

BAB III

METODE PERANCANGAN

3.1. Bahan Perancangan

Heater yang akan dirancang adalah *heater* yang akan digunakan untuk mengubah kualitas uap refrigeran R-134a pada alat uji pengukuran koefisien perpindahan kalor evaporasi dengan bahan-bahan sebagai berikut :

1. Refrigeran R-134a

Refrigeran adalah fluida kerja yang digunakan dalam sistem refrigrasi (Stoecker dan Jones, 1996). Refrigeran merupakan bahan yang menyerap kalor melalui proses evaporasi dengan berubah fasa dari cair jenuh menjadi uap (evaporasi) dan melepaskan kalor dikondensor dari fasa uap jenuh menjadi cair jenuh. Dalam penelitian ini refrigeran yang digunakan adalah R-134a yang memiliki unsur senyawa CH_2FCF_3 (*Tetrafloroetana*), merek KLEA seperti ditunjukkan pada gambar 3.1 sebagai fluida kerja didalam sistem refrigrasi.



Gambar 3.1 Refrigeran R-134a

2. Air

Air digunakan sebagai media untuk kalibrasi *heater*. Dengan asumsi awal bahwa $Q_{\text{yang diserap Air}} = Q_{\text{R-134a}}$ maka akan dapat ditentukan kebutuhan daya heater yang akan digunakan melalui metode eksperimental.

3.2 Alat Perancangan

Peralatan yang digunakan dalam perancangan ini adalah:

1) Software Inventor 2015 dan AutoCad 2007

Rancang bangun alat uji dan *heater* dilakukan dengan software Inventor 2015 seperti ditunjukkan pada gambar 3.2 yaitu salah satu software jenis Computer Aided Drawing (CAD), software ini adalah produk buatan dari Autodesk Inc.USA. Sedangkan pembuatan skema alat uji dilakukan dengan software AutoCad 2007 yang juga buatan Autodesk Inc.USA.



Gambar 3.2 Tampilan *software* Inventor 2015

2) *Voltage Regulator*

Voltage regulator digunakan untuk mensuplai daya masukan ke *heater* dengan mengatur tegangan keluarannya yang diberikan ke kawat pemanas sehingga terjadi pemanasan pada kawat pemanas. Dengan mengatur besarnya tegangan keluar *voltage* maka dapat ditentukan besarnya daya yang diperlukan untuk mengubah kualitas uap refrigeran yang mengalir melewati *heater* menuju seksi uji.

Voltage regulator yang digunakan ditunjukkan pada gambar 3.3 dengan spesifikasi sebagai berikut:

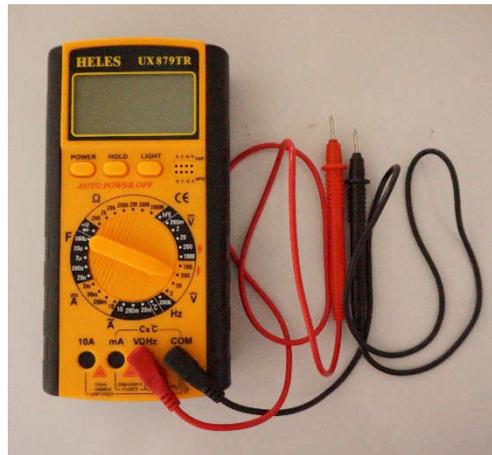
Merek	: KRISBOW/KW20-1222
Arus maksimal	: 20 A
<i>Voltase</i> maksimal	: 250 V
Daya maksimal	: 5 kW



Gambar 3.3 *Voltage regulator*

3) Multimeter

Multimeter digital digunakan untuk mengukur tegangan listrik pada saat kalibrasi *heater* serta pada saat pengambilan data. Dalam perancangan ini multimeter digital digunakan untuk mengukur tegangan listrik keluaran dari *voltage regulator*. Tegangan listrik akan dicatat dan dibuat hubungan antara besarnya tegangan dengan daya yang disuplai oleh *heater*. Multimeter digital yang digunakan ditunjukkan pada gambar 3.4.



Gambar 3.4 Multimeter

4) Tang Ampere

Tang ampere digunakan untuk mengukur arus yang disuplai *voltage regulator* ke *heater* pada saat kalibrasi *heater* terhadap air serta pada saat pengambilan data. Arus yang terukur nantinya akan dibuat grafik hubungan antara arus dan tegangan pada setiap *voltage regulator* yang digunakan. Tang ampere yang digunakan ditunjukkan pada gambar 3.5.



Gambar 3.5 Tang Ampere

5) Termocouple

Termocouple digunakan untuk mengukur temperatur air masuk dan temperatur air keluar *heater* pada saat kalibrasi *heater* serta pada saat pengambilan data. Nilai temperatur yang ditunjukkan akan digunakan untuk menentukan besarnya kalor yang diserap oleh air. *Termocouple* terdiri dari dua

komponen utama yaitu kawat termocouple yang ditempatkan pada daerah yang akan diukur temperaturnya dan *thermo reader* yaitu komponen digital yang digunakan untuk membaca temperatur yang terukur. *Thermocouple* yang digunakan adalah *Thermocouple* tipe K ditunjukkan pada gambar 3.6.



Gambar 3.6 *Thermocouple*

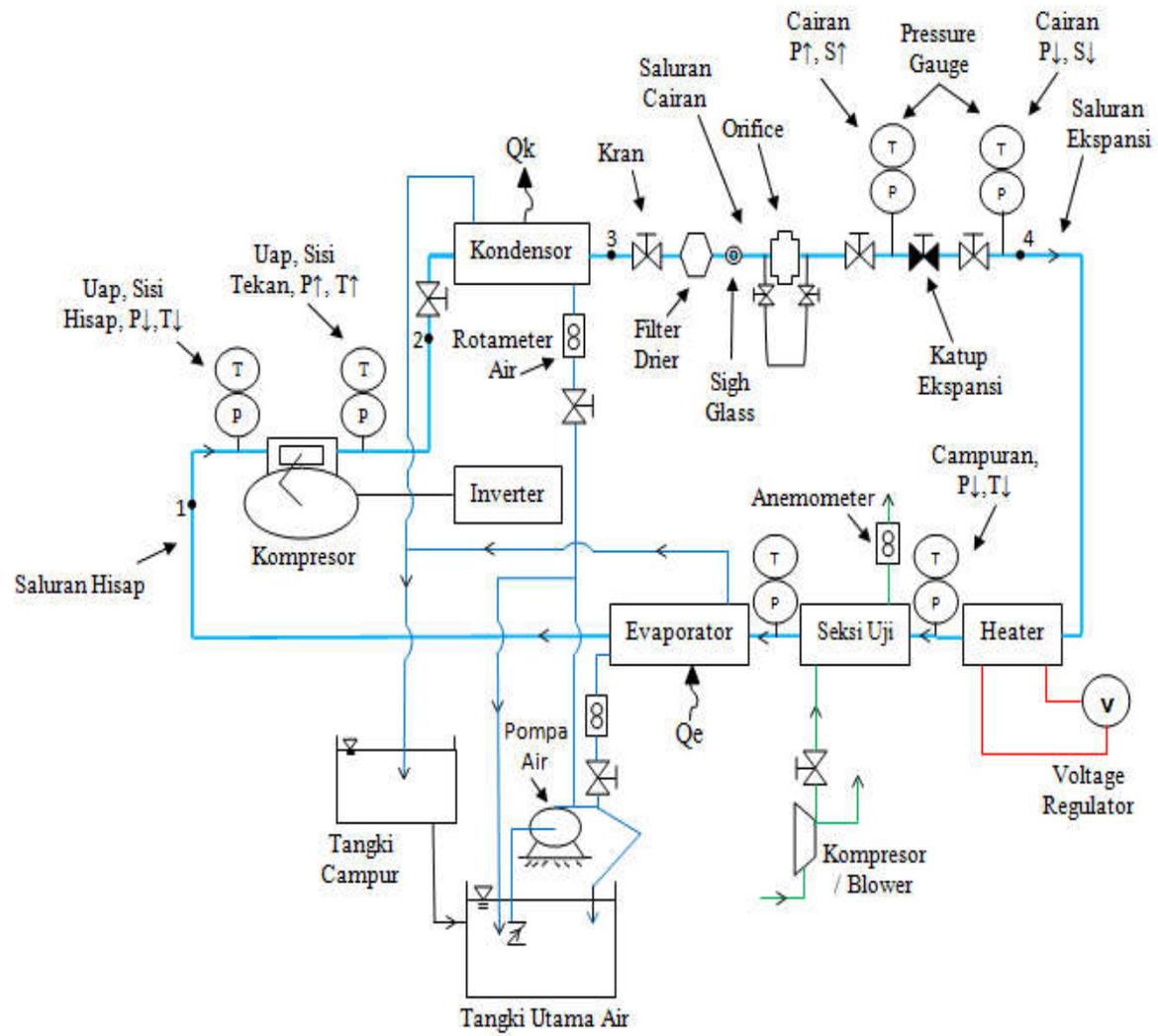
3.3 Skema Kerja Alat Uji dan Skema *Heater*

Skema dari alat uji yang digunakan adalah berupa mesin kompresi uap sederhana yang telah dimodifikasi. Refrigeran dengan fasa uap dikompresi oleh kompresor yang dicouple dengan motor listrik untuk mengatur putaran kompresor sehingga laju aliran massa refrigeran dapat diatur menuju kondensor dengan tekanan tinggi, pada kondensor terjadi perubahan fasa refrigeran menjadi fasa cair.

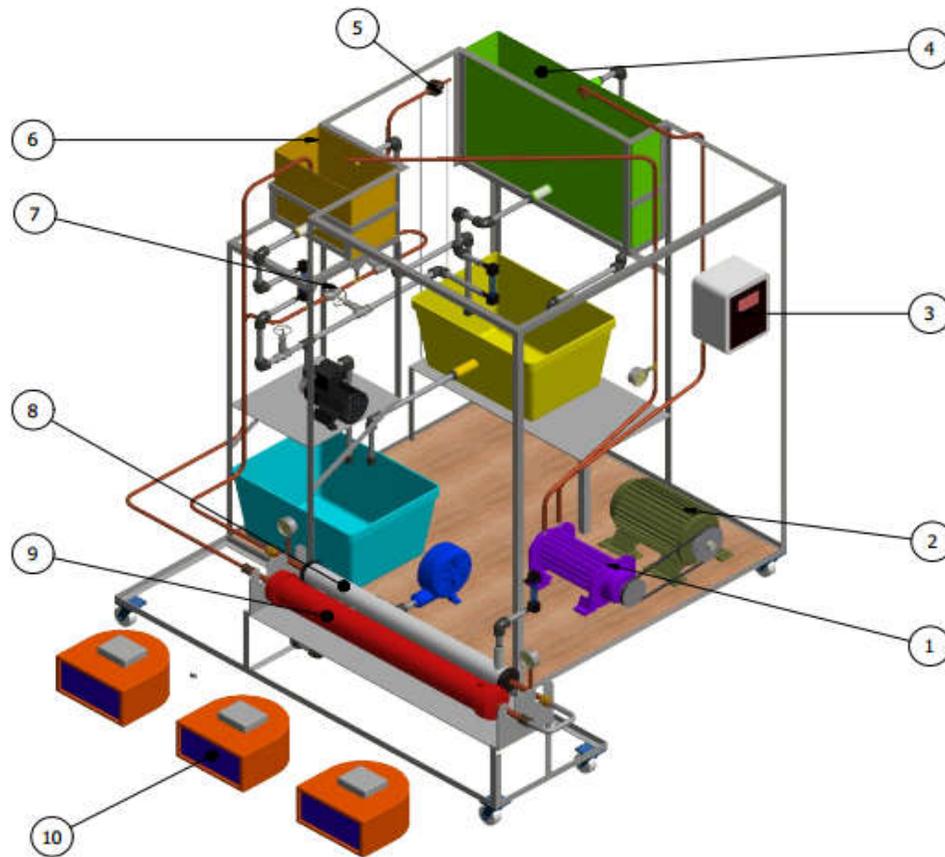
Refrigeran mengalir melewati *filter drayer* menuju katup ekspansi melewati *orifice* yang berfungsi sebagai alat untuk menghitung laju aliran massa refrigeran yang mengalir dengan memanfaatkan beda tekanan sisi masuk *orifice* dengan sisi keluar *orifice*. Pada katup ekspansi tekanan diturunkan sehingga terjadi penurunan temperatur refrigeran keluar dari katup ekspansi. Fasa keluar katup ekspansi

berubah menjadi fasa campuran dengan kualitas uap tertentu. *Heater* berfungsi sebagai media *preheating* (pemanas sebelum masuk seksi uji).

Pada bagian seksi uji nilai koefisien perpindahan kalor evaporasi akan dihitung dengan variasi kualitas uap yang terjadi. 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*. Siklus ini berlangsung pada siklus tertutup yang beroperasi terus menerus selama alat uji dijalankan. Gambar skema alat uji ditunjukkan pada gambar 3.7 dengan gambar *layout* alat uji yang dirancang ditunjukkan pada gambar 3.8. Sedangkan gambar ukuran heater ditunjukkan pada gambar 3.9 dan gambar komponen-komponen *heater* yang ditunjukkan pada gambar 3.10.



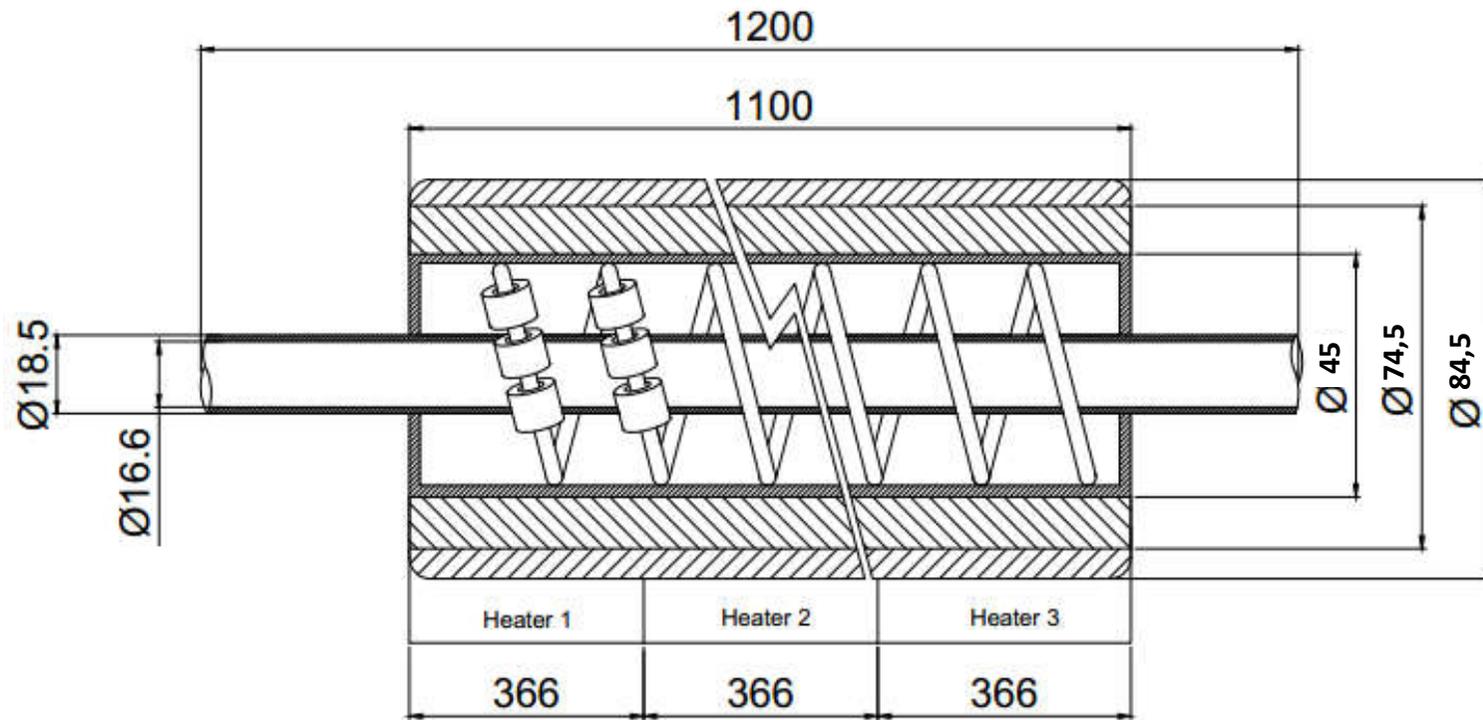
Gambar 3.7 Skema Alat Uji



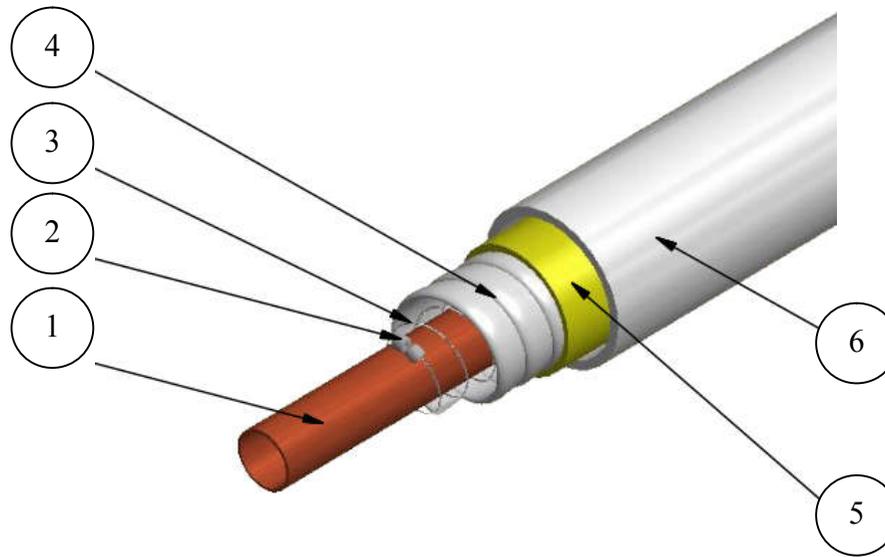
Keterangan:

1. Kompresor
2. Motor Listrik 3 Phase Kapasitas 3 HP
3. *Inverter*
4. Kondensor
5. *Orifice*
6. Evaporator
7. Katup Ekspansi
8. Seksi Uji
9. *Heater*
10. *Voltage Regulator*

Gambar 3.8 *Layout* Alat Uji



Gambar 3.9 Ukuran rancangan *heater*



Gambar 3.10 Rencana komponen *heater*

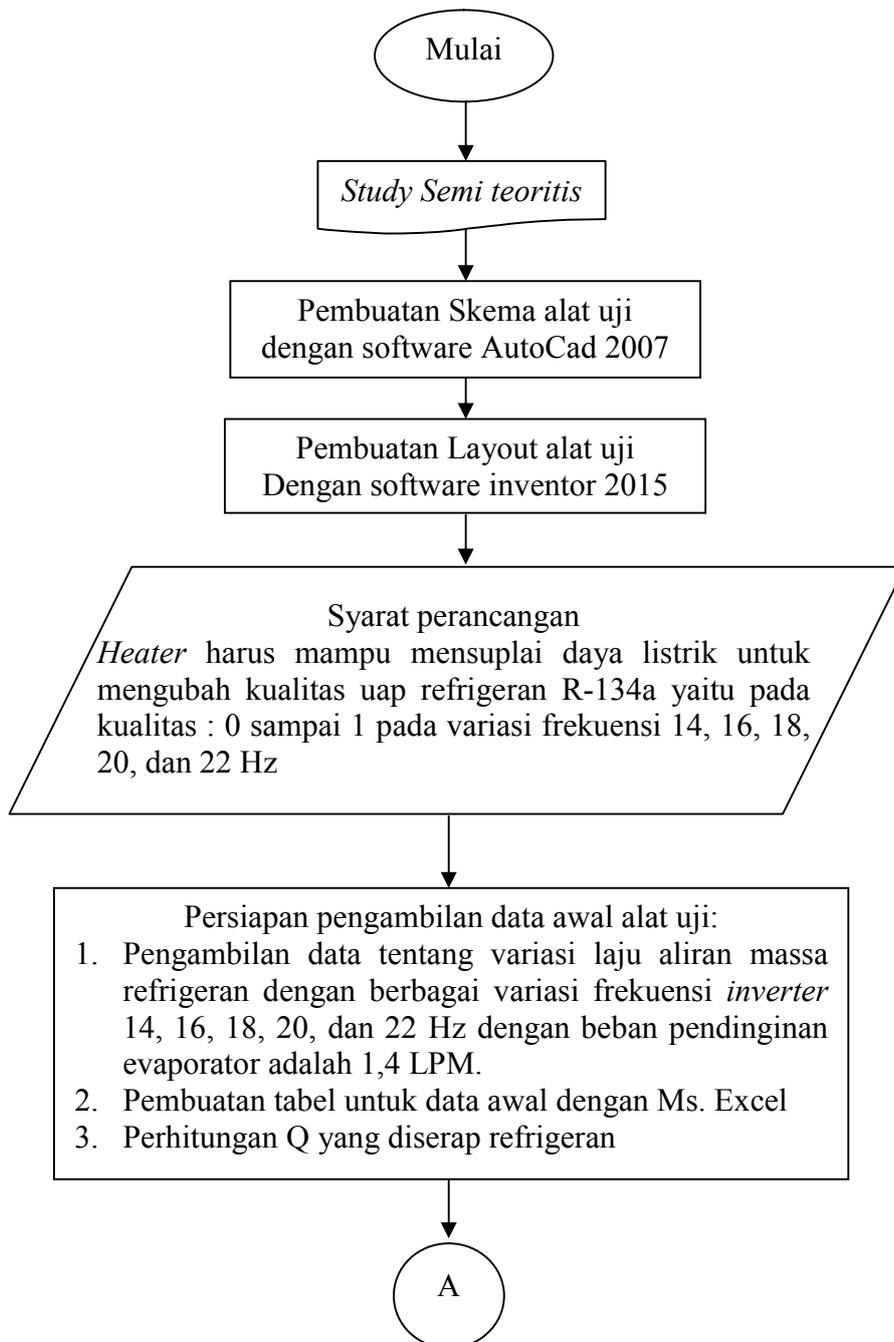
Keterangan:

1. Pipa tembaga
2. Cincin gypsum
3. Kawat pemanas
4. Pita asbes
5. *Glass wool*
6. *Aluminium foil*

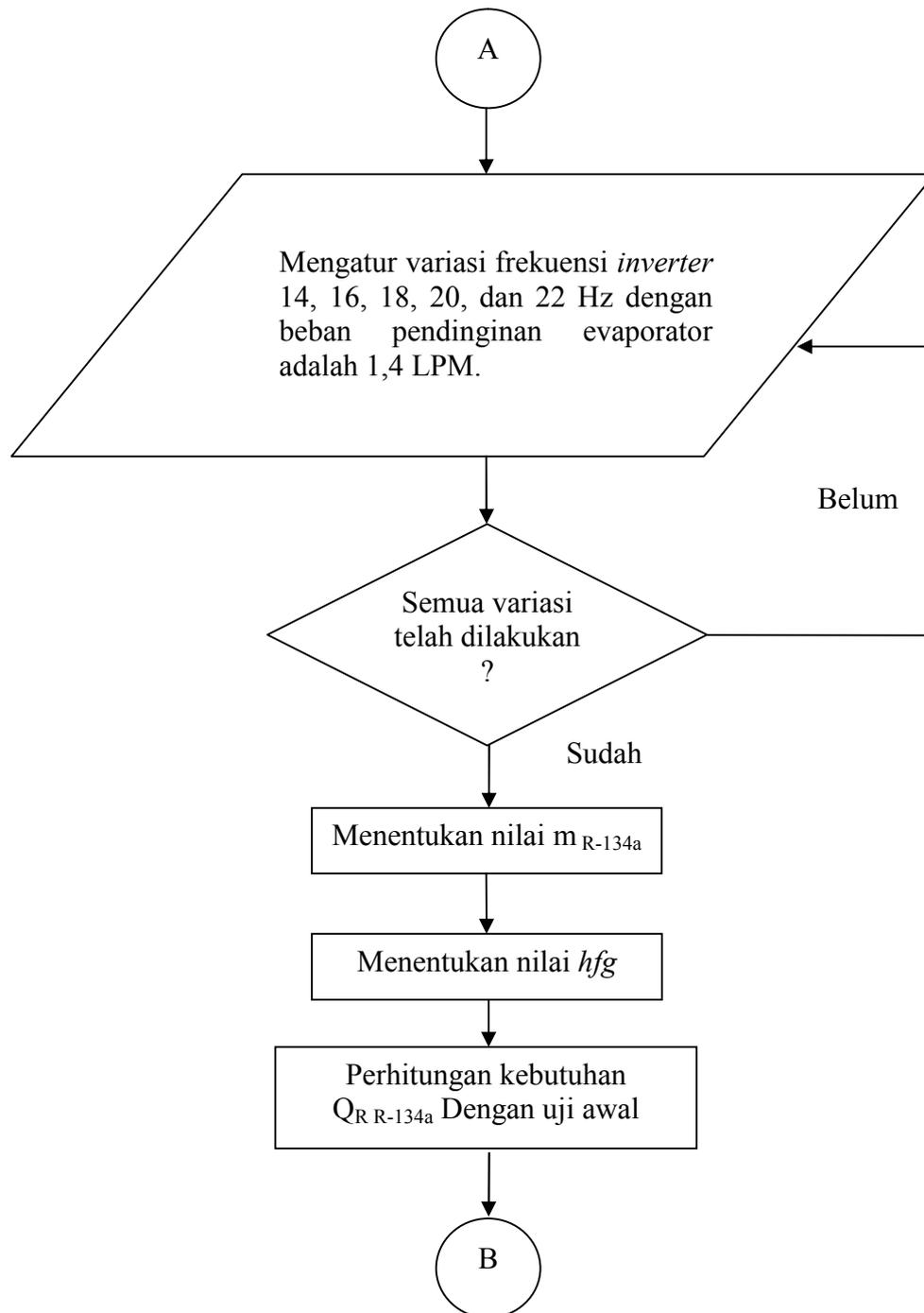
3.4. Prosedur Perancangan

3.4.1 Diagram Alir Perancangan

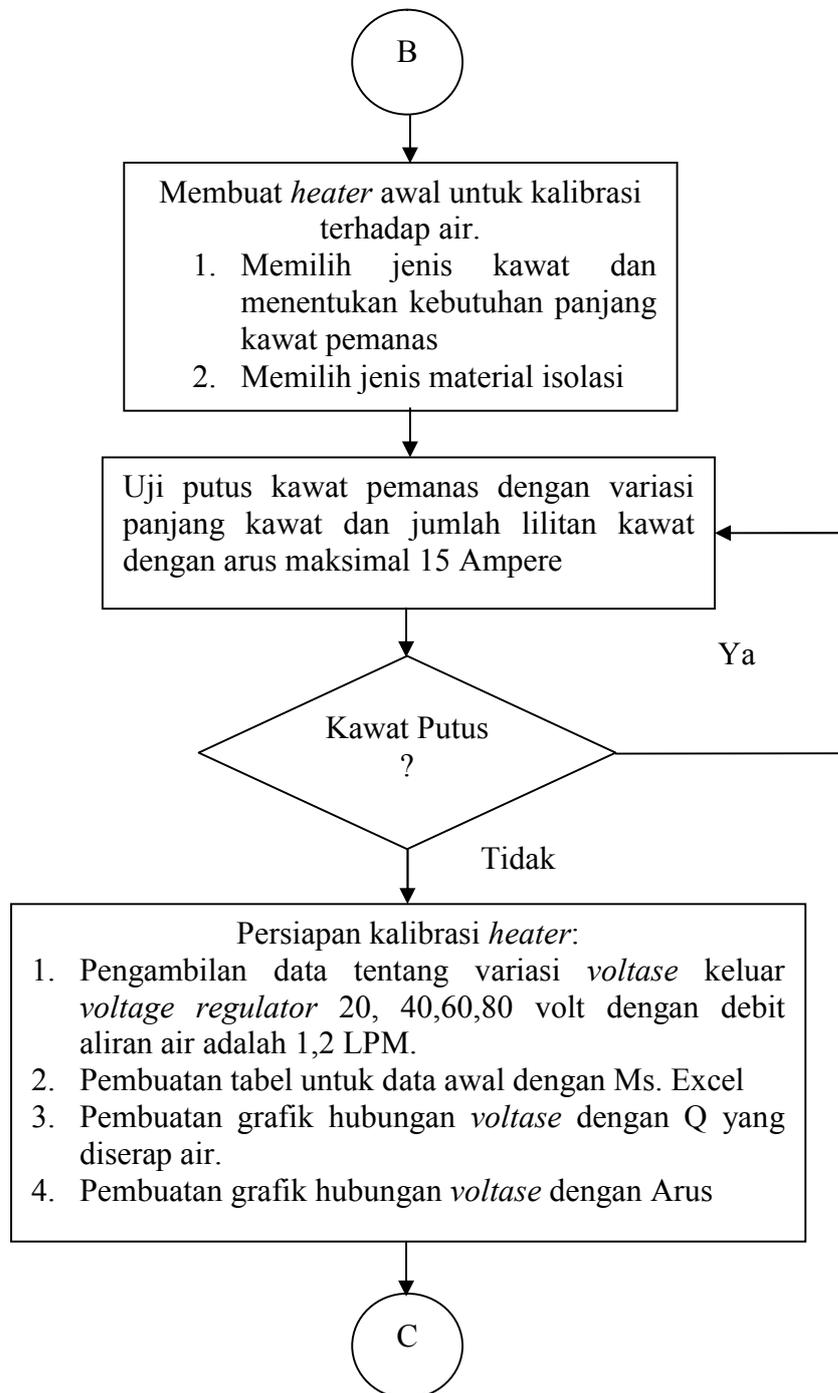
1) Diagram alir perancangan untuk metode eksperimental ditunjukkan oleh gambar 3.11 dibawah ini dari awal hingga akhir.



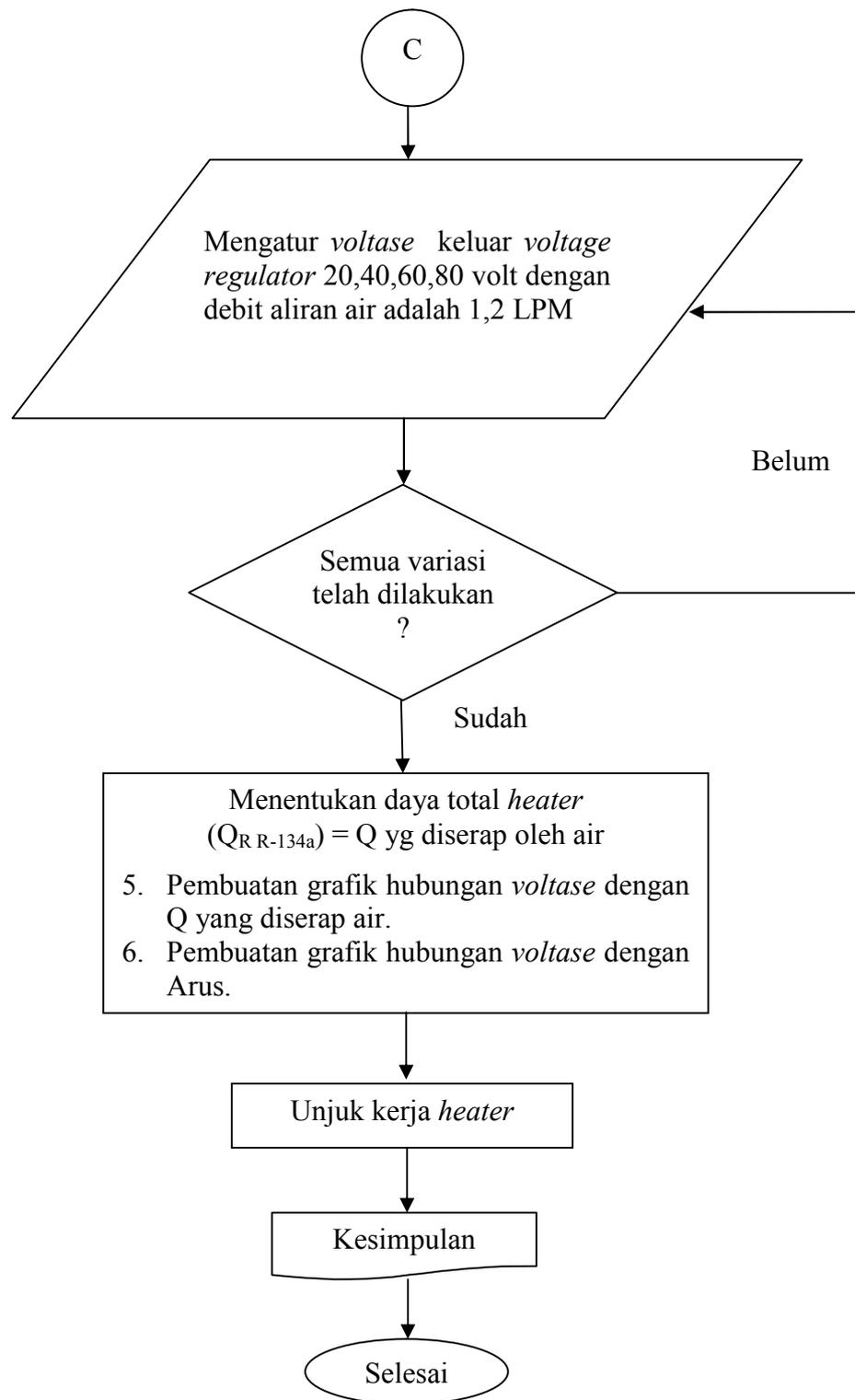
Gambar 3.11 Diagram alir perancangan metode eksperimental



Gambar 3.11 Diagram alir perancangan metode eksperimental (lanjutan)

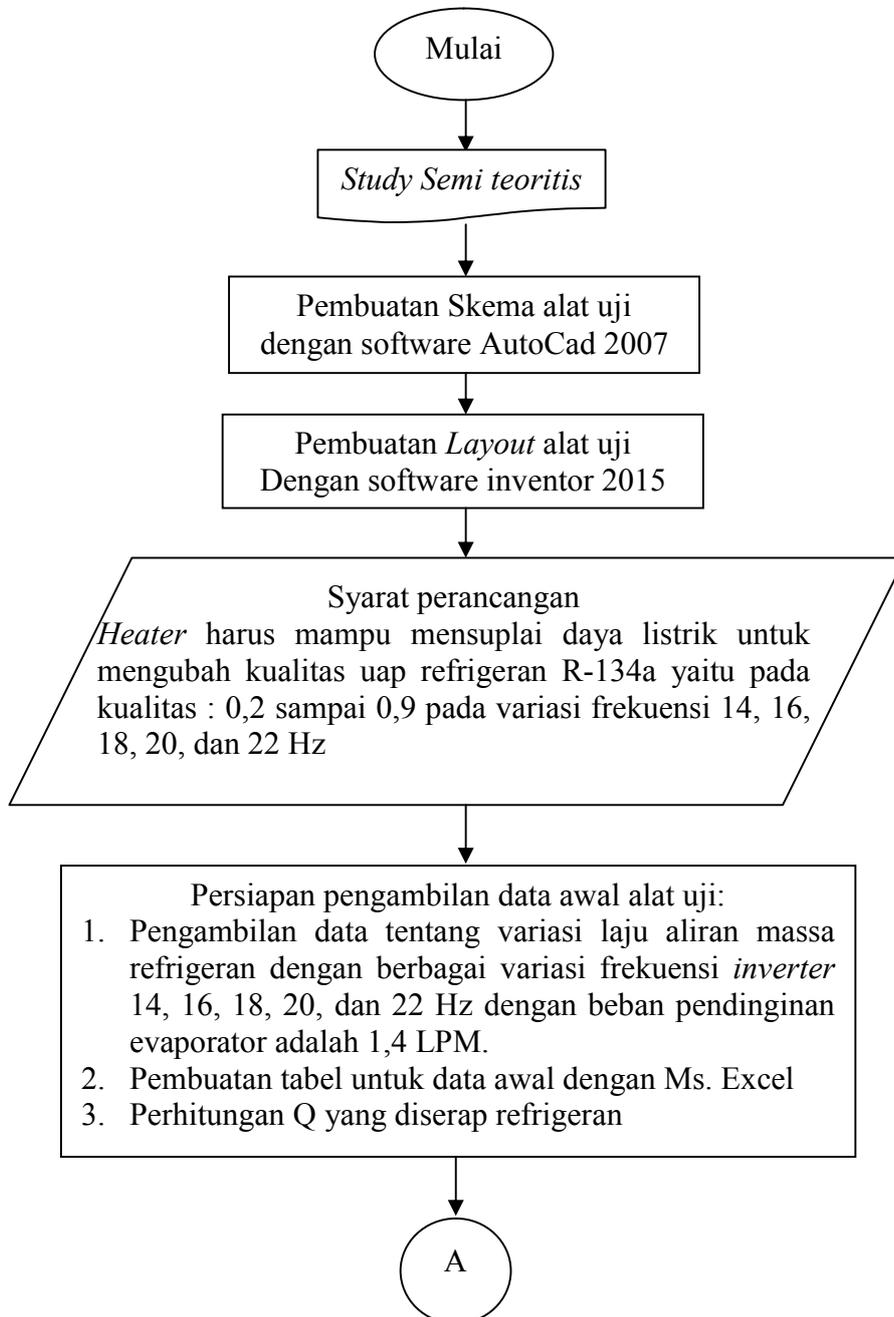


Gambar 3.11 Diagram alir perancangan metode eksperimental (lanjutan)

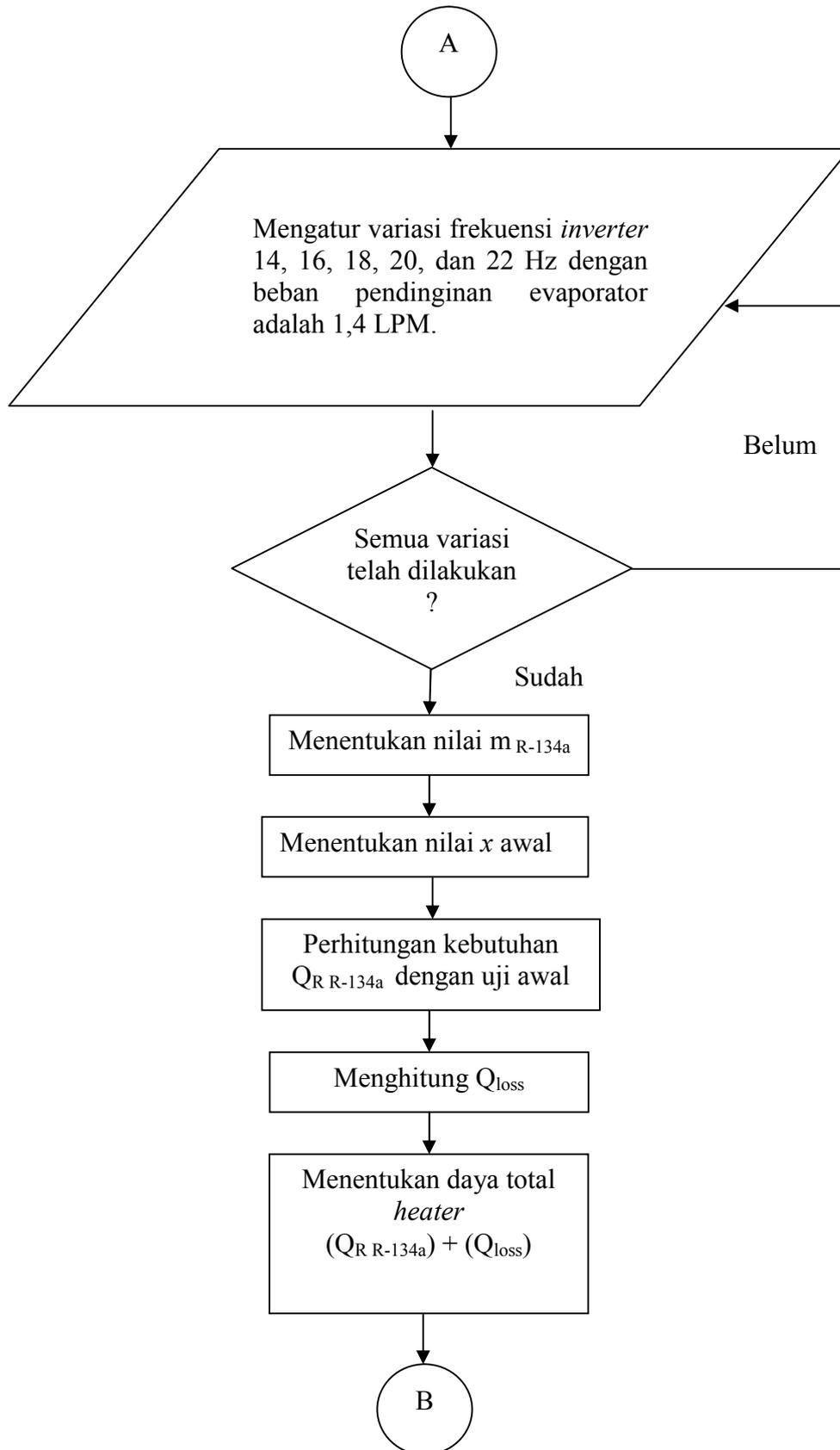


Gambar 3.11 Skema diagram alir metode eksperimental (lanjutan)

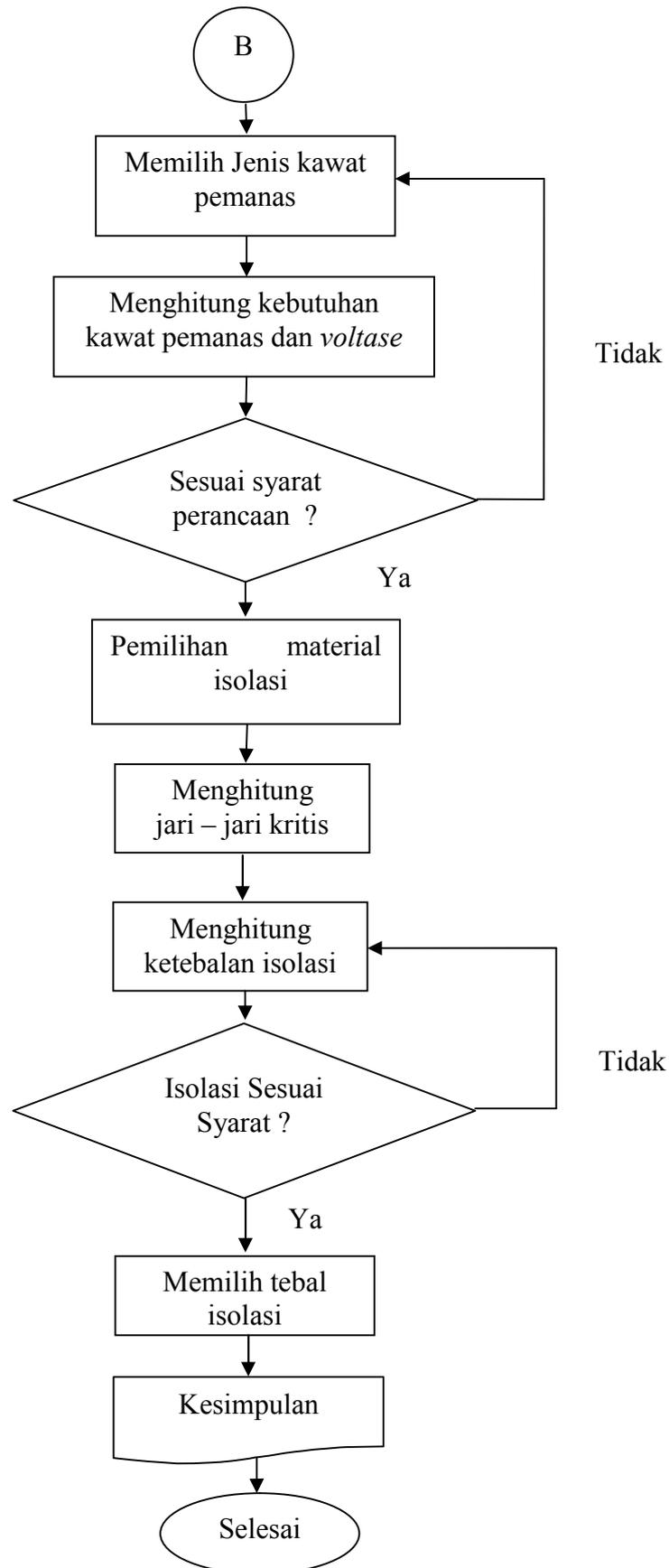
2) Diagram alir perancangan untuk metode Semi teoritis ditunjukkan oleh gambar 3.12 dibawah ini dari awal hingga akhir



Gambar 3.12 Skema diagram alir metode semi teoritis



Gambar 3.12 Skema diagram alir metode Semi teoritis (lanjutan)



Gambar 3.12 Skema diagram alir metode Semi teoritis (lanjutan)

3.5 Rencana Perhitungan Daya Heater

Rencana untuk menentukan kebutuhan daya *heater* yang dilakukan dengan 2 metode sebagai berikut :

1) Metode Satu (Eksperimental)

- a) Menentukan nilai m_{R-134a} dari kalibrasi *orifice* dengan melakukan pengambilan data awal alat uji.
- b) Menentukan nilai hfg dari pembacaan diagram p-h R-134a.
- c) Menghitung besarnya kalor yang diserap refrigeran ($Q_{R-134a} = m_{R-134a} \times hfg$).
- d) Membuat *heater* untuk kalibrasi.
- e) Melakukan kalibrasi *heater* terhadap air.
- f) Menghitung daya total *heater*, dengan persamaan *regresi linier* dari asumsi ($Q_{R-134a} = Q$ yg diserap oleh air).

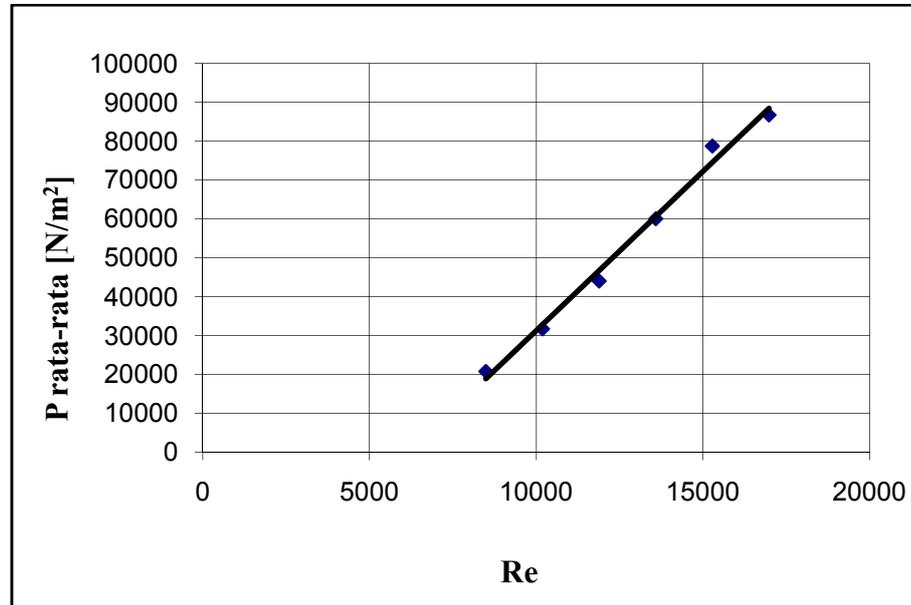
2) Metode Dua (Semi teoritis)

- a) Menentukan nilai m_{R-134a} dari kalibrasi *orifice* dengan melakukan pengambilan data awal alat uji.
- b) Menentukan nilai kualitas awal pada setiap variasi m_{R-134a} .
- c) Menghitung besarnya kalor yang diserap refrigeran ($Q_{refrigeran}$) pada setiap kualitas uap.
- d) Menghitung besarnya Q_{loss} *heater* dengan mengasumsikan temperatur isolasi permukaan paling luar, sehingga kebutuhan daya *heater* dihitung dengan menjumlahkan $Q_{refrigeran}$ pada setiap kualitas dengan Q_{loss} yang terjadi.
- e) Menentukan *voltase* untuk setiap kualitas dan panjang kawat pemanas.
- f) Menentukan kebutuhan ketebalan isolasi *glasswool*.

3.5.1 Perhitungan Laju Aliran Massa Refrigerant

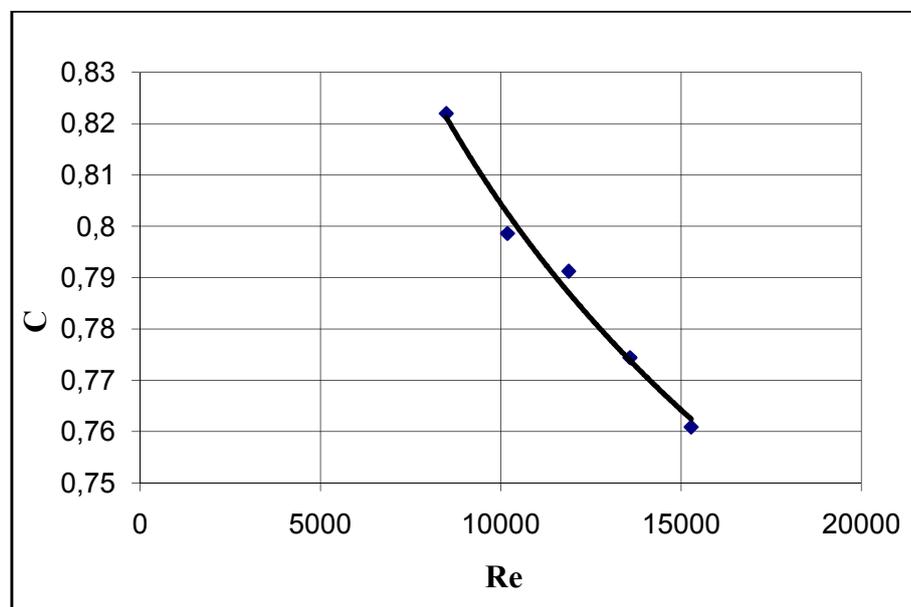
Laju aliran massa refrigeran dapat diketahui dengan kalibrasi *orifice*. Dari kalibrasi *orifice* yang sebelumnya telah dilakukan maka dibuat grafik hubungan antara beda tekanan *orifice* terhadap bilangan Re ditunjukkan pada gambar 3.13 dan grafik hubungan bilangan Re terhadap koefisien curah (C) ditunjukkan pada

gambar 3.14 dimana grafik tersebut akan digunakan untuk pembahasan perhitungan m_{R-134a} pada bab selanjutnya.



Gambar 3.13 Grafik hubungan beda tekanan *orifice* terhadap bilangan Re

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

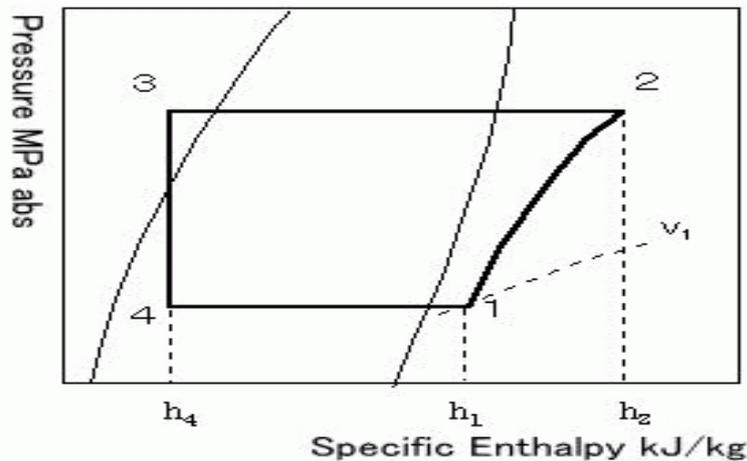


Gambar 3.14 Grafik hubungan bilangan Re terhadap koefisien curah (C)

$$C = 2,577 \times Re^{-0,126}$$

3.5.2 Penentuan Nilai h_{fg} dan Kualitas Uap refrigeran

Nilai h_{fg} dapat ditentukan dengan menggunakan grafik diagram p-h untuk refrigeran R-134a.



Gambar 3.15 Diagram P-h efrigerasi
(Yoshihiro,2013)

Dengan mengetahui nilai $P_{3,in}$ Ekspansi, $T_{3,in}$ Ekspansi maka dapat diketahui nilai h_3 . Untuk titik *enthalpy* $h_3 = h_4$ (in Ekspansi). Dengan mengetahui $P_{4,out}$ Ekspansi akan didapat nilai h_{fg} atau $h_{fg} = h_g - h_f$. Sedangkan nilai kualitas uap awal dapat diketahui dengan persamaan 3.1

$$x_4 = \frac{h_4 - h_f}{h_g - h_f} \dots \dots \dots (3.1)$$

3.5.3 Menghitung Besarnya kalor yang diserap refrigeran Metode Semi teoritis

Nilai $Q_{R-R-134a}$ pada setiap kualitas uap dapat dihitung dengan persamaan 3.2.

$$Q_{R-R-134a} = m_R \times (h_4' - h_4) \times 1000 \dots \dots \dots (3.2)$$

Dengan:

- $Q_{R-R-134a}$ = Kalor yang diserap refrigeran (Watt)
- $m_{R-R-134a}$ = Laju aliran massa refrigeran (Kg/s)
- h_4' = *Enthalpy* pada kualitas uap tertentu (KJ/Kg)
- h_4 = *Enthalpy* setelah ekspansi (KJ/Kg)

Dari persamaan 3.2 perlu diketahui nilai h_4' dengan persamaan 3.3

$$h_4' = h_f + (x \times h_{fg}) \dots \dots \dots (3.3)$$

Dengan :

$$\begin{aligned} h_4' &= \text{Entalpy pada kualitas uap tertentu (KJ/Kg)} \\ h_f &= \text{Entalpy fasa cair jenuh setelah ekspansi (KJ/Kg)} \\ x &= \text{Kualitas uap (0-1)} \end{aligned}$$

Dengan mensubstitusi persamaan 3.3 ke persamaan 3.2 maka dapat diketahui nilai Q_{R-134a} .

3.5.4 Menghitung Besarnya Kalor Yang Diserap Refrigeran Metode Eksperimental

Kalor yang diserap refrigeran dapat dihitung dengan mengetahui nilai m_{R-134a} dan nilai h_{fg} yang dibaca dari diagram P-h refrigeran R-134a dengan persamaan 3.4 berikut.

$$Q_{R-134a} = m_R \times h_{fg} \dots \dots \dots (3.4)$$

Dengan:

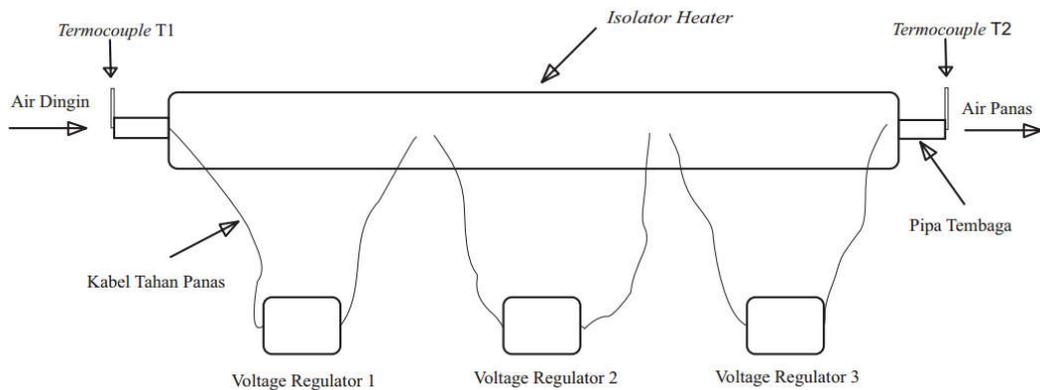
$$\begin{aligned} Q_{R-134a} &= \text{Kalor yang diserap refrigeran (Watt)} \\ m_R &= \text{Laju aliran massa refrigeran (Kg/s)} \\ h_{fg} &= h_g - h_f \text{ (J/Kg)} \end{aligned}$$

3.5.5 Pembuatan Heater Awal Untuk Kalibrasi

Sebelum melakukan kalibrasi *heater* maka terlebih dahulu harus dibuat *heater* awal. Beberapa hal yang harus dipertimbangkan dalam pembuatan *heater* awal adalah jenis kawat pemanas yang digunakan serta kebutuhan panjang kawat pemanas yang akan terpasang pada *heater*. Selain itu, pemilihan material isolasi juga sangat penting agar Q_{loss} yang terjadi pada *heater* menjadi rendah.

3.5.6 Menghitung Daya Total *Heater* Metode Eksperimental

Daya total *heater* dapat diketahui dengan asumsi awal bahwa $(Q_{R R-134a}) = Q$ yg diserap oleh air sehingga diperlukan kalibrasi *heater* terhadap air. Kalibrasi *heater* yang akan dilakukan dapat dilihat pada gambar skema 3.16 dibawah ini.



Gambar 3.16 Skema kalibrasi *heater*

Metode kalibrasinya dilakukan dengan mengalirkan air dengan debit aliran 1,2 LPM. Kemudian memvariasikan *voltase* dari 20, 40, 60, dan 80 Volt. Pembacaan temperatur dilakukan pada sisi masuk dan sisi keluar *heater*. Pembacaan hasil pengukuran temperatur dilakukan setiap variasi *voltase*. Pencatatan dilakukan setiap menit hingga mencapai kondisi *steady*. Data yang digunakan untuk kalibrasi *heater* adalah pada menit 10. Untuk pengukuran *voltase* yang diukur dengan menggunakan multimeter digital, dan untuk pengukuran arusnya menggunakan tang ampere. Besarnya kalor yang diserap oleh air dapat dirumuskan dengan persamaan 3.5.

$$Q_{\text{yang diserap Air}} = m \times C_p \text{Air} \times T \dots \dots \dots (3.5)$$

Dengan:

$$\begin{aligned} Q_{\text{yang diserap Air}} &= \text{Kalor yang diserap air (Watt)} \\ m &= \text{Laju aliran massa air (Kg/s)} \\ C_p \text{Air} &= \text{Kalor jenis untuk air (J/Kg.C)} \\ T &= T_2 - T_1 \text{ (C)} \end{aligned}$$

Dengan mengetahui besarnya kalor yang diserap oleh air dan mengetahui besarnya suplai daya oleh *heater* maka akan di ketahui prosentase Q_{loss} yang terjadi pada *heater* awal yang digunakan untuk kalibrasi. Selanjutnya, data yang sudah di dapat dimasukkan di Ms.Excel lalu dilakukan pembuatan grafik dengan persamaan *regresi linier* hubungan Q yang diserap air dengan tegangan dan hubungan tegangan dengan arus pada setiap *voltege regulator*.

3.5.7 Menghitung Daya Total Heater Metode Semi teoritis

Perhitungan kebutuhan daya *heater* dapat ditentukan dengan perhitungan persamaan 3.6.

$$Q_{\text{heater}} = Q_{\text{Refrigeran}} + Q_{\text{loss}} \dots \dots \dots (3.6)$$

Sehingga harus ditentukan terlebih dahulu besarnya Q_{loss} yang terjadi pada *heater* yang akan dirancang. Penentuan besarnya Q_{loss} dilakukan dengan mengasumsikan temperatur paling luar permukaan isolasi *heater*. Besarnya Q_{loss} dapat dihitung dengan perpindahan panas secara radiasi dan konveksi karena pada permukaan paling luar isolasi *heater* terjadi perpindahan panas dari permukaan ke udara lingkungan sekitar. Sehingga perlu diketahui parameter yang dibutuhkan sebagai perhitungan dengan tabel properties seperti dibawah ini.

Tabel 3.1 Tabel sifat udara (Incropera dan Dewitt, 2002)

T (K)	ρ (kg/m ³)	c_p (kJ/kg·K)	$\mu \cdot 10^7$ (N·s/m ²)	$\nu \cdot 10^6$ (m ² /s)	$k \cdot 10^3$ (W/m·K)	$\alpha \cdot 10^6$ (m ² /s)	Pr
Air, $M = 28.97$ kg/kmol							
100	3.5562	1.032	71.1	2.00	9.34	2.54	0.786
150	2.3364	1.012	103.4	4.426	13.8	5.84	0.758
200	1.7458	1.007	132.5	7.590	18.1	10.3	0.737
250	1.3947	1.006	159.6	11.44	22.3	15.9	0.720
300	1.1614	1.007	184.6	15.89	26.3	22.5	0.707
350	0.9950	1.009	208.2	20.92	30.0	29.9	0.700
400	0.8711	1.014	230.1	26.41	33.8	38.3	0.690
450	0.7740	1.021	250.7	32.39	37.3	47.2	0.686
500	0.6964	1.030	270.1	38.79	40.7	56.7	0.684
550	0.6329	1.040	288.4	45.57	43.9	66.7	0.683

Besarnya Q_{loss} Konveksi dapat dihitung dengan persamaan 3.7

$$Q_{\text{konveksi}} = h \cdot A_s \cdot (T_s - T_{\infty}) \dots \dots \dots (3.7)$$

Dengan :

- Q = Laju perpindahan kalor konveksi (Watt)
- h = Koefisien perpindahan kalor konveksi (W/m².K)
- A = Luas permukaan (m²)
- T_s = Temperatur permukaan isolasi (C)
- T_∞ = Temperatur Udara lingkungan (C)

Maka harus dihitung besarnya koefisien perpindahan kalor konveksi yang terjadi dengan persamaan 3.8.

$$h = \frac{Nu_L \times k}{L} \dots \dots \dots (3.8)$$

Dengan :

- h = Koefisien perpindahan kalor konveksi (W/m².K)
- Nu_L = Angka Nusselt
- k = Konduktivitas termal material (Tabel properties udara) (W/m.K)
- L = Panjang permukaan isolator (m)

Besarnya angka Nusselt dapat dihitung dengan persamaan 3.9 sebagai berikut

$$Nu_L = \left\{ 0,825 + \frac{0,387 Ra_L^{1/6}}{[1+(0,492/Pr)^{9/16}]^{8/27}} \right\}^2 \dots \dots \dots (3.9)$$

Dengan :

- Nu_L = Angka Nusselt
- Ra_L = Angka Rayleigh
- Pr = Angka Prandtl (Tabel Properties udara)

Nilai angka rayleigh dapat dihitung dengan persamaan 3.10 sebagai berikut:

$$Ra_L = \frac{g\beta(T_s - T_\infty)L^3}{\alpha\nu} \dots \dots \dots (3.10)$$

Dengan:

- Ra_L = Angka Rayleigh
- g = Percepatan gravitasi bumi 9,81 m/s²
- β = Kekuatan daya apung = 1/ T_{film} (Kalvin⁻¹)
- α = *Thermal diffusivity*, (Tabel propertie udara) (m²/s)
- ν = Viskositas kinematik fluida (Tabel properties udara (m²/s)

Dengan mensubstitusikan persamaan- persamaan diatas maka nilai Q_{loss} konveksi dapat dihitung. Besarnya Q_{loss} radiasi dapat dihitung dengan persamaan 3.11 sebagai berikut

$$Q_{Radiasi} = \varepsilon \sigma (T_s^4 - T_\infty^4) \dots \dots \dots (3.11)$$

Dengan:

Q_{radiasi} = Perpindahan panas secara radiasi (Watt)

ϵ = Emisivitas permukaan (0-1)

σ = (Konstanta Stefan Boltzmann) = $5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$

T_s = Temperatur permukaan isolasi (C)

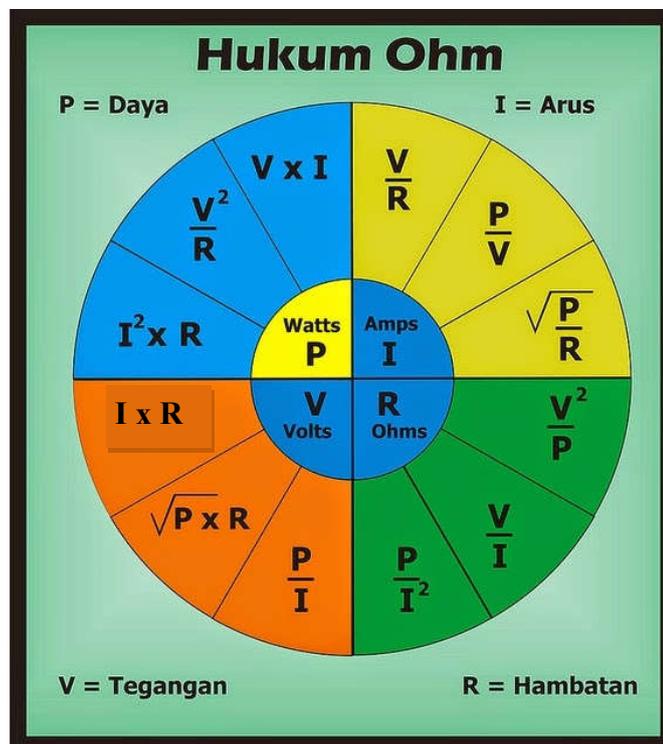
T_{∞} = Temperatur Udara lingkungan (C)

Dengan mensubstitusikan persamaan 3.7 dengan persamaan 3.11 maka Q_{loss} total dapat dirumuskan dengan persamaan 3.12

$$Q_{\text{loss}} = \{h \cdot A_s \cdot (T_s - T_{\infty})\} + \{\epsilon \sigma (T_s^4 - T_{\infty}^4)\} \dots \dots \dots (3.12)$$

3.5.8 Perhitungan *Voltase Heater* dan Kebutuhan Kawat Pemanas

Kawat pemanas yang digunakan harus mampu untuk menghasilkan temperatur yang dapat mengubah kualitas uap yang akan divariasi pada alat uji. Perhitungan elemen pemanas berdasarkan pada prinsip hukum Ohm seperti terlihat pada gambar 3.17.



Gambar 3.17 Hukum Ohm (Jannah, tanpa tahun)

Untuk dapat menghitung kebutuhan kawat pemanas, maka harus ditentukan terlebih dahulu jenis kawat pemanas yang akan digunakan. Pemilihan jenis kawat pemanas berdasarkan kemampuan kawat pemanas dalam menghantarkan panas diantaranya adalah harus memiliki tahanan jenis yang cukup tinggi. Setelah ditentukan jenis kawat pemanas yang akan digunakan maka dapat ditentukan kebutuhan panjang kawat pemanas yang akan digunakan dengan menggunakan perhitungan seperti gambar 3.17.

Berdasarkan batasan masalah bahwa *voltage* maksimal adalah 80 Volt dan arus maksimal adalah 15 Ampere dan untuk menyeragamkan temperatur maka *voltage regulator* yang digunakan dalam perancangan ini berjumlah 3 buah. Sehingga *heater* dibagi dalam 3 *section*. Dimana, kebutuhan listrik tiap *section* disuplai oleh satu *voltage regulator*. Maka, kebutuhan daya *heater* juga harus dibagi menjadi 3 *section* dan panjang kawat pemanas dihitung dengan menentukan terlebih dahulu tahanan maksimal yang terjadi dengan persamaan 3.13.

$$R = \frac{V^2}{P/3} \dots \dots \dots (3.13)$$

Dengan

- R = Tahanan listrik (Ohm)
- V = Tegangan listrik (Volt)
- P = Daya listrik/ (Watt)

Perhitungan tahanan maksimal adalah dengan menginterposi besarnya daya yang dibutuhkan untuk setiap variasi kualitas uap ($x=0,2-0,9$) dan untuk setiap variasi frekuensi *inverter* (14, 16, 18, 20, 22 Hz) dengan besarnya tegangan yang disuplai oleh *voltage regulator* (0-80 Volt).

Setelah diketahui tahanan maksimal yang akan terjadi maka panjang kawat pemanas dihitung dengan persamaan 3.14.

$$L = \frac{R}{R'} \dots \dots \dots (3.14)$$

Dengan

- L = Panjang kawat pemanas (m)
- R = Tahanan listrik yang dibutuhkan (Ohm)
- R' = Tahanan listrik per meter (Ohm/m)

Dengan demikian kebutuhan tegangan yang sebenarnya untuk setiap kualitas dapat dihitung dengan persamaan 3.15

$$V = \sqrt{P \times R} \dots \dots \dots (3.15)$$

Dengan

- R = Tahanan listrik maksimal (Ohm)
- V = Tegangan yang dibutuhkan listrik (Volt)
- P = Daya listrik untuk setiap kualitas uap (Watt)

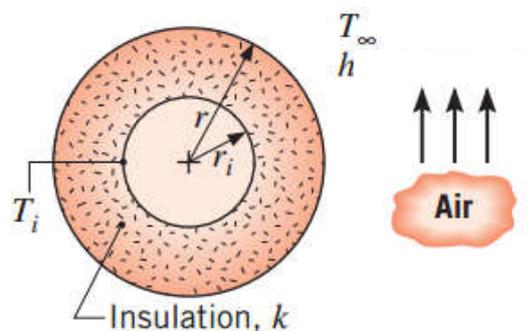
3.5.9 Perhitungan Kebutuhan Isolasi Heater

Rugi-rugi panas atau Q_{loss} pada *heater* merupakan energi termal yang hilang selama *heater* digunakan. Pemilihan bahan isolasi dan ketebalan isolasi akan mempengaruhi nilai rugi-rugi panas. Sehingga, perhitungan ketebalan isolasi menjadi sangat penting untuk dilakukan dengan tujuan mengurangi nilai rugi-rugi panas yang terjadi. Kehilangan kalor yang terjadi dapat dicari dengan menggunakan persamaan 3.16 sebagai berikut:

$$Q_{\text{loss}} = \frac{T}{R_{\text{total}}} \dots \dots \dots (3.16)$$

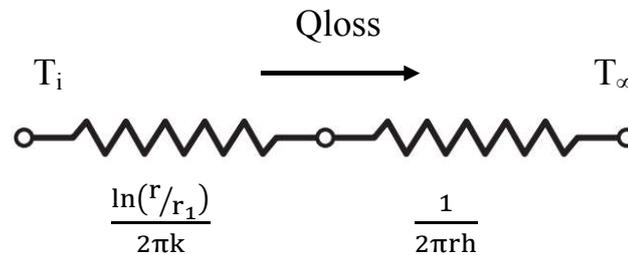
Dengan

- Q_{loss} = Kehilangan kalor yang terjadi (Watt)
- T = Beda temperatur permukaan material (C)
- R_{total} = Tahanan termal keseluruhan (m.K/Watt)



Gambar 3.18 Perpindahan kalor pada material silinder terisolasi (Incropera dan Dewitt, 2002)

Berdasarkan gambar 3.18 maka tahanan termal yang terjadi adalah konduksi dan konveksi sehingga dapat dituliskan skema gambar 3.19 di bawah ini



Gambar 3.19 Skema perpindahan kalor konduksi dan konveksi pada silinder yang diisolasi

Sehingga tahanan termal untuk konduksi dan konveksi menjadi

$$R_{\text{konduksi}} = \frac{\ln(r/r_1)}{2\pi k} \dots\dots\dots(3.17)$$

dengan

- R_{konduksi} = Tahanan termal konduksi (m.K/Watt)
- k = Konduktivitas termal material isolasi (W/m.K)
- r = Radius isolasi material (m)
- r_1 = Radius isolasi material 1 (m)

dan

$$R'_{\text{konveksi}} = \frac{1}{2\pi r h} \dots\dots\dots(3.18)$$

- R'_{konveksi} = Tahanan termal konduksi (m.K/Watt)
- h = Koefisien perpindahan kalor konveksi(W/m².K)
- r = Radius isolasi material (m)

Sehingga dengan mensubstitusikan persamaan 3.17 dan persamaan 3.18 maka tahanan total dapat dituliskan menjadi persamaan 3.19

$$R'_{\text{total}} = \frac{\ln(r/r_1)}{2\pi k} + \frac{1}{2\pi r h} \dots\dots\dots(3.19)$$

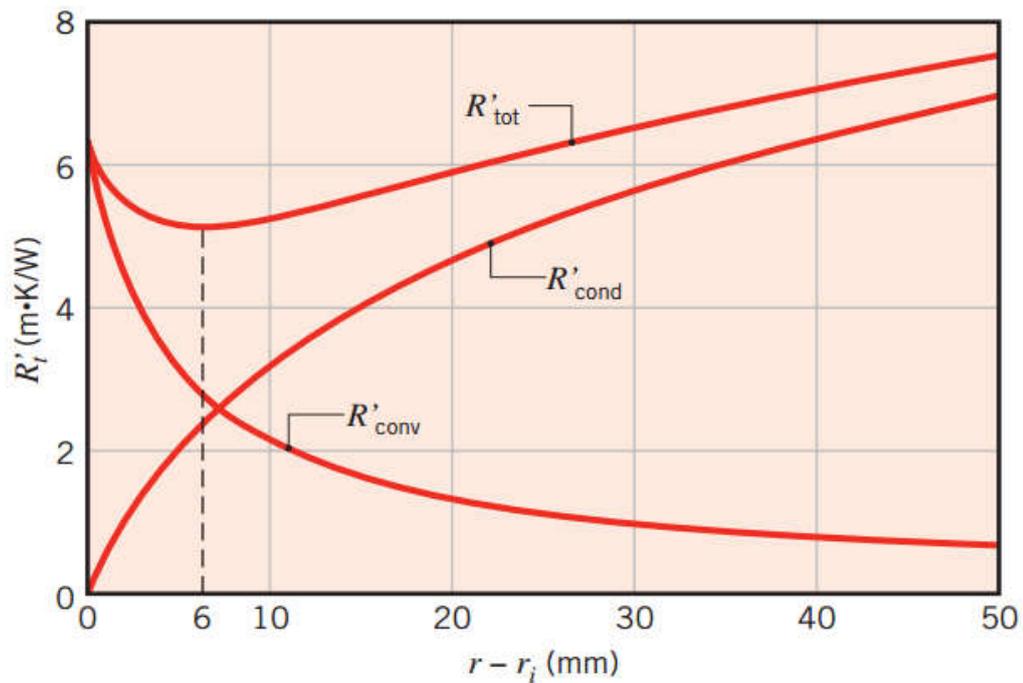
Selanjutnya dengan mengetahui nilai konduktivitas termal material dan koefisien perpindahan kalor konveksi yang terjadi maka akan dapat diketahui jari-jari kritis suatu isolasi dengan persamaan 3.20.

$$r_{\text{cr}} = \frac{k}{h} \dots\dots\dots(3.20)$$

dengan

- r_{cr} = Jari-jari kritis material (m)
- k = Konduktivitas termal material isolasi (W/m.K)
- h = Koefisien perpindahan kalor konveksi(W/m².K)

Jika $r_i < r_{cr}$ dapat dihitung jari-jari isolasi yang menunjukkan tahanan termal paling rendah dengan perumusan ($r_{cr} - r_i$). sehingga penambahan tebal isolasi akan meningkatkan tahanan termal total dan rugi-rugi termal akan berkurang. Sedangkan apabila $r_i > r_{cr}$ maka hal tersebut dapat dikatakan bahwa isolasi tidak memiliki jari-jari kritis sehingga semakin besar ketebalan isolasi yang digunakan akan mengurangi q_{loss} yang terjadi. Hubungan antara tahanan termal dengan ketebalan isolasi dapat dilihat pada gambar 3.20



Gambar 3.20 Pengaruh jari-jari kritis terhadap tahanan termal (Incropera dan Dewitt, 2002)