

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Bahan yang akan digunakan

Bahan yang akan digunakan pada penelitian ini adalah Freon R-134a dan air. Dimana Freon R-134a berfungsi sebagai fluida penyerap kalor yang terdapat di dalam saluran, sedangkan air berfungsi sebagai sumber kalor yang masuk ke dalam evaporator. Yang nantinya akan diatur debitnya sehingga berapa banyak kalor yang terserap dapat di hitung dan bisa di ketahui pengaruh yang akan terjadi pada nilai koefisien perpindahan kalornya. Refrigeran yang digunakan dalam penelitian ini adalah buatan PT Polarin Xinindo dengan merek KLEA dengan memiliki beberapa sifat yang ditunjukkan pada tabel 3.1:

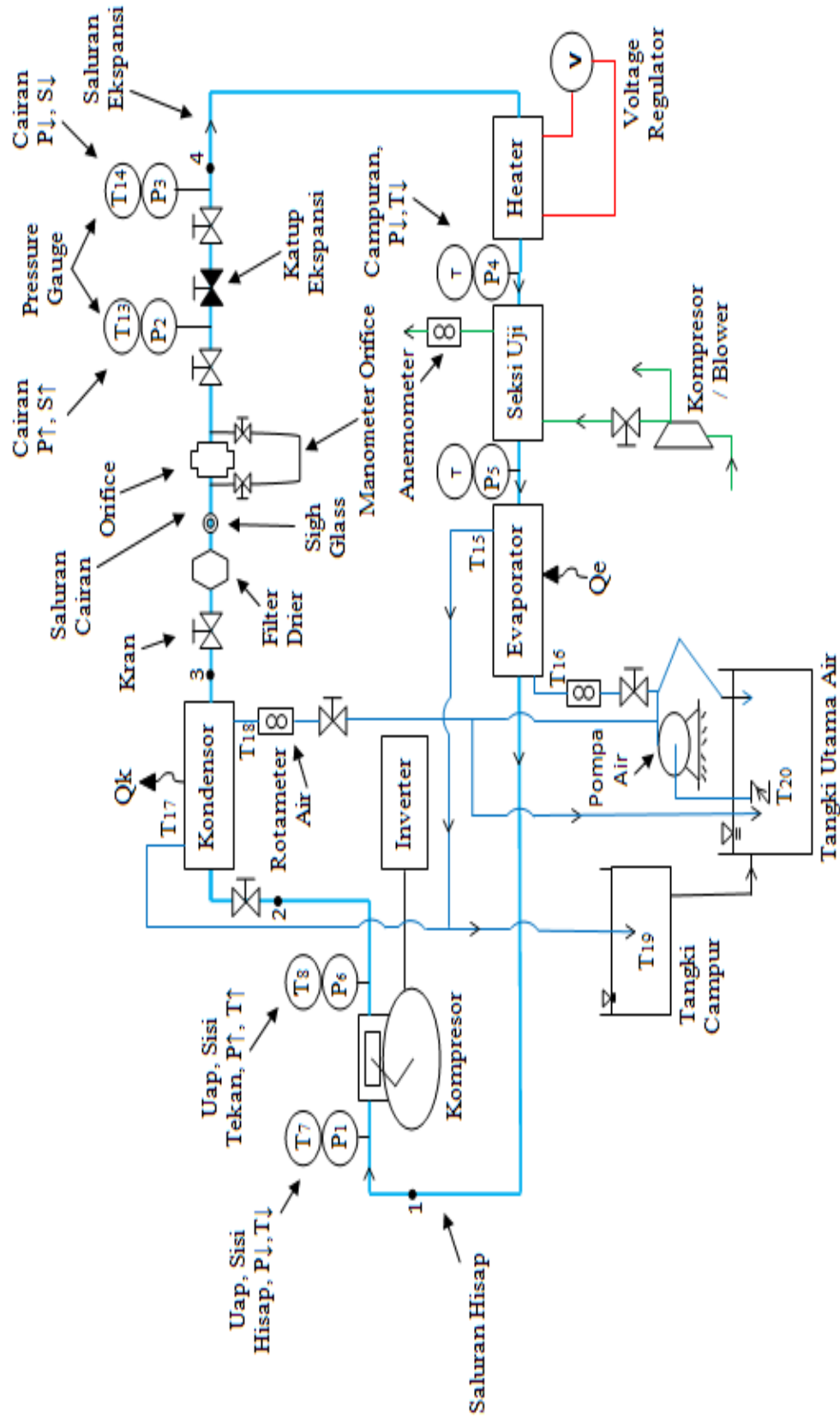
Tabel 3.1. Sifat-sifat dari Refrigeran R-134a

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 Massa jenis uap (kg/m ³ @nBpt): 5,23 ODP (Ozone Depleting Potential): 0 GWP (Global Warming Potential): 1430

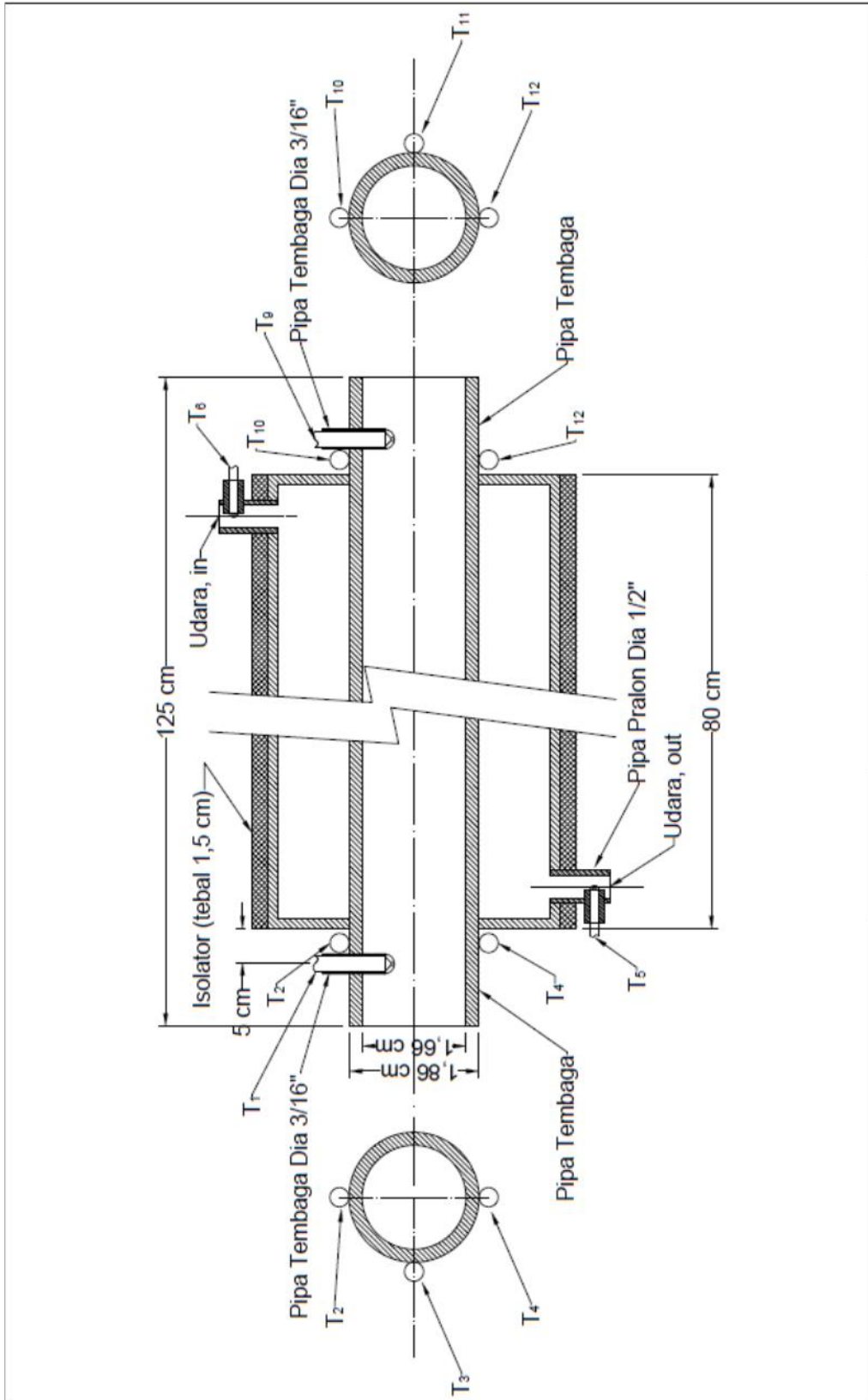
Grafik tekanan *enthalpy* R-134a (diagram P-h) dapat dilihat pada **Lampiran 1**.

3.2 Skema Alat Uji

Alat yang digunakan adalah alat kompresi uap sederhana yang di modifikasi dengan penambahan heater, dimana data yang diambil nantinya berasal dari alat tersebut. Dengan menggunakan Refrigerant R-134a nantinya akan didapat nilai Koefisien Perpindahan Kalor Evaporasi dengan Variasi Beban Pendinginan. Dimana data tersebut diperoleh dari kalor serapan evaporator (q_{evap}) dengan cara memvariasikan debit air yang masuk ke dalam evaporator itu sendiri 1, 1,2, 1,4, 1,6, 1,8, 2 LPM. Sehingga nantinya didapatkan selisih *temperature* air masuk dan keluar evaporator. Skema alat uji dapat dilihat pada gambar 3.1.



Gambar 3.1 Skema Alat Uji



Gambar 3.2 Skema Seksi Uji



(a) Pandangan Depan



(b) Pandangan Samping Kanan



(c) Pandangan Belakang



(d) Pandangan Samping Kiri

Gambar 3.3 Foto Alat Uji

Keterangan Gambar 3.1:

1. Titik 1 : Pada proses ini refrigeran ditekan dalam kompresor sampai kondisinya menjadi cair dengan temperatur yang tinggi. Gas refrigeran dalam evaporator yang dihisap oleh kompresor akan membuat tekanannya tetap rendah dalam evaporator, dan untuk membuat cairan refrigeran menjadi gas secara dinamis pada temperature yang rendah. Maka tekanan gas refrigeran ditekan dalam silinder, dan berubah menjadi tinggi, sehingga temperatur dan tekanan naik dan refrigeran akan mudah menjadi cair walaupun proses pendinginan dalam temperatur yang lebih tinggi. Dan gas refrigeran yang dikompresikan disalurkan ke komponen selanjutnya yaitu di dinginkan di kondensor.
2. Titik 2 : proses 2-3 adalah proses kondensasi, pada proses kondensasi, refrigeran diubah dari gas menjadi cair dan didinginkan dari temperatur yang tinggi di dalam kondensor menjadi temperatur lebih rendah. Refrigeran yang bertemperatur dan bertekanan tinggi itu dipancarkan dalam kondensor menjadi cairan dan disalurkan ke *receiver dryer* untuk disaring. Hal itu juga dinamakan proses kondensasi panas. Panas yang tinggi dari refrigeran dapat dikeluarkan oleh kondensor sehingga refrigeran menjadi dingin.
3. Titik 3 : proses 3-4 ialah proses ekspansi Pada proses ekspansi, tekanan cairan refrigeran diturunkan oleh katup ekspansi. Hal itu disebut proses ekspansi, dimana gas bertekanan itu diuapkan dengan mudah dalam evaporator sehingga refrigeran menjadi gas, dan *expansion valve* mengatur aliran cairan refrigeran sambil menurunkan tekanannya. Cairan refrigeran yang diuapkan dalam evaporator diatur oleh tingkat pendinginan yang harus dilakukan dibawah temperatur penguapan. Untuk itu, penting untuk mengontrol jumlah refrigeran yang dibutuhkan dengan melakukan pengecekan yang benar.
4. Titik 4 : proses 4-1 merupakan proses evaporasi dimana proses evaporasi adalah perubahan fase refrigeran dari campuran ke gas jenuh (penguapan) untuk selanjutnya dihisap kembali oleh kompresor. Proses perubahan fase terjadi pada temperatur dan tekanan konstan. Evaporasi terjadi pada evaporator.

5. Data tekanan didapatkan dari hasil pembacaan *presuure gauge* pada setiap titik antara lain:

- 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

6. Suhu yang terbaca di dalam sistem mulai dari T_1 - T_{20} :

- T_1 = Suhu dalam seksi uji (atas) (masuk pipa)
- T_2, T_3, T_4 = Suhu dinding luar seksi uji
- T_5 = Suhu udara sebelum seksi uji
- T_6 = Suhu udara setelah seksi uji
- T_7 = Suhu *suction* kompresor
- T_8 = Suhu *discharge* kompresor
- T_9 = Suhu dalam seksi uji (bawah) (masuk pipa)
- T_{10}, T_{11}, T_{12} = Suhu dinding dalam seksi uji
- T_{13} = Suhu masuk katup ekspansi
- T_{14} = Suhu keluar katup ekspansi
- T_{15} = Suhu air keluar evaporator
- T_{16} = Suhu air masuk evaporator
- T_{17} = Suhu air keluar kondensor
- T_{18} = Suhu air masuk kondensor
- T_{19} = Suhu air pada tangki campur
- T_{20} = Suhu air pada tangki utama

3.3 Peralatan Pengujian

Penelitian ini menggunakan mesin siklus kompresi uap sederhana yang dimodifikasi. Penelitian ini difokuskan pada Pengukuran Koefisien Perpindahan Kalor Evaporasi Refrigerant R-134a di dalam Saluran Halus Horizontal dengan variasi Kapasitas Beban Pendinginan.

Alat dan komponen yang digunakan antara lain:

a. Kompresor

Pada penelitian ini kompresor berfungsi untuk memompakan refrigeran ke seluruh sistem. Dimana dengan sebuah motor 3 phase sebagai penggerakannya. Prinsip kerjanya adalah semakin kencang putaran motor maka semakin kencang pula putaran kompresor yang dihasilkan dan tekanan kompresi yang dihasilkan pun akan semakin besar. Berikut adalah spesifikasi kompresor yang digunakan:

- Merk : NIPPONDENSO
- Type : 10P15C
- Sistem kerja : Memiliki 10 langkah piston
- Kapasitas kompresi : 150cc



Gambar 3.3 Kompresor NIPPONDENSO 10P15C

b. Kondensor

Pada penelitian ini kondensor berfungsi mengubah refrigeran yang sebelumnya berbentuk gas, menjadi cair dan mendinginkan refrigeran

menjadi temperature yang lebih rendah. Kondensor yang digunakan adalah kondensor ac mobil Toyota Kijang Grand R12.



Gambar 3.4 Kondensor

c. Evaporator

Pada penelitian ini evaporator berfungsi untuk menguapkan refrigeran sehingga menjadi gas. evaporator yang digunakan dalam penelitian ini adalah evaporator ac mobil depan Avanza.



Gambar 3.5 Evaporator

d. Katup Ekpansi

Pada penelitian ini katup ekspansi berfungsi untuk menurunkan tekanan refrigeran pada saat proses evaporasi terjadi. Katup ekspansi yang digunakan adalah katup ekspansi merk DANFOSS TX 2.



Gambar 3.6 Katup Ekspansi

e. Motor Listrik

Motor listrik digunakan untuk menggerakkan kompresor. Motor listrik yang digunakan adalah motor listrik 3 phase dengan spesifikasi sebagai berikut:

- Type : Y100L-4
- Frekuensi : 50 Hz
- Kebisingan : 70 dB
- Output : 3 HP (2,2 kW)
- Kecepatan : 1430 RPM
- Voltase : 220/380 V
- Hubungan : Δ/Y
- Arus : 8,4/4,9 A



Gambar 3.7 Motor Listrik

f. 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, dengan spesifikasi sebagai berikut:

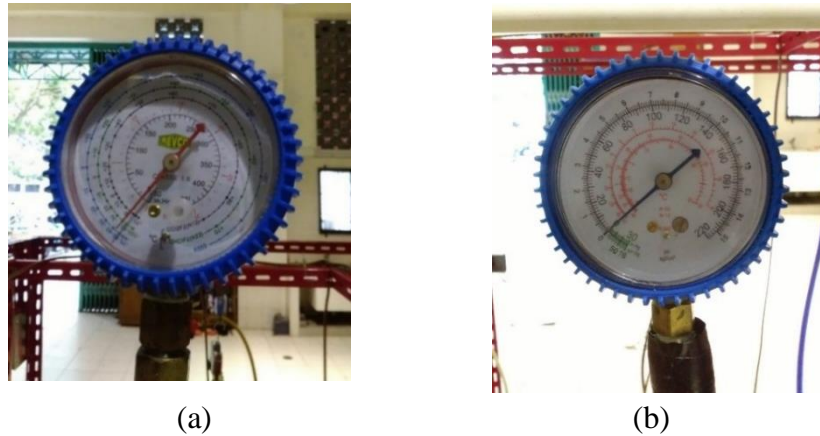
- Merk : CHINT
- Type : NVF2G-3.7/TS4
- Daya keluaran maksimal : 3,7 kW
- 3 phase input : 380 V/440 V
- Frekuensi maksimal : 50 Hz



Gambar 3.8 Inverter 3 phase merk CHINT

g. 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.



Gambar 3.9 (a) Pressure gauge *high pressure* dan (b) pressure gauge *low pressure*

h. Filter Dryer

Saringan dikonstruksi berupa tabung silinder yang di dalamnya terdapat sel silika yang menyerap uap air pada zat pendingin. Pada bagian atas saringan kebanyakan dilengkapi dengan kaca pengontrol untuk melihat zat pendingin yang beredar dalam sistem. Kadang-kadang saringan dilengkapi juga dengan tutup pengaman yang terbuat dari wood metal, tutup pengaman ini akan cair bila temperatur zat pendingin mencapai batas yang ditentukan. Fungsi utama *filter dryer* adalah menyaring kotoran halus agar tidak menyumbat katup ekspansi. Spesifikasi *filter dryer* yang digunakan:

- Type : EK-083
- Digunakan untuk refrigeran : R12, RR134a, R22, R404A, R407C, R410A, R500, R502, R507



Gambar 3.10 *Filter Dryer*

i. Pompa Air

Pompa adalah alat yang digunakan untuk memindahkan cairan (fluida) dari suatu tempat ke tempat yang lain, melalui media pipa atau saluran dengan cara menambahkan energi pada cairan dan berlangsung secara terus-menerus. Pada sistem refrigerasi ini pompa berfungsi sebagai alat yang mensirkulasikan/memompa air evaporator-bak penampung-kondensor, dan bersirkulasi secara berulang-ulang dan terus-menerus. Berikut spesifikasi pompa yang digunakan:

- 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



Gambar 3.11 Pompa Air

j. MCB (Mini Circuit Breaker)

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

- Merk : Chint
- Maksimal arus: 16 Ampere



Gambar 3.12 MCB (*Mini Circuit Breaker*)

k. Katup (Valve)

Katup (Valve) adalah alat yang terpasang pada sistem perpipaan yang berfungsi untuk mengatur, mengontrol dan mengarahkan laju aliran fluida dengan cara membuka, menutup atau mengalirkan sebagian fluida guna mendapatkan pressure yang lebih rendah.



Gambar 3.13 Katup (*Valve*)

l. Manometer Air Raksa

Suatu alat ukur tekanan zat cair di dua titik dan sangat sederhana, sehingga pengamat bisa langsung mengamati dari tabung yang sudah di skalakan. Manometer biasanya digunakan untuk mengukur tekanan yang tinggi.



Gambar 3.14 Manometer Air Raksa

m. Rotameter Air

Dua Rotameter yang digunakan adalah rotameter dengan merek *YYZX Instrument Company* dengan kapasitas maksimum 2 GPM dan 7.4 LPM yang digunakan untuk mengukur laju aliran.



Gambar 3.15 Rotameter Air

n. Manifold

Fungsi *Manifold* adalah untuk mengukur refrigeran ketika melakukan pengisian refrigeran yang diisikan ke dalam sistem refrigerasi yang digunakan saat penelitian.



Gambar 3.16 Manifold

o. *Sight Glass* (Kaca Penduga)

Kaca penduga berfungsi sebagai indikator penunjuk refrigeran di dalam saluran sistem refrigerasi ketika diisikan ke dalam sistem, sudah penuh atau kah belum. Kaca penduga diletakkan pada fasa refrigeran cair jenuh yaitu setelah kondensor.



Gambar 3.17 *Sight Glass*

p. *Thermoreader*

Thermoreader adalah jenis sensor suhu yang digunakan untuk mendeteksi atau mengukur suhu yang sudah terpasang di dalam rangkaian sistem alat. Spesifikasi *thermoreader* yang digunakan, yaitu:

- Type : T dengan 4 input
- Range temperatur : -50 °C – 1300 °C
- Toleransi : $\pm 0,5\% \pm 1^\circ\text{C}$



Gambar 3.18 *Thermoreader*

q. 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. Berikut adalah spesifikasi anemometer yang digunakan:

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



Gambar 3.19 Anemometer

r. Voltage Regulator

Voltage regulator adalah alat yang berfungsi untuk mengatur tegangan keluaran dc. Voltage regulator yang digunakan memiliki spesifikasi sebagai berikut:

- Merk : Krisbow
- Type : kw2001220
- Tegangan input : satu fasa = 220V $\pm 10\%$
- Tegangan output : fasa tunggal = 0-250V $\pm 10\%$
- Frekuensi : $> 90\%$
- Distorsi gelombang : tidak ada distorsi tambahan
- Temperatur naik : $< 60^{\circ}\text{C}$

- Kekuatan dielektrik : 1500V/min
- Resistensi isolasi : fasa tunggal $> 5M\Omega$



Gambar 3.20 *Voltage Regulator*

s. Multimeter

Multimeter adalah alat yang digunakan untuk mengukur arus, hambatan, dan juga voltase yang ada di dalam rangkaian alat pengkondisian udara tersebut, dimana spesifikasi multimeter yang digunakan adalah sebagai berikut:

- Merk : Heles
- Type : UX879TR
- Tegangan maksimal : 10 m Ω
- Voltase maksimal : 500 V DC/AC
- Arus maksimal : 20 A
- Kapasitansi : 200 μ F
- Temperatur maksimal : 1000 $^{\circ}$ C



Gambar 3.21 Multimeter

t. Tang Ampere

Tang ampere adalah sebuah alat ukur digital yang bentuknya menyerupai tang, yang berfungsi untuk mengukur tagangan, arus, maupun hambatan dari sebuah alat yang berhubungan dengan kelistrikan. Cara kerja alat ini adalah dengan mengaitkan pengait yang menyerupai tang pada tang ampere tersebut lalu mengaitkan pada kabel yang di hitung arus, tegangan, ataupun hambatannya. Berikut adalah spesifikasi tang ampere yang digunakan:

- Type : DT3266L
- Tegangan maksimal : $2M\Omega$
- Voltase maksimal : 600 V
- Arus maksimal : 600 A



Gambar 3.22 Tang Ampere

u. Pipa kapiler

Pipa kapiler terbuat dari pipa tembaga dengan lubang dalam yang sangat kecil. Panjang dan lubang kapiler dapat mengontrol jumlah fluida pendingin yang mengalir ke evaporator. Fungsi Pipa kapiler adalah menurunkan tekanan fluida pendingin cair yang mengalir didalamnya. Ukuran pipa kapiler yang digunakan dalam alat uji penelitian ini adalah: $\frac{3}{4}$ inch, $\frac{1}{2}$ inch, $\frac{1}{4}$ inch, $\frac{3}{8}$ inch, $\frac{3}{16}$ inch.



Gambar 3.23 Pipa kapiler

v. Pipa paralon (PVC)

Pipa paralon (PVC) adalah sebuah jenis pipa yang terbuat dari bahan plastik dan beberapa kombinasi vinyl lainnya. Pipa paralon ini berfungsi untuk mengalirkan fluida (air) yang terus mengalir dari bak tampung, kondensor, evaporator yang bersirkulasi terus menerus ketika sistem di jalankan.



Gambar 3.24 Pipa Paralon (PVC)

w. *Heater* dan seksi uji

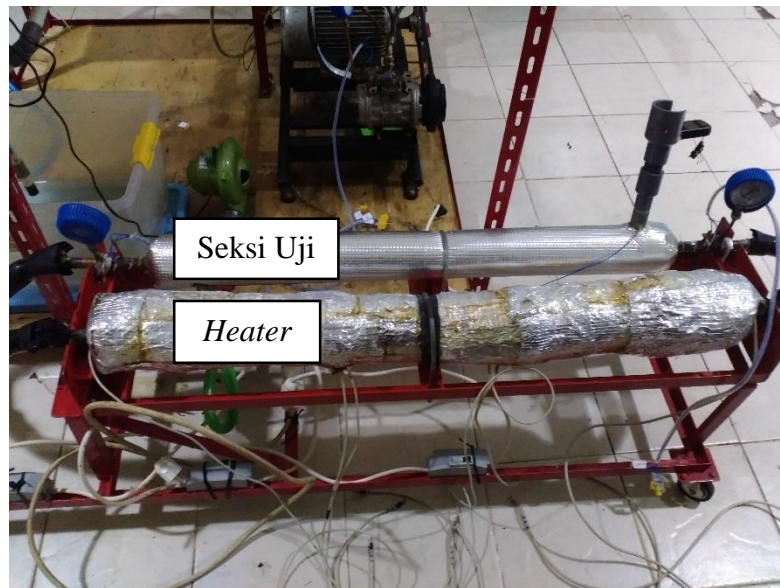
Heater (pemanas) berfungsi sebagai pemanas refrigeran yang bersirkulasi melewati jalur pipa tembaga yang berada dalam sistem. Spesifikasi pemanas yang digunakan:

- Bahan : Pipa tembaga berdinding tebal
- Diameter nominal : $\frac{3}{4}$ inci,
- Diameter dinding dalam : 16,6 mm
- 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 yang menggunakan udara yang dihembuskan oleh blower. Berikut adalah spesifikasi seksi uji yang digunakan:

- Bahan : Sebelah dalam menggunakan pipa tembaga berdinding tebal
- Diameter nominal : $\frac{3}{4}$ inci
- Diameter dinding dalam : 16,6 mm
- Diameter dinding luar : 18,5 mm
- Panjang pipa tembaga : 1,2 m
- Pipa luar menggunakan pipa paralon dengan panjang 80 cm
- Diameter nominal : 2 inch
- 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 dilester agar tidak bergeser. Termokopel juga dipasang di bagian masuk dan keluar pipa tembaga untuk mengukur temperatur jenuh refrigeran.
- Ukuran 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* ditunjukkan pada gambar 3.22. Sedangkan untuk gambar teknik seksi uji ditunjukkan pada gambar 3.23.



Gambar 3.25 Heater dan Seksi Uji

x. *Orifice*

Orifice menggunakan pelat aluminium berlubang berdiameter kecil 2 mm dan pipa besi berdiameter dalam 12 mm. Pada bagian bawah pipa besi dibuat dua lubang sisi masuk dan keluar berdiameter 5 mm untuk pengukuran beda tekanan. Jarak lubang pelat ke orifice masing-masing 5 cm.



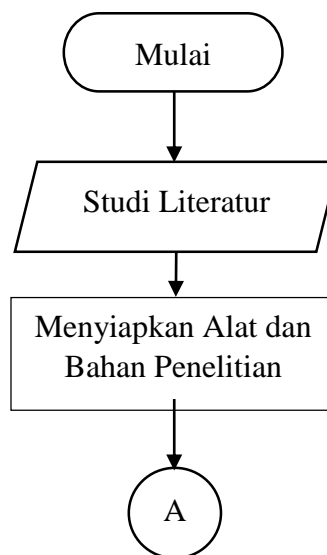
Gambar 3.27 Orifice



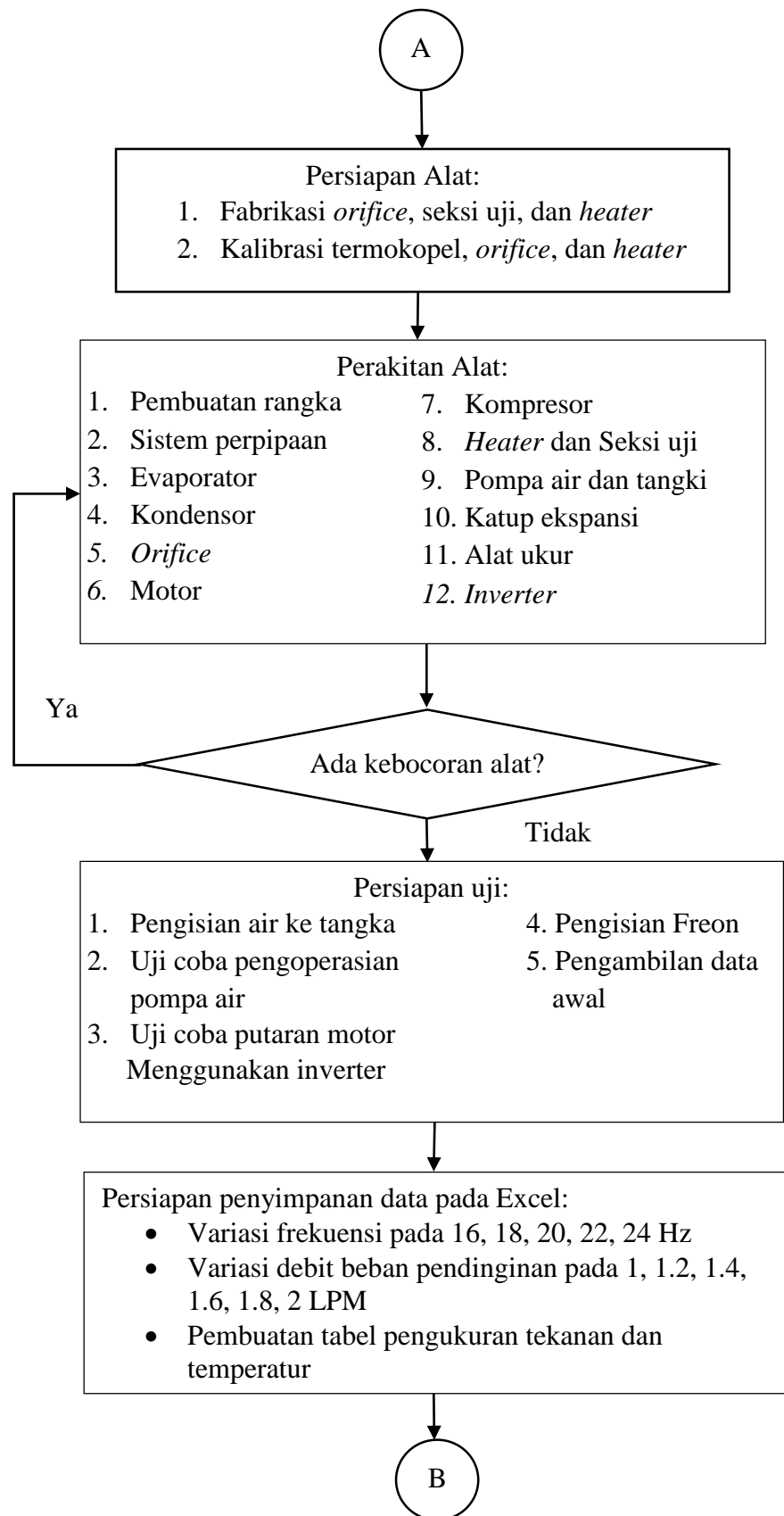
Gambar 3.29 *Blower*

3.4 Diagram Alir Penelitian

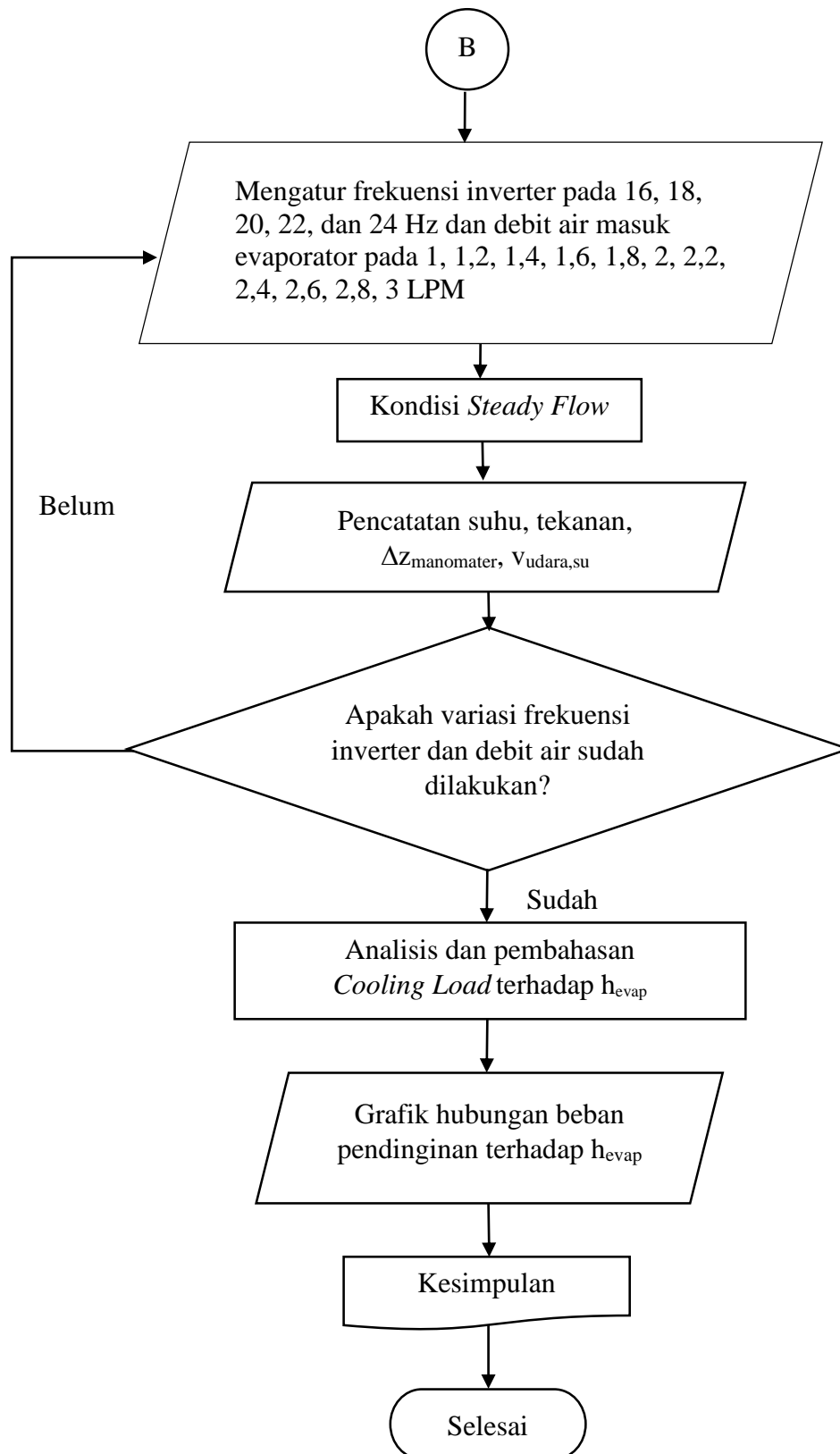
Diagram alir digunakan untuk merencanakan tahapan-tahapan pengujian. Diagram ini menampilkan urutan kegiatan yang dilakukan dalam pengujian, mulai dari persiapan pengujian sampai akhir pengujian. Seperti ditunjukkan gambar 3.30:



Gambar 3.30 Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.30 Diagram Alir Penelitian (lanjutan)



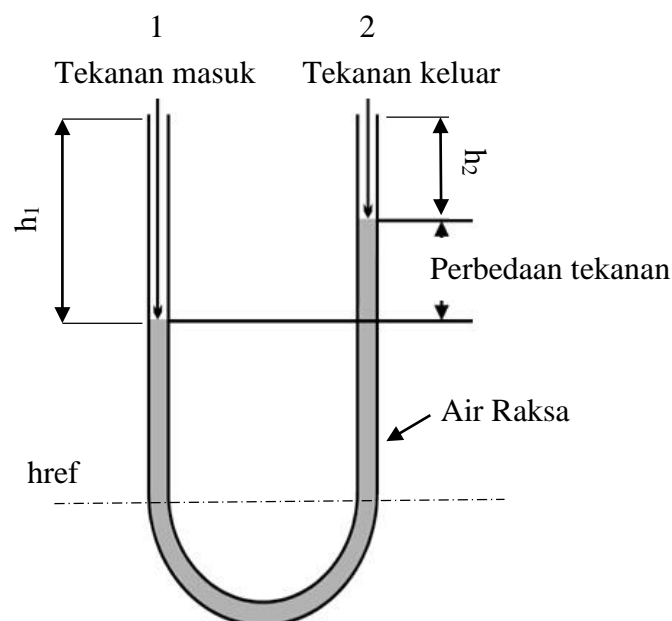
Gambar 3.30 Diagram Alir Penelitian (lanjutan)

3.5 Kalibrasi Termokopel

Kalibrasi termokopel dilakukan dengan temperatur antara 6 °C sampai 73 °C. Untuk mengkalibrasi termokopel pada temperatur rendah digunakan es batu sebagai media. Sedangkan pada temperatur tinggi kalibrasi dilakukan dengan menggunakan air panas. Selanjutnya data diinput pada Excel lalu dilakukan regresi linier untuk masing-masing titik pengukuran temperatur. Regresi linier dilakukan dengan range suhu 10 °C. Data kalibrasi termokopel dan persamaan regresinya terdapat di **Lampian 2**.

3.6 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). Sedangkan prinsip kerja dari manometer itu sendiri adalah untuk mengukur laju aliran massa dengan menggunakan beda tekanan yang terjadi antara sisi masuk dan keluar orifice yang diindikasikan dengan perbedaan level fluida yang berada di dalam manometer, untuk fluida yang di gunakan adalah air raksa untuk mengetahui beda tekanan dari manometer tersebut. Skema manometer ditunjukkan pada gambar 3.31.



Gambar 3.31 Skema Manometer

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

$$P_1 - P_2 = \rho_{Hg} \cdot g \cdot (h_1 - h_2) \dots\dots\dots(3.1)$$

Dengan:

$$P_1 - P_2 = \text{Beda tekanan sisi masuk dan keluar orifice (Pa)}$$

$$\rho_{Hg} = \text{Massa Jenis air raksa (13.600 kg/m}^3\text{)}$$

$$g = \text{Percepatan gravitasi bumi (9,81 m/s}^2\text{)}$$

$$h_1 - h_2 = \text{Beda level fluida pada sisi masuk dan keluar (m)}$$

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

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

Dengan:

$$\dot{m}_{wtr} = \text{laju aliran massa air (kg/s)}$$

$$\rho_{wtr.1} = \text{massa jenis air pada aliran pipa tembaga (kg/m}^3\text{)}$$

$$\rho_{wtr.2} = \text{massa jenis air pada aliran orifice (kg/m}^3\text{)}$$

$$A_2 = \text{luas penampang orifice (m}^2\text{)}$$

$$A_1 = \text{luas penampang pipa tembaga (m}^2\text{)}$$

$$v_1 = \text{kecepatan alir fluida pada pipa tembaga (m/s)}$$

$$v_2 = \text{kecepatan alir fluida pada orifice (m/s)}$$

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 sebagai berikut:

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

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

Dengan:

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

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

Dengan mensubstitusikan persamaan (3.3) ke persamaan (3.5), maka persamaan menjadi:

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

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

Persamaan laju aliran volume ideal adalah:

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

Dengan mensubstitusikan persamaan (3.8) ke persamaan (3.9), laju aliran volume ideal menjadi:

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

Hubungan antara laju aliran volume air ideal dan aktual dapat ditulis:

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

Dengan:

$C =$ koefisien curah (*discharge coefficient*)

\dot{V}_{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).

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

Bilangan *Reynolds* (Re) aliran dapat ditulis dengan persamaan:

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

Dengan D_1 adalah diameter pipa tembaga (m).

Untuk menghitung laju aliran volume fluida harus ditentukan koefisien curah (C). seperti pada persamaan (3.13):

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

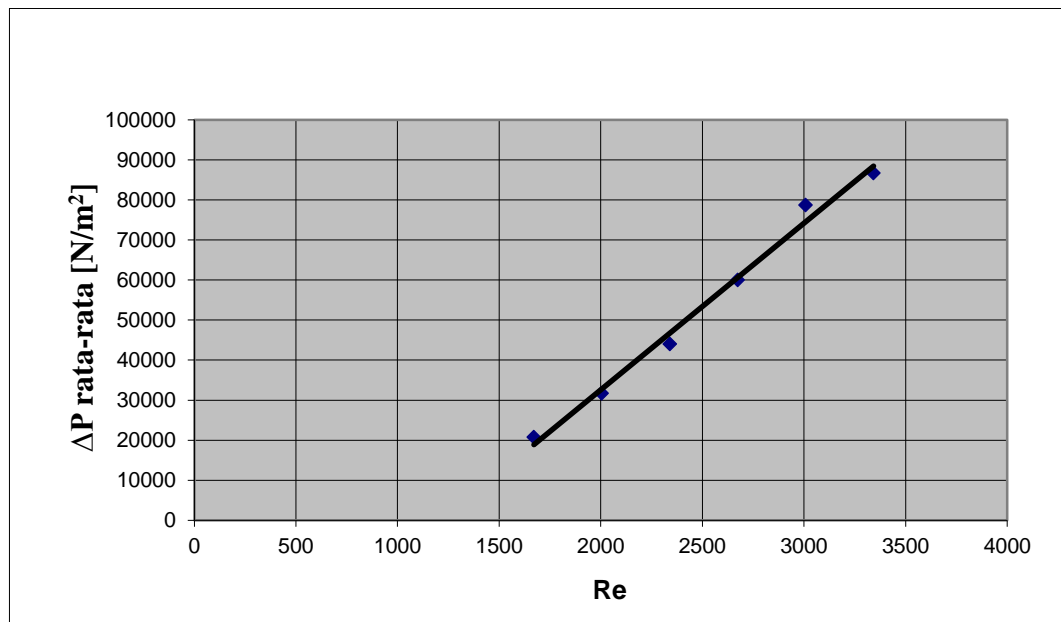
Persamaan (3.16) disubstitusikan ke persamaan (3.14) menjadi:

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

Sehingga persamaan untuk mencari koefisien curah (C) menjadi:

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

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). Grafik hubungan antara beda tekanan orifice dengan bilangan Re ditunjukkan pada gambar 3.32 dan grafik hubungan bilangan Re dengan koefisien curah (C) ditunjukkan pada gambar 3.33.

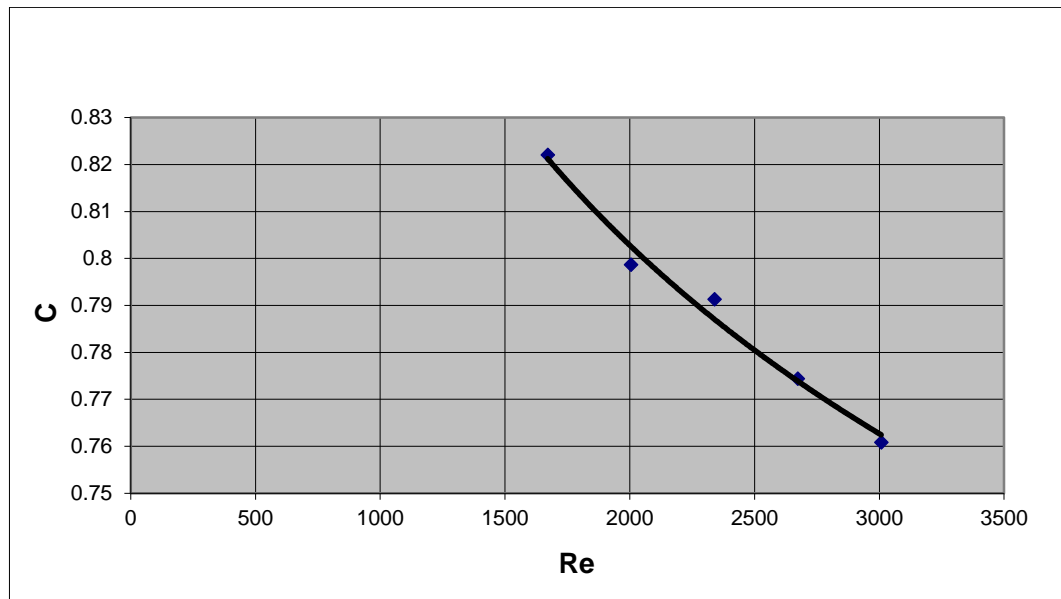


Gambar 3.32 Grafik hubungan beda tekanan ΔPrata-rata orifice dengan bilangan Re

Keterangan Gambar 3.32.

$$\Delta P = 41.588 \text{ Re} - 50558$$

$$\text{Re} = 0.9904$$



Gambar 3.33 Grafik hubungan bilangan Re dengan koefisien curah (C)

Keterangan Gambar 3.33.

$$C = 2.0986 \text{ Re}^{-0.126}$$

$$\text{Re} = 0.9834$$

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 gambar 3.28
4. Dengan data bilangan *Reynold* tentukan koefisien curah menggunakan gambar 3.29

5. Menghitung laju aliran volume refrigeran aktual menggunakan persamaan (3.17) dengan mengganti massa jenis air dengan massa jenis refrigerant
6. Laju aliran massa refrigeran dapat ditulis sebagai:

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

3.7 Tes Kebocoran

Setelah dilakukan perakitan alat uji seperti pada gambar 3.1, tes kebocoran dilakukan sangat perlu dilakukan baik pada sisi aliran refrigeran maupun pada sisi aliran air. Untuk mengetahui kebocoran pada sisi aliran air dapat dilakukan dengan mensirkulasikan air ke seluruh sistem aliran air, sehingga kebocoran air dapat dideteksi apabila ada tetesan air. Sedangkan tes kebocoran pada sisi aliran refrigeran dilakukan dengan memberikan tekanan udara ke seluruh sistem aliran refrigeran hingga tekanan ± 100 psi, setelah itu dioleskan air sabun ke tiap sambungan untuk mendeteksi kebocoran, apabila terjadi kebocoran terjadi maka akan terdapat gelembung udara pada area yang mengalami kebocoran tersebut. Apabila terjadi kebocoran pada sambungan las, maka dilakukan 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 untuk mempererat dan memperkuat sambungan yang mengalami kebocoran tersebut.

3.8 Pengisian Refrigeran

Sebelum melakukan pengisian refrigeran, dipastikan alat sudah tidak ada indikasi kebocoran. Setelah itu 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 dengan menggunakan popm air, air di dalam tangki utama disirkulasikan menuju ke kondensor dan evaporator. Debit air menuju evaporator ditetapkan 1,4 LPM,

sedangkan debit kondensor menyesuaikan dengan posisi katup menuju kondensor terbuka penuh. Setelah itu udara masuk seksi uji dengan menggunakan blower sebagai media penyuplai udara tersebut.

Setelah air bersirkulasi dengan baik, motor listrik dinyalakan sehingga kompresor mulai bekerja. Refrigeran dimasukkan ke kompresor dengan menggunakan *manifold*, dengan cara mengamati perubahan pada *sight glass* untuk menentukan sudah terpenuhinya refrigeran yang bersirkulasi di dalam sistem. Dimana apabila sudah tidak terdapat gelembung udara pada *sight glass* maka 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 selama 10-15 menit sampai sistem dalam kondisi *steady*.

3.9 Prosedur Penelitian

Berikut adalah prosedur penelitian yang akan dilakukan, namun demikian untuk membantu keakuratan data yang akan didapat perlu dilakukan persiapan dan pengecekan, serta memastikan alat sudah siap untuk di gunakan (*running*). Ada dua tahapan persiapan sebelum dilakukan pengujian yaitu:

3.4.1 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 baik dan 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.

3.4.2 Tahap Pengujian

Tahapan yang dilakukan saat memulai pengujian pengambilan data Pengukuran koefisien evaporasi dengan variasi kapasitas beban pendinginan 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, 2 LPM. Frekuensi inverter yang digunakan adalah 16, 18, 20, 22, dan 24 Hz.
4. Menyalakan inverter dan pompa air lalu menyetelnya pada setiap variabel, 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.

3.4.3 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, 1,2, 1,4, 1,6, 1,8, 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.

3.4.4 Parameter yang digunakan dalam perhitungan

Parameter yang digunakan dalam perhitungan Koefisien Perpindahan Kalor Evaporasi dengan variasi kapasitas beban pendinginan adalah sebagai berikut:

1. Data tekanan (P)

Data tekanan didapatkan dari hasil pembacaan *pressure gauge* pada setiap titik antara lain:

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

2. Suhu yang terbaca di dalam sistem mulai dari T₁-T₂₀:

T₁ = Suhu dalam seksi uji (atas) (masuk pipa)

T₂, T₃, T₄ = Suhu dinding luar seksi uji

T₅ = Suhu udara sebelum seksi uji

T₆ = Suhu udara setelah seksi uji

T₇ = Suhu *suction* kompresor

T₈ = Suhu *discharge* kompresor

T₉ = Suhu dalam seksi uji (bawah) (masuk pipa)

T₁₀, T₁₁, T₁₂ = Suhu dinding dalam seksi uji

T₁₃ = Suhu masuk katup ekspansi

T₁₄ = Suhu keluar katup ekspansi

T₁₅ = Suhu air keluar evaporator

T₁₆ = Suhu air masuk evaporator

T₁₇ = Suhu air keluar kondensor

T₁₈ = Suhu air masuk kondensor

T₁₉ = Suhu air pada tangka campur

T₂₀ = Suhu pada tangki campur

3. Persamaan yang digunakan

Persamaan yang digunakan untuk menentukan nilai kapasitas beban pendinginan (*Cooling Load*) dan nilai koefisien perpindahan kalor evaporasi (h_{evap}) yaitu:

$$\text{Cooling Load} = \dot{m}_{\text{air}} \cdot c_{p_{\text{air}}} \cdot \Delta T_{\text{air}} \dots \dots \dots (3.18)$$

$$Q_{\text{evap, udara, su}} = \rho_{\text{udara}} \cdot \frac{\pi}{4} (D_i \cdot \text{anemo})^2 \cdot \dot{V}_{\text{udara}} \cdot c_{p_{\text{udara}}} \cdot \Delta T_{\text{udara}} \dots \dots \dots (3.19)$$

$$h_{\text{evap}} = \frac{Q_{\text{evap, udara, su}}}{A_i \cdot (T_{\text{wi}} - T_{\text{sat}})} \dots \dots \dots (3.20)$$

)

$$T_{\text{wi}} = T_{\text{wo}} - \frac{Q \cdot \ln(D_o/D_i)}{2\pi \cdot k \cdot L} \dots \dots \dots (3.21)$$

$$T_{\text{wi}} = \frac{T_{\text{wi1}} + T_{\text{wi2}} + T_{\text{wi3}}}{3} \dots \dots \dots (3.22)$$

Dimana nilai dari variabel-variabel rumus diatas didapat dari data seksi uji:

$D_{i,su}$	=	$16,60 \times 10^{-3} \text{ m}$
$D_{o,su}$	=	$18,85 \times 10^{-3} \text{ m}$
L_{su}	=	1,2 m
$k_{tembaga}$	=	380 W/m K
ρ_{udara}	=	1,2 kg/m ³
$D_{i,anemo}$	=	$2,75 \times 10^{-3} \text{ m}$
\dot{V}_{udara}	=	3,6 m ³ /s
$C_{p_{udara}}$	=	1005 J/kg.K
ρ_{air}	=	1000 kg/m ³
$c_{p_{air}}$	=	4,22 KJ/kg.K
\dot{m}_{air}	=	0,16 kg/s
ΔT_{air}	=	5,86 °C

3.10 Rencana Analisis Data

Rencana analisis data pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Pencatatan data hasil pengujian

Data hasil pengujian nantinya di catat dan diolah pada MS Excel, data-data tersebut meliputi:

- Data temperatur hasil pengujian yang telah di kalibrasi (°C)
- Data tekanan (Mpa)
- Debit aliran air yang masuk kedalam evaporator dan kondensor (LPM)
- Putaran kompresor dan motor (Rpm)
- Arus dan tegangan masuk inverter
- Δz air raksa di dalam manometer air raksa (cm)

2. Pengolahan data kalibrasi termokopel

Dari data temperatur yang didapatkan dari hasil pengujian, yaitu T_1 - T_{20} nantinya akan dikalibrasi menggunakan persamaan regresi yang terlampir dilampiran. Yang nantinya data temperatur yang sudah dikalibrasi tersebut yang nantinya akan digunakan pada proses perhitungan.

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

Dapat dilihat pada sub-bab 3.6 terdapat pembahasan tentang pengolahan data kalibrasi orifice. Dimana pada saat pengujian dilakukan pengambilan data Δz air raksa pada manometer air raksa, hasil data itu diolah hingga didapatkan nilai laju aliran massa refrigeran (\dot{m}_r).

4. Perhitungan kapasitas beban pendinginan (*Cooling Load*)

Dimana debit aliran air yang masuk ke dalam evaporator nantinya divariasikan yang satuan adalah LPM dengan menggunakan persamaan 3.18 yang digunakan untuk perhitungan kapasitas beban pendinginan (*Cooling Load*) dengan satuan Watt.

5. Perhitungan koefisien perpindahan kalor evaporasi (h_{evap})

Dalam perhitungan koefisien perpindahan kalor evaporasi (h_{evap}) ini perlu di dapatkan terlebih dahulu nilai dari $Q_{\text{evap,udara,su}}$ dengan menggunakan persamaan 3.19, setelah itu mencari nilai dari T_{wi} dengan menggunakan persamaan 3.21 dan 3.22.

6. Analisa dan pembuatan grafik

Setelah melakukan perhitungan dari tiap-tiap variasi, maka bisa diambil analisa dari tiap-tiap grafik yang didapat dari proses perhitungan, baik grafik utama yaitu grafik hubungan antara koefisien perpindahan kalor evaporasi dengan kapasitas beban pendinginan, maupun grafik-grafik pendukung lainnya.

a. Grafik utama: Grafik hubungan antara koefisien perpindahan kalor evaporasi dengan kapasitas beban pendinginan.

b. Grafik pendukung: Grafik Hubungan Antara Beban Pendinginan (*Cooling Load*) dengan T_{sat} .

c. Grafik pendukung: Grafik hubungan antara kapasitas beban pendinginan (*cooling load*) dengan T_{wi} .

d. Grafik pendukung: Grafik hubungan antara kapasitas beban pendinginan (*cooling load*) dan P_{sat} .