adalah  $T_{13}$ .

Data entalpi diatas diperoleh dengan mengambil data tekanan dan temperatur yang diperlukan dari masing-masing nilai entalpi, tekanan yang digunakan adalah tekanan dengan satuan MPa. Tekanan yang terbaca pada *pressure gauge* adalah tekanan gauge, maka harus diubah dulu ke tekanan absolut dengan menambahkan tekanan 0,1 MPa pada setiap tekanan yang terbaca. Grafik P-h R-134a digunakan untuk mencari nilai entalpi (h) dengan cara menarik garis dari tekanan yang diketahui hingga memotong garis temperatur yang diketahui, lalu tarik garis vertikal lurus sehingga terbaca nilai entalpinya.

### 3. Persamaan yang digunakan

Persamaan yang digunakan untuk menentukan nilai COP yaitu persamaan (2.17). Nilai  $w_{komp}$  dihitung dengan menggunakan persamaan (2.14) dan nilai  $q_{evap}$  didapatkan dengan menggunakan persamaan energi panas pada persamaan 2.11 yang dimodifikasi sesuai kondisi alat uji yaitu:

$$\dot{Q}_{evap} = \dot{m}_{air} \times C_{p_{air}} \times (T_{16} - T_{15}) \dots\dots\dots (3.18)$$

Dengan:

- $\dot{Q}_{evap}$  = Energi Panas (Joule)
- $\dot{m}_{air}$  = Laju aliran massa air yang masuk evaporator (kg/s)
- $C_{p_{air}}$  = Kalor jenis air (4.200 J/kg.K)
- $T_{16}$  = Temperatur air masuk evaporator (K)
- $T_{15}$  = Temperatur air keluar evaporator (K)

Setelah mendapatkan nilai kalor yang diberikan air ke evaporator dengan menggunakan persamaan 3.18, nilai kalor yang diserap refrigeran tiap satuan

massa refrigeran ( $q_{evap}$ ) di modifikasi dari persamaan 3.18 yaitu dengan membagi energi panas yang diserap evaporator ( $\dot{Q}_{evap}$ ) dengan laju aliran massa refrigeran ( $\dot{m}_r$ ) yaitu:

$$\dot{q}_{evap} = \frac{\dot{Q}_{evap}}{\dot{m}_r} \dots\dots\dots (3.19)$$

Setelah mendapatkan nilai  $q_{evap}$ , persamaan (3.19) disubstitusikan ke persamaan (2.17) menjadi:

$$COP = \frac{\frac{\dot{Q}_{evap}}{\dot{m}_r}}{w_{komp}} \dots\dots\dots (3.20)$$

Persamaan (3.20) bisa ditulis menjadi

$$COP = \frac{\dot{Q}_{evap}}{w_{komp} \cdot \dot{m}_r} \dots\dots\dots (3.21)$$

Setelah mendapatkan nilai COP dan variasi  $\dot{Q}_{evap}$ , hasil perhitungan ditabelkan dan diplot menjadi grafik untuk selanjutnya dianalisa.

### 3.13 Rencana Analisis Data

Rencana analisis data pada penelitian ini meliputi:

#### 1. Pengumpulan data hasil pengujian

Data hasil pengujian dikumpulkan dan dicatat pada *spreadsheet*, data yang dikumpulkan meliputi:

- a. Data tekanan dalam satuan MPa
- b. Data temperatur hasil pengujian yang sudah dikalibrasi dalam satuan °C
- c. Debit aliran masuk evaporator dan kondensor dalam satuan LPM
- d. Putaran kompresor dalam satuan RPM
- e.  $\Delta z$  air raksa dalam manometer air raksa dalam satuan cm
- f. Arus dan tegangan masuk inverter

#### 2. Pengolahan data kalibrasi termokopel

Data temperatur hasil pengujian mulai dari  $T_1$  hingga  $T_{20}$  dikalibrasi dengan menggunakan persamaan regresi yang terlampir pada lampiran. Data temperatur yang sudah dikalibrasi adalah data temperatur yang digunakan pada proses perhitungan.

3. Penghitungan laju aliran massa refrigeran ( $\dot{m}_r$ )

Pada saat pengujian dilakukan pengambilan data  $\Delta z$  air raksa pada manometer air raksa, hasil data itu diolah hingga didapatkan nilai laju aliran massa refrigeran ( $\dot{m}_r$ ). Proses pengolahan data kalibrasi orifice dapat dilihat pada subbab 3.7.

4. Perhitungan *Cooling load* ( $\dot{Q}_{\text{evap}}$ )

Debit aliran air masuk ke evaporator yang memiliki satuan LPM diolah dan dihitung dengan menggunakan persamaan 3.18 dengan satuan Watt dan digunakan untuk perhitungan kapasitas pendinginan  $q_{\text{evap}}$ .

5. Perhitungan *Coefficient of Performance* (COP)

Setelah  $\dot{Q}_{\text{evap}}$  dan  $\dot{m}_r$  diketahui hasilnya maka dilakukan perhitungan *Coefficient of Performance* (COP) dengan persamaan 2.17.

6. Pembuatan grafik dan analisa

Setelah proses perhitungan selesai, data hasil perhitungan dihimpun dalam *spreadsheet* untuk selanjutnya dibuat grafik hubungan dan dianalisa. Grafik hubungan yang akan dibuat dan dianalisa antara lain:

- a. Grafik hubungan antara *Cooling load* dengan temperatur dan tekanan evaporasi.
- b. Grafik hubungan antara *Cooling load* dengan laju aliran massa refrigeran.
- c. Grafik hubungan antara *Cooling load* dengan daya kompresor ( $W_{\text{komp}}$ ) dan kapasitas pendinginan ( $q_{\text{evap}}$ )
- d. Grafik hubungan antara *Cooling load* dengan *Coefficient of Performance* (COP).