

BAB III METODE PENELITIAN

3.1 Bahan Penelitian

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-sifat sebagai berikut:

Tabel 3.1 Sifat-sifat Refrigeran R-134a (PT. Polarin Xinindo, 2017)

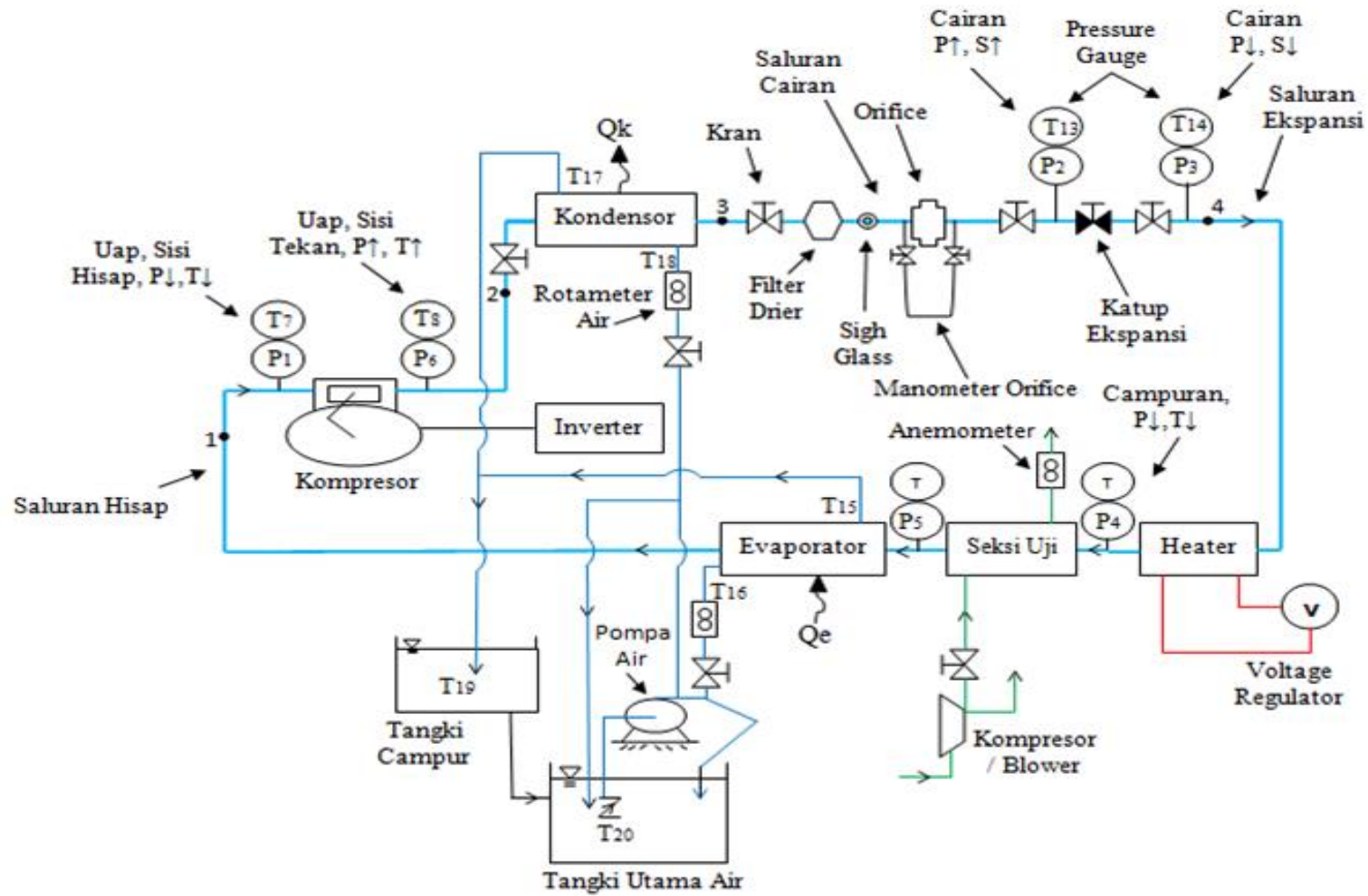
Freon KLEA	Spesifikasi
R-134a	<ul style="list-style-type: none">➤ Komposisi : HFC 134a (100%)➤ Berat Molekul : 102➤ Titik didih pada tekanan 1 atm : -26,2°C➤ Tekanan uap (Mpa(gauge)@25°C) : 0,565➤ Berat Jenis Uap (kg/m³@nBpt) : 5,23➤ ODP (Ozone Depleting Potential) :0➤ GWP (Global Warming Potential) :1430

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

3.2 Alat

3.2.1 Skema Alat Uji

Data yang diambil berasal dari alat uji sistem kompresi uap sederhana yang dimodifikasi dengan ditambahkan *heater* (pemanas) untuk mengatur kualitas uap refrigeran dan seksi uji untuk mengetahui nilai koefisien evaporasi. Pengambilan data dilakukan dengan mengatur frekuensi inverter (*hz*) agar didapat perbedaan tekanan pada *orifice* dan dibaca lewat manometer U (Δh). Skema alat uji dapat dilihat pada gambar 3.1.



Gambar 3.1 Skema Alat Pengujian



(a) Pandangan Depan



(b) Pandangan Samping



(c) Pandangan Belakang



(d) Pandangan Samping Kiri

Gambar 3.2 Foto Alat Uji

3.2.2 Peralatan Uji

Penelitian ini menggunakan mesin siklus kompresi uap sederhana yang dimodifikasi. Penelitian ini difokuskan pada efek perubahan variasi laju aliran Massa dengan koefisien perpindahan kalor evaporasi.

Alat dan komponen yang digunakan antara lain:

1. 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. 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

2. Motor Listrik

Motor listrik digunakan untuk menggerakkan kompresor. Motor listrik yang digunakan adalah motor listrik 3 fasa seperti yang ditunjukkan pada gambar 3.4 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 3.4 Motor Listrik

3. 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 cepat pula putaran motor yang dihasilkan. Inverter yang digunakan 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



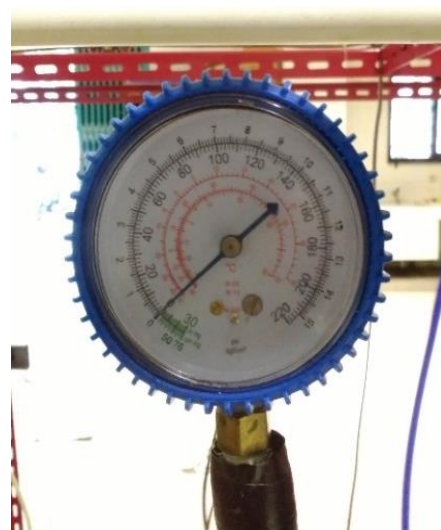
Gambar 3.5 Inverter 3 fasa

4. *Pressure Gauge*

Pressure gauge adalah alat yang digunakan sebagai alat pengukur tekanan pada suatu titik, di dalam *pressure gauge* itu sendiri terdapat beberapa satuan tekanan yang dapat digunakan seperti bar, psi, dan inHG. Di pasaran ada dua macam *pressure gauge*, yaitu *pressure gauge low pressure* seperti pada gambar 3.7(a) dengan tekanan maksimal 220 psi dan *pressure gauge high pressure* yang dapat dilihat pada gambar 3.7(b) dengan tekanan maksimal 500 psi.



(a)



(b)

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

5. Rotameter Air

Dua Rotameter yang digunakan adalah rotameter dengan merek *YYZX Instrument Company* dengan kapasitas maksimum 7,4 LPM yang digunakan untuk mengukur laju aliran.



Gambar 3.7 Rotameter Air

6. Katup Ekspansi

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 3.8 Skema Katup Ekspansi

7. *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
- Diganakan untuk refrigeran : R12, RR134a, R22, R404A, R407C, R410A, R500, R502, R507



Gambar 3.9 *Filter Dryer*

8. 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 3.10 Pompa Air

9. *Manifold*

Manifold berfungsi sebagai alat pengukuran pada saat pengisian refrigeran untuk unit AC dan mesin mesin refrigerasi lainnya. *Manifold* juga berfungsi sebagai alat ukur tekanan pada saat pengisian refrigeran sehingga tidak terjadi kurang ataupun lebihnya tekanan dalam instalasi refrigerasi. *Manifold* yang digunakan ditunjukkan pada gambar 3.11.



Gambar 3.11 *Manifold*

10. *Sight Glass* (Kaca Penduga)

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



Gambar 3.12 *Sight Glass*

11. *MCB (Miniature Circuit Breaker)*

MCB (Miniature 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. Berikut adalah spesifikasi *MCB* yang digunakan:

- Merk : Chint

- Maksimal arus : 16 Ampere



Gambar 3.13 MCB (*Mininiature Circuit Breaker*)

12. *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 : $-50\text{ }^{\circ}\text{C} - 1300\text{ }^{\circ}\text{C}$
- Toleransi : $\pm 0,5\% \pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$



Gambar 3.14 *Thermoreader*

13. *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 3.15 *Anemometer*

14. 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 : $< 60^{\circ}C$
- Kekuatan dielektrik : $1500V/min$
- Resistensi isolasi : fasa tunggal $> 5M\Omega$



Gambar 3.16 *Voltage Regulator*

15. *Blower*

Blower digunakan untuk meniupkan udara yang akan dihembuskan kedalam seksi uji berlawanan arah dengan aliran refrigeran dalam pipa tembaga. *Blower* yang digunakan ditunjukkan pada gambar 3.17. Berikut adalah spesifikasi blower yang digunakan:

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



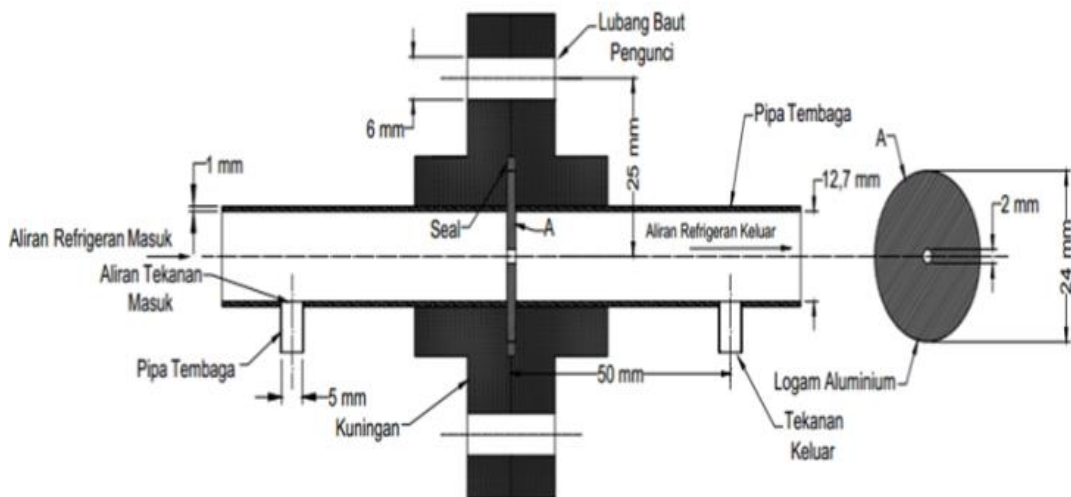
Gambar 3.17 *Blower*

16. Orifice

Orifice (gambar 3.18) Menggunakan plat aluminium berlubang berdiameter 2 mm yang dijepit dengan menggunakan pipa kuningan berdiameter dalam 12,7 yang kemudian pipa tersebut dilas dan disambung dengan menggunakan pipa tembaga berukuran 1,2 inch . Pada bagian bawah pipa besi tersebut dibuat lubang pada sisi masuk dan sisi keluar yang digunakan untuk memasang manometer beda tekanan.



Gambar 3.18 Orifice



Gambar 3.19 Skema Orifice

17. Manometer Air Raksa

Fluida dalam manometer adalah air raksa yang diukur densitasnya. Densitas air raksa yaitu 13.600kg/m^3 . Fluida air raksa dimasukkan dalam selang nylon berdiameter 4mm. Pengamatan dapat langsung diamati lewat perbedaan ketinggian air raksa dalam selang yang ditempelkan pada kertas milimeter blok yang diskalakan. Manometer dapat dilihat pada gambar 3.20.



Gambar 3.20 Manometer Air Raksa.

18. Pipa Tembaga

Pipa tembaga digunakan untuk mengalirkan refrigeran ke seluruh sistem refrigerasi dan penghubung antara setiap komponen. Pipa tembaga yang digunakan terdiri dari beberapa ukuran yaitu $3/16$, $3/8$, $1/4$, dan $1/2$ inci disesuaikan dengan ukuran komponen yang akan disambungkan.



Gambar 3.21 Pipa Tembaga.

19. Pipa PVC

Pipa PVC digunakan untuk mengalirkan air dari tangki utama menuju ke evaporator dan kondensor yang kecepatannya dapat di variasi menggunakan katup, dan kecepatan alirnya dapat dilihat pada rotameter air. Pipa PVC yang digunakan adalah pipa berukuran 2 inci.



Gambar 3.22 Pipa PVC.

20. 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 3.23 Kondensor.

21. 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 mangaitkan 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 3.24 Tang Ampere

22. 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 mΩ
- Voltase maksimal : 500 V DC/AC
- Arus maksimal : 20 A
- Kapasitansi : 200 μF
- Temperatur maksimal : 1000 °C



Gambar 3.25 Multimeter

23. 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 3.26 Evaporator

24. 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*.

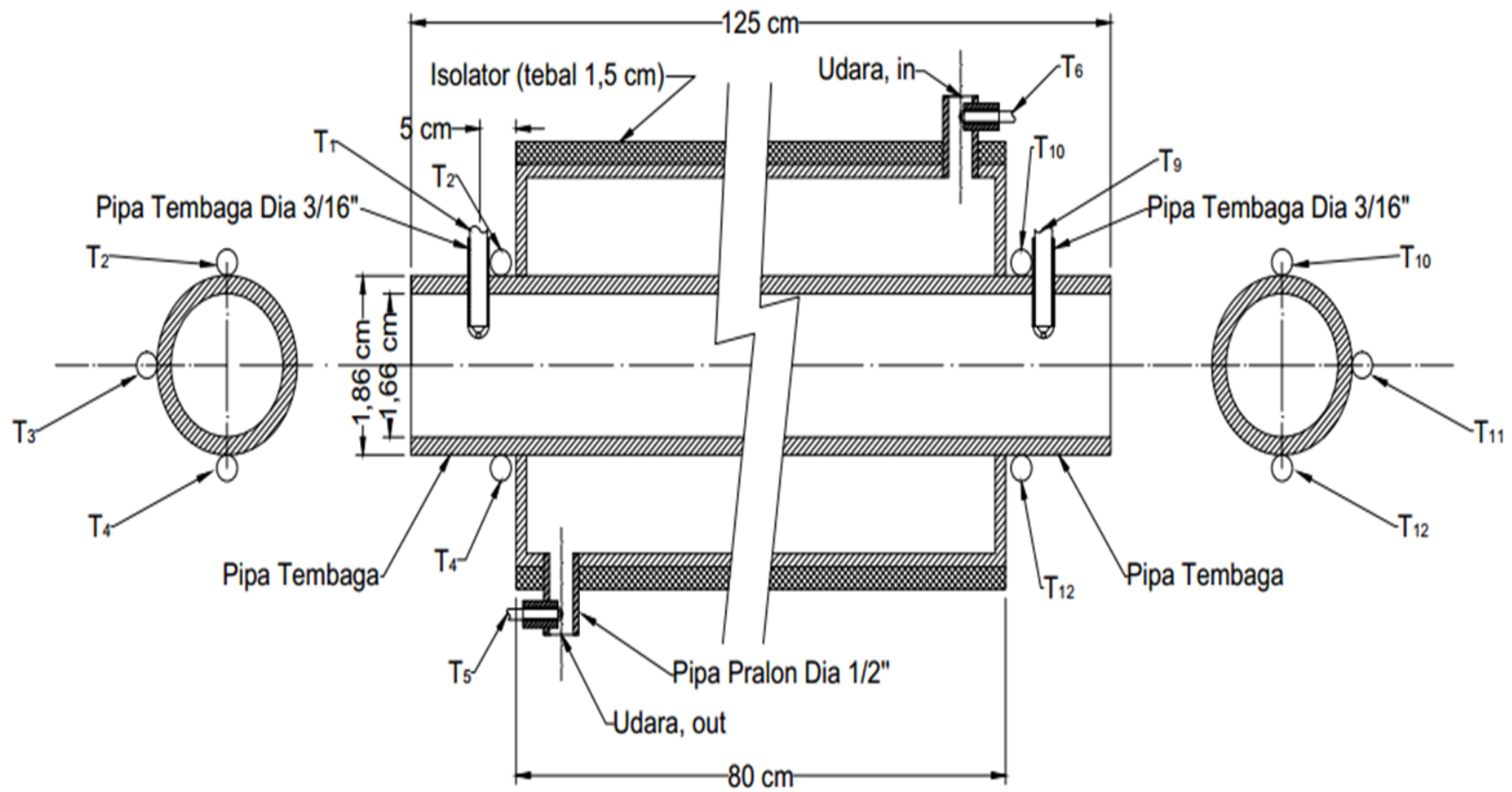
Seksi uji merupakan penukar kalor pipa ganda dengan aliran berlawanan arah yang digunakan untuk mengukur koefisien evaporasi yang menggunakan udara yang dihembuskan oleh blower. Berikut adalah spesifikasi seksi uji yang digunakan:

- 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 diplester agar tidak bergeser. Termokopel juga dipasang di bagian masuk dan keluar pipa tembaga untuk mengukur temperatur jenuh refrigeran.
- Ukuran pipa tembaga : 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 3/16 inci yang sebelumnya disisipi pasta termal. *Heater* ditunjukkan pada gambar 3.27. Sedangkan untuk gambar teknik seksi uji ditunjukkan pada gambar 3.28.



Gambar 3.27 *Heater* dan Seksi Uji

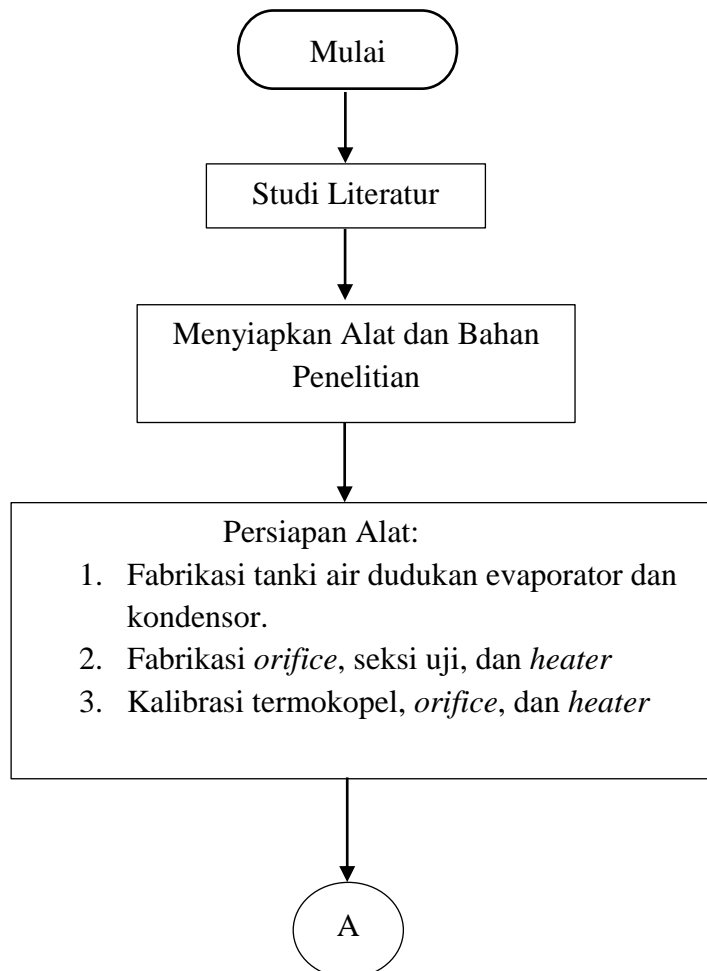


Gambar 3.28 Seksi Uji

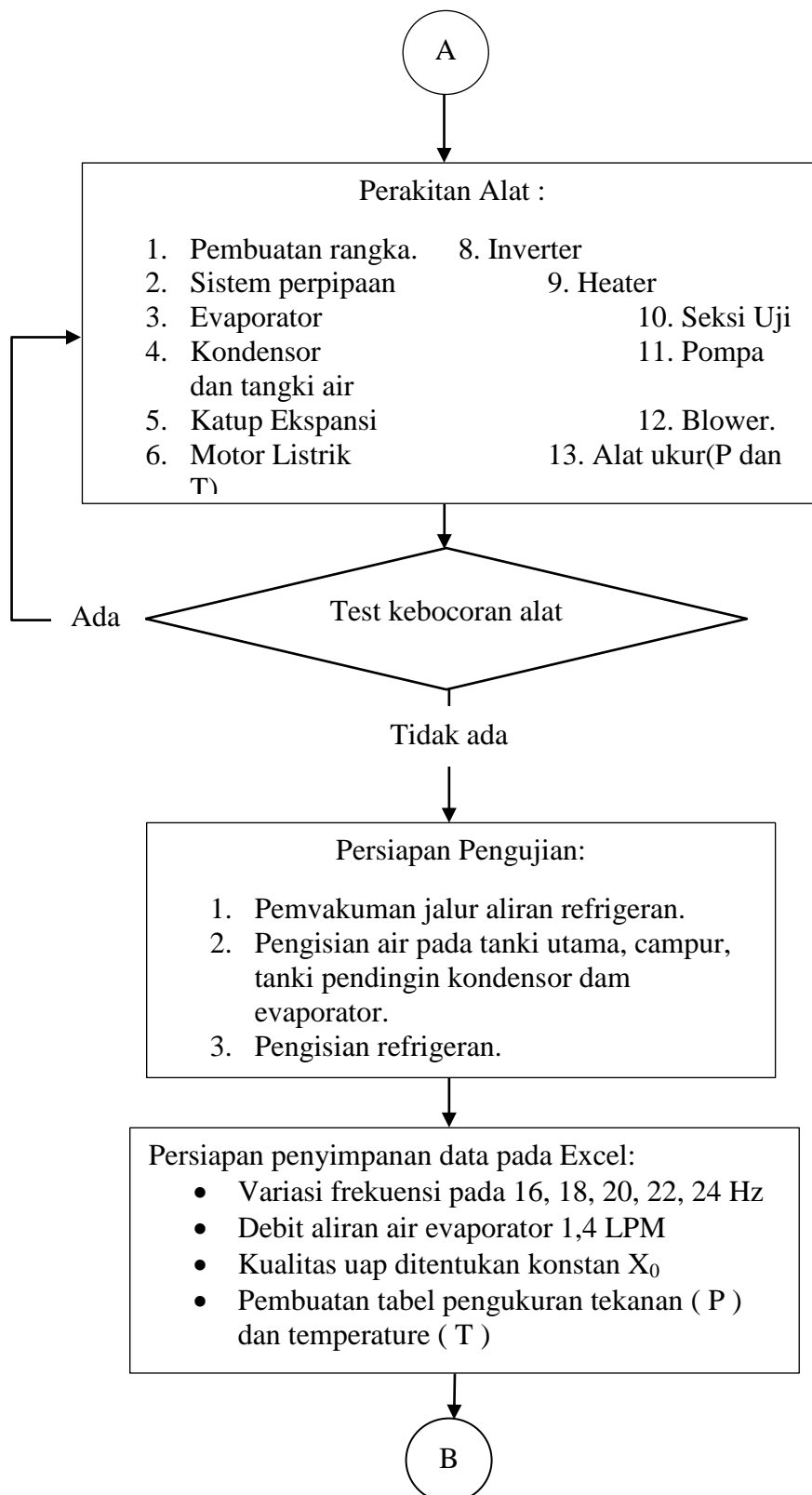
3.3 Jalanya Penelitian

3.3.1 Diagram Alir Penelitian

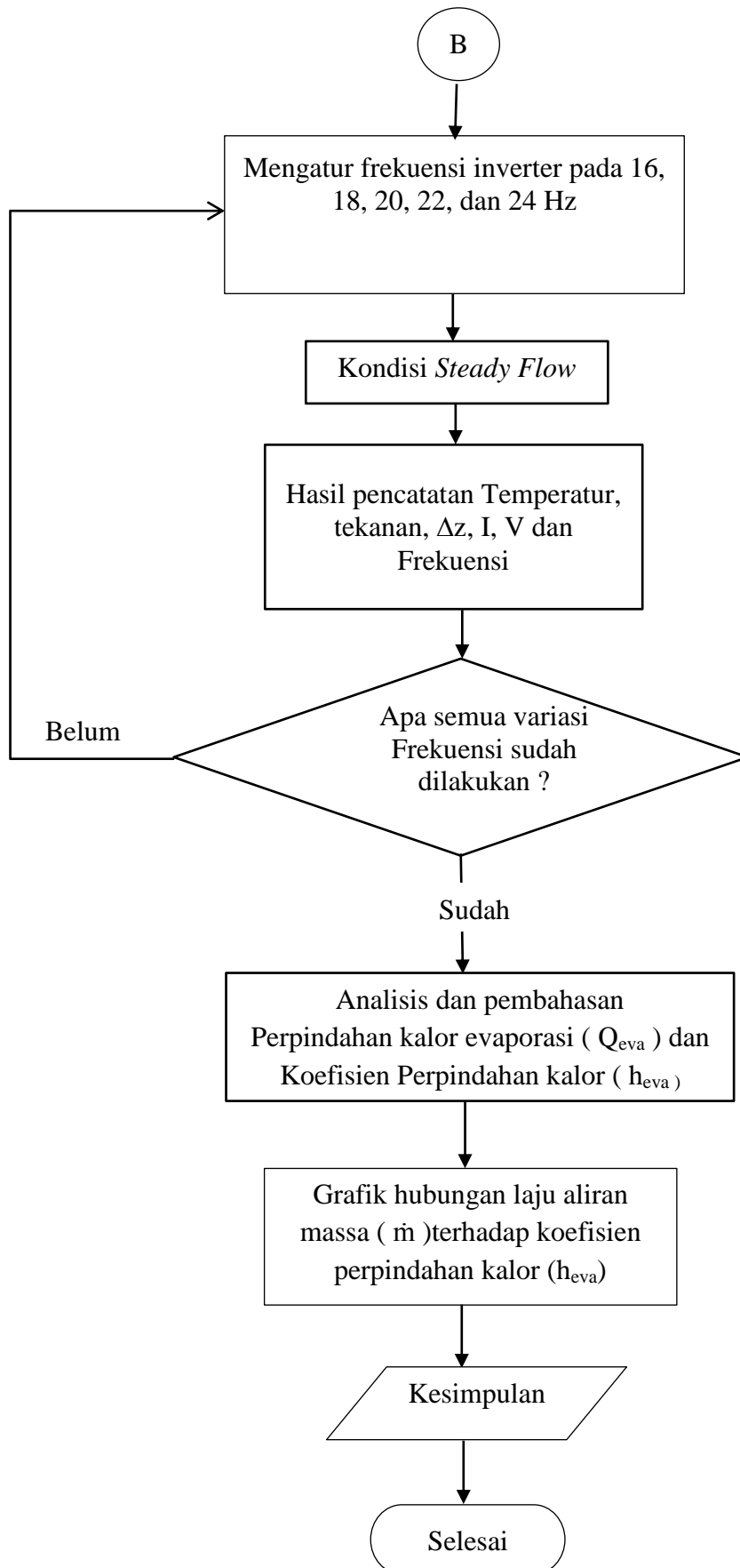
Diagram alir digunakan untuk merencanakan tahap-tahap mulai dari awal sampai dengan akhir pengujian. Dengan adanya diagram tersebut dapat dilihat dengan jelas apa-apa saja yang diperlukan dalam melakukan penelitian serta pengujian ini, dengan begitu akan mempermudah penganalisaanya. Diagram ini menampilkan tahapan kegiatan yang dilaksanakan dalam pengujian, tahapan pengujiannya dapat dilihat pada gambar 3.24.



Gambar 3.29 Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.30 Diagram Alir Penelitian (lanjutan)



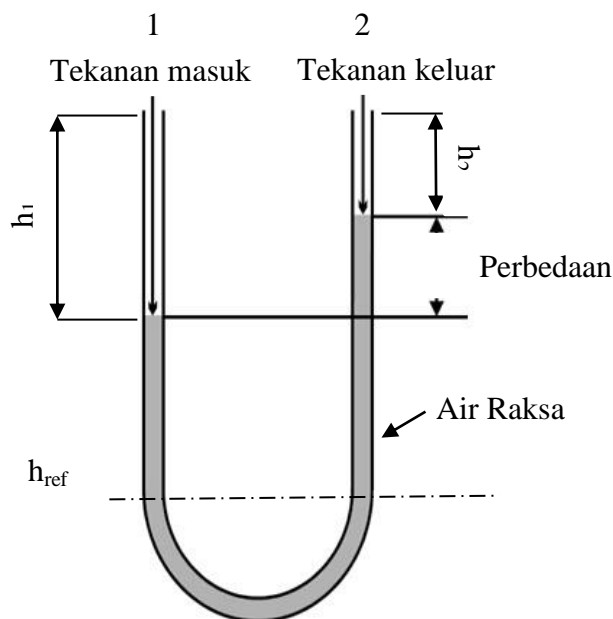
Gambar 3.31 Diagram Alir Penelitian(lanjutan)

3.4 Kalibrasi Termokopel

Kalibrasi termokopel dilakukan pada temperatur standar antara $6\text{ }^{\circ}\text{C}$ sampai dengan $73\text{ }^{\circ}\text{C}$. Mencairkan es batu merupakan cara yang dipilih untuk mengkalibrasi *thermocouple* pada temperatur rendah. Sedangkan pada temperatur tinggi kalibrasi dilakukan dengan menambahkan air panas. Kalibrasi dilakukan dengan menambahkan air hangat samapi dengan suhu yang diinginkan. Selanjutnya data dicatat pada Excel untuk kemudian dilakukan regresi linier pada masing-masing titik pengukuran temperatur. Regresi linier dilakukan dengan nilai tengah suhu $10\text{ }^{\circ}\text{C}$.

3.5 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 yang diindikasikan dengan perbedaan tingkat fluida yang berada di dalam manometer. Skema manometer ditunjukkan pada gambar 3.32. Fluida manometer yang digunakan adalah air raksa dengan densitas 13.600 kg/m^3 .



Gambar 3.32 Skema Manometer U

Beda tekanan antara sisi masuk dan sisi keluar manometer dapat dihitung sebagai:

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

Dengan:

- $P_1 - P_2$ = Beda tekanan sisi masuk dan keluar *orifice* (Pa)
- ρ_{Hg} = Massa Jenis air raksa (13.600 kg/m³)
- g = Percepatan gravitasi bumi (9,81 m/s²)
- $h_1 - h_2$ = Beda level fluida pada sisi masuk dan keluar (m)

Menurut Santosa (2003), penentuan laju aliran massa refrigeran dilakukan dengan cara menerapkan persamaan kontinuitas dan persamaan Bernoulli.

Persamaan kontinuitas untuk penampang pipa tembaga dan *orifice* bisa ditulis:

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

Dengan:

- \dot{m}_{wtr} = laju aliran massa air (kg/s)
- $\rho_{wtr.1}$ = massa jenis air pada aliran pipa tembaga (kg/m³)
- $\rho_{wtr.2}$ = massa jenis air pada aliran *orifice* (kg/m³)
- A_2 = luas penampang *orifice* (m²)
- A_1 = luas penampang pipa tembaga (m²)
- 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 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)
- ρ_{wtr} = massa jenis air (kg/m³)

Dengan mensubstitusikan persamaan (7) ke persamaan (9), 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:

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

Dengan D_1 adalah diameter pipa tembaga (m).

Untuk menghitung laju aliran volume *fluida* harus ditentukan koefisien curah (C).

Persamaan (3.13) dapat ditulis sebagai:

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

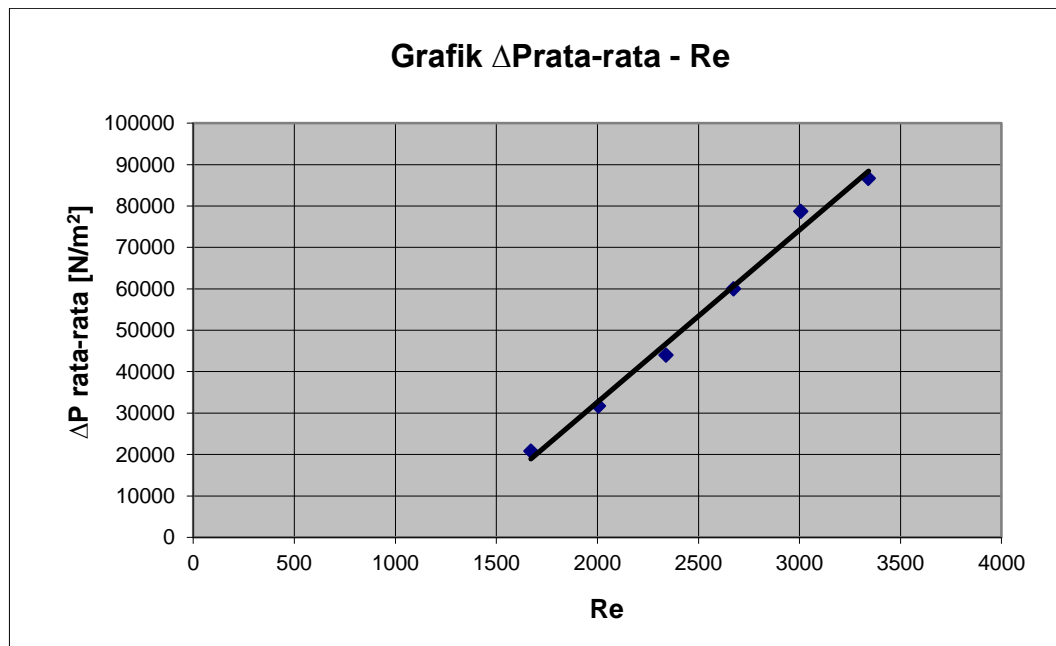
Persamaan (18) disubstitusikan ke persamaan (16) menjadi:

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

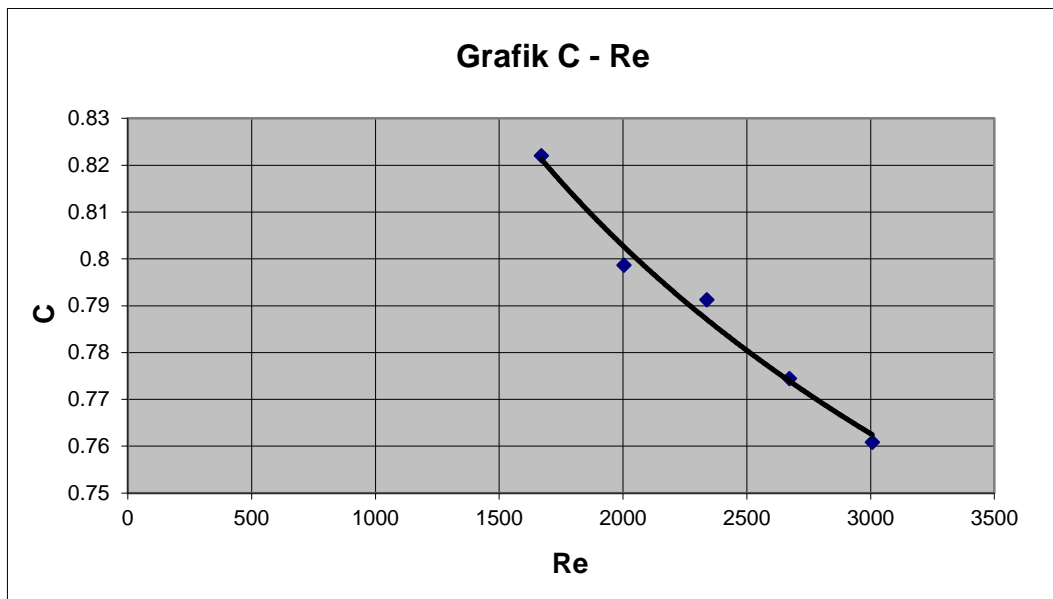
Sehingga persamaan untuk mencari koefisien curah (C) menjadi:

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

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 3.19 dan grafik hubungan bilangan Re dengan koefisien curah (C) ditunjukkan pada gambar 3.20.



Gambar 3.33 Grafik hubungan beda tekanan orifice dengan bilangan Re
 Keterangan : $\Delta p = 8,1867Re - 50558$
 $R^2 = 0,9904$



Gambar 3.34 Grafik hubungan bilangan Re dengan koefisien curah (C)
 Keterangan : $C = 2,5774Re^{-0,126}$
 $R^2 = 0,9834$

Penghitungan laju aliran massa refrigeran ditentukan dengan beberapa tahap sebagai berikut:

1. Memperhatikan serta menghitung perubahan tinggi fluida pada manometer
2. Menghitung beda tekanan orifice menggunakan persamaan (3.1)
3. Dari data beda tekanan tersebut tentukan bilangan *Reynold* menggunakan gambar 3.19.
4. Dengan data bilangan *Reynold* tentukan koefisien curah menggunakan gambar 3.20
5. Menghitung laju aliran volume refrigeran aktual menggunakan persamaan (16) dengan menggantikan massa jenis air dengan massa jenis refrigeran
6. Laju aliran massa refrigeran dapat ditulis dengan:

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

3.6 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 pada sisi masuk kompresor sehingga tekanan udara akan menekan ke seluruh sistem, tekanan refrigeran hingga tekanan 100 psi, kemudian oleskan air sabun pada setiap sambungan untuk mendeteksi kebocoran, kebocoran terjadi apabila terdapat gelembung udara yang terus membesar pada olesan air sabun. Apabila terjadi kebocoran pada sambungan las, maka sambungan di las ulang untuk memampatkan kebocoran tersebut. 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 serta ditambah dengan *plastic steel* atau kertas TBA pada sambungan *nipple*/bukan sambungan las.

3.7 Pengisian Refrigeran

Setelah dipastikan alat tidak bocor lagi, alat uji divakum dengan menggunakan pompa vakum hingga 0 psi (abs) untuk menghilangkan sisa udara didalam instalasi. Untuk mencegah raksa dalam manometer terhisap keluar, katup manometer U ditutup penuh. Selanjutnya air di dalam tangki utama dialirkan menuju 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 dan lancar, nyalakan inverter pada 20 Hz sehingga motor listrik membuat kompresor mulai bekerja. Refrigeran dimasukkan ke kompresor sambil mengamati perubahan tekanan pada *pressure gauge* sisi tekan kompresor, sesekali mengamati *sight glass*. Pengisian refrigeran bisa dikatakan penuh apabila pada *sight glass* penuh terisi cairan refrigeran dan tidak terdapat gelembung udara yang menandakan bahwa fasa uap telah seluruhnya menjadi fasa cair setelah melalui kondensor. Refrigeran sebelum

masuk *orifice* harus berfasa cair untuk pengukuran laju aliran massanya. Buka katup manometer pelan-pelan dari sisi keluarnya terlebih dahulu sehingga terlihat beda ketinggian raksa pada manometer, kemudian buka katup sisi masuknya. Biarkan sistem beroperasi sampai kondisi *steady*.

3.8 Prosedur Penelitian

Persiapan dan pengecekan pada peralatan sangat penting dilakukan karena sangat membantu dalam mencapai kepresisian data yang didapat, serta memastikan alat sudah aman saat proses pelaksanaan pengujian. Ada dua tahapan persiapan sebelum pengujian yaitu:

3.8.1 Persiapan

Persiapan yang perlu dilakukan sebelum melakukan pengujian yaitu:

a. Pemeriksaan alat uji:

1. Melakukan persiapan alat uji meliputi: Mengisi air pada tangki utama, tangki campur, tangki kondensor, dan tangki evaporator.
2. Menyalakan pompa air dan memastikan air bersirkulasi dengan baik.
3. 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. Serta memastikan *Thermoreader* pada tempat yang aman, tidak tersiram air dan tidak jatuh.
2. Membuka semua katup dan memastikan tidak ada katup yang tersumbat pada semua instalasi.
3. Memasang selang *manifold* pada sisi hisap kompresor, memasang *V-belt* penghubung motor dan kompresor. Pastikan selang kencang dan tidak selip.
4. Memasang tabung refrigeran pada sisi masuk *manifold*.
5. Menyalakan inverter dan mengatur inverter pada frekuensi sedang untuk memasukkan refrigeran kedalam kompresor.

6. Mengamati *sight glass* dan memastikan sistem sudah dipenuhi oleh refrigeran, setelah penuh tutup *manifold* agar refrigeran tidak kembali lagi.
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.

3.8.2 Tahapan Pengujian

Tahapan yang dilakukan saat memulai pengujian pengambilan data variasi laju aliran massa 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 frekuensi inverter adalah 16, 18, 20, 22, dan 24 Hz.
4. Menyalakan inverter lalu mengaturnya sesuai variabel yang diperlukan, lalu diamkan selama lima menit agar suhu kerja mendekati *steady*.
5. Setelah *steady* catat pada Excel sebelum kemudian dimasukkan di lanjutkan dengan menaikkan frekuensi menuju ke fariabel berikutnya.
6. Menaikkan frekuensi inverter lalu mengulangi poin lima dan seterusnya hingga variabel terakhir.

3.8.3 Tahap Pengambilan Data

Tahapan pengambilan data meliputi:

1. Menyetel inverter pada frekuensi 16 Hz, laju beban pendinginan konstan 1,4 LPM, heater dalam kondisi mati, dan biarkan selama lima menit
2. Setelah alat uji beroperasi selama lima menit dan dianggap mendekati *steady*, catat data tekanan P_1 sampai P_6 , data temperatur T_1 sampai T_{20} ,

rpm motor dan kompresor, arus dan tegangan keluaran inverter, dan selisih ketinggian air raksa pada manometer U.

3. Meningkatkan frekuensi pada inverter menjadi 18 Hz serta mengulangi prosedur poin dua.
4. Melakukan pengujian untuk laju beban pendinginan 20, 22, dan 24 Hz.

3.8.4 Parameter yang digunakan dalam perhitungan

Parameter yang digunakan dalam perhitungan koefisien evaporasi terhadap variasi laju aliran massa refrigeran 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

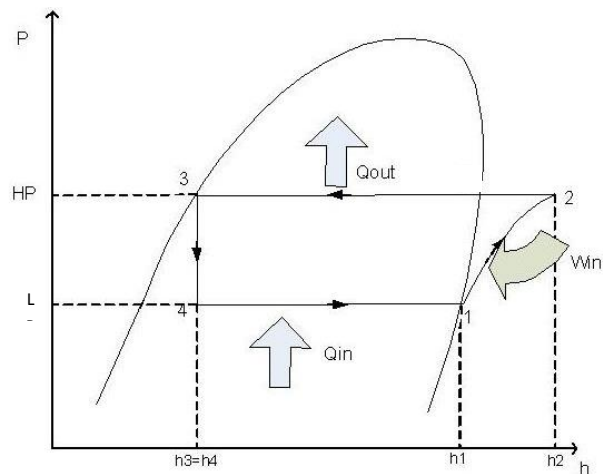
P_4 = Tekanan pada sisi masuk seksi uji

P_5 = Tekanan pada sisi keluar seksi uji

P_6 = Tekanan pada sisi tekan kompresor

2. Data Enthalpi (h)

Data enthalpi dapat dijelaskan dengan diagram P-h seperti yang ditunjukkan pada gambar 3.18.



Gambar 3.35 Diagram P-h Siklus Kompresi Uap (Ajiwiguna, 2010)

Nilai enthalpi (h) pada perhitungan *Coefficient of Performance* (COP) ditunjukkan pada gambar 3.18 yaitu:

1. h_1 adalah enthalpi masuk kompresor, data tekanan yang digunakan adalah P_1
2. h_2 adalah enthalpi masuk kondensor, data tekanan yang digunakan adalah P_6
3. $h_3 = h_4$ adalah enthalpi masuk evaporator, data tekanan yang digunakan adalah rerata dari P_4 dan P_5
- 4.

Data entalpi diatas diperoleh dengan mengambil data tekanan yang diperlukan dari masing-masing nilai entalpi, tekanan yang digunakan adalah tekanan dengan satuan kPa. Tabel tekanan R-134a digunakan untuk mencari nilai entalpi tersebut, apabila pada tabel tidak tersedia maka digunakan interpolasi.

3. Persamaan yang dipakai

Persamaan yang dipakai untuk menentukan nilai perpindahan kalor evaporasi yaitu :

$$h_{eva} = \frac{Q_{eva}}{A_i(T_{w,i} - T_{sat})} \dots\dots\dots(3.18)$$

Dengan:

$T_{w,i}$ = Temperatur *Wall in* (°C)

T_{sat} = Suhu jenuh pada seksi uji (°C)

A = L area seksi uji (m²)

Q_{eva} = Q suplai udara (J/s.watt)

Sedangkan T_{sat} dengan Q_{eva} diperoleh dari :

$$T_{sat} = \frac{1}{2} (T_{in} - T_{out}) \dots\dots\dots (3.19)$$

Dengan:

T_{in} = Suhu masuk seksi uji (°C)

T_{out} = Suhu keluar seksi uji (°C)

$$Q_{eva} = \dot{m}_{udara} \cdot c p_{udara} \cdot (T_{udara_{in}} - T_{udara_{out}}) \dots\dots\dots(3.20)$$

Dengan :

- \dot{m}_{udara} = laju aliran massa udara (m/s)
- $c p_{udara}$ = nilai kalor udara (kJ/kg.K)
- $T_{udara_{in}}$ = Suhu masuk seksi uji (°C)
- $T_{udara_{out}}$ = Suhu keluar seksi uji (°C)

Berikutnya adalah menentukan nilai laju aliran massa refrigeran (\dot{m}),
dengan cara sebagai berikut :

$$\dot{m}_{R-134a} = \rho_{R-134a} \cdot V_{R-134a,aktual} \dots\dots\dots(3.21)$$

Dengan :

- ρ_{R-134a} = Massa jenis/ densitas R-134a (kg/m³)
- $V_{R-134a,aktual}$ = Debit refrigeran aktual (m³/s)

Sedangkan $V_{R-134a,aktual}$ diperoleh dari :

$$V_{aktual} = \frac{C \cdot A_2 \cdot \sqrt{\frac{2}{\rho_{ref}}}}{\sqrt{1 - \left(\frac{A_2}{A_1}\right)^2}} \sqrt{P_1 - P_2} \dots\dots\dots(3.22)$$

Dengan :

- C = koefisien curah
- A₂ = Diameter pipa tembaga (cm)
- A₁ = Diameter *orifice* (cm)
- ρ_{ref} = Massa jenis refrigeran R-134a (kg/m³)
- P₁ = Tekanan sisi masuk katup *orifice* (N/m²)
- P₂ = Tekanan sisi keluar katup *orifice* (N/m²)

