

## **BAB III**

### **METODE PENELITIAN**

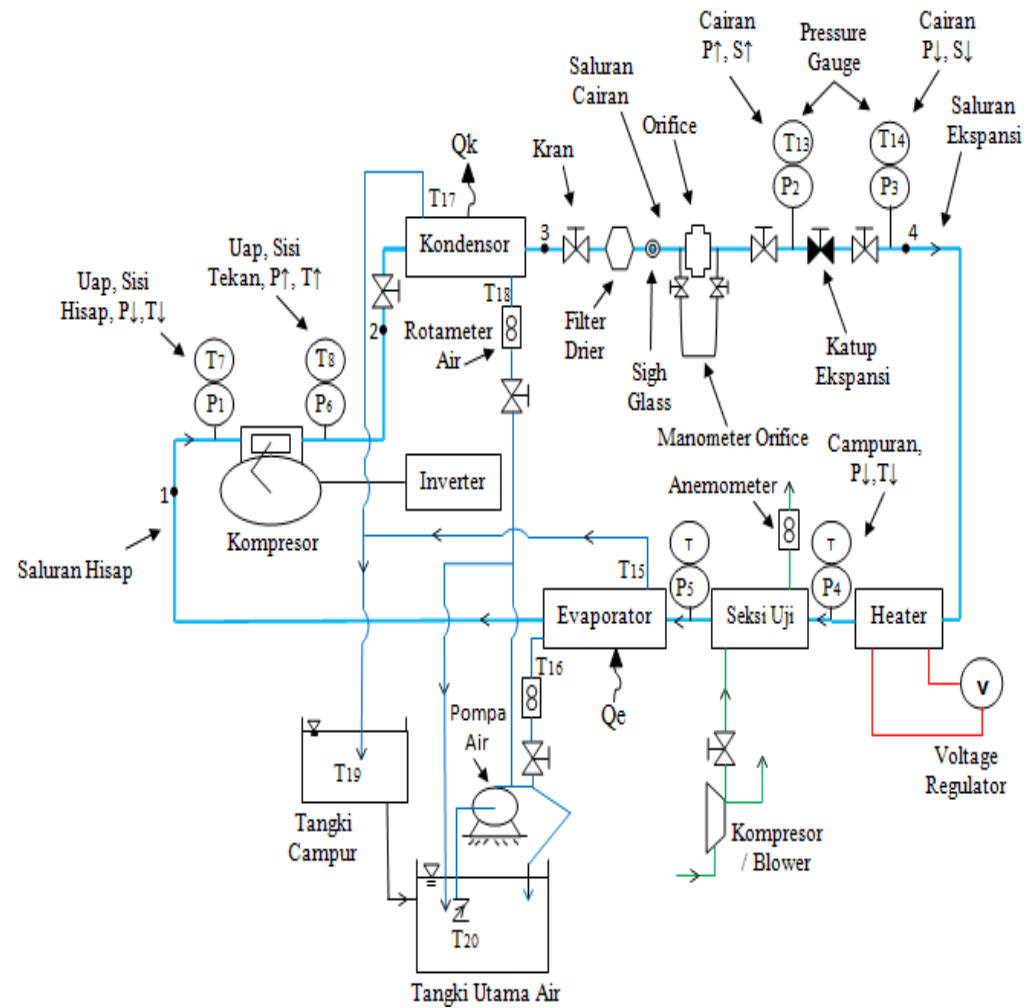
#### **3.1. Bahan**

Bahan dan fluida kerja yang digunakan dalam penelitian ini adalah refrigeran, air, dan udara. Dalam penelitian ini refrigeran yang digunakan adalah R-134a yang memiliki unsur senyawa  $\text{CH}_2\text{FCF}_3$  (*Tetrafloroetana*), merek KLEA sebagai fluida kerja di dalam sistem refrigrasi. Air berfungsi sebagai media yang didinginkan untuk evaporator dan juga sebagai media pendingin untuk kondensor, sedangkan udara berfungsi sebagai pemanas refrigeran di dalam seksi uji sebelum menuju ke evaporator (lihat gambar 3.1). Oli refrigeran juga dimasukkan ke dalam alat uji (kompresor) yang berfungsi sebagai pelumas kompresor, dalam penelitian ini *oli* refrigeran yang digunakan adalah oli dengan merek PAOIL dimana *oil* ini jenis *syntetic oil* yang *compatible* untuk semua refrigeran dengan *range* temperatur operasi dari  $-68\text{ }^\circ\text{C}$  sampai  $315\text{ }^\circ\text{C}$ .

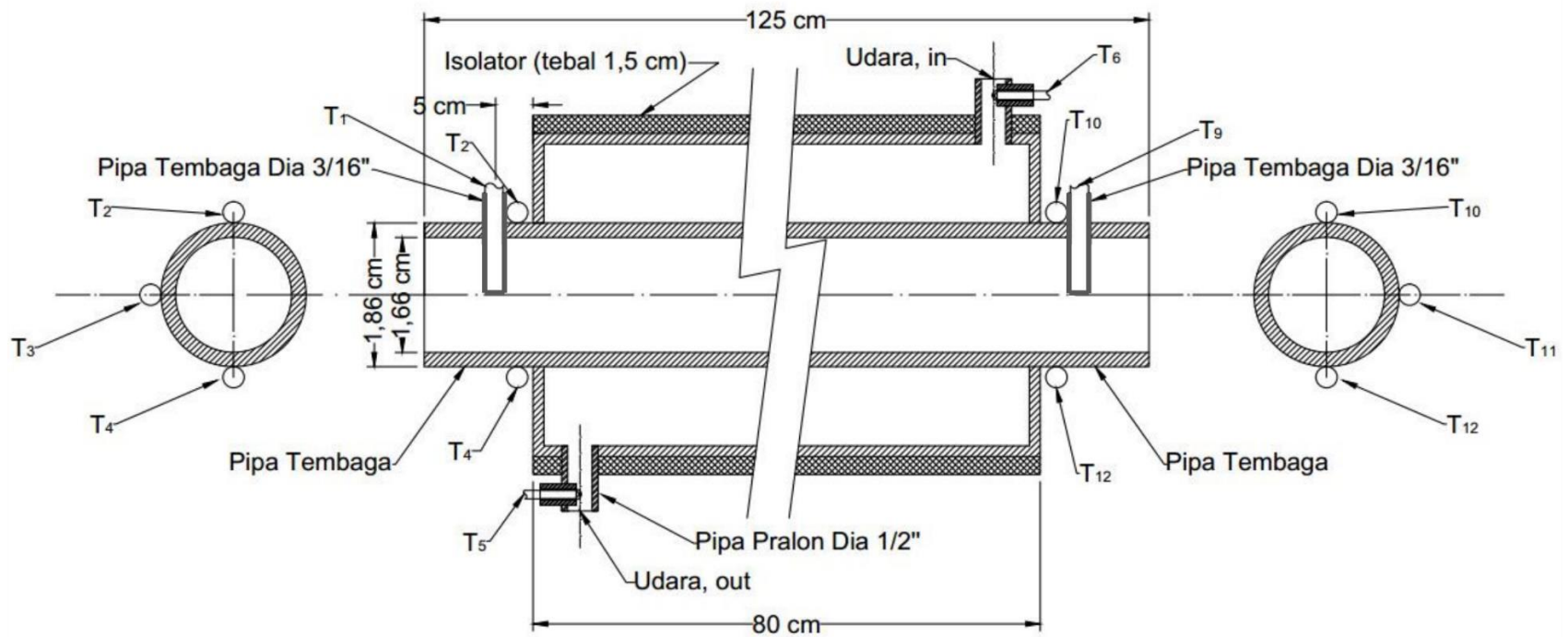
#### **3.2. Alat**

##### **3.2.1. Skema Alat Uji**

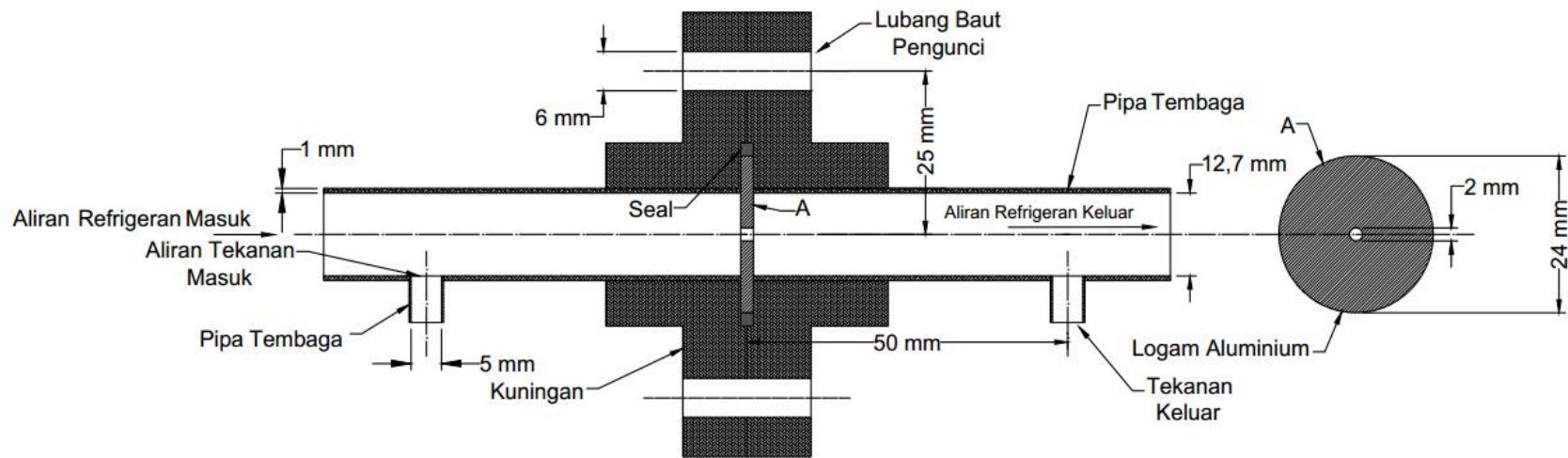
Penelitian ini dengan melakukan modifikasi alat sistem kompresi uap sederhana dengan menambahkan *heater* (pemanas listrik) untuk mengatur kualitas uap refrigeran dengan memberikan daya masukan, seksi uji untuk mengetahui nilai koefisien evaporasi, dan perangkat *orifice* yang nantinya digunakan untuk mengetahui laju aliran refrigeran. Dari ketiga tambahan alat tersebut akan dipasangkan ke dalam sistem peralatan yang dapat dilihat pada gambar 3.1. untuk mengubah kualitas satu ke kualitas yang lain maka diperlukan daya masukan dari *heater*, dengan mengatur *voltase* pada *voltage regulator* yang nantinya akan memanaskan kawat pemanas yang sudah terlilit pada *heater*. Dalam penelitian ini kualitas uap refrigeran dapat divariasikan dengan mengatur daya masukan yang disuplai oleh *voltage regulator*.



Gambar 3.1 Skema Alat Uji



Gambar 3.2 Skema seksi Uji



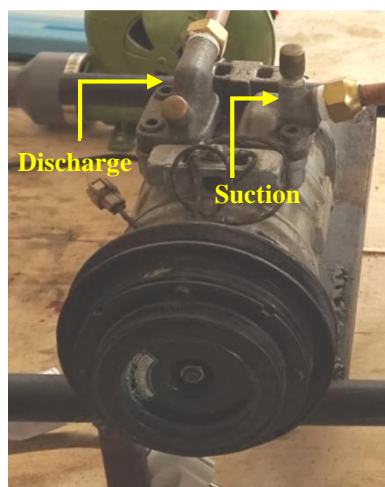
Gambar 3.3 Skema orifice

### 3.2.2. Peralatan Pengujian

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini dengan memodifikasi rangkaian komponen sistem kompresi uap sederhana. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kecenderungan koefisien evaporasi dengan memvariasikan kualitas uap refrigeran. Peralatan yang digunakan antara lain:

#### 1. Kompresor

Kompresor adalah komponen utama dari sistem kompresi uap, ada 4 jenis kompresor refrigerasi yang paling umum antara lain: kompresor torak (*reciprocating compressor*), sekrup (*screw*), sentrifugal, dan sudu (*vane*). Pada alat uji kali ini menggunakan kompresor jenis torak yaitu jenis kompresor yang terdiri dari sebuah piston yang bergerak ke depan dan ke belakang di dalam suatu silinder yang mempunyai katup hisap dan katup buang (*suction valve and discharge valve*) sehingga berlangsung proses pemompaan gambar kompresor dapat dilihat pada gambar 3.4. Spesifikasi dari kompresor yang digunakan adalah merek NIPPON DENSO *type* 10P15C yang berarti kompresor jenis ini memiliki 10 langkah piston yaitu lima langkah hisap, lima langkah tekan dengan kapasitas kompresi 150cc. Prinsip kerja kompresor adalah untuk menaikkan tekanan dari tekanan rendah yang berasal dari evaporator untuk dikompresikan menuju kondensor dengan tekanan tinggi. Dalam bekerja kompresor dikopel motor listrik dengan media pemindah daya yang digunakan adalah *V-Belt*.



Gambar 3.4 Kompresor refrigrasi jenis torak merek NIPPON DENSO *Type* 10P15C

## 2. Motor Listrik

Motor listrik digunakan untuk menggerakkan kompresor yang dihubungkan dengan sebuah *V-Belt*. Motor listrik yang digunakan adalah motor listrik 3 *phase* seperti pada gambar 3.5 yang mempunyai spesifikasi sebagai berikut:

<i>Type</i>	: Y100L-4	<i>Speed</i>	: 1430 RPM
Frekuensi	: 50Hz	<i>Voltage</i>	: 220/380 V
Kebisingan	: 70 dB	Arus	: 8.4/4.9 A
<i>Output</i>	: 3 HP (2,2 KW)	<i>Conection</i>	: $\Delta/Y$



Gambar 3.5 Motor listrik 3 *phase*

## 3. *Inverter*

*Inverter* berfungsi sebagai pengatur putaran motor listrik dengan mengatur frekuensinya. Prinsip kerjanya yaitu dengan mengatur arus yang masuk ke dalam motor listrik, semakin besar frekuensi maka semakin besar arus keluaran *inverter* menuju ke motor listrik akibatnya putaran motor yang dihasilkan semakin cepat. *Inverter* yang digunakan untuk penelitian adalah *inverter 3 phase* merek CHINT dengan daya keluaran maksimal 3,7 kW seperti yang ditunjukkan pada gambar 3.6.



Gambar 3.6 *Inverter 3 phase* merek CHINT

#### 4. Kondensor

Kondensor adalah alat yang digunakan untuk mengubah fasa refrigeran dari uap panas lanjut menjadi cair jenuh. Pada penelitian ini kondensor terpasang pada sistem alat uji yang didinginkan dengan menggunakan media pendingin air dengan cara merendamnya serta mensirkulasikan air tersebut. Kondensor yang digunakan ditunjukkan pada gambar 3.7.



Gambar 3.7 Kondensor

#### 5. Evaporator

Evaporator adalah alat yang digunakan untuk mengubah fasa refrigeran dari fasa campuran menjadi uap jenuh agar nantinya dapat dikompresi oleh kompresor.

Gambar evaporator ditunjukkan pada gambar 3.8. Temperatur di dalam evaporator rendah sehingga akan menyerap kalor disekitarnya agar refrigeran di dalamnya tidak membeku. Pada penelitian kali ini evaporator direndam dengan menggunakan air dimana air tersebut disirkulasikan secara terus menerus selama alat beroperasi dan peran air sebagai media yang akan didinginkan.



Gambar 3.8 Evaporator

#### 6. Katup Ekspansi

Katup ekspansi adalah alat yang digunakan untuk menurunkan tekanan refrigeran dengan cara mengekspansikannya sehingga berubah fasa dari cair jenuh menjadi campuran, selain itu katup ekspansi juga berfungsi untuk mengatur aliran menuju evaporator. Pada penelitian ini katup ekspansi terpasang setelah *orifice* dan sebelum *heater*. Katub ekspansi ditunjukkan pada gambar 3.9.



Gambar 3.9 Katup ekspansi



## 7. Pompa air

Pompa adalah alat yang digunakan untuk memompa air. Dalam penelitian ini pompa air yang digunakan adalah pompa air jenis sentrifugal yang difungsikan untuk memompa air menuju kondensor dan evaporator. Pompa air yang digunakan ditunjukkan pada gambar 3.10. Air bagi kondensor berfungsi sebagai media penyerap kalor untuk mendinginkan refrigeran, sedangkan air bagi evaporator berfungsi sebagai media yang didinginkan. Kalor dari air nantinya akan diserap oleh evaporator.



Gambar 3.10 Pompa air jenis sentrifugal

## 8. Blower

*Blower* adalah alat yang digunakan untuk menghembuskan udara. Dalam hal penelitian ini *blower* digunakan untuk meniupkan udara ke dinding tembaga pada sisi luar seksi uji, fungsi udara sebagai media pemanas yang nantinya akan diserap oleh refrigeran yang mengalir di dalam pipa seksi uji. Aliran udara pada penelitian ini *counter flow* (berlawanan arah). *Blower* yang digunakan ditunjukkan pada gambar 3.11.



Gambar 3.11 *Blower*

### 9. *Voltage Regulator*

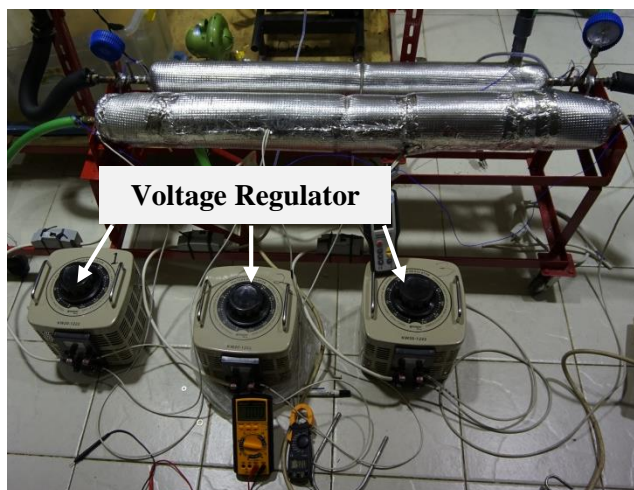
*Voltage regulator* adalah alat yang berfungsi untuk mensuplai daya masukan ke *heater* dengan mengatur tegangan keluarannya. *Voltage regulator* yang digunakan dalam penelitian ini ditunjukkan pada gambar 3.12 yang memiliki spesifikasi sebagai berikut:

Merek : KRISBOW/KW20-1222

Arus maksimal : 20 A

Voltase maksimal : 250 V

Daya maksimal : 5 kW



Gambar 3.12 *voltage regulator*

### 10. *Heater* dan Seksi Uji

*Heater* (pemanas listrik) yang berfungsi untuk memvariasikan kualitas uap refrigeran. Pemanas listrik menggunakan pipa tembaga dengan diameter nominal 3/4" dengan diameter dinding dalam 16,60 mm, diameter dinding luar 18,60 mm, dan panjang pipa tembaga 1,25 m. Pipa tembaga dililit dengan kawat *nikelin* merek Kanthal dengan spesifikasi Ni 80, AWG 24. Pipa tembaga dililit dengan kawat *nikelin* sepanjang 7,5 m dibagi menjadi tiga bagian sama panjang sehingga menjadi 2,5 m. Kawat *nikelin* dihubungkan dengan *voltage regulator* dengan kabel tahan panas dengan media penghubung menggunakan terminal keramik. Kemudian pemanas diisolasi dengan menggunakan cincin-cincin keramik, pita asbes, *glasswool* dan *aluminium foil*.

Seksi uji merupakan penukar kalor pipa ganda dengan aliran berlawanan arah (*counter flow*). Media pemanas yang dialirkan adalah udara yang dihembuskan oleh *blower*. Pipa bagian dalam terbuat dari tembaga dengan diameter dalam 16,6 mm dan diameter luar 18,6 mm dengan panjang pipa 1,25 m. Pipa bagian luar menggunakan pipa PVC dengan panjang 80 cm dengan diameter 2". Pipa PVC diisolasi dengan menggunakan karet busa dan *aluminium foil*. *Thermokopel* dipasang pada dinding luar pipa tembaga pada sisi masuk dan keluar masing-masing penampang dipasang tiga titik *thermokopel* (atas, samping dan bawah). Termokopel kemudian diisolasi dengan *plester* untuk meminimalisir pengaruh temperatur lingkungan sekitar. *Thermokopel* juga dipasang di tengah aliran refrigeran dengan cara memasukkan pipa tembaga 3/16" yang sudah disumbat pada salah satu ujungnya dan dilas pada sisi masuk dan keluar pipa tembaga seksi uji. Kemudian *thermokopel* dimasukkan ke dalam pipa tembaga 3/16" yang sebelumnya sudah dimasukkan *pasta termal*. *Heater* dan seksi uji ditunjukkan pada gambar 3.13.

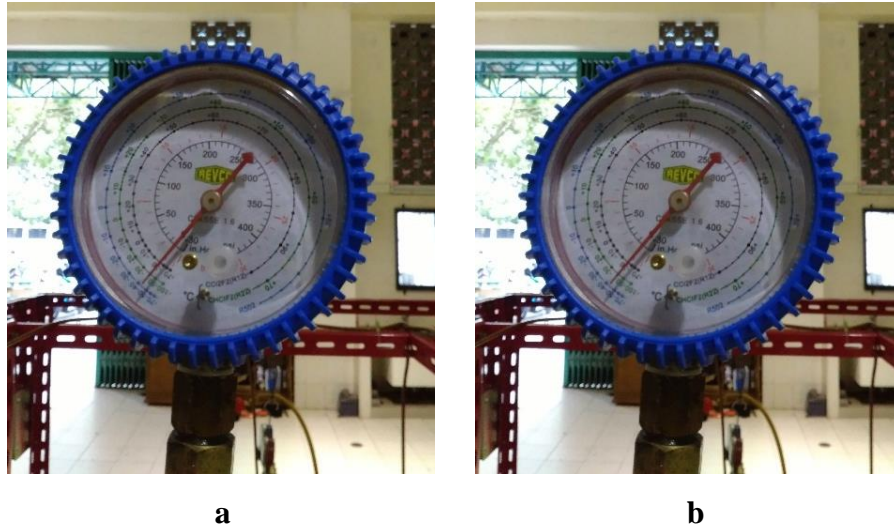


Gambar 3.13 *Heater* dan Seksi Uji

#### 11. *Pressure Gauge*

*Pressure gauge* adalah alat yang digunakan untuk mengukur tekanan pada suatu titik tertentu di alat uji. *Pressure gauge* pada alat uji ini dipasang untuk mengukur tekanan pada *suction* kompresor, *discharge* kompresor, sebelum katup ekspansi, setelah katup ekspansi, masuk seksi uji, keluaran seksi uji. *Pressure gauge* dan 2 jenis yaitu: *pressure gauge low pressure* yang ditunjukkan pada gambar 3.14.a dengan tekanan maksimal 220 psi, dan *pressure gauge high*

*pressure* yang ditunjukkan pada gambar 3.14.b dengan tekanan maksimal mencapai 500 psi.



Gambar 3.14 **a** *Pressure gauge high pressure* **b.** *Pressure gauge low pressure*

## 12. Rotameter Air

Rotameter air adalah alat yang digunakan untuk mengukur debit aliran air. Dalam penelitian ini rotameter air digunakan untuk membaca debit aliran air yang menuju kondensor dan evaporator, rotameter air yang digunakan berkapasitas maksimal 7,4 LPM ditunjukkan pada gambar 3.15.



Gambar 3.15 Rotameter air

### 13. *Anemometer*

*Anemometer* adalah alat yang digunakan untuk mengukur kecepatan udara. Dalam penelitian ini *anemometer* digunakan untuk mengukur kecepatan udara dari seksi uji yang dihembuskan oleh *blower*. *Anemometer* yang digunakan ditunjukkan pada gambar 3.16.



Gambar 3.15 *Anemometer*

### 14. *Thermoreader*

*Thermoreader* adalah adalah alat yang digunakan untuk membaca temperatur pada titik tertentu. Dalam penelitian ini *termoreader* digunakan untuk membaca pada 26 titik temperatur dalam alat uji. *Thermocouple* yang digunakan ditunjukkan pada gambar 3.17.



Gambar 3.17 *Thermoreader*

### 15. *Multimeter Digital*

*Multimeter digital* adalah alat yang digunakan untuk mengukur *voltase*, arus, dan hambatan yang ada pada suatu rangkaian listrik. Dalam penelitian ini *multimeter digital* digunakan untuk mengukur *voltase* keluaran dari *voltage regulator* pengukuran *voltase* dilakukan dengan mengatur skala 700 V AC pada *multimeter digital* karena *range voltase* yang akan diukur dalam penelitian ini antara 20 – 80 V AC, *multimeter digital* yang digunakan ditunjukkan pada gambar 3.18.



Gambar 3.18 *Multimeter digital*

### 16. Tang Ampere

Tang ampere adalah alat yang digunakan untuk mengukur tegangan, arus, dan hambatan sebuah kabel listrik. Dalam penelitian ini tang ampere difungsikan untuk mengukur arus yang disuplai ke *heater*, cara pemakaiannya yaitu dengan mengatur pada skala tertentu, dalam penelitian ini skala yang digunakan 20 A AC setelah itu tang ampere dikaitkan ke salah satu kabel yang ingin kita ukur arusnya. Tang ampere yang digunakan ditunjukkan pada gambar 3.19.



Gambar 3.19 Tang Ampere

### 17. *Manifold*

*Manifold* adalah alat yang digunakan untuk mengisi refrigeran ke dalam sistem refrigerasi, selain itu di sebuah *manifold* terdapat 2 *pressure gauge*: *low pressure* dan *high pressure* yang berfungsi untuk mengukur tekanan yang ada pada *suction* dan *discharge* kompresor. Dalam penelitian ini *manifold* digunakan untuk mengisi refrigeran ke dalam alat uji. *Manifold* yang digunakan ditunjukkan pada gambar 3.20.



Gambar 3.20 *Manifold*

## 18. Pompa Vakum

Pompa vakum adalah alat yang digunakan untuk memvakumkan atau menghampakan pada sistem refrigrasi. Dalam penelitian ini pompa vakum digunakan untuk memvakumkan jalur refrigeran di alat uji sebelum dilakukannya pengisian refrigeran. Pompa vakum yang digunakan ditunjukkan pada gambar 3.21.



Gambar 3.21 Pompa Vakum

## 19. Filter Dryer

*Filter dryer* adalah alat yang digunakan sebagai *filter* untuk menyaring kotoran yang mungkin ikut bersirkulasi di dalam alat refrigrasi. Dalam penelitian ini *filter dryer* dipasang setelah kondensor dan sebelum katup ekspansi. *Filter dryer* yang digunakan ditunjukkan pada gambar 3.22.



Gambar 3.22 *Filter Dryer*

## 20. Sight Glass (Kaca Penduga)

Kaca penduga adalah alat yang berfungsi untuk mengetahui fasa refrigeran yang melewatinya, refrigeran yang lewat akan terlihat di kaca transparan. Dalam



penelitian ini kaca penduga dipasang pada fasa cair yaitu setelah kondensor, *filter dryer*, sebelum *orifice*, dan katup ekspansi. Kaca penduga ini berfungsi untuk memastikan kebutuhan refrigeran untuk alat uji sudah cukup atau belum. Kaca penduga yang digunakan dapat dilihat pada gambar 3.23.



Gambar 3.23 *Sight Glass* (Kaca Penduga)

#### 21. *Orifice*

*Orifice* adalah alat untuk mengukur laju aliran massa fluida di dalam saluran tertutup berdasarkan prinsip beda tekanan. Dalam penelitian ini *orifice* dipasang pada fasa refrigeran cair yaitu setelah kondensor dan sebelum katup ekspansi. *Orifice* yang digunakan menggunakan plat aluminium berlubang 2 mm dan pipa kuningan yang berlubang 12,7 mm. Sebelum dan sesudah *orifice* dibuat lubang diameter 1,5 mm untuk saluran manometer U yang nantinya akan digunakan untuk mengukur beda ketinggian yang ditimbulkan karena adanya perbedaan tekanan yang terjadi, jarak lubang dari plat *orifice* masing-masing 5 cm. *Orifice* yang digunakan dalam penelitian ditunjukkan pada gambar 3.24. Untuk Skema *orifice* dapat dilihat pada gambar 3.3.



Gambar 3.24 *Orifice*

## 22. Manometer U

Manometer U adalah alat yang digunakan untuk mengukur perbedaan level ketinggian pada selang manometer yang berbentuk huruf U. Di dalam selang terisi air raksa yang mempunyai *densitas*  $13.600 \text{ kg/m}^3$ , selang dengan bahan nilon dengan diameter 4 mm. Manometer U dapat ditunjukkan pada gambar 3.25.



Gambar 3.25 Manometer U

## 23. MCB

*Miniature Circuit breaker* (MCB) adalah alat yang digunakan untuk membatasi arus serta sebagai pengaman instalasi listrik, cara kerjanya MCB akan secara otomatis memutus arus bila arus yang melewatinya melebihi batas dari yang diijinkan. Dalam penelitian ini MCB dipasang pada instalasi listrik (sebelum *inverter*, sebelum *voltage regulator*, sebelum pompa air dan *blower*). Berikut adalah contoh MCB yang terpasang sebelum *inverter* ditunjukkan pada gambar 3.26.



Gambar 3.26 *Miniature Circuit Breaker* (MCB)

#### 24. Pipa Tembaga

Pipa tembaga digunakan untuk jalur refrigeran ke seluruh sistem refrigrasi dan menghubungkan antar komponen satu dengan komponen yang lainnya. Pipa tembaga yang digunakan untuk pembuatan alat uji ini menggunakan pipa tembaga dengan berbagai ukuran antara lain: 3/16, 1/4, 3/8, dan 1/2 inch.

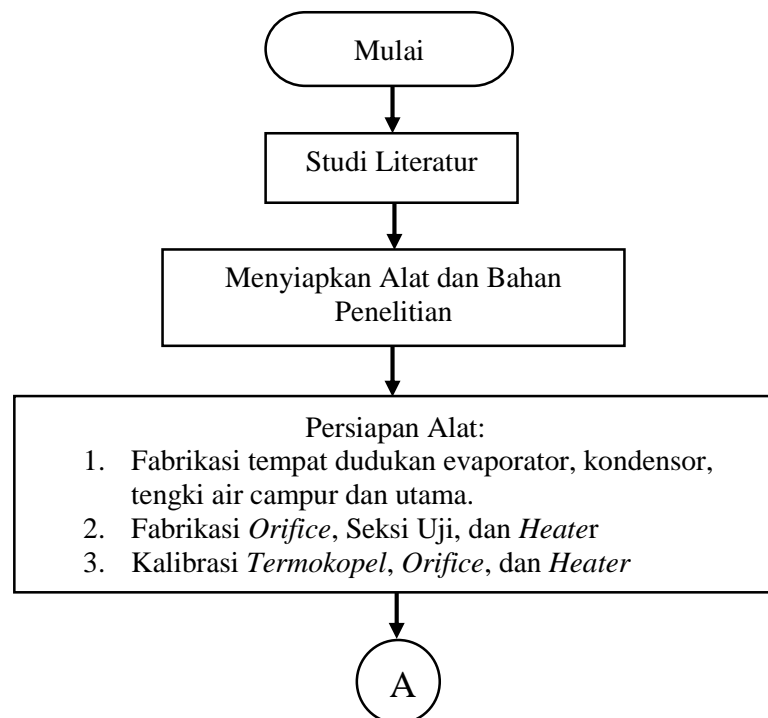
#### 25. Pipa PVC

Pipa PVC digunakan untuk instalasi air dari tangki utama menuju kondensor dan evaporator, dari evaporator dan kondensor menuju tangki campur, dan dari tangki campur menuju tangki utama. Untuk instalasi air pipa PVC yang digunakan dengan ukuran 1/2 inch. Sedangkan pipa PVC juga digunakan di seksi uji menggunakan ukuran 2 inch.

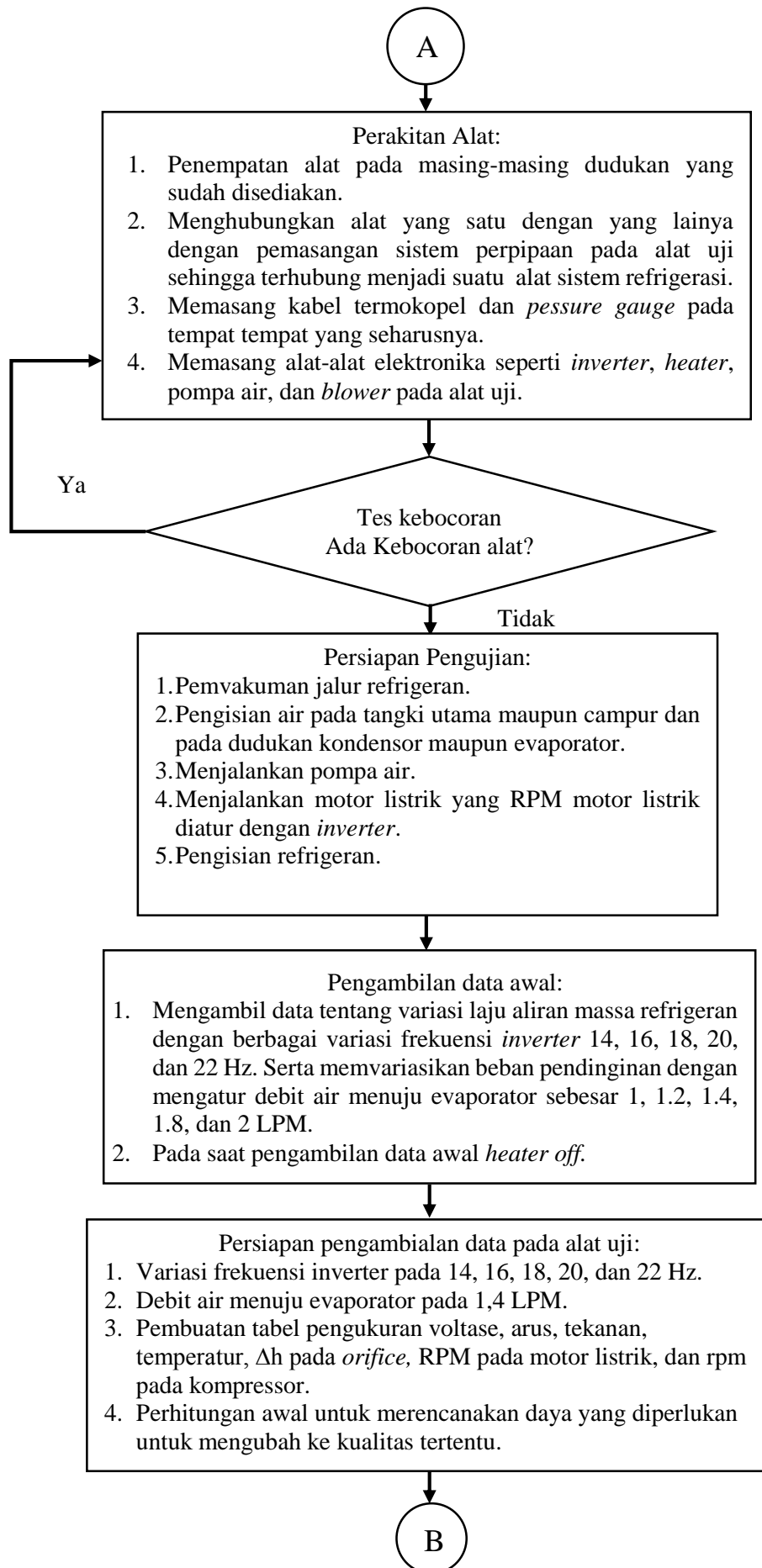
### 3.3. Jalanya Penelitian

#### 3.3.1. Diagram Alir Penelitian

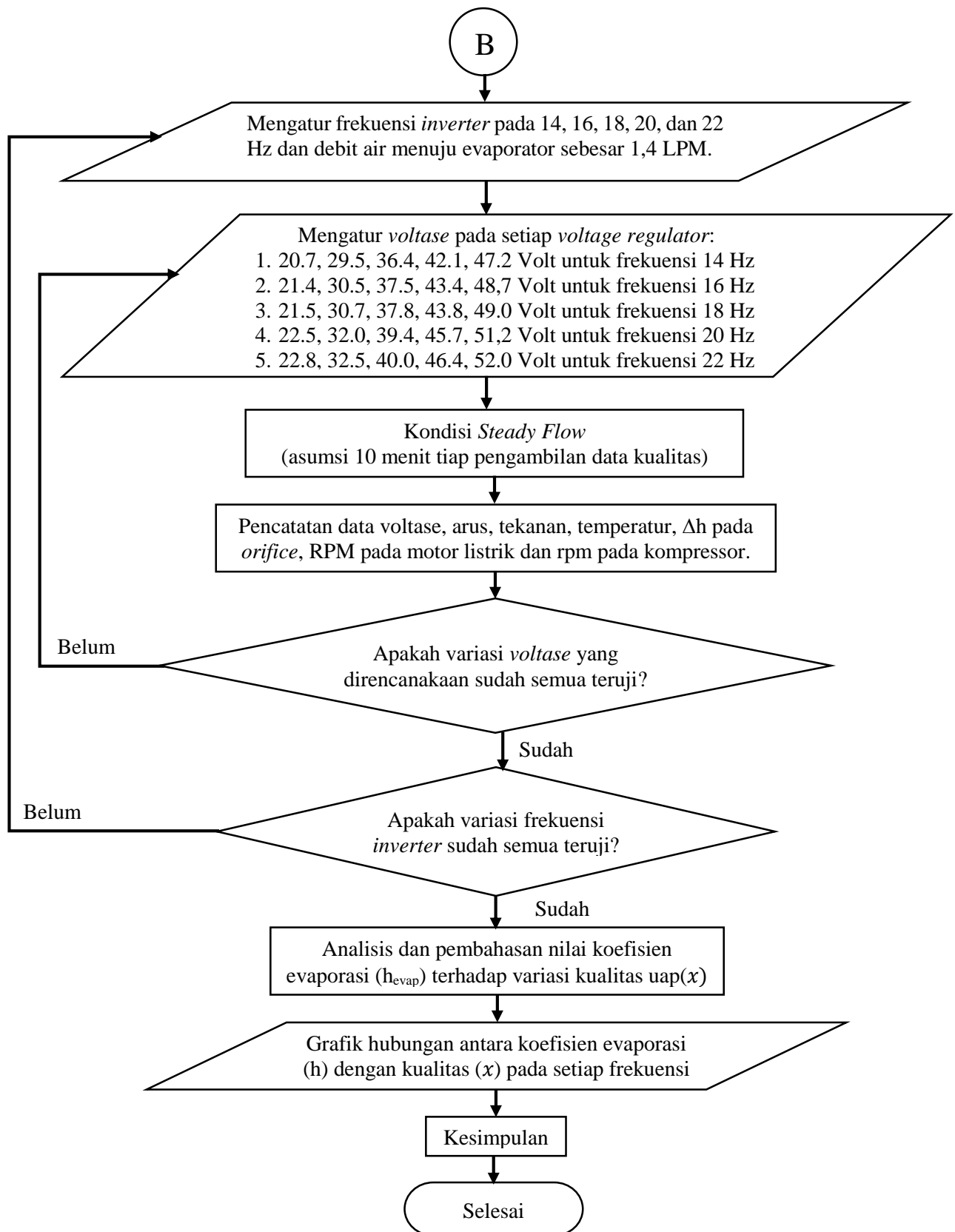
Diagram alir digunakan untuk merencanakan tahap-tahap penyelesaian pengujian. Diagram ini menampilkan urutan kegiatan yang dilaksanakan dalam pengujian, urutan pengujiannya ditunjukkan pada gambar 3.27.



Gambar 3.27 Diagram alir penelitian



Gambar 3.27 Diagram alir penelitian  
(Lanjutan)



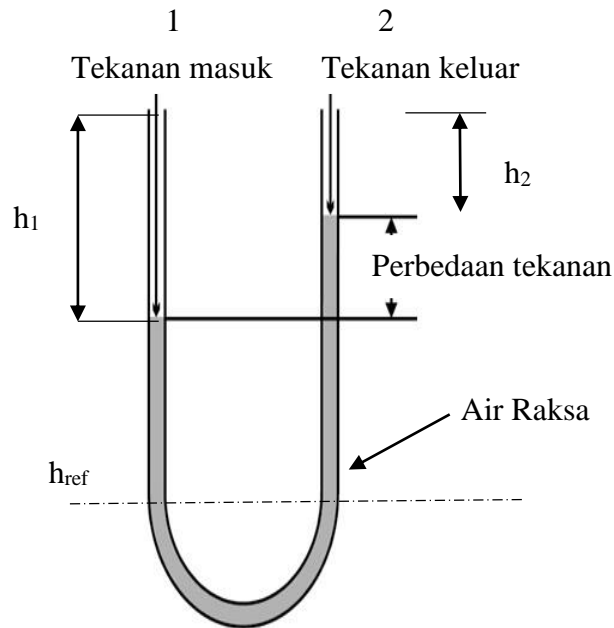
Gambar 3.27 Diagram alir penelitian (Lanjutan)

### 3.3.2. Kalibrasi *Thermocouple*

Kalibrasi *thermocouple* dilakukan dengan membandingkan dengan termometer standar dimulai dari temperatur 6 °C sampai 73 °C. Metode yang dilakukan saat kalibrasi *thermocouple* dibawah temperatur ruangan dilakukan dengan mencairkan es batu sehingga mendapatkan temperatur terkecil yaitu 6 °C dan untuk menambah temperatur, ditambahkan air biasa sampai temperatur air. Untuk mengkalibrasi *thermocouple* ke temperatur tinggi ditambahkan sedikit demi sedikit air yang dimasak sampai mendidih sehingga pada saat kalibrasi *thermocouple* dilakukan dapat mencapai temperatur maksimal yang didapatkan yaitu 73 °C. Selanjutnya data diinput pada ms.excel guna dilakukan *regresi linier* untuk masing-masing titik *thermocouple* yang akan dibandingkan dengan termometer standar yang nantinya persamaan dari *regresi linier* inilah yang digunakan untuk mengkalibrasi temperatur hasil pembacaan saat penelitian sebelum digunakan untuk proses selanjutnya. Untuk hasil kalibrasi dapat dilihat pada tabel 4.1.

### 3.3.3. Kalibrasi *Orifice*

Laju aliran massa refrigeran ditentukan secara tidak langsung melalui pengukuran laju aliran volume menggunakan fluida air dengan perangkat *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 sisi keluar *orifice* yang diindikasikan dengan perbedaan level fluida yang berada didalam manometer. Skema manometer ditunjukkan pada gambar 3.28. Fluida manometer yang digunakan adalah air raksa yang memiliki *densitas* 13.600 kg/m<sup>3</sup>.



Gambar 3.28 Skema Manometer U

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

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

Dengan:

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

$\rho_{\text{Hg}}$  = Massa jenis air raksa (13.600 kg/m<sup>3</sup>)

$g$  = Percepatan gravitasi bumi (9,81 m/s<sup>2</sup>)

$h_1 - h_2$  = beda level fluida pada sisi masuk dan keluar *orifice* (m)

Penentuan laju aliran massa refrigeran dilakukan dengan menerapkan persamaan kontinuitas aliran dan persamaan Bernouli (Santosa,2003). Persamaan kontinuitas untuk penampang pipa tembaga dan *orifice* ditulis pada persamaan 3.2:

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

Dengan:

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

$\rho_{\text{wtr},1}$  = Massa jenis air pada aliran pipa tembaga (kg/m<sup>3</sup>)

$\rho_{\text{wtr},2}$  = Massa jenis air pada aliran *orifice* (kg/m<sup>3</sup>)

$A_1$  = Luas penampang *orifice* (m<sup>2</sup>)

$A_2$  = Luas penampang pipa tembaga (m<sup>2</sup>)

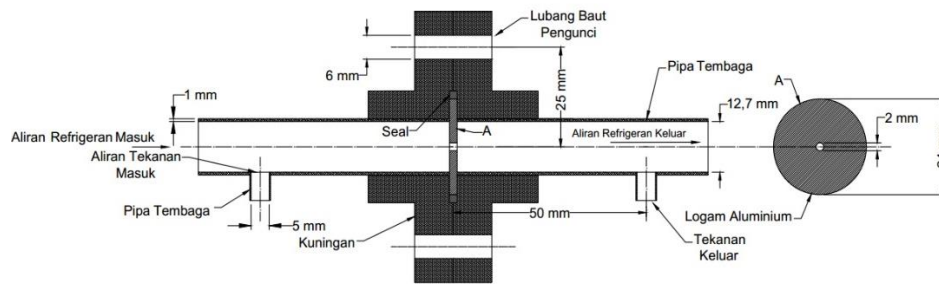
$v_1$  = Kecepatan alir fluida pada pipa tembaga (m/s)

$v_2$  = Kecepatan alir fluida pada *orifice* (m/s)

Air yang masuk *orifice* adalah fluida yang tidak mampat sehingga:

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

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



Gambar 3.29 Skema *Orifice*

Aliran dengan diasumsikan mengalami proses adiabatik, tanpa gesekan, aliran tunak, fluida tak mampat, dan beda potensial diabaikan, maka digunakan persamaan Bernoulli menjadi:

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

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

Dengan mensubstitusikan persamaan (3.4) ke persamaan (3.6), sehingga persamaan menjadi:

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

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

$$v_2 = \frac{\sqrt{\frac{2}{\rho_{wtr}} \cdot \sqrt{P_1 - P_2}}}{\sqrt{1 - \left( \frac{A_2}{A_1} \right)^2}} \dots\dots\dots (3.9)$$

Persamaan laju aliran volume ideal adalah:

$$\dot{V}_{ideal} = A_2 \cdot v_2 \dots\dots\dots (3.10)$$



Dengan mensubstitusikan persamaan (3.9) ke persamaan (3.10) laju aliran volume ideal menjadi:

$$\dot{V}_{\text{ideal}} = A_2 \frac{\sqrt{\frac{2}{\rho_{\text{wtr}}} \cdot \sqrt{P_1 - P_2}}}{\sqrt{1 - \left(\frac{A_2}{A_1}\right)^2}} \dots\dots\dots (3.11)$$

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

$$\dot{V}_{\text{aktual}} = C \cdot \dot{V}_{\text{ideal}} \dots\dots\dots (3.12)$$

Dengan:

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

$\dot{V}_{\text{aktual}}$  ditentukan langsung dari pembacaan rotameter

Hubungan antara laju aliran volume air aktual dengan beda tekanan sisi masuk dan keluar *orifice* dilakukan dengan mensubstitusikan persamaan (3.11) ke persamaan (3.12). sehingga didapatkan persamaan 3.13.

$$\dot{V}_{\text{aktual}} = \frac{C \cdot A_2 \cdot \sqrt{\frac{2}{\rho_{\text{wtr}}} \cdot \sqrt{P_1 - P_2}}}{\sqrt{1 - \left(\frac{A_2}{A_1}\right)^2}} \dots\dots\dots (3.13)$$

Bilangan *Reynolds* (Re) aliran dapat ditulis:

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

Untuk menghitung laju aliran volume fluida harus ditentukan koefisien curah (C) yang merupakan fungsi dari bilangan Re. Sehingga persamaan (3.14) dapat ditulis:

$$\dot{V}_{\text{aktual}} = \frac{\pi \cdot D_i \cdot \mu_{\text{wtr}} \cdot Re}{4 \cdot \rho_{\text{wtr}}} \dots\dots\dots (3.15)$$

Kemudian persamaan (3.15) disubstitusikan ke persamaan (3.13) menjadi:

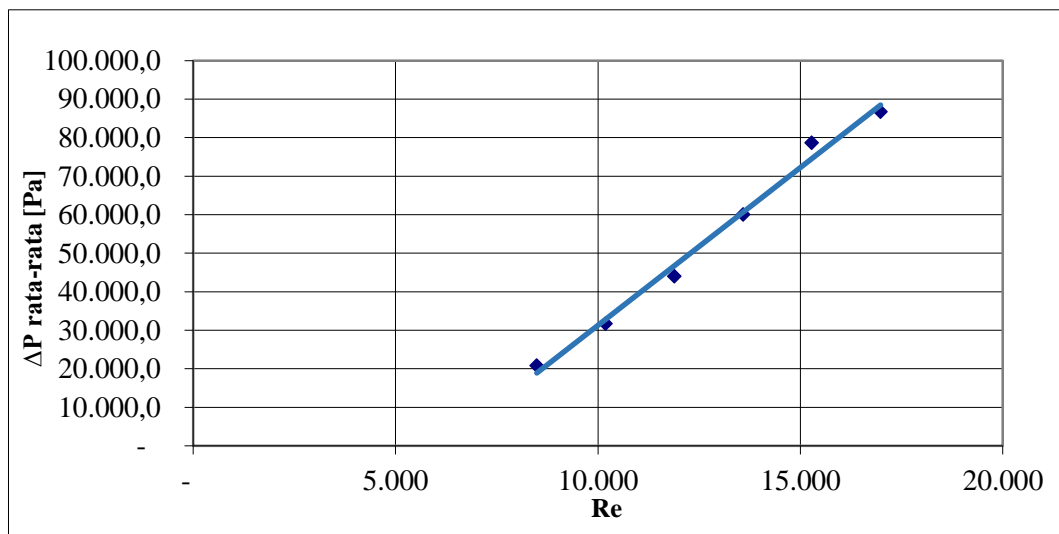
$$\frac{\pi \cdot D_i \cdot \mu_{\text{wtr}} \cdot Re}{4 \cdot \rho_{\text{wtr}}} = C \frac{A_2 \cdot \sqrt{\frac{2}{\rho_{\text{wtr}}} \cdot \sqrt{P_1 - P_2}}}{\sqrt{1 - \left(\frac{A_2}{A_1}\right)^2}} \dots\dots\dots (3.16)$$

Sehingga koefisien curah (C) menjadi:

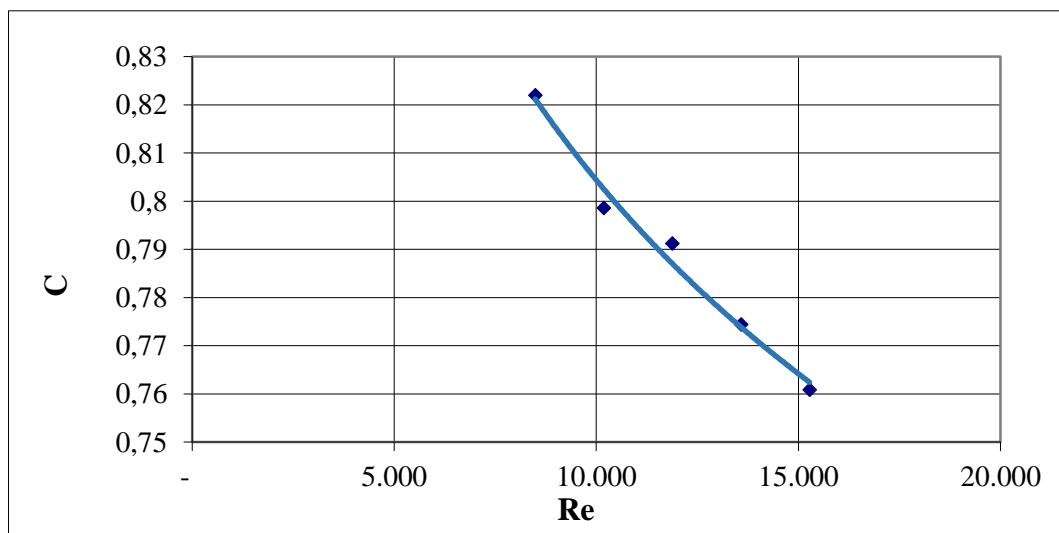
$$C = \frac{\pi \cdot D_i \cdot \mu_{\text{wtr}}}{4 \cdot \rho_{\text{wtr}}} \cdot \frac{\sqrt{1 - \left(\frac{A_2}{A_1}\right)^2} \cdot Re}{A_2 \cdot \sqrt{\frac{2}{\rho_{\text{wtr}}} \cdot \sqrt{P_1 - P_2}}} \dots\dots\dots (3.17)$$

Beda tekanan sisi masuk dan sisi keluar *orifice* ditentukan dari perubahan level air raksa dalam manometer U (lihat gambar 3.27)

Untuk menghitung laju aliran massa refrigeran perlu dibuat grafik hubungan antara bilangan *Reynolds* ( $Re$ ) dengan beda tekanan *orifice* ( $P_1 - P_2$ ) yang ditunjukkan pada gambar 3.30 dan grafik antara bilangan *Reynolds* ( $Re$ ) dengan koefisien curah ( $C$ ) yang ditunjukkan pada gambar 3.31.



Gambar 3.30 Grafik hubungan  $\Delta P$  *Orifice* terhadap bilangan *Reynolds* ( $Re$ )  
Keterangan:  $\Delta P = 8,1867 \times Re - 50558$   
 $R^2 = 0,9904$



Gambar 3.31 Grafik hubungan bilangan *Reynolds* ( $Re$ ) terhadap koefisien curah ( $C$ )  
Keterangan:  $C = 2,5774 \times \Delta P^{-0,126}$   
 $R^2 = 0,9834$

Untuk menghitung laju aliran massa refrigeran dilakukan dengan cara berikut:

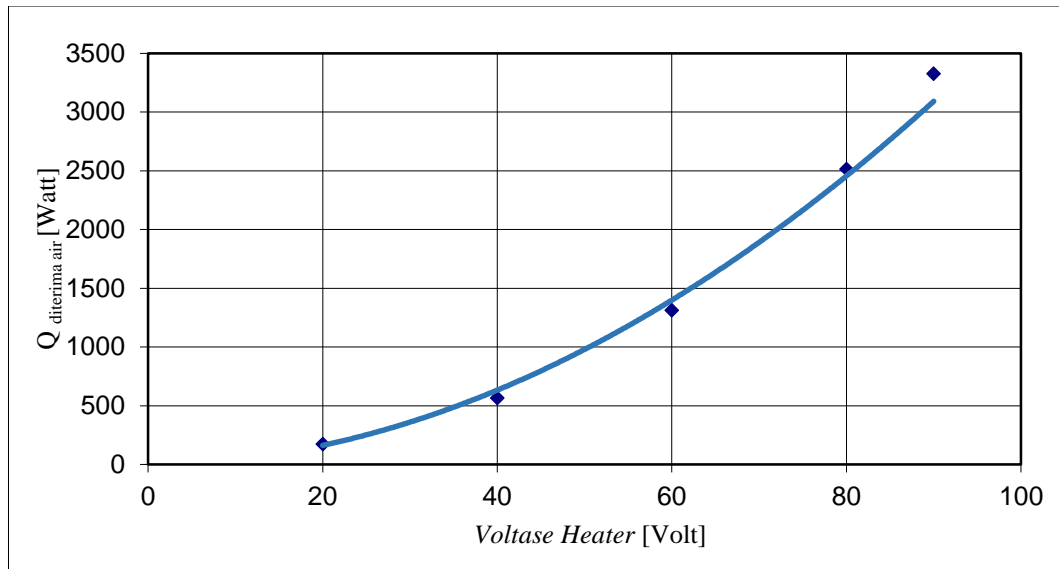
1. Mengamati dan menghitung perubahan level air raksa pada manometer U.
2. Menghitung beda tekanan dengan persamaan (3.1)
3. Dengan data beda tekanan yang telah didapat, maka nilai bilangan *Reynolds* dapat dihitung dengan mensubstitusikan  $\Delta P$  ke dalam persamaan yang diperoleh dari *regresi linier* pada gambar 3.30.
4. Dengan data bilangan *Reynolds* yang didapat, maka nilai koefisien curah (C) dapat dihitung dengan mensubstitusikan bilangan *Reynolds* ke dalam persamaan *regresi linier* pada gambar 3.31.
5. Menghitung laju aliran volume refrigeran aktual menggunakan persamaan (3.13) dengan mengganti *densitas* air dengan *densitas* refrigeran.
6. Laju aliran massa refrigeran dapat dihitung.

$$\dot{m}_{\text{refrigeran}} = \rho_{\text{R-134a}} \cdot \dot{V}_{\text{Refrigeran, aktual}} \dots\dots\dots (3.18)$$

#### 3.3.4. Kalibrasi *Heater*

Nilai kalor yang diterima refrigeran untuk mengubah kualitas uap refrigeran dari kualitas satu ke kualitas yang lain yang disuplai dengan daya masukan dari *heater*. Untuk proses kalibrasi *heater* menggunakan fluida air. Metode kalibrasinya dilakukan dengan mengalirkan debit air 1,2 LPM, kemudian memvariasikan *voltase* dari 20, 40, 60, 80, dan 90. Pada setiap variasi *voltase* dilakukan pencatatan perubahan temperatur air masuk dan temperatur air keluar *heater* setiap 1 menit sekali, dan proses ini dilakukan selama 15 menit. Untuk pengukuran *voltase* yang diatur dengan menggunakan *multimeter digital*, dan untuk pengukuran arusnya menggunakan tang ampere. Selanjutnya data yang sudah di dapat dimasukkan di Ms.Excel lalu dilakukan pembuatan grafik dengan persamaan *regresi linier*. Pada pembuatan grafik hanya menggunakan data percobaan pada menit ke-10, sebab pada menit ke 10 sampai ke menit 15, nilai kalor yang diserap air tidak terlalu ekstrim selain itu juga pertimbangan efisiensi pengambilan data sehingga tidak terlalu lama. Hasil persamaan *regresi linier* inilah yang nanti akan digunakan untuk merencanakan perhitungan daya masukan oleh *heater* saat pengambilan data

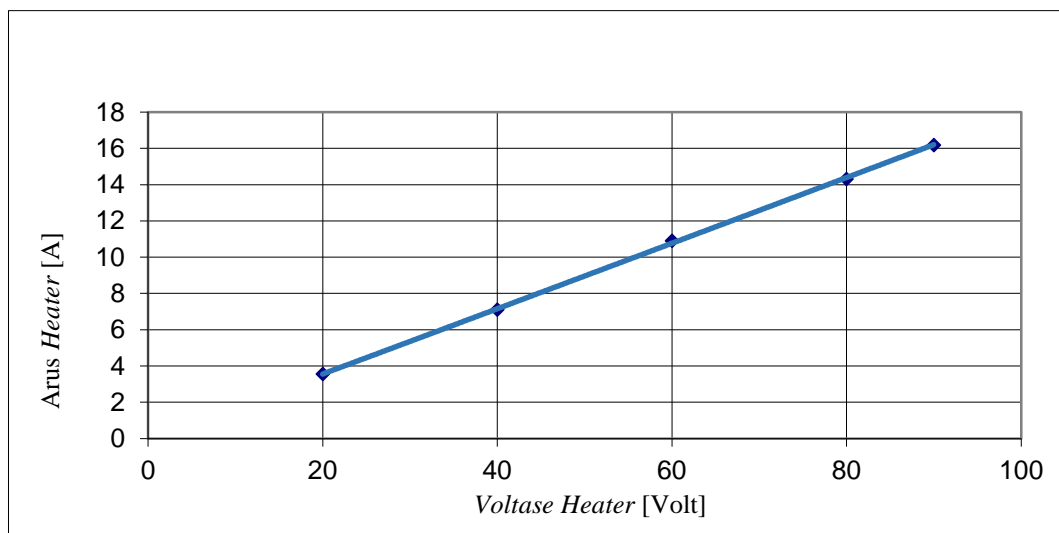
dengan variasi kualitas uap. Untuk hubungan kalor yang diterima air dengan *voltase* ditunjukkan pada gambar 3.32, sedangkan untuk hubungan *voltase* dengan arus masing-masing *heater* ditunjukkan pada gambar 3.33.



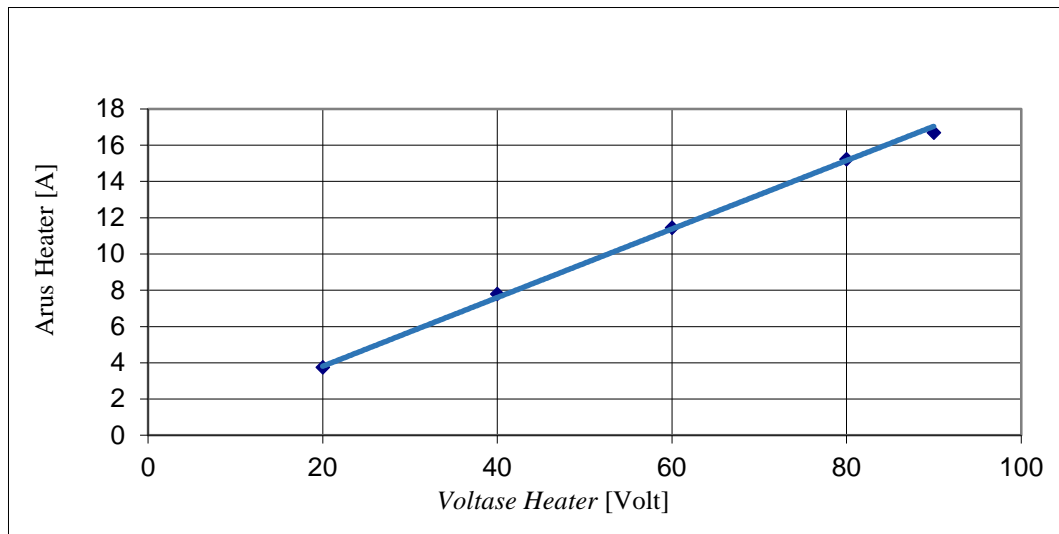
Gambar 3.32 Grafik hubungan kalor yang diserap air dengan *voltase*

Keterangan:  $V = 0,4657 \times Q_{\text{diterima air}}^{1,9558}$

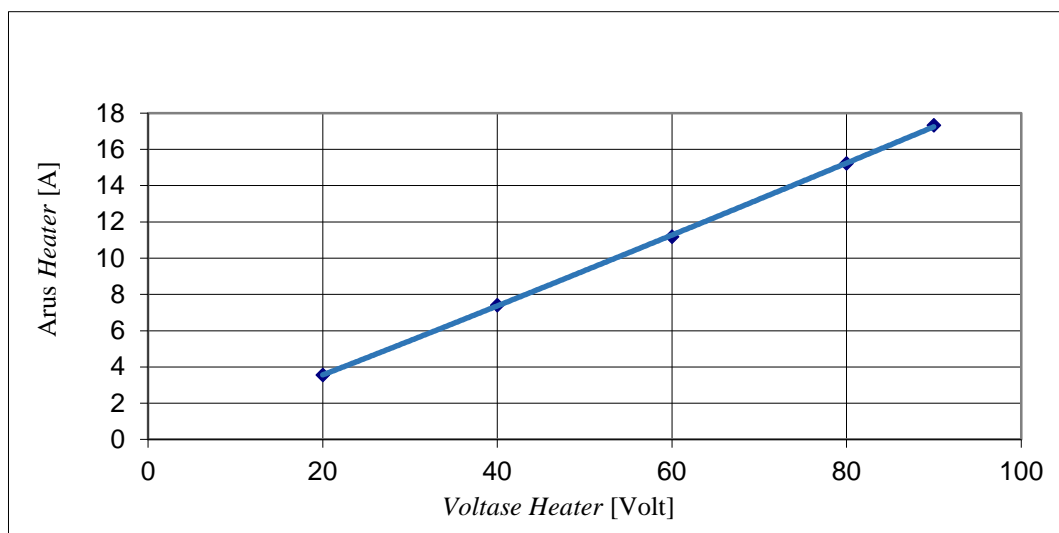
$R^2 = 0,9953$



(a)



(b)



(c)

Gambar 3.33 Grafik hubungan *voltase* terhadap arusKeterangan: (a)  $I_{heater 1} = 0,1737 \times V^{1,008}$ (b)  $I_{heater 2} = 0,1929 \times V^{0,9959}$ (c)  $I_{heater 3} = 0,1538 \times V^{1,0439}$ 

### 3.3.5. Tes Kebocoran

Setelah dilakukan perakitan alat uji seperti pada gambar 3.1 langkah yang dilakukan sebelum alat diisi refrigeran yaitu tes atau uji kebocoran. Tes kebocoran dilakukan pada jalur refrigeran, jalur air, dan jalur udara. Tes kebocoran ini dilakukan untuk memastikan tidak ada kebocoran yang terjadi pada alat uji baik

jalur refrigeran, air, maupun jalur udara. Pada jalur refrigeran tes kebocoran dilakukan dengan cara memberi tekanan udara dengan kompresor yang dihubungkan ke saluran *discharge* kompresor refrigeran dengan tekanan 100 psi, kemudian untuk mengetahui kebocoran yang terjadi dengan menggunakan air sabun (*sunlight*) yang dioleskan di sepanjang jalur refrigrasi yang berpotensi adanya kebocoran seperti pada sambungan, *nipple-nipple* penghubung dll. Jika terjadi kebocoran maka akan muncul gelembung busa pada tempat yang terjadi kebocoran yang sudah diolesi air sabun sebelumnya. Untuk tes kebocoran jalur air cukup disirkulasikan air di jalur yang akan dilaluinya jika terjadi kebocoran maka air tersebut akan menetes, sedangkan untuk uji kebocoran pada jalur udara dengan menghidupkan *blower* dan dilakukan inspeksi kebocoran di sepanjang jalur tersebut dengan bantuan air sabun jika terjadi kebocoran maka akan timbul gelembung busa ditempat yang terjadi kebocoran. Jika ada kebocoran yang terjadi harus diatasi terlebih dahulu sebelum dilakukan tahap selanjutnya (pengisian refrigeran atau pengambilan data).

### **3.3.6. Pengisian Refrigeran**

Setelah dipastikan tidak ada kebocoran yang terjadi disemua sistem alat uji maka sebelum dilakukan pengisian refrigeran ke dalam sistem langkah yang perlu dilakukan yaitu memvakumkan jalur refrigeran dengan pompa vakum hingga tekanan 0 psia dan dipastikan tidak ada udara di jalur refrigrasi. Sebelum dilakukan proses vakum pastikan katub pada manometer U tertutup penuh, sehingga ketika dilakukan vakum air raksa yang ada di manometer U tidak ikut terhisap ke luar, selanjutnya air diisikan ke dalam tempat dudukan evaporator dan kondensor sampai kondensor dan evaporator tercelup air seluruh permukaannya, dan air keluar dari *outlet* tempat dudukan evaporator dan kondensor menuju tangki campur dan kembali lagi ke tangki penampungan utama. Ketika air yang digunakan untuk disirkulasikan sudah cukup maka pengisian air dari sumber dihentikan. Selanjutnya air disirkulasikan ke jalur air dengan menjalankannya pompa air dan mengatur debit air menuju evaporator sebesar 1,4 LPM. *Blower* dinyalakan untuk menghembuskan udara ke seksi uji. Selanjutnya refrigeran dimasukkan ke jalur refrigrasi dengan

menggunakan *manifold*. Selama pengisian refrigeran motor listrik dinyalakan sehingga kompresor mulai bekerja. Selama pengisian refrigeran berlangsung dilakukan pengamatan perubahan temperatur pada *termoreader*, tekanan pada *pressure gauge* di alat uji, dan dilakukan pengamatan pada kaca penduga (*sight glass*). Pengisian refrigeran dianggap cukup apabila di dalam *sight glass* aliran refrigeran benar-benar dalam fasa cair tidak ada gelembung udara yang terlihat (penuh terisi cairan refrigeran). Tidak adanya gelembung udara yang terlihat pada *sight glass* mengindikasikan bahwa refrigeran fasa uap seluruhnya telah berubah menjadi cair jenuh setelah keluar dari kondensor, karena untuk mengukur laju aliran massa refrigeran syaratnya adalah refrigeran sebelum masuk *orifice* harus berfasa cair jenuh dan tidak ada gelembung udara sehingga pada saat pembacaan level ketinggian air raksa benar-benar tenang (tidak naik turun). Setelah dirasa pengisian refrigeran sudah cukup biarkan alat bersirkulasi sampai tekanan, temperatur benar-benar *steady* dan selanjutnya katup manometer U mulai dibuka pelan-pelan satu per satu.

### **3.4. Prosedur Penelitian**

Sebelum dilakukan penelitian hal yang perlu dilakukan antara lain pengecekan alat uji dan memastikan selama penelitian berlangsung nanti alat tidak mengalami *problem* ketika dilakukan penelitian nantinya. Ada beberapa prosedur penelitian sebelum dilakukannya penelitian antara lain: tahap persiapan, tahap pengambilan data.

#### **3.4.1. Tahap Persiapan**

- 1) Melakukan persiapan alat uji meliputi: mengisi air pada tempat dudukan kondensor dan evaporator, serta pada tangki utama dan tangki campur.
- 2) Menghubungkan kabel-kabel *thermocouple* pada *termoreader* sesuai alamat tempat pada saat dilakukannya kalibrasi dan memastikan temperatur yang terbaca tidak ada yang aneh.
- 3) Menghubungkan *voltage regulator* dengan kabel tahan panas pada *heater* dan pastikan MCB (*Miniature Circuit Breaker*) berfungsi dengan benar.

- 4) Buka katub pada jalur air, udara, dan jalur refrigeran dan pastikan tidak ada jalur yang tersumbat atau dalam keadaan tertutup.
- 5) Menjalankan pompa air dan *blower* dan memastikan bersirkulasi dengan baik.
- 6) Menyalakan *inverter* dengan mengatur frekuensi sesuai dengan yang direncanakan dan pastikan putaran motor dan kompresor terhubung dengan baik.
- 7) Membiarkan alat uji beroperasi beberapa menit untuk memastikan alat uji pada kondisi siap untuk digunakan pengambilan data.
- 8) Setelah yakin alat uji dalam kondisi baik matikan alat uji sejenak untuk menunggu temperatur dan tekanan dalam keadaan seragam.
- 9) Sebelum dilakukan pengambialan data variasi kualitas uap, sudah direncanakan atau diperhitungkan sebelumnya untuk mengubah dari kualitas satu ke kualitas yang lain berapa daya yang diperlukan dari data yang awal yang diperoleh sebelumnya. Jadi pada tahap pengambilan data kita tinggal mengatur daya masukan yang diperlukan untuk mengubah ke kualitas uap yang kita inginkan dengan mengatur *voltase* pada *voltage regulator*.

### 3.4.2. Tahap Pengambilan Data

Pada tahap pengambilan data untuk pengambilan data khususnya variasi kualitas sebelumnya kita harus punya data awal tanpa menyalakan *heater* sehingga nanti untuk memvariasikan kualitas uap yang kita inginkan dapat direncanakan berapa daya *heater* yang diperlukan untuk mengubah dari kualitas uap satu ke kualitas uap yang lain. Dan setelah dilakukan perhitungan sebelumnya maka didapatkan daya yang diperlukan untuk mengubah ke kualitas tertentu sehingga kita dapat memprediksi berapa *voltase* yang akan kita atur pada *voltage regulator* untuk mengubah ke kualitas tertentu tersebut. Jadi sebelum pengambilan data kita sudah punya data perencanaan *voltase* yang nantinya kita akan mengaturnya pada saat pengambilan data berlangsung. Langkah dalam pengambialan data antara lain:

- 1) Mengoperasikan pompa air dan *blower*. Dengan mengatur debit air menuju evaporator sebesar 1,4 LPM.
- 2) Menghidupkan *inverter* dengan mengatur frekuensinya sebesar 14 Hz.



- 3) Mengatur *voltase* pada *voltage regulator* sesuai dengan perhitungan yang dilakukan sebelumnya untuk mengubah dari kualitas satu ke kualitas yang lain ( $x_0 - x_1$ ,  $x_0 - x_2$ ,  $x_0 - x_3$ ,  $x_0 - x_4$ ,  $x_0 - x_5$ , setiap perubahan frekuensi dilakukan 5 variasi kualitas uap ( $x$ ). Jadi pengaturan *voltase* pada *voltage regulator* dilakukan 5 kali untuk setiap variasi frekuensi *inverter*.
- 4) Untuk mengubah dari kualitas satu ke kualitas yang lain diperlukan waktu 10 menit. Dengan asumsi pada menit ke-10 pemanasan yang dilakukan *heater* terhadap refrigeran sudah *steady*. Pada menit 10 itulah saatnya dilakukan pengambilan data temperatur, tekanan, perbedaan ketinggian pada manometer U, *Voltase* dan Arus *real* pada *voltage regulator* saat penelitian, frekuensi pada *inverter*, *voltase* dan arus pada motor listrik, RPM motor listrik dan kompresor, dan mencatat laju aliran udara pada *blower*.
- 5) Sehingga setiap frekuensi *inverter* di variasikan 5 kualitas ( $x$ ) dengan total waktu efektif yang diperlukan untuk pengambilan data kurang lebih 1 jam untuk satu variasi frekuensi *inverter* dengan 5 variasi kualitas.
- 6) Untuk pengambilan data selanjutnya dengan frekuensi *inverter* 16, 18, 20, dan 22 Hz yang masing-masing divariasikan 5 variasi kualitas setiap frekuensi *inverter*. Sehingga nanti hasil akhirnya diperoleh data total sebanyak 30 data kualitas uap untuk 5 variasi frekuensi *inverter*.
- 7) Setelah dilakukan pengambialan data variasi frekuensi *inverter* satu ke frekuensi *inverter* yang lain diperlukan jeda pengambilan data  $\pm 3$  jam sebelum lanjut ke variasi frekuensi *inverter* selanjutnya. Jeda ini bertujuan untuk mendinginkan perangkat *heater*.
- 8) Lakukan pengambilan data pada variasi frekuensi 16, 18, 20, dan 22 Hz langkahnya sama seperti langkah diatas (1-4).

### 3.5. Parameter Yang Digunakan Dalam Perhitungan

#### 3.5.1. Laju Aliran Massa Refrigeran ( $\dot{m}_{\text{refrigeran}}$ )

Parameter yang digunakan dalam perhitungan Laju aliran massa refrigeran

( $\dot{m}_{\text{refrigeran}}$ ) antara lain:

- 1)  $\Delta h$  air raksa.

- 2) Luas penampang pipa *orifice* ( $A_1$ ).
- 3) Luas penampang lubang *orifice* ( $A_2$ ).
- 4)  $P_{in, ekspansi}$ .
- 5)  $T_{13} = T_{in, ekspansi}$ .
- 6)  $\rho_{refrigeran}$  @  $P_{in, ekspansi}$  dan @  $T_{13} = T_{in, ekspansi}$ .

### 3.5.2. Koefisien Evaporasi ( $h_{evaporasi}$ )

Parameter yang digunakan dalam perhitungan  $h_{evaporasi}$  antara lain:

- 1)  $\rho_{udara}$ .
- 2) Diameter penampang *anemometer* ( $D_i$ ).
- 3) Kecepatan udara.
- 4)  $Cp_{udara}$ .
- 5)  $T_5$  (Temp. udara keluar dari seksi uji),  $T_6$  (Temp. masuk udara dari *blower*),  $T_1$  (Tsat *in* seksi uji),  $T_2, T_3, T_4$  (Temp. dinding luar seksi uji bagian *in* atas, tengah, dan bawah),  $T_9$  (Tsat *out* seksi uji),  $T_{10}, T_{11}, T_{12}$  (Temp. dinding luar seksi uji bagian *out* atas, tengah, dan bawah).
- 6) Luasan perpindahan kalor konveksi = luas permukaan yang bersentuhan dengan aliran (dalam seksi uji).

### 3.5.3. Kualitas Uap Refrigeran ( $x$ )

Parameter yang digunakan dalam perhitungan kualitas ( $x$ ) antara lain:

- 1)  $P_{in, ekspansi}$ .
- 2)  $T_{in, ekspansi} = T_{13}$ .
- 3)  $P_{out, ekspansi}$ .
- 4) Temperatur *surface* ( $T_s$ ) dan temperatur lingkungan ( $T_{\infty}$ ) *heater*.
- 5) Luas permukaan isolasi *heater*.