

BAB III

SIMULASI SISTEM REFRIGERASI

3.1 PENDAHULUAN

Proses simulasi ini ditujukan untuk memprediksi kinerja sistem refrigerasi tanpa harus menjalankan sistem tersebut melalui eksperimen. Hasilnya dapat digunakan untuk mengetahui sifat refrigeran tersebut dan membandingkannya dengan refrigeran lainnya. Perbandingan sifat tersebut menjadi penting karena jika suatu refrigeran memiliki sifat yang mirip dengan refrigeran lainnya, maka alat yang biasa digunakan pada refrigeran tersebut dapat juga digunakan pada refrigeran perbandingan. Secara khusus perbandingan ini dilakukan untuk dapat melihat sejauh mana perubahan karakteristik dari suatu refrigeran campuran terhadap refrigeran tunggalnya, sehingga perubahan performa sistem pada sistem refrigerasi dapat diprediksi.

Proses simulasi dilakukan dengan bantuan software REFPROP (Reference Fluid Thermodynamic and Transport Properties) dan Coolpack. Kedua software ini digunakan untuk mensimulasikan penggunaan refrigeran pada siklus refrigeran tertentu. Pada dasarnya Coolpack memiliki database berbagai jenis refrigeran, sehingga proses simulasi dapat dilakukan dengan langsung, namun database dari refrigeran hasil campuran (Rmix) tidak mungkin ada dengan sendirinya. Untuk itu, digunakan REFPROP yang memiliki kemampuan untuk memprediksi karakteristik dari refrigeran campuran.

Selain menggunakan refrigeran tunggal, simulasi juga digunakan dengan memakai refrigeran campuran (Rmix). Refrigeran campuran yang akan diujicoba adalah campuran antara R744 (CO₂) dengan R170 (Ethane). Komposisi campuran yang akan disimulasikan adalah :

- Rmix1 (campuran Ethane/CO₂ dengan komposisi massa 25/75)
- Rmix2 (campuran Ethane/CO₂ dengan komposisi massa 50/50)
- Rmix3 (campuran Ethane/CO₂ dengan komposisi massa 75/25)

3.2 SIFAT-SIFAT REFRIGERAN PEMBANDING

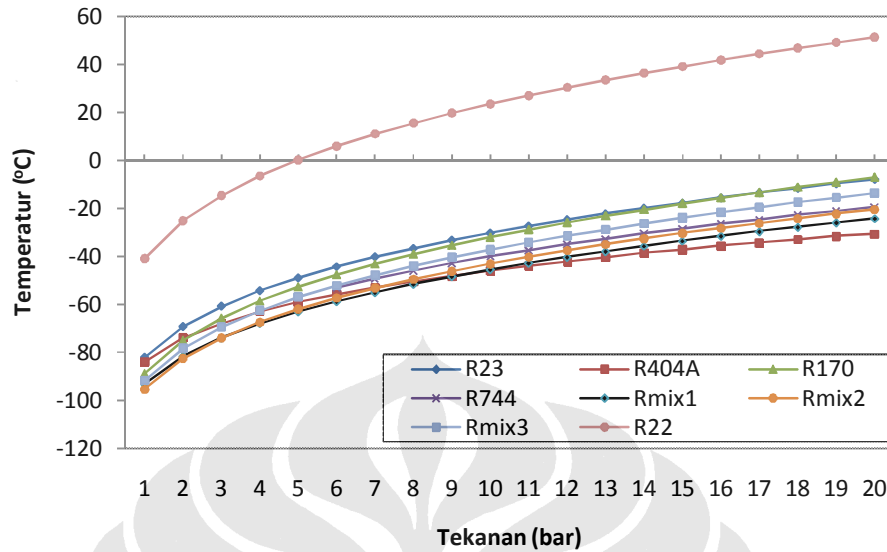
Sebelum melakukan simulasi, sifat-sifat refrigeran akan dibandingkan terlebih dulu. Refrigeran memiliki sifat-sifat dasar yang umumnya berbeda satu dengan yang lain, sifat yang berbeda tersebut tentunya sangat mempengaruhi performa yang dihasilkan. Perbandingan ini dapat menjadi penting untuk mengetahui karakteristik siklus refrigeran. Refrigeran yang akan dibandingkan adalah Rmix, R170 (Ethane), R744 (CO₂), R22 (Chlorodifluoromethane), R23 (Trifluoromethane), R404A, yang juga merupakan refrigeran campuran antara R125/R143A/R134A dengan komposisi 44/52/4.

Tabel 3.1 Perbedaan sifat dasar refrigeran[8]

Refrigeran	R170	R744	R404A	R23	R22
Molar mass (kg/kmol)	30,07	44,01	97,604	70,014	86,468
Triple point temperature (°C)	-182,8	-55,6	-	-155,13	-157,42
Normal boiling point (°C)	-88,598	-78,4	-	-82,018	-40,81
Critical temperature (°C)	32,18	31,1	72,07	26,143	96,145
Critical pressure (MPa)	4,8718	7,377	3,7315	4,832	4,99
Critical density (kg/m ³)	206,58	467,6	486,53	526,5	523,84

Selain sifat dasar dari tabel diatas, refrigeran tersebut masih bisa dibedakan berdasarkan sifat-sifat tertentu yang akan berubah sesuai dengan kondisi disekitarnya. Hanya saja, pada R744 ternyata memiliki temperatur *triple point* pada -55,6°C[8], sehingga perbandingan pada R744 tidak dapat dilakukan pada suhu dibawah -55,6°C, dan hanya dilakukan pada temperatur -55°C dan diatasnya, pada temperatur -55°C, R744 memiliki tekanan 5,5397 bar. Batasan yang dilakukan pada perbandingan ini adalah perbandingan hanya dilakukan pada tekanan 1 bar hingga 20 bar. Perbandingan tersebut antara lain titik jenuh, massa jenis pada fase cair dan gas, dan kalor laten.

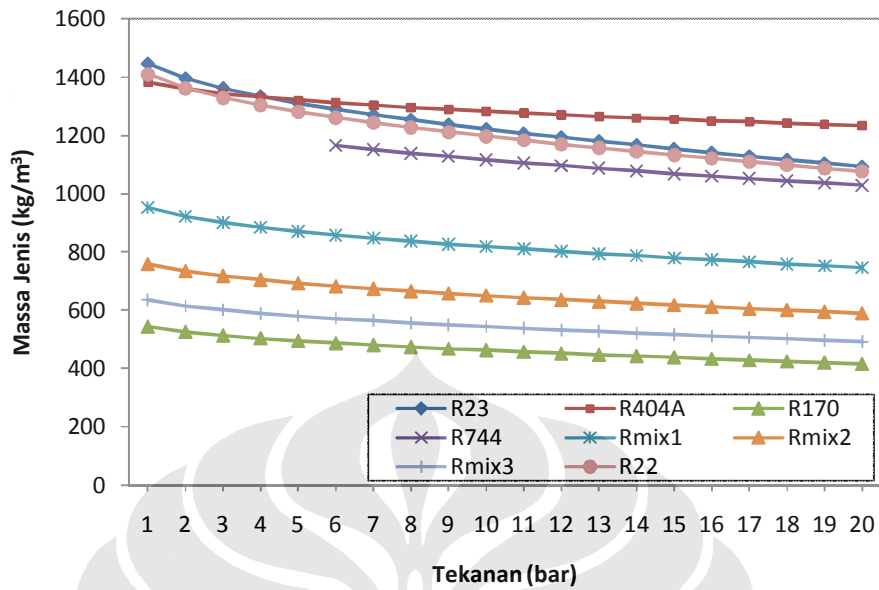
3.2.1 Perbandingan Titik Jenuh



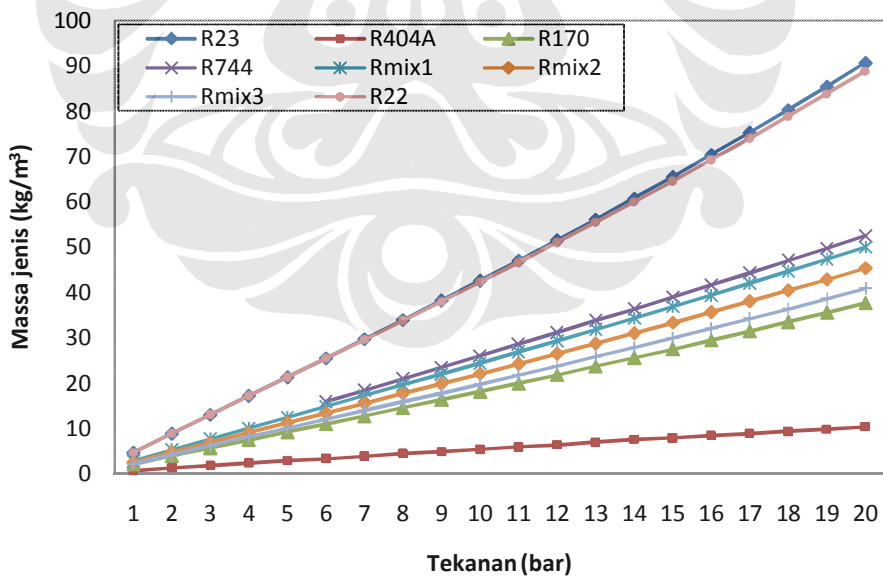
Gambar 3.1 Grafik perbandingan temperatur titik jenuh

Grafik diatas menunjukkan perbandingan temperatur titik jenuh pada tekanan yang berbeda. Pada tekanan rendah, temperatur Rmix2 memiliki temperatur titik jenuh paling rendah dan R23 memiliki temperatur titik jenuh paling tinggi namun hanya berbeda sedikit dibandingkan dengan R404A dan R170. Pada tekanan tinggi, temperatur titik jenuh R23 dan R170 hampir sama, sementara R404A memiliki temperatur titik jenuh yang paling rendah. R404A adalah refrigeran yang paling sedikit terpengaruh oleh kenaikan tekanan dan secara keseluruhan juga yang paling mendekati Rmix. Sedangkan R22 memiliki temperatur titik jenuh yang paling tinggi, hal tersebut menjadikan R22 kurang cocok digunakan sebagai refrigeran tingkat rendah yang dirancang hingga temperatur sangat rendah.

3.2.2 Perbandingan Massa Jenis



Gambar 3.2 Grafik perbandingan massa jenis pada fase cair

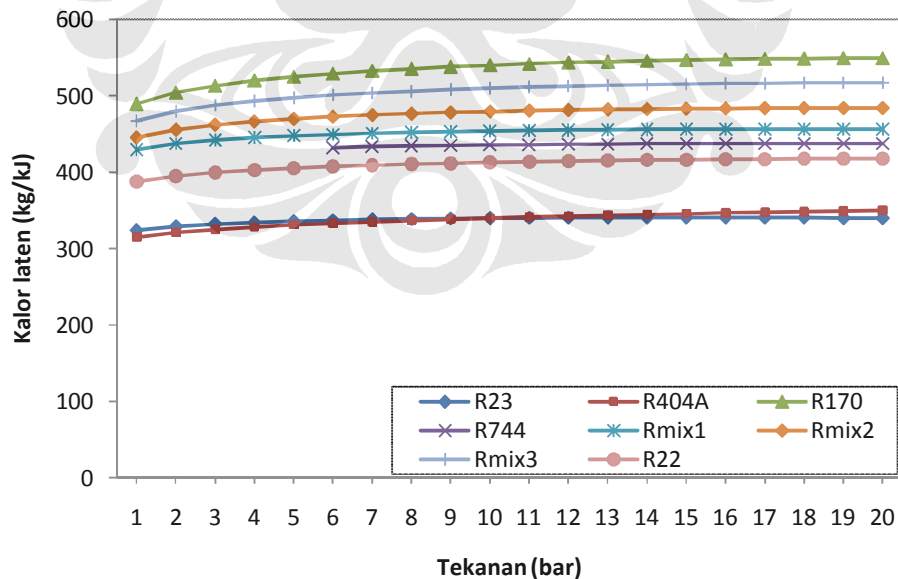


Gambar 3.3 Grafik perbandingan massa jenis pada fase gas

Gambar 3.3 diatas menunjukkan perbedaan massa jenis pada fase cair dengan tekanan yang divariasikan. Pada tekanan rendah, R23 memiliki massa jenis yang paling tinggi, namun pada tekanan dimulai dari 5 bar hingga diatasnya, R404A memiliki massa jenis yang paling tinggi. Pada R22 memiliki massa jenis yang hanya sedikit dibawah R23. Sedangkan massa jenis R170 adalah yang paling rendah pada tekanan tinggi maupun tekanan rendah, namun juga yang paling mendekati massa jenis Rmix. Grafik penurunan massa jenis terhadap tekanan pada R404A sangat mirip dengan Rmix dan R170.

Sedangkan gambar 3.4 menunjukkan perbedaan massa jenis pada fase gas. Yang terjadi pada R404A adalah berbanding terbalik dibandingkan dengan pada saat fase cair, dimana massa jenis R404A adalah yang paling rendah dan perbedaannya dengan refrigeran lain menjadi semakin jauh pada tekanan yang lebih tinggi, sementara R23 menunjukkan massa jenis yang tinggi, bahkan berbeda cukup jauh dibandingkan refrigeran lainnya pada tekanan yang lebih tinggi. Namun, sama seperti pada saat fase cair, baik R744 maupun R170 adalah refrigeran yang massa jenisnya paling mendekati Rmix.

3.2.3 Perbandingan Kalor Laten

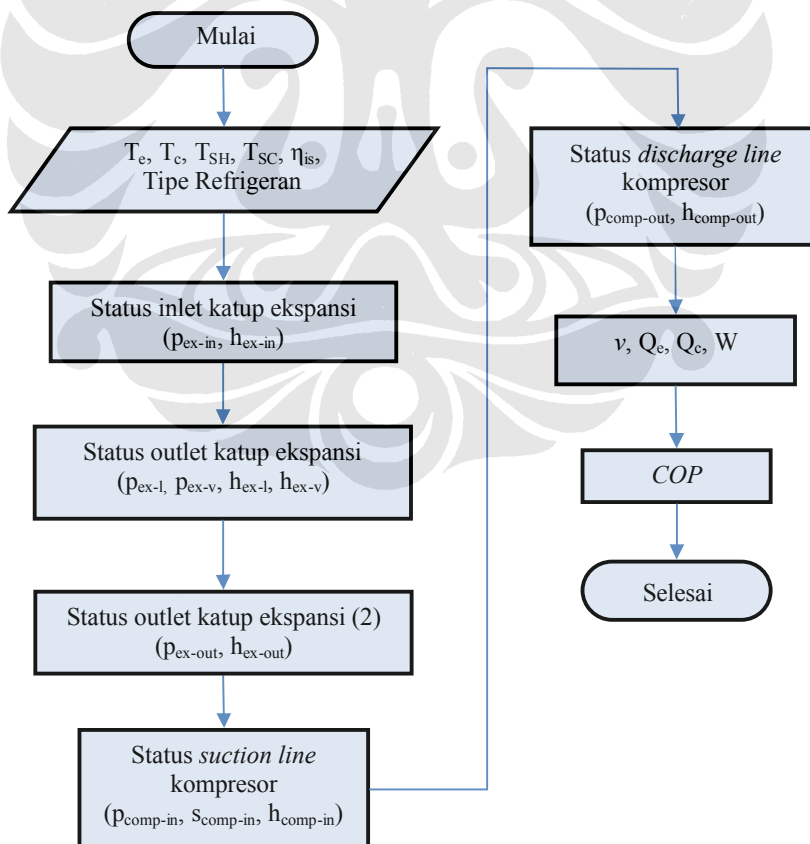


Gambar 3.4 Grafik perbandingan kalor laten

Grafik diatas menunjukkan perbandingan kalor laten pada tekanan yang berbeda. R404A dan R23 memiliki kalor laten yang sangat mirip, namun jauh lebih rendah dibandingkan refrigeran lainnya. Sementara R170 memiliki kalor laten yang paling tinggi. Kalor laten R170 dan R744 juga yang paling mendekati Rmix. Ketiga Rmix memiliki kalor laten diantara R170 dan R744.

Pada keempat perbandingan diatas, diketahui bahwa karakteristik dari Rmix lebih mirip ke R170 dan R744, hal itu wajar karena Rmix sendiri adalah campuran antara R170 dan R744 pada komposisi tertentu. Sementara R404A mempunyai temperatur titik jenuh yang cukup mendekati Rmix, namun perbedaan massa jenis antara R404A dengan Rmix dapat menjadi kendala jika mencoba menggunakan kompresor yang sama untuk digunakan pada Rmix. Hasil lebih lanjut akan tampak pada saat simulasi dengan siklus satu tingkat.

3.3 PROSES SIMULASI



Gambar 3.5 Diagram alir dalam melakukan proses simulasi

Proses simulasi dilakukan pada siklus satu tingkat untuk membandingkan performa sistem pada refrigeran yang berbeda. Simulasi ini dilakukan dengan mengasumsikan beberapa parameter penting, dan untuk mensimulasikan Rmix sepenuhnya menggunakan bantuan software REFPROP. Dalam melakukan simulasi ini, digunakan asumsi yang menjadi data acuan bagi semua refrigeran yang dibandingkan. Asumsi yang digunakan antara lain :

- $T_e = -40$ hingga -65°C dengan kenaikan tiap 5°C
- $T_c = -10^\circ\text{C}$
- $\Delta T_{SH} = 5^\circ\text{C}$
- $\Delta T_{SC} = 0^\circ\text{C}$
- $\eta_{is} = 0,7$
- Siklus satu tingkat
- Siklus ideal
- Pressure drop = 0 bar, berlaku pada semua titik

Simulasi dilakukan dengan tahapan sebagai berikut :

1. Menentukan temperatur evaporator (T_e), temperatur kondenser (T_c), Selisih temperatur superheat (ΔT_{SH}), selisih temperatur subcool ΔT_{SC} , dan efisiensi isentropis (η_{is}).
2. Dari asumsi T_e yang diketahui, dengan menggunakan *coolpack refrigerant calculator*, dapat diketahui besarnya tekanan pada inlet ekspansi pipa kapiler (p_{ex-in}).
3. Dari data T_{ex-in} dan p_{ex-in} , maka besarnya entalpi pada outlet ekspansi (h_{ex-in}) dapat diketahui.
4. Dari asumsi T_e yang diketahui, dengan menggunakan tabel titik saturasi dapat diketahui tekanan pada fase cair dan gas (p_{ex-l} dan p_{ex-v}), dan entalpi pada fase cair dan gas (h_{ex-l} dan h_{ex-v}).
5. Entalpi pada outlet ekspansi (h_{ex-out}) diasumsikan sama dengan pada inletnya, sedangkan tekanan pada outlet ekspansi (p_{ex-out}) dapat dicari menggunakan data yang diperoleh pada tahap (4), dengan menggunakan rumus:

$$p_{ex} = p_{ex-out} + \frac{(h_{ex-v} - h_{ex-out}) \times (p_{ex-v} - p_{ex-l})}{h_{ex-v} - h_{ex-l}}$$

6. Dari asumsi $p_{ex-out} = p_{comp-in}$ (pressure drop = 0 Pa), dengan menggunakan tabel titik saturasi dapat diketahui entalpi ($h_{comp-in}$) dan entropi ($s_{comp-in}$) pada *suction* kompresor.
7. Dengan asumsi tidak terjadi perubahan entropi sepanjang proses kompresi berlangsung (isentropis), maka dengan menggunakan tabel titik saturasi, dapat diketahui temperatur *discharge* kompresor ($T_{comp-out}$) dan entalpi *discharge* kompresor ($h_{comp-out}$).
8. Dari data yang diperoleh dari *suction* kompresor, dengan menggunakan tabel titik saturasi, massa jenis (ρ) dapat dicari, selanjutnya volume spesifik (v) juga dapat diketahui.
9. Kapasitas kalor evaporator Q_e dapat dicari dengan mengurangi entalpi pada *suction* kompresor ($h_{comp-in}$) dengan entalpi pada outlet ekspansi (h_{ex-out}).
10. Kapasitas kalor kondenser Q_c dapat dicari dengan mengurangi besarnya entalpi pada *discharge* kompresor ($h_{comp-out}$) dengan entalpi pada inlet ekspansi (h_{ex-in}).
11. Selisih entalpi kompresi isentropis ($\Delta h_{is,comp}$) dapat diketahui dengan mengurangi entalpi pada *discharge* kompresor ($h_{comp-out}$) dengan *suction* kompresor ($h_{comp-in}$). Untuk mendapatkan selisih entalpi kompresi, $\Delta h_{is,comp}$ dibagi dengan efisiensi isentropis (η_{is}) sebesar 0,7.

$$\Delta h_{comp} = \frac{(h_{comp-out} - h_{comp-in})}{0,7}$$

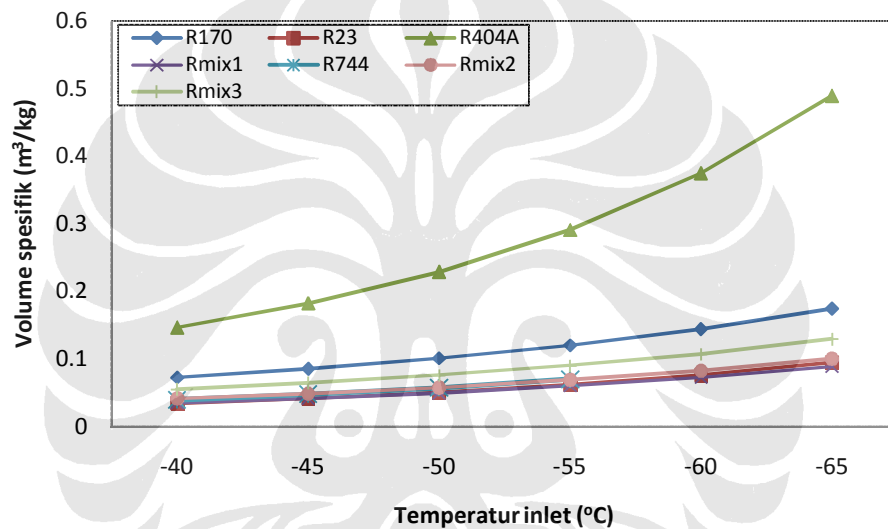
12. Coefficient of Performance (COP) dapat diketahui dengan membagi kapasitas kalor evaporator Q_e dengan selisih entalpi kompresi (Δh_{comp}).

$$COP = \frac{Q_e}{\Delta h_{comp}}$$

3.4 SIMULASI SIKLUS SATU TINGKAT

Simulasi ini dilakukan pada sistem refrigerasi satu tingkat dengan menggunakan 7 jenis refrigeran yang berbeda, antara lain R170, R23, R404A, R744, Rmix1, Rmix2, dan Rmix3. Hasil dari simulasi ini antara lain perbandingan pada volume spesifik, temperatur kompresor, tekanan kompresor, kapasitas kalor evaporator dan kondenser, selisih entalpi kompresi, dan COP (*Coefficient of Performance*).

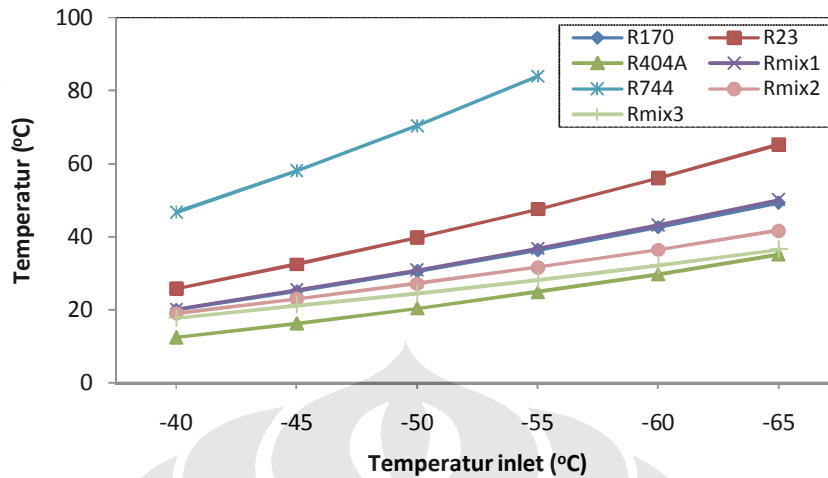
3.4.1 Perbandingan Volume Spesifik



Gambar 3.6 Grafik perbandingan volume spesifik

Grafik diatas menunjukkan perbandingan volume spesifik pada suction line kompresor dengan temperatur *suction* kompresor tertentu. Hasil simulasi menunjukkan R404A memiliki volume spesifik paling besar pada temperatur -40°C hingga -65°C, dan perbedaannya cukup jauh dibanding refrigeran lainnya. Sedangkan R23 memiliki volume spesifik yang paling mendekati Rmix, terutama Rmix2. Semakin besar komposisi R170 dalam Rmix, maka semakin besar juga volume spesifiknya hingga mendekati R170 itu sendiri. Sebaliknya jika komposisi R744 yang lebih besar, maka volume spesifik akan lebih rendah hingga mendekati R744, yang pada simulasi ini merupakan refrigeran dengan volume spesifik paling kecil.

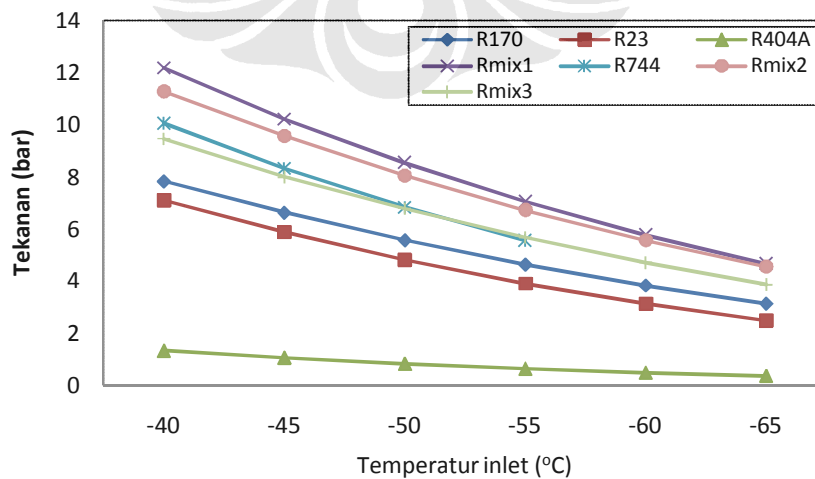
3.4.2 Perbandingan Temperatur pada *Discharge* Kompresor



Gambar 3.7 Grafik perbandingan temperatur pada *discharge* kompresor

Grafik diatas menunjukkan perbandingan temperatur pada *discharge* kompresor dengan temperatur *suction* kompresor tertentu. R170 memiliki temperatur yang sangat mirip dengan Rmix1, sementara R404A cenderung memiliki temperatur yang mendekati Rmix3 pada temperatur *suction* kompresor yang rendah. Sedangkan R23 memiliki temperatur yang lebih tinggi dibandingkan dengan ketiga Rmix, dan R744 bahkan jauh lebih tinggi, temperaturnya dua kali hingga lebih tinggi dibandingkan dengan Rmix.

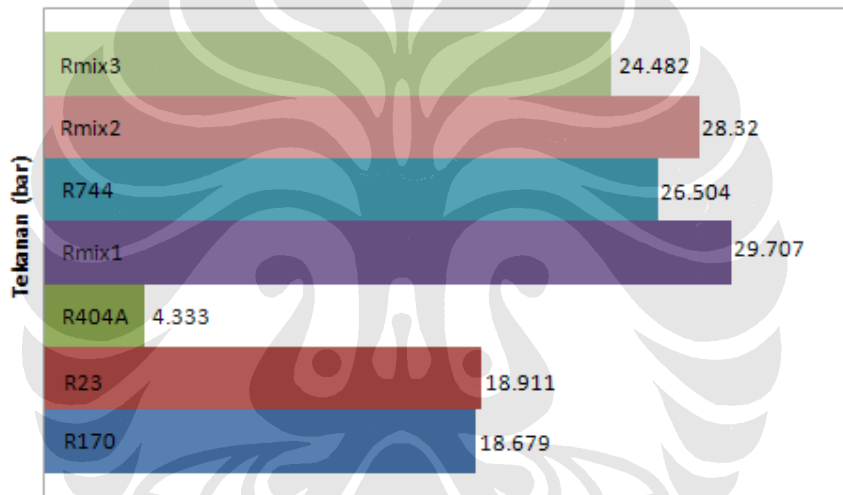
3.4.3 Perbandingan Tekanan pada *Suction* Kompresor



Gambar 3.8 Grafik perbandingan tekanan pada *suction* kompresor

Grafik diatas menunjukkan perbandingan antara tekanan pada *suction* kompresor dengan temperatur *suction* kompresor tertentu. Dapat dilihat bahwa ketiga Rmix memiliki tekanan yang sangat tinggi pada suction kompresornya, bahkan lebih tinggi dibandingkan dengan R744 yang sudah dikenal bekerja pada tekanan tinggi. Sementara R404A memiliki tekanan yang sangat rendah pada bagian suction kompresornya dan berbeda cukup jauh dibandingkan dengan refrigeran lainnya. Baik R170 maupun R23 memiliki tekanan yang hampir sama besarnya, namun masih dibawah tekanan Rmix.

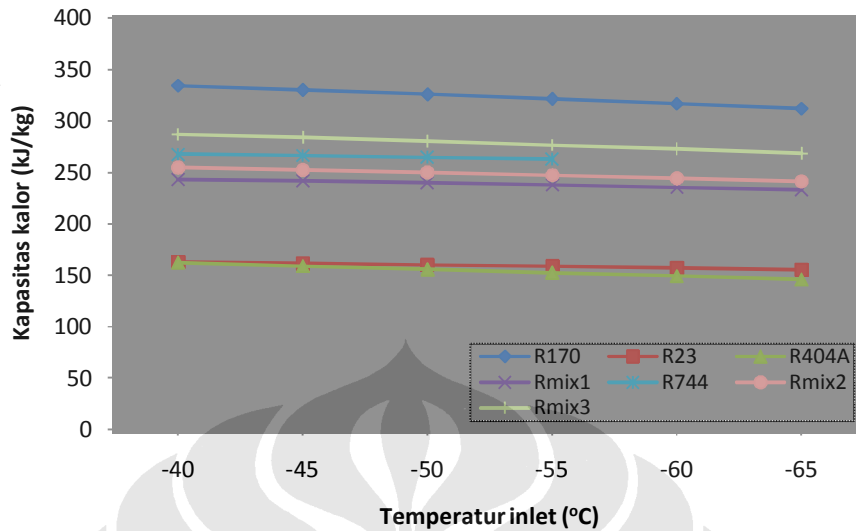
3.4.4 Perbandingan Tekanan pada *Discharge* Kompresor



Gambar 3.9 Grafik perbandingan tekanan pada *discharge* kompresor

Grafik diatas menunjukkan perbandingan tekanan pada *discharge* kompresor, berbeda dengan tekanan pada *suction* kompresor, pada bagian *discharge* kompresor temperatur refrigeran diasumsikan sama dengan temperatur kondenser (ideal), yaitu pada -10°C , sehingga hanya terdapat satu perbandingan per refrigeran. Dari grafik diatas, Rmix memiliki tekanan yang paling tinggi, hal tersebut berbeda dengan hasil simulasi yang lain dimana perbandingan parameter lain pada Rmix umumnya berada diantara R170 dan R744. Sedangkan R170 dan R23 memiliki tekanan yang hampir sama. Namun tekanan R404A jauh lebih rendah dibandingkan dengan yang lainnya.

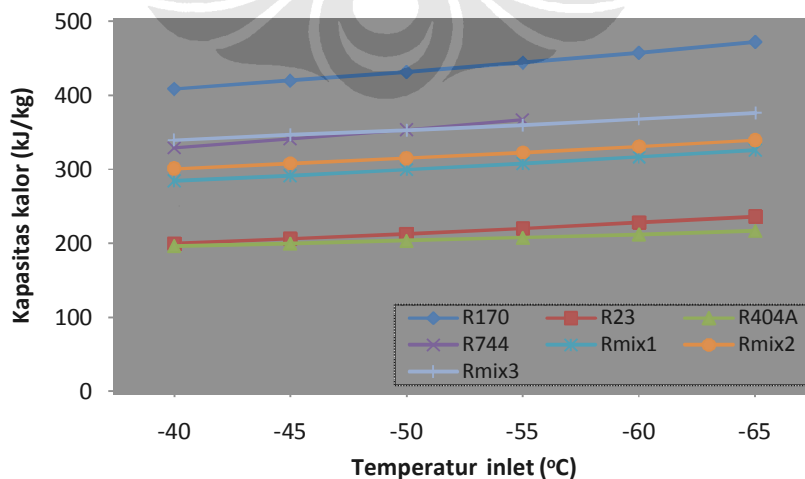
3.4.5 Perbandingan Kapasitas Kalor Evaporator



Gambar 3.10 Grafik perbandingan kapasitas kalor evaporator

Grafik diatas menunjukkan perbandingan kapasitas kalor evaporator dengan temperatur *suction* kompresor tertentu, dimana ternyata dengan menggunakan R170, evaporator memiliki kapasitas kalor terbesar. Sedangkan R744 memiliki performa diantara Rmix2 dan Rmix3. Namun menggunakan R23 dan R404A menghasilkan kapasitas kalor evaporator yang hampir sama, hanya saja jauh lebih rendah dibandingkan dengan Rmix.

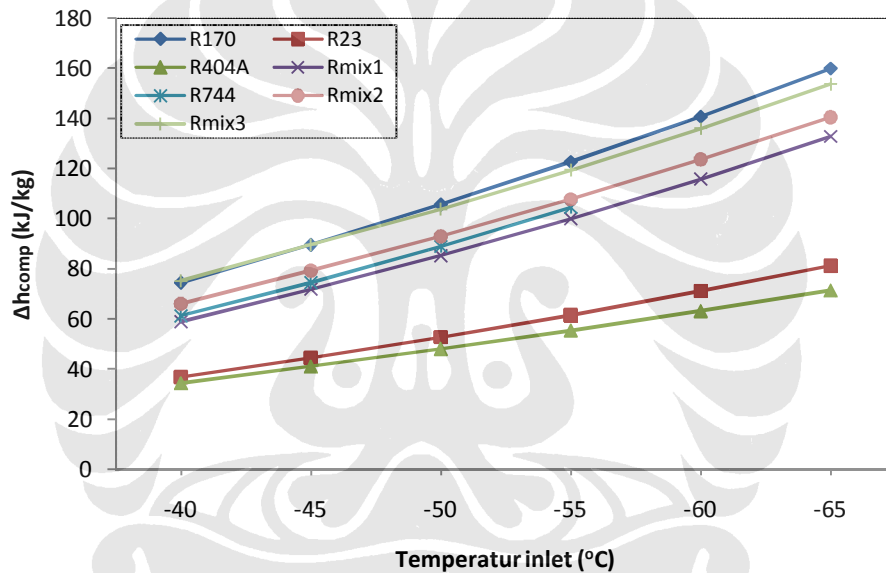
3.4.6 Perbandingan Kapasitas Kalor Kondenser



Gambar 3.11 Grafik perbandingan kapasitas kalor kondenser

Grafik diatas menunjukkan perbandingan kapasitas kalor pada kondenser dengan temperatur *suction* kompresor tertentu. Hasilnya hampir sama dengan kapasitas kalor pada evaporator, dimana R170 memiliki performa paling tinggi, diikuti oleh Rmix3, namun pada temperatur *suction* kompresor yang lebih rendah, sekitar -55°C , kapasitas kalor kondenser yang menggunakan R744 ternyata lebih tinggi, namun R744 tidak bisa bekerja hingga dibawah -56°C karena terbatas oleh temperatur *triple point*. R23 dan R404A menghasilkan kapasitas kalor kondenser yang paling rendah dibandingkan dengan refrigeran lainnya.

3.4.7 Perbandingan Selisih Entalpi Kompresi

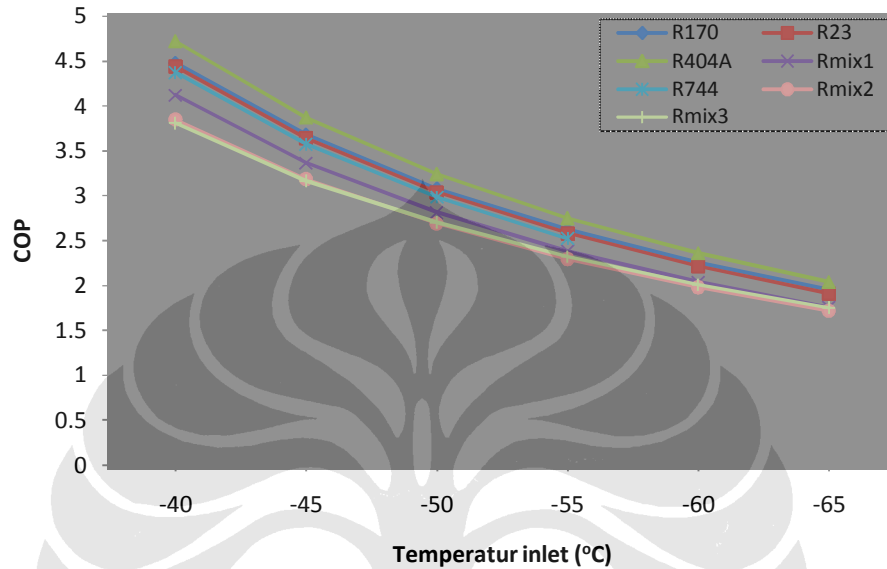


Gambar 3.12 Grafik perbandingan selisih entalpi kompresi

Grafik diatas menunjukkan perbandingan selisih entalpi kompresi dengan temperatur *suction* kompresor tertentu. Dari grafik diatas, menggunakan R170 akan mengakibatkan selisih entalpi kompresi lebih tinggi, begitu juga dengan R744. Hasil yang tidak jauh berbeda ditunjukkan pada Rmix karena merupakan campuran R744 dan R170. Sementara R404A adalah refrigeran yang membuat selisih entalpi kompresi lebih ringan, dimana menggunakan R23 hanya sedikit lebih buruk dibandingkan R404A. Penggunaan kedua refrigeran ini membuat

kompresor bekerja lebih ringan dibandingkan dengan R170, R744, maupun campuran keduanya (Rmix).

3.4.8 Perbandingan COP



Gambar 3.13. Grafik perbandingan COP

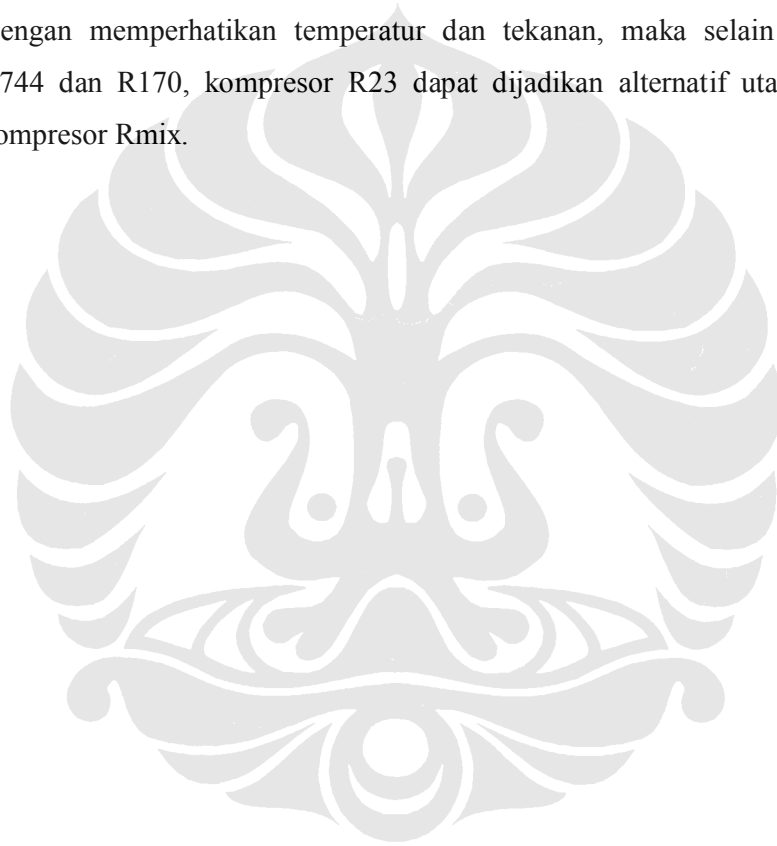
Grafik diatas menunjukkan perbandingan *Coefficient of Performance* (COP) dengan temperatur *suction* kompresor tertentu. Menggunakan R404A menghasilkan COP yang paling tinggi, sementara R170 dan R23 memiliki COP yang hampir sama. Dari grafik juga diketahui bahwa menggunakan Rmix mengakibatkan COP sistem yang rendah dibandingkan dengan menggunakan refrigeran unsur tunggalnya.

3.5 KESIMPULAN HASIL SIMULASI

Berdasarkan hasil simulasi yang sudah dilakukan pada kedelapan refrigeran, didapat kesimpulan sebagai berikut :

1. Berdasarkan hasil perbandingan sifat refrigeran, maka R22 lebih cocok digunakan sebagai refrigeran untuk temperatur yang lebih tinggi, sehingga dapat juga digunakan pada sistem *high-stage*. Hal tersebut disebabkan temperatur titik jenuh R22 yang lebih tinggi.

2. Refrigeran yang sifatnya paling mendekati Rmix adalah refrigeran yang menjadi unsur dasar Rmix itu sendiri, yaitu R744 dan R170, berdasarkan hasil simulasi, penggabungan keduanya menghasilkan performa yang tidak jauh berbeda dibandingkan dengan refrigeran tunggalnya.
3. Efisiensi kerja dan performa sistem yang menggunakan R404A pada temperatur rendah lebih baik, sehingga cocok digunakan pada sistem *low-stage*. hal tersebut dapat dilihat dari selisih entalpi kompresi (Δh_{comp}) dan COP.
4. Dengan memperhatikan temperatur dan tekanan, maka selain kompresor R744 dan R170, kompresor R23 dapat dijadikan alternatif utama sebagai kompresor Rmix.



BAB IV

METODE PENGUJIAN

4.1 PERALATAN PENGUJIAN

Sistem *cascade* yang digunakan dalam pengujian ini terdapat di gedung P2M (Salemba). Sebelumnya sistem ini dimanfaatkan untuk mendinginkan komponen pesawat di IPTN dengan menggunakan refrigeran R502. Untuk melakukan pengujian ini maka dilakukan beberapa modifikasi. Modifikasi yang dilakukan berupa penambahan alat yang meliputi pemipaan, kompresor, kipas kondenser, alat ukur (*pressure gage* dan termometer), *filter dryer*, akumulator dan *oil separator*.

4.1.1 Kompresor

- *High-stage*

Merek/model	: Tecumseh/ AJB5515EXD
Daya	: 1 HP
Voltage/Hz	: 230/50
Refrigeran	: R22
Lubricant	: <i>Alkylbeneze</i>
Dimensi	: Panjang 23 cm, lebar 15 cm dan tinggi 30 cm



Gambar 4.1 Kompresor R22

- *Low-stage*

Merek/model : Tecumseh/ AJA7494ZXD
Daya : 1 HP
Voltage/Hz : 230/50
Refrigeran : R404A
Lubricant : *Alkylbeneze*
Dimensi : Panjang 23 cm, lebar 15 cm dan tinggi 30 cm



Gambar 4.2 Kompresor R404A

4.1.2 *Cascade Heat Exchanger*

Heat exchanger yang digunakan adalah tipe *shell and tube* yang berada pada bagian belakang alat. Dimana refrigeran *low-stage* mengalir pada *tube*, dan refrigeran *high-stage* pada *shell*.

Tipe : *Shell and tube*
Material : Tembaga
Dimensi : Panjang 60 cm
Diameter 2 3/8 inci



Gambar 4.3 *Shell and tube cascade heat exchanger*

4.1.3 Kondenser

- *High-stage*

Tipe : *Tubes & fins air cooled condenser*

Material : Tembaga

Fan : 1300 rpm-0.5A

Dimensi : Panjang 31 cm, lebar 9 cm dan tinggi 31 cm



Gambar 4.4 Kondenser

4.1.4 Alat Ekspansi

Alat ekspansi menggunakan pipa kapiler, hal ini menjadikan sistem tidak dapat memodifikasi besarnya tekanan keluar alat ekspansi, hal tersebut menjadi

keterbatasan karena pada sistem *high-stage* dan *low-stage* karena sebelumnya alat ini digunakan pada refrigeran R502, penggunaan refrigeran yang berbeda dari kondigurasi awal dapat menyebabkan sistem berjalan tidak optimal.

Tipe : Pipa kapiler
Material : Tembaga
Panjang : 3 m



Gambar 4.5 Alat ekspansi

4.1.5 Filter Dryer

Filter dryer adalah alat yang memiliki fungsi sangat penting, yaitu untuk menyingkirkan partikel-partikel yang berpotensi merusak sistem ketika beroperasi, seperti logam, debu, kotoran, hingga partikel yang dapat larut yang mungkin masuk ke dalam sistem ketika proses instalasi alat berlangsung. Benda tak diinginkan tersebut dapat mengganggu kerja sistem bahan hingga merusak alat-alat refrigerasi. Jenis *filter dryer* yang digunakan:

Merek/model : Emerson/EK 163
Refrigeran : CFC, HCFC dan HFC



Gambar 4.6 Filter dryer

4.1.6 Akumulator

Akumulator adalah *vessel* yang menjadi tempat penampungan refrigeran setelah melewati evaporator sebelum memasuki *suction line* kompresor. Ukurannya umumnya memiliki diameter 10 kali dari diameter pipa. Ada kemungkinan kalau refrigeran yang telah melalui evaporator tidak seluruhnya berada pada fase gas, sebagian kecil mungkin masih dalam bentuk fase cair. Dengan akumulator, maka refrigeran yang masih dalam bentuk cair tersebut diubah kembali menjadi bentuk gas sehingga dapat dengan aman masuk ke *suction line*. Akumulator yang dipakai adalah:

Merek/model : Emerson/A-AS 464
Refrigeran : CFC, HCFC dan HFC



Gambar 4.7 Akumulator

4.1.7 Oil Separator

Oil separator berfungsi untuk memastikan kalau pelumas yang digunakan kompresor untuk kembali ke *crankcase* kompresor sebelum masuk ke evaporator. Biasanya digunakan pada sistem refrigerasi yang memiliki rangkaian pemipaan yang panjang. Hal tersebut karena pada rangkaian pemipaan yang panjang pelumas kompresor yang ikut terbawa bersama refrigeran lebih sulit untuk bisa mencapai *crankcase* kompresor. Pada *oil separator*, campuran pelumas dengan refrigeran masuk ke inlet *oil separator* dan melalui serangkaian *baffle* yang menyebabkan partikel pelumas terkumpul dan jatuh ke bagian bawah *oil separator*. Pelumas tersebut kembali ke *crankcase* karena tekanan pada *oil*

separator yang lebih tinggi dibandingkan pada *crankcase*. Jika level pelumas lebih rendah, maka *needle valve* yang terdapat pada *oil separator* akan menutup dengan sendirinya untuk mencegah refrigeran masuk ke *crankcase*. *Oil separator* yang digunakan adalah:

Merek/model : Asian First Brand

Refrigeran : CFC, HCFC dan HFC



Gambar 4.8 *Oil separator*

4.1.8 Box Pendingin

Box pendingin yang menjadi media pendinginan tempat barang akan didinginkan memiliki dimensi panjang 169 cm, lebar 46 cm dan tinggi 70 cm. Pada saat pengujian, laju beban pendinginan diupayakan tidak ada dengan cara mengosongkan box pendingin.



Gambar 4.9 Box pendingin

4.2 ALAT UKUR

4.2.1 Temperatur

Merek/model	: Kin & BNT/TPM900
Kisaran temperature	: -30°C-110°C
Akurasi	: 1 ⁰ C
Konsumsi daya listrik	: <3W (AC)
<i>Environment temperature range</i>	: 0°C-60°C
<i>Environment humidity range</i>	: 20%-85%
Tipe <i>probe</i>	: NTC



Gambar 4.10 Termometer digital

Titik pengukuran temperatur diletakkan di 8 tempat , yakni :

Tabel 4.1 Penempatan termometer

	<i>High-stage</i>	<i>Low-stage</i>
<i>Discharge line</i>	1	1
<i>Suction line</i>	1	1
<i>Output ekspansi</i>	1	1
<i>Output kondenser</i>	1	1

4.2.2 Tekanan

High pressure : 0-35 bar atau 0-500 psi

Low pressure : 0-17.5 bar atau 0-250 psi

Titik pengukuran tekanan diletakkan di 4 tempat, yakni :

Tabel 4.2 Penempatan *pressure gage*

	<i>High-stage</i>	<i>Low-stage</i>
<i>Discharge line</i>	1	1
<i>Suction line</i>	1	1



Gambar 4.11 *Pressure gage*

4.2.3 Kelembaban

Kelembaban diukur dengan menggunakan higrometer digital

Model : BT-2

Temperature range : -50⁰C-70⁰C

Humidity range : 20%-99%

Akurasi : Temperatur : 0.1⁰C

Kelembaban : 1% RH



Gambar 4.12 Higrometer digital

4.2.4 Daya Listrik

Amperemeter/tipe : 0-10 A/analog

Voltmeter/tipe : 0-500 V/analog



Gambar 4.13 Voltmeter



Gambar 4.14 Amperemeter

4.3 PROSEDUR PENGUJIAN

4.3.1 Pengisian Refrigeran

Untuk memastikan seluruh bagian pipa terisi dengan refrigeran maka seluruh sistem divakum terlebih dahulu. Selain itu proses pemvakuman dilakukan dengan tujuan mencegah masih adanya kandungan uap air didalam sistem yang dapat mengakibatkan kerusakan pada kompresor dan meningkatkan tekanan kerja pada sistem melebihi yang kita inginkan.

Setelah proses pemvakuman, sistem *high-stage* terlebih dahulu di-charge dengan R22, kegiatan ini dilakukan saat kondisi sistem tidak bekerja. Pengisian refrigeran ke sistem *high-stage* dilakukan dengan menghubungkan *manifold* dengan pentil yang ada pada tabung refrigeran dan pada pipa bagian sebelum *suction line* kompresor. Proses pengisian ini dilakukan hingga tekanan sistem

menjadi 4 hingga 5 bar, dengan perhitungan bahwa tekanan akan naik setelah sistem dinyalakan.



Gambar 4.15 Pentil pada pipa

Proses selanjutnya adalah pengisian R404A pada sistem *low-stage*. Pada prinsipnya pengisian refrigeran ini sama dengan R22 yakni *charging* pada saat kondisi kompresor tidak bekerja hingga tekanannya mencapai 4 hingga 5 bar. Perbedaannya adalah pada saat *charging*, tabung refrigeran posisinya dibalik dan melewati sebuah pipa kapiler terlebih dahulu. Hal ini dikarenakan R404A merupakan refrigeran campuran hampir zeotrop sehingga untuk memastikan bahwa refrigeran yang mengalir mengandung komposisi R125, R143A, dan R134A, maka sebaiknya refrigeran harus berada dalam fase cair, karena pada fase gas, salah satu unsur dari ketiganya bisa saja tidak terdapat didalamnya. Namun karena pada *suction line* kompresor refrigeran yang mengalir sebaiknya berfase gas, maka dibuat saluran pipa kapiler yang berfungsi untuk mengubah fase refrigeran tersebut dari cair menjadi gas.



Gambar 4.16 Saluran pipa kapiler pada pentil sistem *low-stage*

Jumlah massa refrigeran yang masuk kedalam sistem diatur *berdasarkan trial and error*, semakin banyak refrigeran mengalir dalam sistem, maka tekanan sistem akan semakin besar. Tekanan didalam pipa tidak boleh melewati 25 bar yang pada umumnya menjadi batas aman. Jika pada saat sistem dinyalakan tekanan menjadi lebih besar dari itu, maka refrigeran harus dikeluarkan melalui pentil yang dipasang, dengan demikian tekanan didalam pipa dapat berkurang.



Gambar 4.17 Proses *charging* refrigeran

4.3.2 Kalibrasi Alat Ukur

Sebelum proses pengujian dilakukan, alat ukur terlebih dulu dikalibrasi untuk mengukur ketepatan angka yang ditunjukkan oleh alat ukur. Proses kalibrasi dilakukan dengan menggunakan es sebagai bahan yang dicatat temperturnya dengan membandingkannya pada saat es tersebut mencair, dimana temperatur pada saat es mencair adalah 0°C . Hasil dari proses kalibrasi menunjukkan bahwa untuk menghitung temperatur pada titik yang sudah ditentukan perlu menambah selisih temperatur yang ditunjukkan oleh termometer digital dengan temperatur es mencair (0°C). Hasil dari kalibrasi adalah :

Tabel 4.3 Hasil kalibrasi termometer

	<i>High-stage</i>	<i>Low-stage</i>
<i>discharge line</i>	4 °C	2,8 °C
<i>suction line</i>	1,9 °C	0,8 °C
<i>Output ekspansi</i>	4,6 °C	0 °C
<i>Output kondenser</i>	0,3 °C	0 °C

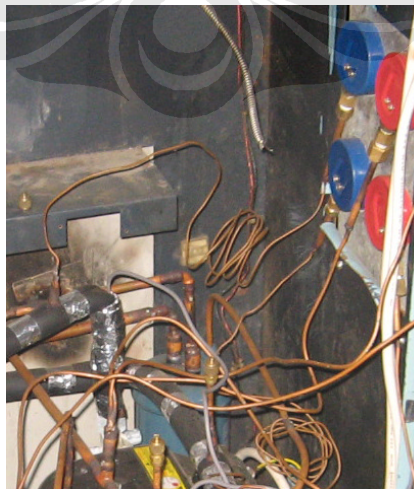
4.3.3 Pemasangan Alat Ukur

Alat ukur yang digunakan, yakni *pressure gage* dan termometer digital, dipasang dengan metode khusus. Probe termometer digital dipasang miring pada pipa dan dilapisi dengan *thermoflex* sebelum diisolasi.



Gambar 4.18 Pemasangan probe termometer digital

Sedangkan *pressure gage* dihubungkan dengan pipa kecil menuju ke pipa yang dilalui sistem. Pada bagian sambungan *pressure gage* dengan pipa juga diisolasi dengan *seal tape*.



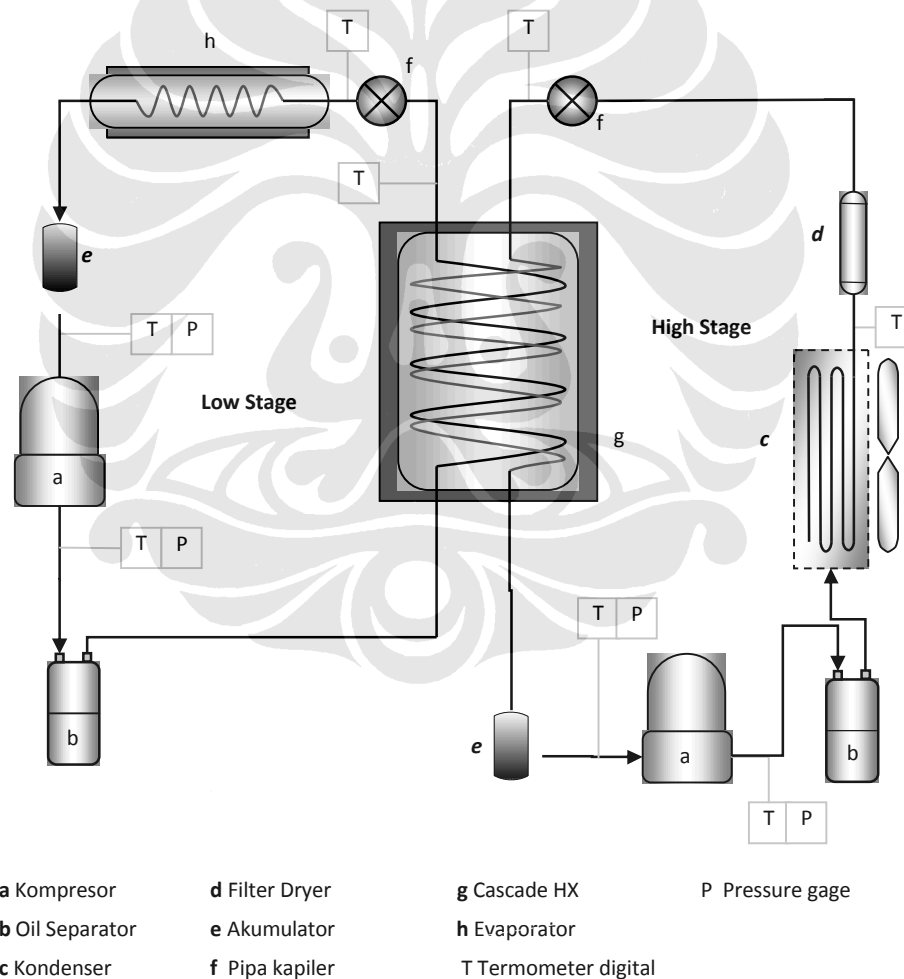
Gambar 4.19 Pemasangan *pressure gage*

4.4 KONDISI PENGUJIAN

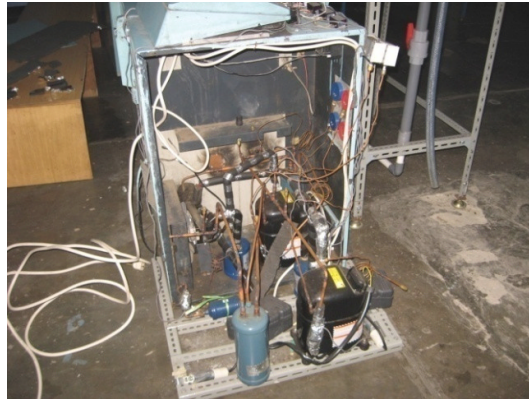
Kondisi pengujian dilakukan dengan temperatur lingkungan rata-rata sebesar 28,6-30°C dan RH 69-78%. Jarak tersebut dianggap wajar dan tidak mengakibatkan selisih temperatur yang signifikan pada termometer pada saat melakukan pengujian.

4.5 SKEMA PENGUJIAN

Pengujian sistem refrigerasi *cascade* yang dilakukan menggunakan skema sebagai berikut :



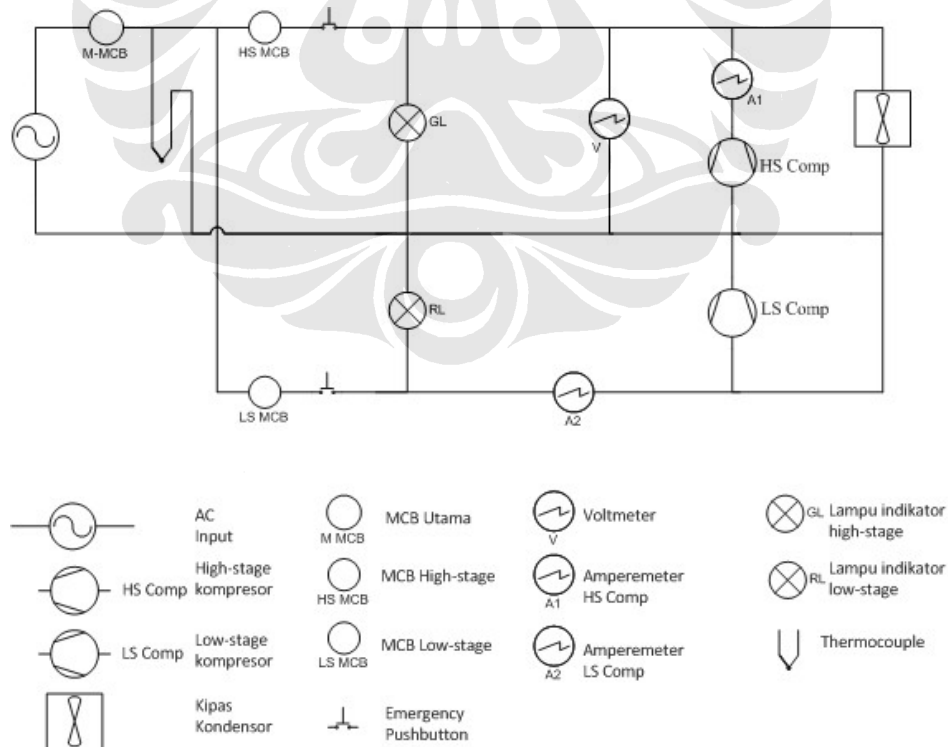
Gambar 4.20 Skema sistem refrigerasi *cascade* yang digunakan



Gambar 4.21 Alat sistem refrigrasi *cascade* yang digunakan

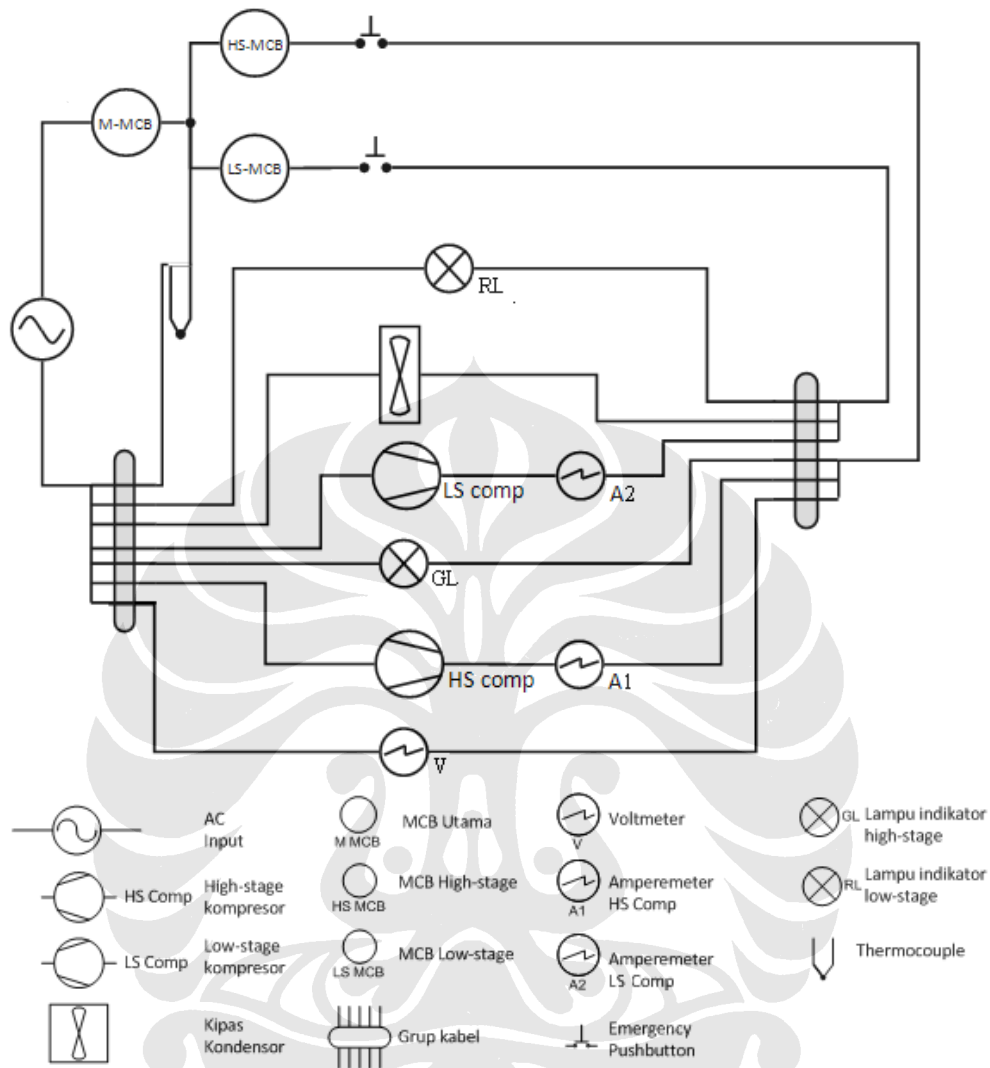
4.6 WIRING DIAGRAM

Sumber listrik yang digunakan untuk melakukan pengujian berasal dari listrik P2M. Skema diatas menunjukkan adanya kombinasi antara sirkuit paralel dengan seri. Beberapa alat tidak dapat menyala jika sebelumnya terdapat alat yang disusun secara seri yang tidak menyala. Sebagai contoh, kompresor tidak dapat menyala jika ternyata amperemeter yang digunakan tidak menyala. Perancangan sistem elektriknya menggunakan skema sebagai berikut:



Gambar 4.22 *Wiring* diagram

This document was created with the trial version of Print2PDF!
 Once Print2PDF is registered, this message will disappear!
 Purchase Print2PDF at <http://www.software602.com/>



Gambar 4.23 Penyusunan sistem elektris alat pengujian

4.7 PROSES PENGAMBILAN DATA

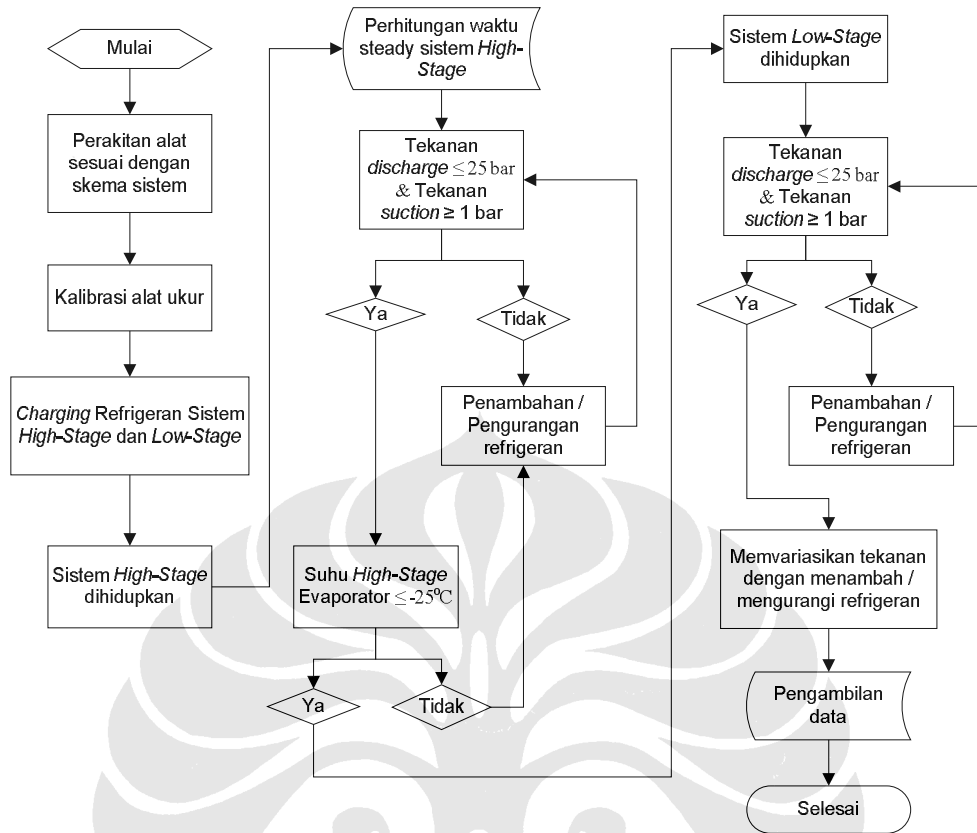
Data yang diambil dalam pengujian ini merupakan nilai yang terukur disetiap termometer dan *pressure gage* tiap satuan waktu tertentu. Kedua nilai tersebut dapat digunakan untuk mendapatkan nilai entalpi yang nantinya akan digunakan untuk mencari performa sebuah refrigeran dalam suatu sistem dengan persamaan-persamaan yang ada pada BAB 2.

Pengambilan data dilakukan setelah sistem berjalan dengan stabil. Jika sistem belum stabil, maka data yang ditunjukkan oleh alat ukur dapat ebrubah

cukup signifikan. Pengambilan data divariasikan dengan mengatur massa refrigeran yang mengalir didalam sistem *high-stage* sehingga didapat nilai suatu aliran massa tertentu yang menghasilkan kerja optimal dengan memperhatikan temperatur dan tekanan pada alat ukur. Pada dasarnya, perubahan massa refrigeran juga akan mengubah tekanan didalam sistem, jika massa refrigeran yang mengalir dalam sistem semakin banyak, maka tekanan akan bertambah tinggi.

Proses pengaturan massa refrigeran dilakukan dengan mengisi dan membuang refrigeran yang masuk ke sistem. Hal tersebut dilakukan sampai :

- Temperatur evaporator *high-stage* mencapai minimal.
- Temperatur *discharge line* pada kompresor yang tidak terlalu tinggi. Kompresor umumnya mampu bekerja hingga temperatur sekitar 100°C.
- Tekanan pada *suction line* yang lebih besar dari 1 bar. Pada umumnya, tekanan *suction line* yang semakin rendah akan menghasilkan temperatur evaporator yang semakin rendah, namun apabila tekanan terlalu rendah hingga mendekati vakum akan mengakibatkan perbedaan temperatur antara *discharge line* dengan *suction line* terlalu tinggi dan juga beresiko menguapkan oli yang digunakan sebagai pelumas didalam kompresor.
- Setelah mendapatkan konfigurasi optimal untuk sistem *high-stage*, pengujian dilanjutkan dengan menggunakan sistem *low-stage*. Sistem *low-stage* dinyalakan ketika temperatur evaporator *high-stage* cukup rendah untuk bisa mengambil beban panas dari kondenser *low-stage*. Kemudian mencari titik tekanan tertentu untuk membandingkan kinerjanya dengan konfigurasi tekanan lainnya. Pengaturan tekanan juga dilakukan dengan cara mengatur massa refrigeran yang masuk kedalam sistem.



Gambar 4.24 Flowchart proses pengujian