

BAB III METODE PENELITIAN

3.1 Bahan yang Digunakan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah Refrigeran R-134a sebagai fluida yang diujikan dalam penelitian. Spesifikasi dari refrigeran R-134a dapat dilihat pada tabel 3.1.

Tabel 3.1 Spesifikasi Refrigeran 134a (Agus, 2007).

| No. | Parameter | R-134a |
|-----|---|--------|
| 1 | Titik didih normal, °C | -26,07 |
| 2 | Temperatur kritis, °C | 101,06 |
| 3 | Tekanan Kritis, psia | 588,7 |
| 4 | Panas jenis cairan jenuh pada 37,8 °C, kJ/Kg.K | 1,486 |
| 5 | Panas jenis uap jenuh pada 37,8 °C, kJ/Kg.K | 1,126 |
| 6 | Tekanan cairan jenuh pada 37,8 °C, psia | 138,9 |
| 7 | Kerapatan cairan jenuh pada 37,8 °C, (kg/m ³) | 1156 |
| 8 | Kerapatan uap jenuh pada 37,8 °C, (kg/m ³) | 47,05 |
| 9 | Kerapatan uap jenuh pada NBP, kg/m ³ | 5,259 |
| 10 | Konduktivitas Termal cairan jenuh 37,8 °C, W/m.K | 0.0756 |
| 11 | Konduktivitas Termal uap jenuh 37,8 °C, W/m.K | 0.0195 |
| 12 | Viskositas cairan jenuh pada 37,8 °C, μPa-s | 102,5 |
| 13 | Viskositas uap jenuh pada 37,8°C, μPa-s | 8,064 |

3.2 Alat yang digunakan

Penelitian sistem refrigerasi ini menggunakan sistem refrigerasi kompresi uap sederhana yang dimodifikasi dengan penambahan unit *heater* (pemanas) dengan posisi vertikal untuk mengatur kualitas uap refrigeran dan seksi uji untuk mengetahui nilai koefisien evaporasi, unit *orifice* dan *inverter* sebagai parameter untuk menentukan laju aliran massa saluran pipa vertikal. Rangka pertama terdiri dari kompresor dan motor listrik. Rangka kedua terdiri dari kondensor, *filter-dryer*, *orifice*, manometer, katup ekspansi, dan evaporator. Rangka ketiga terdiri dari pemanas listrik dan seksi uji.

Berikut peralatan yang digunakan dalam pengujian, antara lain :

1. Kompresor

Kompresor merupakan alat yang digunakan untuk memompa refrigeran pada pengujian sistem refrigerasi. Berikut spesifikasi dari kompresor:

- Merk : NIPPONDENSO
- Tipe : 10P15C
- Kapasitas : 150 cc



Gambar 3.1 Kompresor NIPPONDENSO 10P15C.

2. Motor Listrik

Motor listrik yang digunakan merupakan motor listrik 3 fasa. Motor listrik pada gambar 3.2 digunakan untuk menggerakkan kompresor, dan dapat diatur kecepatannya menggunakan inverter. Berikut spesifikasi motor listrik:

- Tipe : 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 3.2 Motor Listrik.

3. Kondensor

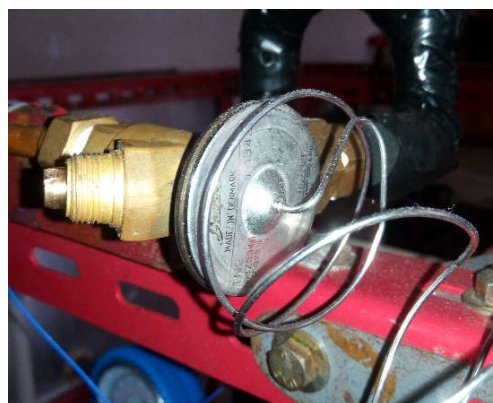
Kondensor dalam gambar 3.2 digunakan kondensor AC mobil Toyota Kijang Grand R12 dengan kapasitas 12.000 Btu/hr berpendingin air.



Gambar 3.3 Kondensor AC mobil Toyota Kijang Grand R12.

4. Katup Ekspansi

Katup ekspansi yang digunakan adalah jenis manual yang dapat diatur pembukaannya. Katup ini berfungsi menurunkan tekanan dan awal mula terjadinya evaporasi. Katup dalam gambar 3.4 memiliki merk dagang DANFOSS TX 2.



Gambar 3.4 Katup ekspansi DANFOSS TX 2.

5. *Heater* dan seksi uji

Heater (pemanas) berfungsi untuk memanaskan refrigeran yang melewati jalur pipa untuk memvariasikan kualitas uap refrigeran setelah keluar katup ekspansi. Berikut spesifikasinya:

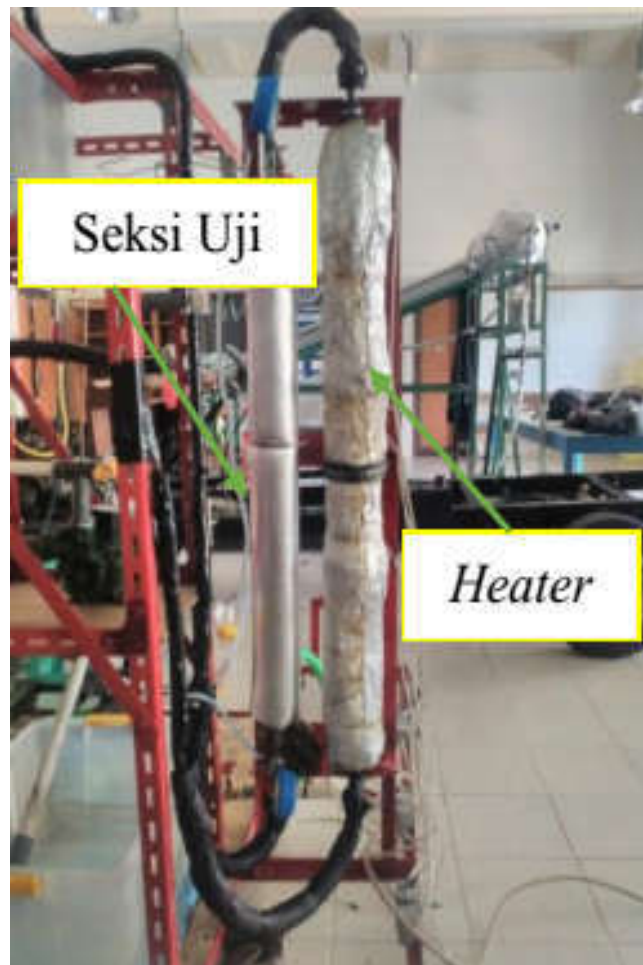
- Bahan : Pipa tembaga dinding tebal
- Diameter nominal : $\frac{3}{4}$ inchi
- Diameter dinding dalam : 16,60 mm
- Diameter dinding luar : 18,50 mm
- Panjang pipa tembaga : 1,25 m
- Panjang pipa yang diisolasi : 1,1 m

Pipa tembaga dililit kawat nikelin sepanjang 80 cm. Kawat nikelin dihubungkan dengan *voltage regulator* menggunakan kabel tahan panas. panjang pipa dan diisolasi dengan pita asbes, *glasswool*, dan ditutup dengan *aluminium foil*.

Seksi uji merupakan alat penukar kalor yang digunakan untuk mengukur koefisien perpindahan kalor evaporasi dengan media udara. Berikut spesifikasinya:

- Bahan pipa dalam : Tembaga
- Diameter dalam : 16,60 mm
- Diameter luar : 18,50 mm
- Panjang pipa dalam : 1,2 m
- Bahan pipa luar : Paralon
- Panjang pipa luar : 80 cm
- Diameter pipa luar : 2 inchi

Pipa paralon diisolasi dengan karet busa dan *aluminium foil*. Titik *thermocouple* dipasang pada dinding luar pipa tembaga pada sisi masuk dan keluar dengan masing-masing posisi atas, tengah, dan bawah pipa. Titik-titik tersebut dimaksudkan untuk mengetahui temperatur rata-rata fluida masuk ($T_{w,i}$) dan keluar (T_{sat}). Pada sisi masuk terdapat 3 titik yaitu T2, T3, T4 sedangkan pada sisi luar terdapat 3 titik masing-masing T10, T11, T12. Selanjutnya dilapisi isolasi dan diberi plastik *steel* sehingga tidak bergeser. *Heater* dan seksi uji dapat dilihat pada gambar 3.5.



Gambar 3.5 Seksi uji dan *Heater*.

6. Inverter

Inverter digunakan untuk mengatur kecepatan putaran motor listrik menggunakan frekuensi tertentu. Semakin besar frekuensi pada *inverter* maka semakin cepat putaran poros motor listrik. *Inverter* dapat dilihat pada gambar 3.6.

Berikut spesifikasi dari *inverter*:

- Merk : CHINT
- Tipe : *Constant Torque*
- Daya : 3,7 kW
- *Input* : 3P AC, 380V, 50 Hz/ 60 Hz
- *Output* : 3P (0 ~ 400) Hz
- *Standart* : IEC 61800-2
- *Factory No* : C15101800Z



Gambar 3.6 *Inverter CHINT.*

7. Filter-dryer

Filter dryer pada gambar 3.7 digunakan untuk menyaring kotoran halus yang dapat menyumbat lubang pada katup ekspansi. Alat ini terletak setelah kondensator dan sebelum *orifice*. Berikut spesifikasinya:

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



Gambar 3.7 *Filter Dryer.*

8. Orifice

Orifice yang digunakan merupakan modifikasi dengan pelat alumunium berlubang diameter kecil 2 mm dan pipa kuningan dengan diameter dalam 12,7 mm. Posisi *orifice* pada gambar 3.8 ini berada diantara manometer U.



Gambar 3.8 *Orifice*.

9. Evaporator

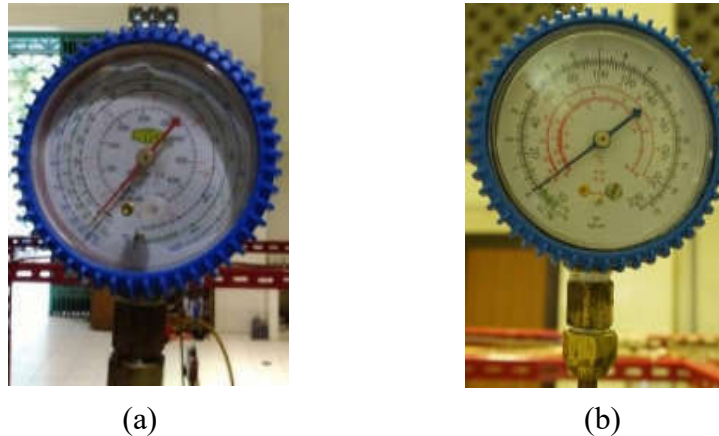
Evaporator berfungsi untuk menguapkan refrigeran sehingga menjadi gas dengan menyerap kalor. Evaporator dalam gambar 3.9 menggunakan evaporator AC mobil depan Avanza *Window* dengan kapasitas 12.000 Btu/hr.



Gambar 3.9 Evaporator.

10. Pressure Gauge

Pressure gauge adalah alat yang digunakan sebagai alat pengukur tekanan pada suatu titik yang ditunjukkan dalam gambar 3.10. *Pressure gauge* terdapat beberapa satuan tekanan seperti bar, psi, dan inH.

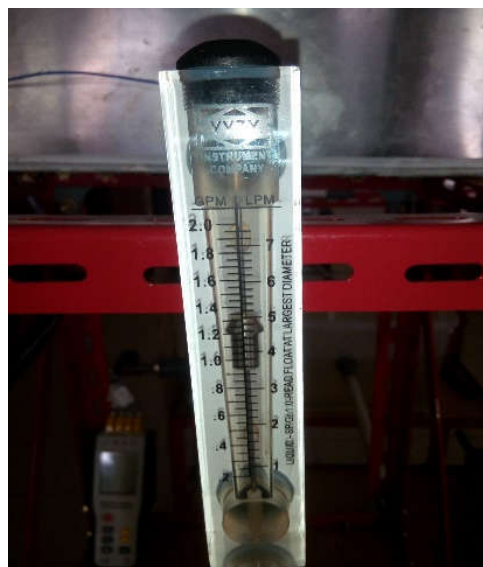


Gambar 3.10 (a) *Pressure gauge High Pressure* dan (b) *Pressure gauge Low Pressure*.

11. Rotameter

Rotameter air yang ditunjukkan dalam gambar 3.11 digunakan untuk mengukur debit aliran air yang di pompa ke sisi masuk evaporator dan kondensor.

- Merk : *YYZX Instrument Company*
- Kapasitas : 2 GPM / 7 LPM



Gambar 3.11 Rotameter air.

12. Manometer U

Manometer dinamakan manometer U karena bentuknya seperti huruf U. Manometer pada gambar 3.12 berisi air raksa yang memiliki densitas 13600 kg/m^3 .



Gambar 3.12 Manometer U.

13. Pompa Air

Pompa Air digunakan untuk memompa air ke evaporator dan kondensor. Air dalam evaporator berfungsi sebagai sumber kalor, sedangkan air pada kondensor berfungsi sebagai penyerap kalor. Pompa air listrik tercantum pada gambar 3.13. Berikut detail spesifikasi pompa air listrik:

- | | | | |
|-----------------|--------------|---------------------------|-------------------------------|
| ▪ Merk | : Moswell | ▪ Tinggi dorong | : 24 m |
| ▪ Model | : Aqua DB125 | ▪ Temperatur fluida maks. | : $35 \text{ }^\circ\text{C}$ |
| ▪ Tegangan | : 220 V | ▪ Kapasitas maks. | : 30 L/min |
| ▪ Frekuensi | : 50 Hz | ▪ Diameter hisap | : 1 inchi |
| ▪ Daya Keluaran | : 125 W | ▪ Diameter keluar | : 1 inchi |
| ▪ Lilitan | : B | ▪ Kapasitor | : 6 Mf/450 V |
| ▪ Hisap maks. | : 9 m | | |



Gambar 3.13 Pompa Air Listrik.

14. Thermoreader

Thermoreader merupakan alat untuk mendeteksi dan mengukur suhu dengan kabel yang telah terpasang di beberapa titik pada suatu sistem. Penelitian ini membutuhkan 5 *Thermoreader* dan 20 titik sebagai data awal pengujian yang dikaji. Berikut gambar 3.14 *Thermoreader* dan spesifikasinya:

- Tipe : T dengan 4 input
- Jarak suhu : $-50\text{ }^{\circ}\text{C} - 1300\text{ }^{\circ}\text{C}$
- Toleransi : $\pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$



Gambar 3.14 *Thermoreader*.

15. Anemometer

Anemometer merupakan alat yang digunakan untuk mengukur kecepatan angin. Pada penggunaannya, *Anemometer* dalam gambar 3.15 digunakan untuk mengukur kecepatan angin pada pipa yang dialiri angin menggunakan *blower*.

Berikut Spesifikasi tersebut:

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



Gambar 3.15 *Anemometer*.

16. Voltage Regulator

Voltage Regulator adalah alat yang berfungsi untuk mengatur tegangan keluaran DC ditunjukkan pada gambar 3.16. Penelitian ini menggunakan 3 *Voltage Regulator* pada *heater* untuk kondisi pemanasan *heater* yang maksimal. Spesifikasinya yaitu:

- Merk : Krisbow
- Type : kw2001220
- Tegangan input : satu fasa = 220V ± 10%
- Tegangan output : fasa tunggal = 0-250V ± 10%
- Frekuensi : > 90 %
- Distorsi gelombang : tidak ada distorsi tambahan
- Temperatur naik : < 60 °C
- Kekuatan dielektrik : 1500 V/min
- Resistensi isolasi : fasa tunggal > 5 MΩ



Gambar 3.16 *Voltage Regulator.*

17. Multimeter Digital

Multimeter Digital merupakan alat yang digunakan untuk mengukur arus, hambatan, serta voltase. Penelitian ini banyak menggunakan *Multimeter Digital* untuk mengukur arus pada *Voltage Regulator*. Berikut rincian spesifikasinya:

- 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 3.17 Multimeter.

18. Tang Ampere Digital

Tang *Ampere* adalah alat yang digunakan untuk mengukur tegangan, arus, dan hambatan dengan bentuknya seperti tang yang ditunjukkan dalam gambar 3.18. Dengan mengalungkan kait pada tang tersebut, lalu dapat diukur tegangan, arus, dan hambatan yang tersedia. Berikut spesifikasi alat tersebut:

- Tipe : DT3266L
- Tegangan maksimal : 2 MΩ
- *Voltase* maksimal : 600 V
- Arus maksimal : 600 A



Gambar 3.18 Manometer Air Raksa.

19. Blower

Blower merupakan alat untuk menghasilkan udara bertekanan. Dalam penelitian ini *blower* pada gambar 3.19 digunakan untuk mengalirkan angin kedalam seksi uji berlawanan arah dengan arah aliran refrigeran dalam pipa tembaga. Berikut adalah spesifikasi *blower*:

- Ukuran : 2,5 inchi
- Diameter luar : 4 inchi
- Daya listrik : 260 Watt x 220 Volt x 1 Fasa
- Kecepatan putar : ± 3600 rpm



Gambar 3.19 *Blower*.

20. 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 $\frac{3}{16}$, $\frac{3}{8}$, $\frac{1}{4}$, dan $\frac{1}{2}$ inci disesuaikan dengan ukuran komponen yang akan disambungkan yang ditunjukkan pada gambar 3.20.



Gambar 3.20 Pipa Tembaga.

21. Pipa PVC

Pipa PVC digunakan untuk mengalirkan air dari tangki utama yang dipompakan menuju ke evaporator dan kondensor yang kecepatannya dapat divariasikan menggunakan katup, dan kecepatan alirnya dapat dilihat pada rotameter air. Pipa PVC pada gambar 3.21 menggunakan pipa berukuran 1 inci.



Gambar 3.21 Pipa PVC.

22. Manifold

Manifold digunakan untuk mengisi dan mengukur refrigeran dalam sistem refrigerasi. Terdapat alat ukur pada *Manifold* seperti pada gambar 3.22 yang dapat diketahui tekanan pada saat pengisian refrigeran.



Gambar 3.22 *Manifold*.

23. Sight Glass

Sight Glass digunakan sebagai indikator adanya refrigeran didalam saluran pipa refrigerasi. Dapat juga sebagai indikator refrigeran dalam keadaan fasa uap atau cair serta kurang atau tidaknya refrigeran dalam sistem refrigerasi ditunjukkan pada gambar 3.23.



Gambar 3.23 *Sight Glass*.

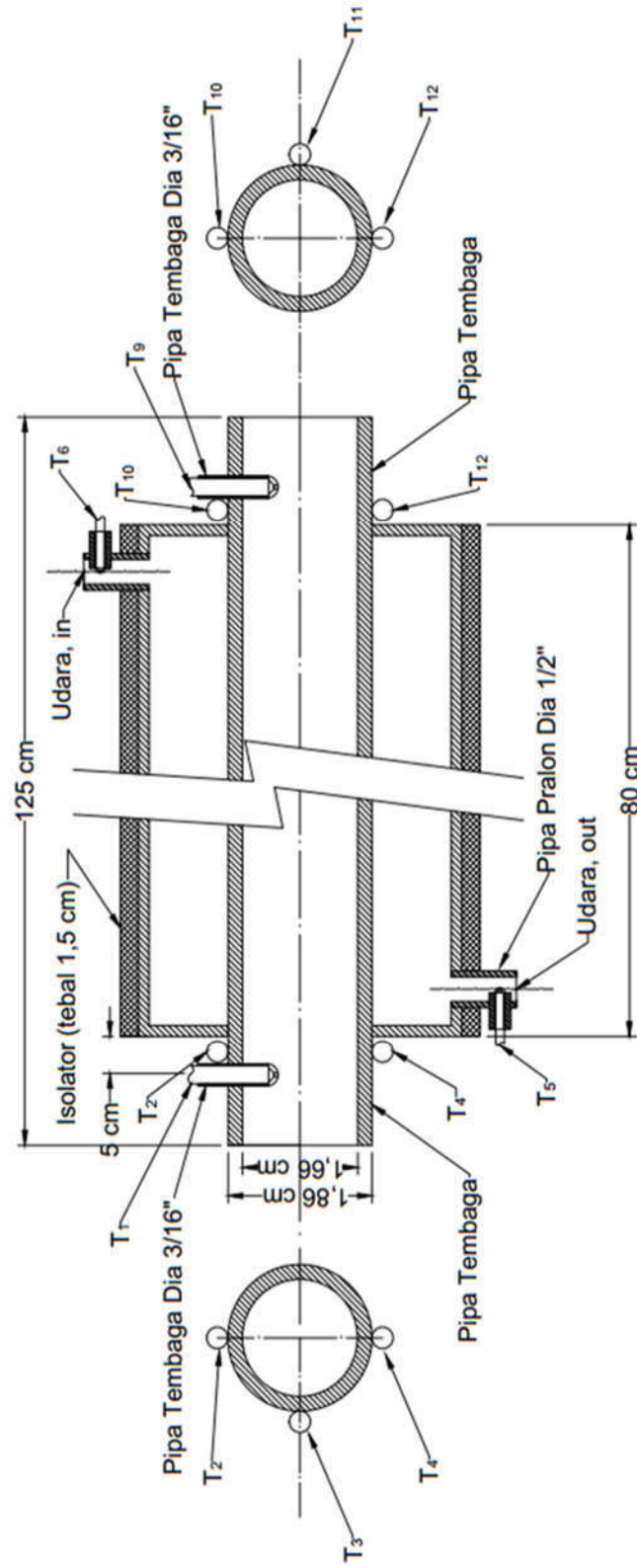
24. Miniature Circuit Breaker (MCB)

MCB merupakan alat yang digunakan untuk membatasi arus serta pengaman instalasi listrik yang ditunjukkan pada gambar 3.24. MCB secara otomatis memutus arus bila arus yang melewatinya melebihi batas nominal yang tertera. Berikut spesifikasinya:

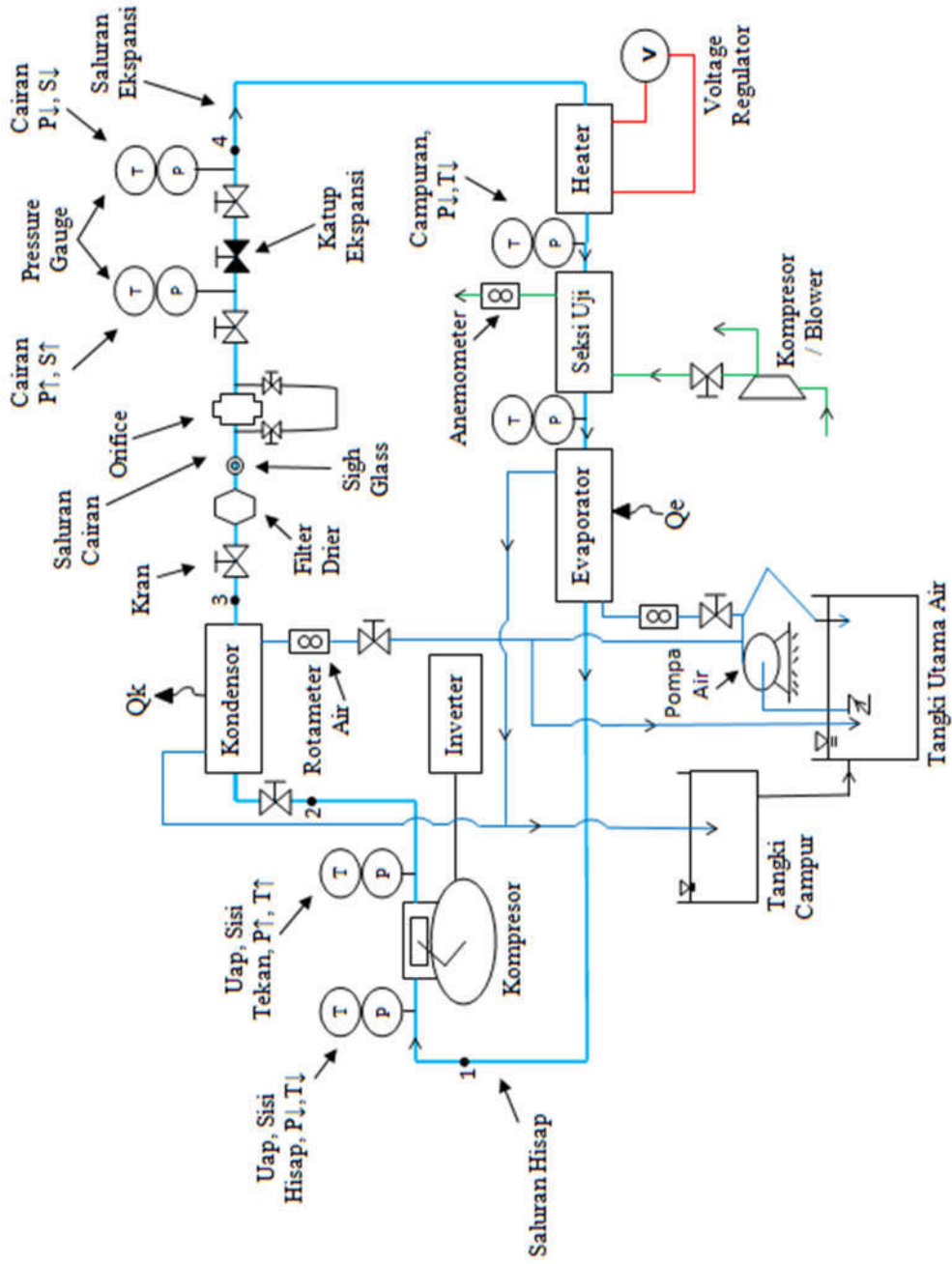
- Merk : Chint
- Maksimal arus : 16 *Ampere*



Gambar 3.24 *Miniature Circuit Breaker (MCB)*.



Gambar 3.25 Heater dan Seksi Uji



Gambar 3.26 Skema Alat Uji.



(a) Pandangan Depan



(b) Pandangan Samping Kanan



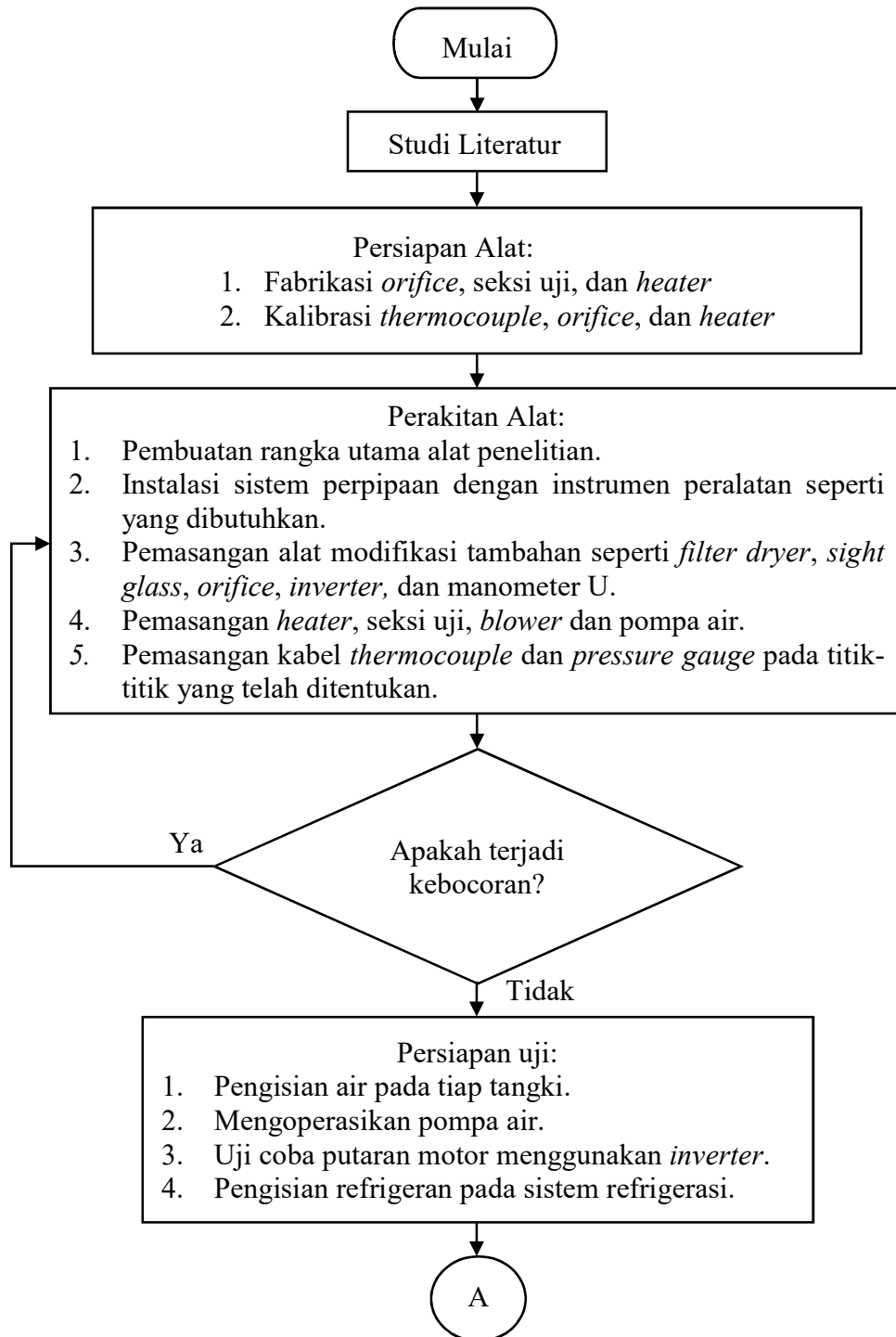
(c) Pandangan Belakang



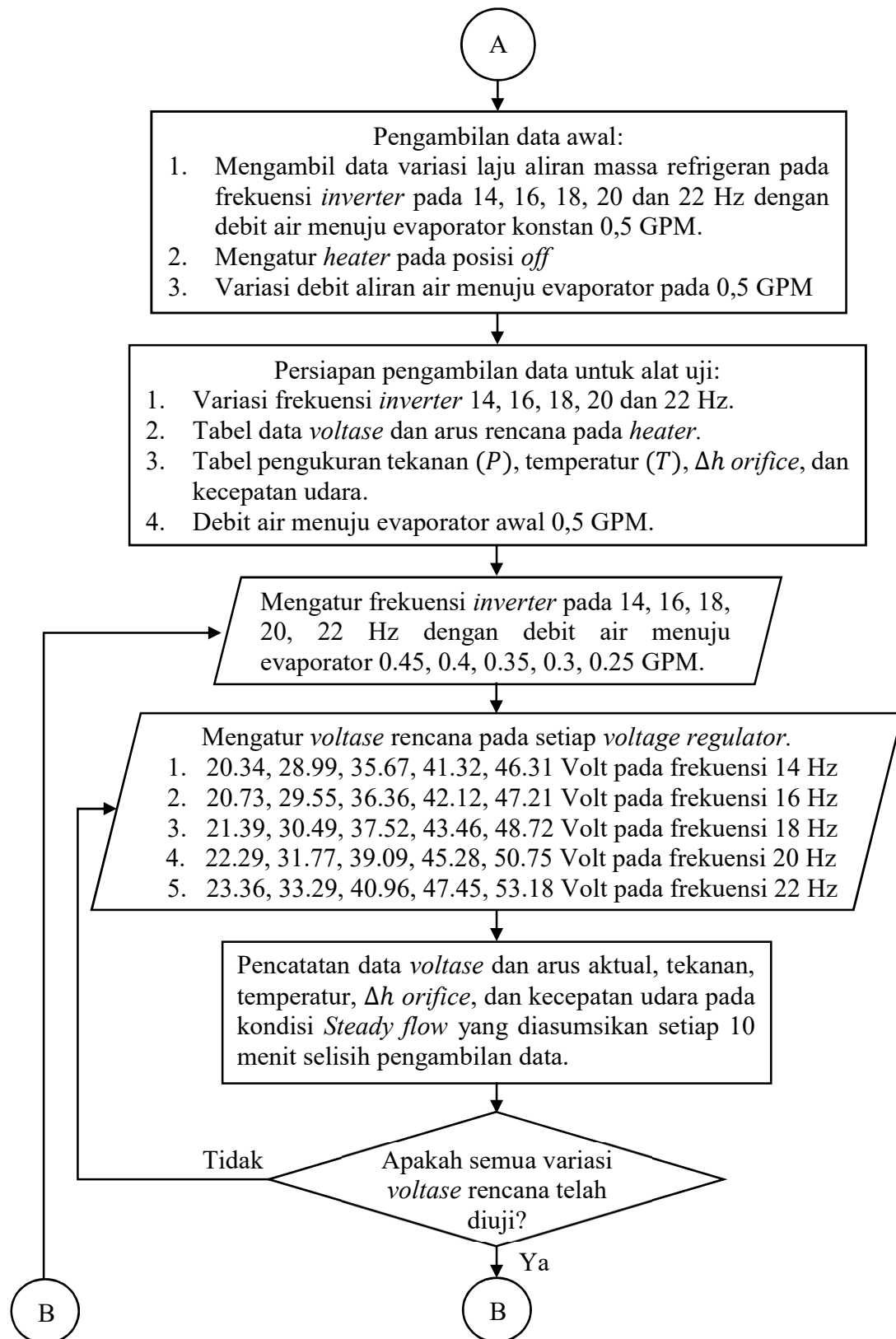
(d) Pandangan Samping Kiri

Gambar 3.27 Foto Alat Uji

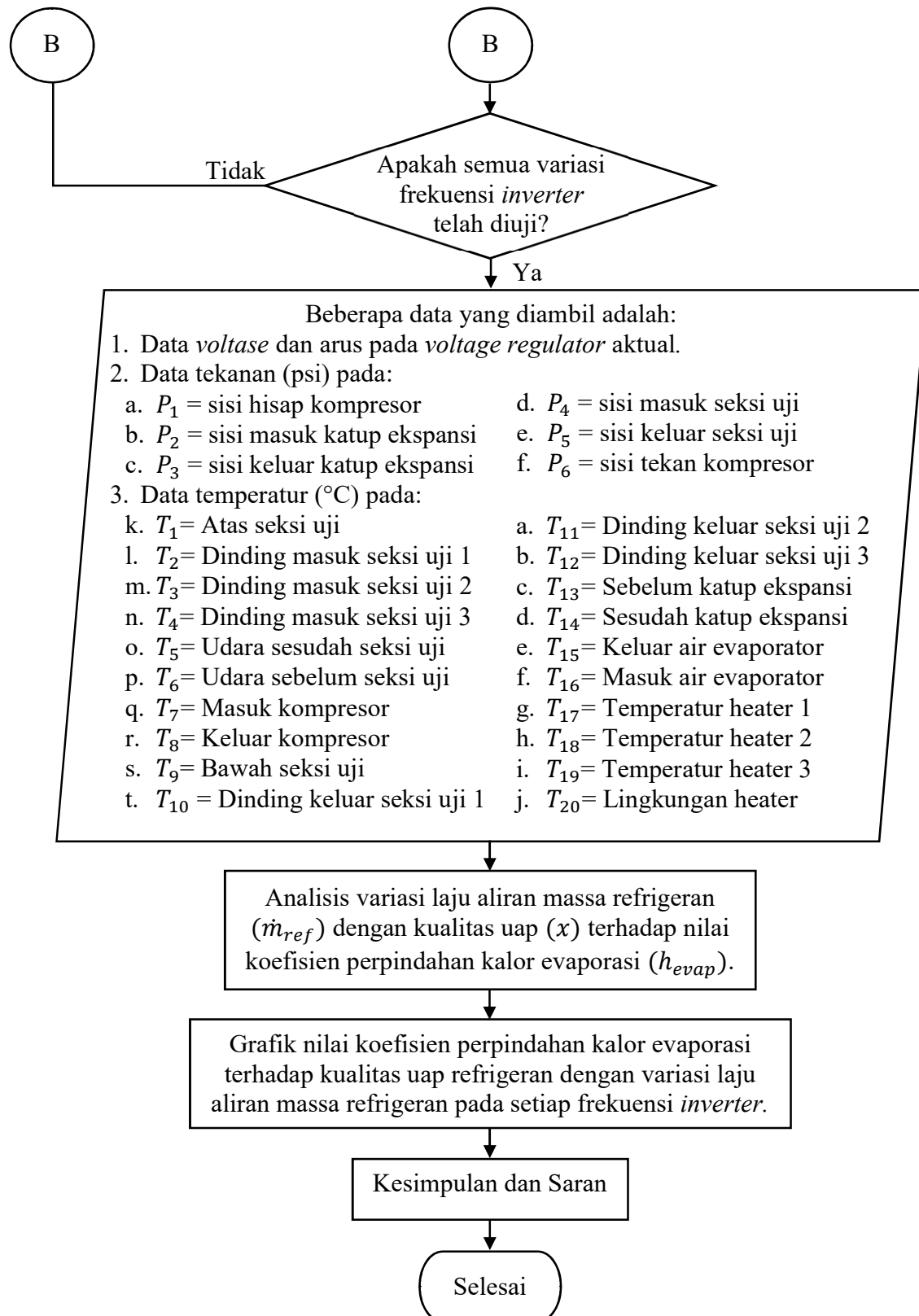
3.3 Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.28 Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.29 Diagram Alir Penelitian (Lanjutan).



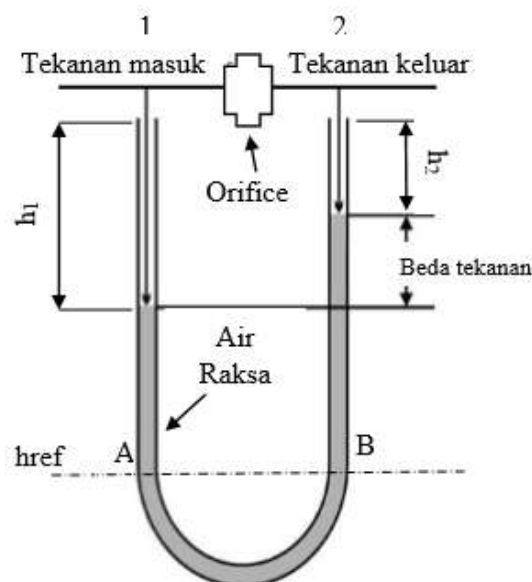
Gambar 3.30 Diagram Alir Penelitian (Lanjutan).

3.4 Kalibrasi *Thermocouple*

Kalibrasi *Thermocouple* dilakukan pada temperatur 6 °C sampai dengan 73 °C. Mencairkan es batu merupakan cara yang dipilih untuk melakukan kalibrasi *Thermocouple* pada temperatur rendah. Sedangkan pada temperatur tinggi kalibrasi dilakukan dengan menambahkan air panas sampai 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 °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 U. Skema Manometer U ditunjukkan pada gambar 3.30. Fluida didalam Manometer U yang digunakan adalah air raksa dengan densitas 13600 kg/m³.



Gambar 3.31 Skema Manometer U.

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

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

Keterangan:

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

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

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

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

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

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

Keterangan:

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

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

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

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

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

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

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

Air yang masuk *orifice* adalah fluida tak mampat sehingga menjadi persamaan 3.3.

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

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

Aliran diasumsikan mengalami proses adiabatik, tanpa gesekan, aliran tunak, fluida tak mampat, dan beda potensial diabaikan, maka digunakan persamaan Bernoulli dalam persamaan 3.5.

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

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

Keterangan:

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

ρ_{wtr} = Massa jenis air (kg/m³)

Dengan mensubstitusikan persamaan 3.5 ke persamaan 3.6, maka menjadi 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 3.9 merupakan laju aliran volume ideal.

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

Dengan mensubstitusikan persamaan 3.8 ke persamaan 3.9, maka laju aliran volume ideal didapat dalam 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 dalam persamaan 3.11.

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

Keterangan:

C = Koefisien curah (*discharge coefficient*)

\dot{V}_{aktual} = Laju aliran volume aktual (m/s²)

Hubungan antara laju aliran aliran volume air aktual dengan beda tekanan sisi masuk dan keluar *orifice* dilakukan dengan mensubstitusikan persamaan 3.10 ke persamaan 3.11 menjadi persamaan 3.12.

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

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

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

Keterangan D_1 adalah diameter pipa tembaga (m).

Untuk menghitung laju aliran volume *fluida*, harus ditentukan koefisien curah (C). Persamaan 3.13 dapat ditulis pada persamaan 3.14.

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

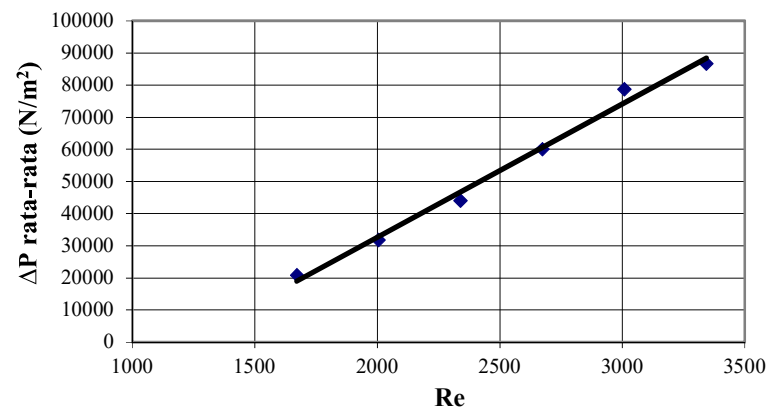
Persamaan 3.14 disubstitusikan ke persamaan 3.12 dalam persamaan 3.15.

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

Sehingga persamaan untuk mencari koefisien curah (C) tertulis dalam 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). Grafik hubungan antara beda tekanan orifice dengan bilangan Re ditunjukkan pada gambar (3.31) dan grafik hubungan bilangan Re dengan koefisien curah (C) ditunjukkan pada gambar (3.32).

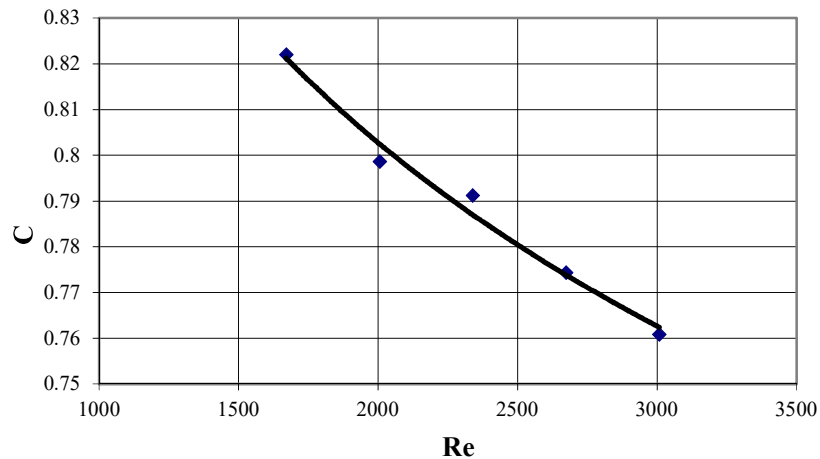


Gambar 3.32 Grafik hubungan beda tekanan *orifice* dengan bilangan Re .

Keterangan :

$$\Delta P = 8.1867 \cdot Re - 50558 \dots \dots \dots (3.17)$$

$$R^2 = 0.9904 \dots \dots \dots (3.18)$$



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

Keterangan :

$$C = 2.5774 \cdot Re^{-0.126} \dots \dots \dots (3.19)$$

$$R^2 = 0.9834 \dots \dots \dots (3.20)$$

Perhitungan laju aliran massa refrigeran ditentukan dengan beberapa tahap, yaitu sebagai berikut:

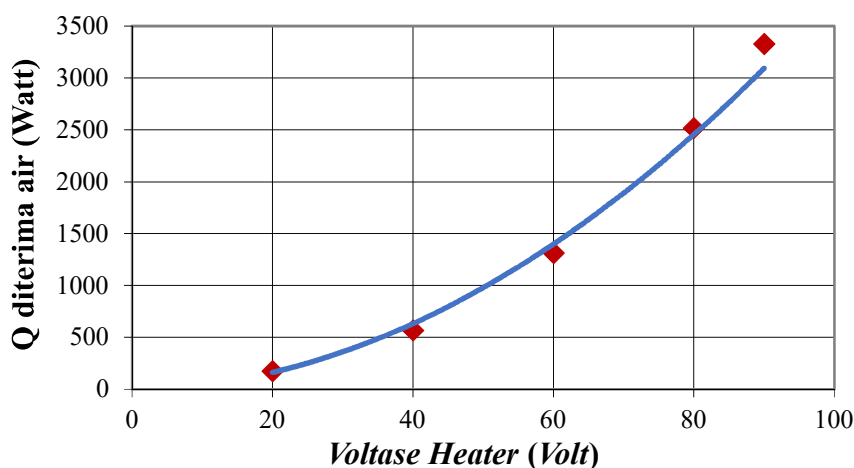
1. Memperhatikan serta menghitung perubahan tinggi fluida pada manometer
2. Menghitung beda tekanan orifice menggunakan persamaan 3.1.
3. Dari data beda tekanan tersebut tentukan bilangan *Reynold* menggunakan gambar 3.29.
4. Dengan data bilangan *Reynold* tentukan koefisien curah menggunakan gambar 3.30.
5. Menghitung laju aliran volume refrigeran aktual menggunakan persamaan 3.14 dengan menggantikan massa jenis air dengan massa jenis refrigeran.
6. Laju aliran massa refrigeran dapat ditulis dengan:

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

3.6 Kalibrasi Heater (Pemanas Listrik)

Kegiatan kalibrasi sangat penting dilakukan karena selain sebagai acuan suatu peralatan juga sebagai tahap awal pengujian pada penelitian ini. Kalibrasi dilakukan pada *heater* yang menghasilkan data perencanaan *voltase* dan arus keluaran yang menjadi acuan untuk data *voltase* dan arus yang terjadi saat pengujian (aktual). Kalibrasi *heater* dilakukan menggunakan fluida air dengan debit konstan 1,2 LPM. *Voltase* dapat diatur dengan *voltage regulator* pada 20, 40, 60, 80, dan 90 V sedangkan arus dapat terbaca pada tang *ampere*. Pada setiap 1 menit selama 15 menit dilakukan pencatatan *voltase* dan arus. Selain perencanaan *voltase* dan arus pada *heater*, dilakukan perencanaan *voltase* air dengan mengukur debit air dan temperatur sisi masuk dan keluar *heater* yang ditunjukkan pada gambar 3.33.

Pencatatan data *voltase* dan arus kemudian didapat regresi linier pada *Excel* pada data menit ke 10 yang dapat dianggap *steady*. Hasil regresi linier dapat digunakan untuk menentukan *voltase* dan arus yang terjadi pada saat pengujian. Berikut grafik kalibrasi dan regresi linier yang menghasilkan fungsi persamaan masing-masing titik *heater* ditunjukkan pada gambar 3.34.

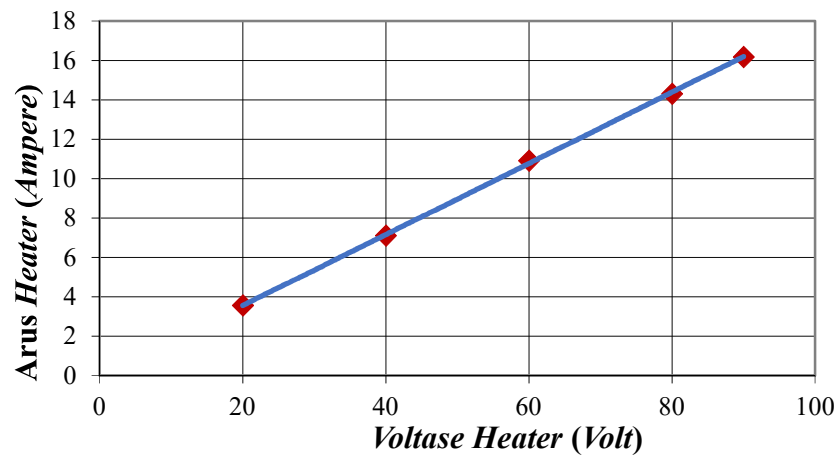


Gambar 3.34 Grafik hubungan kalor yang diterima pada air dengan *voltase* untuk setiap *heater*.

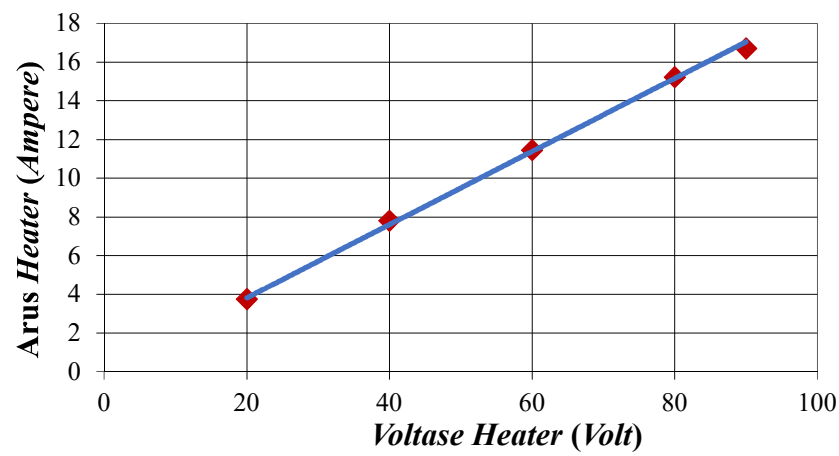
Keterangan:

$$Q_{air} = 0,4657 \cdot V^{1,9558} \dots\dots\dots (3.22)$$

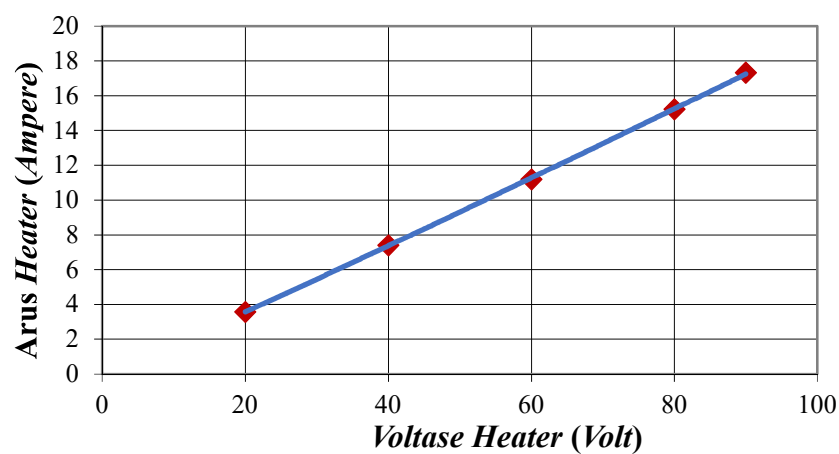
$$R^2 = 0.9953 \dots\dots\dots (3.23)$$



(a)



(b)



(c)

Gambar 3.35 Grafik hubungan arus dengan voltase (a) heater 1, (b) heater 2, (c) heater 3.

Keterangan:

(a) *heater* 1

$$Q_{air} = 0,1737.V^{1,008} \dots\dots\dots (3.24)$$

(b) *heater* 2

$$Q_{air} = 0,1929.V^{1,9959} \dots\dots\dots (3.25)$$

(c) *heater* 3

$$Q_{air} = 0,1538.V^{1,0489} \dots\dots\dots (3.26)$$

3.7 Tes Kebocoran Alat

Setelah dilakukan perakitan seperti pada gambar 3.27, 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.

3.8 Pengisian Refrigeran

Setelah dipastikan alat tidak bocor lagi, alat uji divakumkan dengan menggunakan pompa vakum hingga 0 psi (abs) untuk menghilangkan sisa udara didalam instalasi. Untuk mencegah raksa dalam Manometer U 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 pada *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 U 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*.

3.9 Prosedur Penelitian

Persiapan dan pengecekan pada peralatan sangat penting dilakukan karena membantu dalam mencapai keakurasian data, serta memastikan alat sudah aman saat proses pelaksanaan dan pengambilan data pengujian. Beberapa hal yang perlu dilakukan sebelum pengujian, yaitu:

3.8.1 Persiapan

Beberapa persiapan yang penting untuk dilakukan sebelum pengujian antara lain:

A. Pemeriksaan alat uji

1. Menyalakan pompa air dan memastikan air bersirkulasi dengan baik.
2. Mengisi air pada tangki utama, tangki campur, tangki kondensor, dan tangki evaporator.
3. Menyalakan *inverter* dan memastikan motor dapat berjalan dengan lancar.

B. Persiapan pengujian

1. Memasang *Thermocouple* 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 Awal

Tahapan awal untuk melakukan pengujian adalah pengambilan data variasi laju aliran massa yaitu:

1. Memastikan variabel yang akan digunakan dalam pengujian, dan menyiapkan tabel pengamatan.
2. Variabel yang digunakan frekuensi *inverter* adalah 14, 16, 18, 20, dan 22 Hz.
3. *Heater* dalam posisi mati pada kualitas uap X_0 , blower meniupkan udara pada kecepatan konstan.
4. Menyalakan pompa air dan *inverter* lalu diatur sesuai variabel secara urut, lalu setiap variabel didiamkan selama 10 menit agar suhu kerja mendekati *steady*.
5. Setelah *steady* catat pada Excel data-data yang dibutuhkan, kemudian dilanjutkan dengan menaikkan frekuensi menuju ke 16, 18, 20, 22 Hz dengan *heater* masih dalam kondisi *off*.

6. Menaikkan variabel frekuensi *inverter* lalu mengulangi poin tiga dan seterusnya hingga variabel frekuensi terakhir.

3.8.3 Tahap Pengambilan Data

Beberapa tahapan pengambilan data kualitas uap meliputi:

1. Mengatur variasi *inverter* pada frekuensi 14 Hz, *heater* dalam kondisi hidup pada kualitas X_1 hingga X_5 dan memasukkan *voltase* dan arus rencana pada *heater*, kemudian biarkan selama 10 menit.
2. Setelah alat uji beroperasi selama 10 menit dan dianggap mendekati *steady*, catat data tekanan P_1 sampai P_6 , data temperatur T_1 sampai T_{20} , arus dan *voltase heater*, kecepatan udara seksi uji dan selisih ketinggian air raksa pada Manometer U.
3. Pengambilan data pada *inverter* 16 Hz dengan kondisi *heater* hidup pada kualitas X_1 hingga X_5 dengan memasukkan *voltase* dan arus yang telah direncanakan serta mengulangi prosedur poin 2.
4. Melakukan pengujian kualitas uap refrigeran untuk frekuensi *inverter* 18, 20, dan 22 Hz dengan mengulangi prosedur poin 3.

3.8.4 Parameter yang digunakan pada perhitungan

Parameter yang digunakan dalam perhitungan koefisien evaporasi terhadap variasi laju aliran massa refrigeran adalah sebagai berikut:

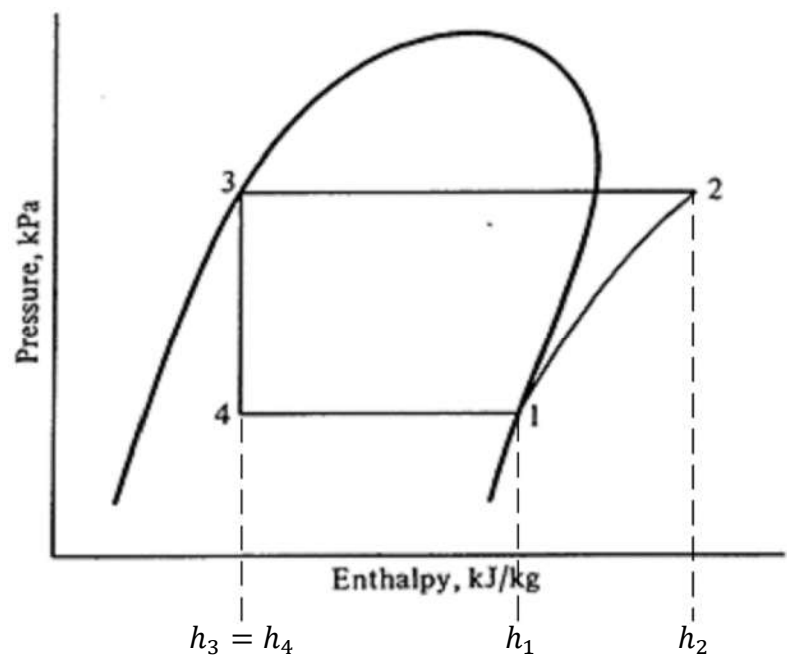
A. Data tekanan (P)

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

B. Data Enthalpi (h)

Data enthalpi dapat dijelaskan dengan diagram P-h seperti yang ditunjukkan pada gambar 3.36.



Gambar 3.36 Diagram P-h Siklus Kompresi Uap (Stoecker dan Jones, 1982).

Nilai enthalpi (h) pada perhitungan ditunjukkan pada gambar 3.31 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 rata-rata dari P_4 dan P_5

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 dilakukan interpolasi.

C. Data Temperatur (°C)

Data temperatur yang digunakan dalam penelitian ini diperoleh dengan memasang kabel *thermocouple* pada titik-titik tertentu yang digunakan untuk data awal untuk dilakukan perhitungan selanjutnya. Satuan temperatur pada penelitian ini adalah derajat celcius (°C). Berikut titik-titik temperatur pada penelitian:

| | |
|----------|---|
| T_1 | = Temperatur atas seksi uji, (°C) |
| T_2 | = Temperatur dinding masuk seksi uji, (°C) |
| T_3 | = Temperatur dinding masuk seksi uji, (°C) |
| T_4 | = Temperatur dinding masuk seksi uji, (°C) |
| T_5 | = Temperatur udara sesudah seksi uji, (°C) |
| T_6 | = Temperatur udara sebelum seksi uji, (°C) |
| T_7 | = Temperatur masuk kompresor, (°C) |
| T_8 | = Temperatur keluar kompresor, (°C) |
| T_9 | = Temperatur bawah seksi uji, (°C) |
| T_{10} | = Temperatur dinding keluar seksi uji, (°C) |
| T_{11} | = Temperatur dinding keluar seksi uji, (°C) |
| T_{12} | = Temperatur dinding keluar seksi uji, (°C) |
| T_{13} | = Temperatur sebelum masuk katup ekspansi, (°C) |
| T_{14} | = Temperatur sesudah masuk katup ekspansi, (°C) |
| T_{15} | = Temperatur keluar air evaporator, (°C) |
| T_{16} | = Temperatur masuk air evaporator, (°C) |
| T_{17} | = Temperatur heater, (°C) |
| T_{18} | = Temperatur heater, (°C) |
| T_{19} | = Temperatur heater, (°C) |
| T_{20} | = Temperatur lingkungan heater, (°C) |

D. Persamaan yang dipakai

Berikut merupakan rumus menentukan nilai laju aliran massa refrigeran (\dot{m}), ditunjukkan pada persamaan 3.22.

$$\dot{m}_{ref} = \rho_{ref} \cdot \dot{V}_{ref, aktual} \dots \dots \dots (3.22)$$

Keterangan:

ρ_{ref} = Massa jenis/densitas refrigeran (kg/m³)

$\dot{V}_{ref, aktual}$ = Debit refrigeran aktual (m³/s)

Sedangkan $\dot{V}_{ref, aktual}$ diperoleh dengan persamaan 3.12 disubstitusikan menjadi persamaan 3.23.

$$\dot{V}_{ref,aktual} = \frac{C \cdot A_2 \cdot \sqrt{\frac{2}{\rho_{ref}}}}{\sqrt{1 - \left(\frac{A_2}{A_1}\right)^2}} \sqrt{P_1 - P_2} \dots\dots\dots (3.23)$$

Keterangan:

- C = Koefisien curah
 A_2 = Luas permukaan pipa tembaga (m^2)
 A_1 = Luas permukaan *orifice* (m^2)
 ρ_{ref} = Massa jenis refrigeran (kg/m^3)
 P_1 = Tekanan sisi masuk katup *orifice* (N/m^2)
 P_2 = Tekanan sisi keluar katup *orifice* (N/m^2)

ρ refrigeran diperoleh dari pembacaan diagram P-h pada suhu dan tekanan tertentu yang diperoleh dari hasil pengamatan.

Persamaan 3.24 merupakan persamaan yang dipakai untuk menentukan nilai koefisien perpindahan kalor evaporasi.

$$h_{eva} = \frac{Q_{eva}}{A \cdot (T_{w,i} - T_{sat})} \dots\dots\dots (3.24)$$

Keterangan:

- $T_{w,i}$ = Temperatur *Wall in* ($^{\circ}C$)
 T_{sat} = Suhu jenuh pada seksi uji ($^{\circ}C$)
 A = Area seksi uji (m^2)
 Q_{eva} = Suplai udara (Watt)
 T_{sat} dengan $T_{w,i}$ dapat diperoleh pada persamaan 3.25.

$$T_{sat} = \frac{1}{2} (T_{in} - T_{out}) \dots\dots\dots (3.25)$$

Keterangan:

- T_{in} = Suhu masuk seksi uji ($^{\circ}C$)
 T_{out} = Suhu keluar seksi uji ($^{\circ}C$)

Secara teoritis temperatur dinding dalam/*Wall in* pipa ($T_{w,i}$) dapat dicari menggunakan persamaan 3.24.

$$T_{w,i} = T_{w,o} - \frac{Q_{eva} \cdot \ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)}{2 \cdot \pi \cdot k \cdot L} \dots\dots\dots (3.26)$$

Keterangan:

$T_{w,o}$ = Temperatur *Wall Out* ($^{\circ}\text{C}$)

r_2 = Jari-jari luar pipa (mm)

r_1 = Jari-jari dalam pipa (mm)

k = Konduktivitas termal ($\text{W/m}\cdot^{\circ}\text{C}$)

L = Panjang seksi uji (m)

Sedangkan Q_{eva} didapat persamaan 3.27 sebagai berikut:

$$Q_{eva} = \dot{m}_{udara} \cdot c_{p_{udara}} \cdot (T_{udara_{in}} - T_{udara_{out}}) \dots\dots\dots (3.27)$$

Keterangan:

\dot{m}_{udara} = Laju aliran massa udara (kg/s)

$c_{p_{udara}}$ = Nilai kalor udara ($\text{kJ/kg}\cdot\text{K}$)

$T_{udara_{in}}$ = Suhu masuk seksi uji ($^{\circ}\text{C}$)

$T_{udara_{out}}$ = Suhu keluar seksi uji ($^{\circ}\text{C}$)

Dengan \dot{m}_{udara} yang didapat dari persamaan 3.28.

$$\dot{m}_{udara} = \rho_{udara} \cdot \dot{V}_{udara} \dots\dots\dots (3.28)$$

Kemudian \dot{V}_{udara} didapat dari persamaan 3.29.

$$\dot{V}_{udara} = \frac{\pi}{4} \cdot D_i^2 \cdot \bar{V}_{udara} \dots\dots\dots (3.29)$$

Keterangan:

ρ_{udara} = Massa jenis udara (kg/m^3)

\dot{V}_{udara} = Laju aliran udara dalam pipa (m^3)

D_i = Diameter dalam pipa luar seksi uji (m)

L = Panjang pipa seksi uji (m)