

## EFEK RASIO TEKANAN KOMPRESOR TERHADAP UNJUK KERJA SISTEM REFRIGERASI R 141B

Kristian Selleng \*

### Abstract

*The purpose of this research is to find the effect of compressor pressure ratio with respect to performance of refrigeration system that is used refrigerant R 141B with water cooling on evaporator and condensor. The performance of refrigeration system is represented by heat transfer on evaporator and condensor. This research used experiment method. The result of this research indicates that is no effect of compressor pressure ratio to heat transfer on evaporator, on the contrary there is increasing compressor pressure ratio due to decreasing of heat transfer on condensor.*

**Keyword:** Refrigerant

### 1. Pendahuluan

Mesin refrigerasi dirancang untuk mengkondisikan udara dalam suatu ruangan misalnya tempat bekerja, tempat penyimpanan bahan makanan ataupun bahan tertentu yang memerlukan pengkondisian udara. Oleh karena itu maka rancangan mesin refrigerasi diharapkan menghasilkan mesin untuk mengkondisikan ruangan yang memiliki temperatur, kelembaban serta distribusi udara yang sesuai dengan yang dipersyaratkan terhadap proses serta peralatan yang dipergunakan di dalam ruangan tersebut.

Berdasarkan tujuan perancangan dari sistem refrigerasi tersebut di atas, maka aspek teknis dari mesin yang sangat dominan dalam menentukan performansi sangat ditentukan oleh komponen utama dari mesin pendingin yang terdiri atas: kondensor, evaporator, kutub ekspansi dan kompresor serta faktor-faktor lain seperti sistem pendinginan kompresor maupun evaporator. Di samping parameter yang disebutkan di atas maka unjuk kerja sistem refrigerasi juga sangat dipengaruhi oleh rasio tekanan kompresor yang mengkompresi uap refrigeran dalam sistem refrigerasi.

Analisis tentang efek rasio tekanan kompresor terhadap unjuk kerja sistem refrigerasi yang direpresentasikan oleh perpindahan kalor di dalam evaporator maupun di dalam kondensor dimaksudkan untuk melihat karakteristik dari relasi parameter tersebut.

Bertitik tolak dari hal tersebut di atas maka dilakukan penelitian tentang efek rasio tekanan terhadap unjuk kerja sistem refrigerasi dengan menggunakan mesin Refrigerasi R633 yang menggunakan refrigerant R 141 B.

Tujuan penelitian ini ditujukan untuk mengetahui efek rasio tekanan kompresor terhadap unjuk kerja mesin refrigerasi yang direpresentasikan oleh besarnya laju perpindahan kalor air pendingin di evaporator dan kondensor.

Sementara kontribusi yang diharapkan pada penelitian ini adalah dapat memberikan informasi ilmiah tentang efek rasio tekanan kompresor terhadap unjuk kerja mesin refrigerasi, sehingga penetapan tekanan kerja dapat diatur untuk mendapatkan unjuk kerja yang optimal.

### 2. Tinjauan Pustaka

#### 2.1 Siklus refrigerasi

Siklus refrigerasi pada mesin pendingin R633 mengikuti diagram Molier dari refrigerant R 141B yang diperlihatkan pada Gambar 1.. Dalam siklus refrigerasi ada 4 proses termodinamis yang penting yaitu: penguapan, kompresi, pengembunan dan ekspansi.

- Proses D-A

Siklus DA adalah proses penguapan refrigerant di dalam evaporator. Evaporator adalah salah satu alat penukar kalor yang memiliki peranan

---

\* Staf Pengajar Program Studi D3 Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Tadulako, Palu

penting di dalam siklus refrigerasi yaitu mendinginkan media atau daerah disekitarnya. Evaporator yang digunakan di sini adalah evaporator jenis basah. Evaporator jenis basah, sebagian besar dari evaporator terisi oleh cairan refrigerant. Proses penguapannya terjadi seperti pada ketel uap. Gelembung refrigerant yang terjadi karena pemanasan akan naik, pecah pada permukaan cairan atau terlepas dari permukaannya. Sebagian refrigerant kemudian masuk ke dalam akumulator yang memisahkan uap dari cairan. Maka cairan yang ada dalam bentuk uap sajalah yang masuk ke dalam kompresor. Bagian refrigerant cair yang dipisahkan di dalam akumulator akan masuk kembali ke dalam evaporator, bersama-sama dengan refrigeran cair yang berasal dari kondensor. Tabung evaporator terisi oleh cairan refrigeran, cairan refrigerant menyerap kalor dari air pendingin yang mengalir di dalam pipa. Uap refrigerant yang terjadi dikumpulkan di bagian atas evaporator sebelum masuk ke kompresor. Selama proses penguapan berlangsung refrigerant berubah fasa dari cair menuju ke uap dan setelah menjadi uap secara keseluruhan (uap super panas) maka selanjutnya refrigerant tersebut siap diisap untuk dinaikkan tekanannya di dalam kompresor. Selama proses perubahan dari cair ke uap, refrigerant berada dalam keadaan isobar dan isotermal. Untuk menguapkan refrigerant tersebut maka refrigerant didinginkan oleh air pendingin yang mengalir di dalam pipa pendingin.

• Proses A-B

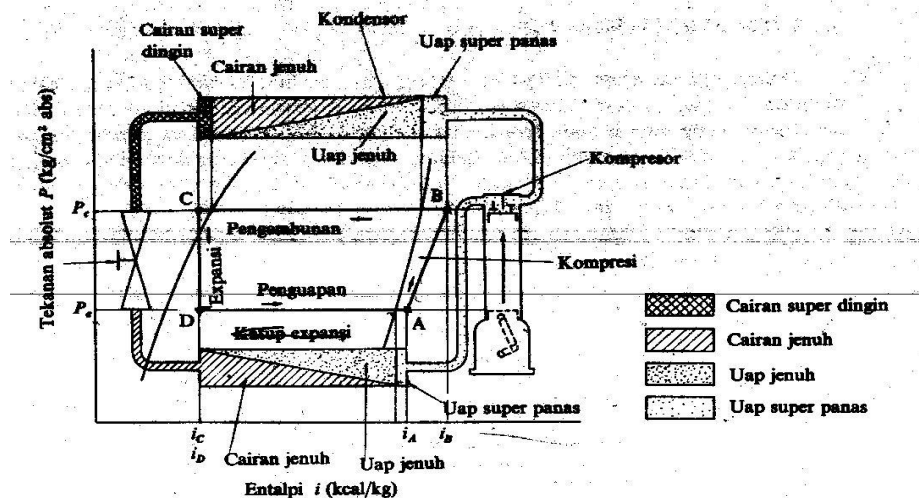
Siklus A-B adalah proses kompresi di dalam kompresor. Uap refrigerant tersebut dinaikkan temperatur dan tekanannya secara politropik. Namun karena prosesnya mendekati kompresi adiabatik (isentropis), maka dalam perhitungan dengan menggunakan Diagram Moiler proses kompresi tersebut dianggap adiabatik. Apabila uap refrigerant diisap masuk dan dikompresikan di dalam silinder kompresor mesin refrigerasi, maka perubahan tekanan gas refrigeran terjadi sesuai dengan perubahan volume yang diakibatkan oleh gerak yang mengakibatkan naiknya tekanan refrigerant. Selain tekanan uap refrigerant yang naik akibat kompresi di dalam kompresor selama langkah kompresi, temperaturnya pun akan naik. Laju kenaikan temperatur tersebut tergantung dari jenis refrigerant yang digunakan. Untuk proses kompresi adiabatik, antara temperatur dan tekanan uap refrigerant dapat ditentukan berdasarkan persamaan:

$$T_2 / T_1 = [P_2 / P_1]^{(k-1)/k} \dots\dots\dots[1]$$

Dimana:  $T_1$  dan  $T_2$  adalah temperatur sebelum dan sesudah kompresi

$P_1$  dan  $P_2$  adalah tekanan sebelum dan sesudah kompresi

Dari persamaan [1] dapat disimpulkan bahwa makin tinggi harga konstanta adiabatik [k] dari uap refrigerant maka makin tinggi pula kenaikan temperatur yang terjadi dalam proses kompresi tersebut.



Gambar 1. Diagram Molier dari siklus Refrigerasi

- Proses B-C

Siklus BC adalah proses kondensasi [pengembunan] di dalam kondensor. Pada akhir langkah kompresi, tekanan dan temperatur bertambah disertai dengan bertambahnya entalpi dari refrigerant tersebut. Selama mengalami pengembunan akibat melepaskan panas ke udara sekitarnya melalui media pendingin air di dalam pipa, maka uap refrigerant berangsur-angsur menjadi embun [cair]. Selama proses ini berlangsung maka tekanan dan temperatur refrigeran dipertahankan konstan sampai seluruhnya menjadi cair super dingin.

Kalor yang dikeluarkan di dalam kondensor adalah jumlah kalor yang diperoleh dari udara yang mengalir melalui evaporator [kapasitas pendinginan], dan kerja [energi] yang diberikan oleh kompressor kepada fluida kerja [refrigeran].

- Proses C-D

Siklus CD adalah proses ekspansi [penurunan tekanan di dalam katub ekspansi]. Cairan refrigeran super dingin mengalami penurunan tekanan pada entalpi konstan. Proses penurunan tekanan dari cairan refrigerant ini dimaksudkan untuk memudahkan penguapan kembali di dalam evaporator. Katub ekspansi yang digunakan adalah katub ekspansi termostatik yang dapat mengatur laju aliran refrigerant, yaitu agar derajat super panas uap refrigerant di dalam evaporator dapat diusahakan konstan.

## 2.2 Perhitungan perpindahan kalor dan rasio tekanan kompressor

- Perpindahan kalor pada evaporator

Laju perpindahan kalor air pendingin di dalam evaporator,  $Q_e$  dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$Q_e = m_e \cdot c_p \cdot (t_1 - t_2) \dots\dots\dots(2)$$

Dimana:

- $m_e$  = adalah *mass flowrate* air pendingin evaporator
- $c_p$  = adalah kapasitas panas pada tekanan konstan dari air pendingin
- $t_1$  = adalah temperatur air pendingin masuk evaporator
- $t_2$  = adalah temperatur air pendingin keluar evaporator

- Perpindahan kalor pada kondensor

Laju perpindahan kalor air pendingin di dalam kondensor,  $Q_c$  dihitung dengan menggunakan persamaa:

$$Q_c = m_c \cdot c_p \cdot (t_3 - t_4) \dots\dots\dots(3)$$

Dimana:

- $m_c$  = mass flowrate air pendingin evaporator
- $c_p$  = kapasitas panas pada tekanan konstan dari air pendingin
- $t_3$  = temperatur air pendingin masuk evaporator
- $t_4$  = temperatur air pendingin keluar evaporator

- Rasio kompressor

Rasio tekanan kompressor dihitung dengan persamaan berikut:

$$r_p = (p_c / p_e) \dots\dots\dots(4)$$

Dimana:

- $p_c$  = tekanan kondensor
- $p_e$  = tekanan evaporator

## 3. Metode Penelitian

### 3.1 Mesin dan peralatan yang digunakan

Mesin dan peralatan yang digunakan adalah 1 Unit refrigerasi R 633 dengan mesin refrigeran R 141B (Gambar 2 ) meliputi:

- Kompresor hermetic ½ PK
- Kondensor dengan cooling area 0,032 m<sup>2</sup>
- Evaporator Flooded type, cooling area 0,032 m<sup>2</sup>

Istrument pendukung yang digunakan adalah:

- Pressure gauge : 2 buah (range 100 sampai 250 kN m<sup>-2</sup> )
- Termometer : 5 buah ( range 0 sampai 50°C ), 2 buah ( range -10 sampai 110°C )
- Flow meter : 2 buah ( range 0 sampai 50 g/s )

### 3.2 Prosedur penelitian

Metode penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode eksperimen dengan prosedur kerja sebagai berikut:

- Unit Siklus refrigerasi R633 dijalankan pada kondisi normal da laju alira air pendingin pada evaporator diatur sehingga tekanan evaporator berada di bawah tekanan atmosfer.

- Udara yang ada di dalam sistem dibuang melalui venty air
- Mesin refrigerasi tersebut dijalankan beberapa menit untuk mencapai kondisi temperatur operasi normal kemudian dicatat semua temperatur sistem, tekanan dan mass flow air pendingin, juga dicatat laju kondensasi pada koil pendingin kondensor.
- Kurangi laju aliran air pendingin kondensor hingga tekanan kondensor meningkat sekitar  $5 - 10 \text{ kN/m}^2$ .
- Ulangi peningkatan tekanan kondensor ke kondisi yang dapat terbaca pada meteran pengukur laju aliran air kondensor, atau tekanan kondensor mencapai  $200 \text{ kN/m}^2$ .

refrigerasi pada tekanan atmosfer lokal:  $101 \text{ kN/m}^2$  disajikan pada tabel 1.

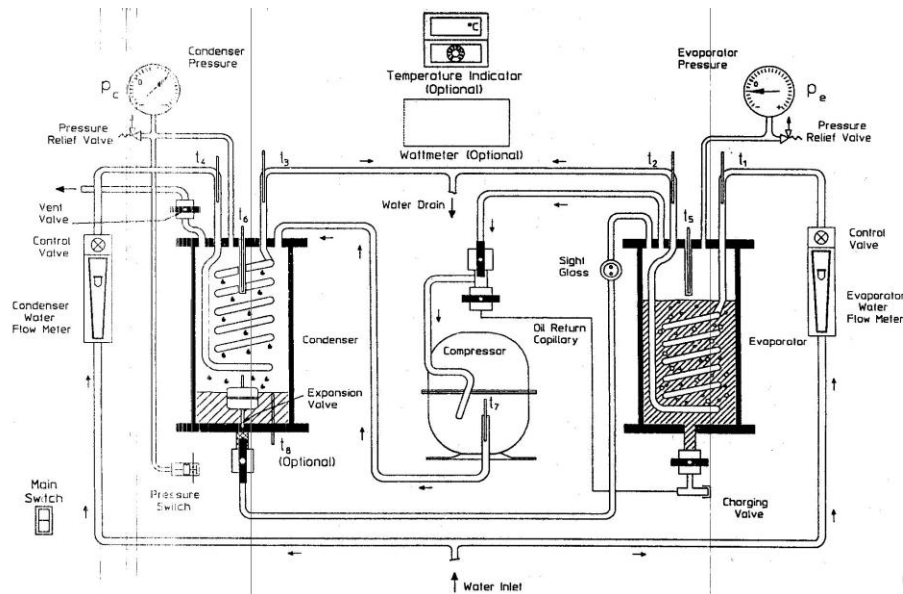
Dengan menggunakan formula (2), (3), (4) maka didapatkan besarnya nilai-nilai  $Q_e$ ,  $Q_c$  dan  $r_p$  yang disajikan pada tabel 2.

Selanjutnya nilai-nilai pada Tabel 2 di atas diplotkan dalam grafik dalam bentuk hubungan : rasio tekanan kompresor dengan Laju perpindahan kalor pada evaporator, kemudian hubungan rasio tekanan kompresor dengan Laju perpindahan kalor pada kondensor. Grafik-grafik tersebut dibuat untuk melihat efek/pengaruh antara variabel-variabel tersebut. Hubungan antara rasio tekanan kompresor dengan Laju perpindahan kalor pada evaporator digambarkan pada Gambar 2, sementara hubungan antara rasio tekanan kompresor dengan Laju perpindahan kalor pada kondensor diperlihatkan pada Gambar 3.

#### 4. Hasil dan Pembahasan

##### 4.1 Data hasil eksperimen

Data hasil eksperimen yang didapatkan dari hasil percobaan dengan menggunakan mesin unit



Gambar 2. Mesin Refreigerasi R 633

Tabel 1. Data hasil eksperimen pada Tekanan atmosfer lokal  $101 \text{ kN/m}^2$

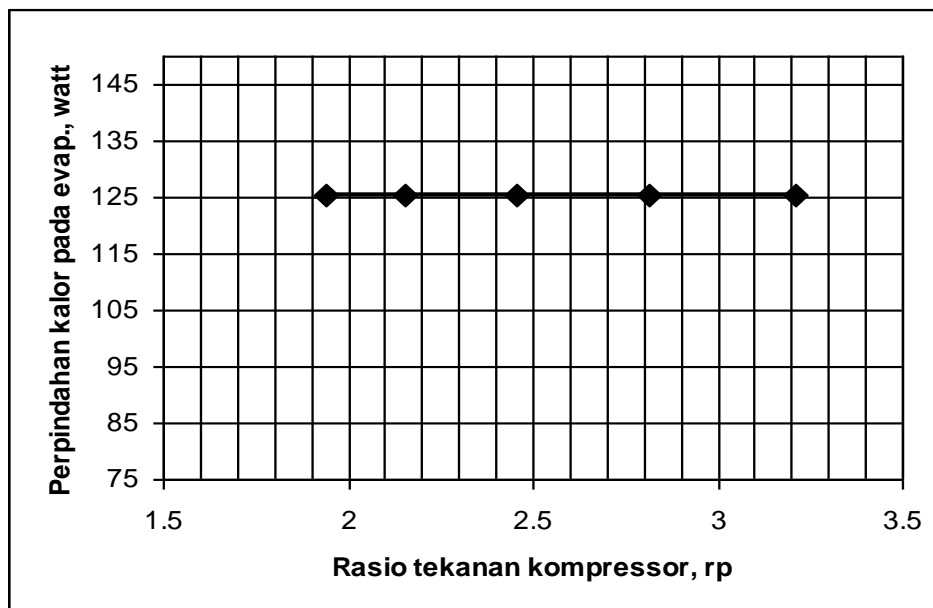
Nomor uji	1	2	3	4	5
Tekanan Ukur Evap. $p_e$ gauge ( $\text{kN/m}^2$ )	-67	-68	-68	-69	-68
Tekanan abs. Evap. $p_{e \text{ abs}}$ ( $\text{kN/m}^2$ )	34	33	33	32	33
Temperatur evaporator, $t_5$ ( $^{\circ}\text{C}$ )	7.0	3.5	3.5	3.5	3.5

Tabel 1 (lanjutan)

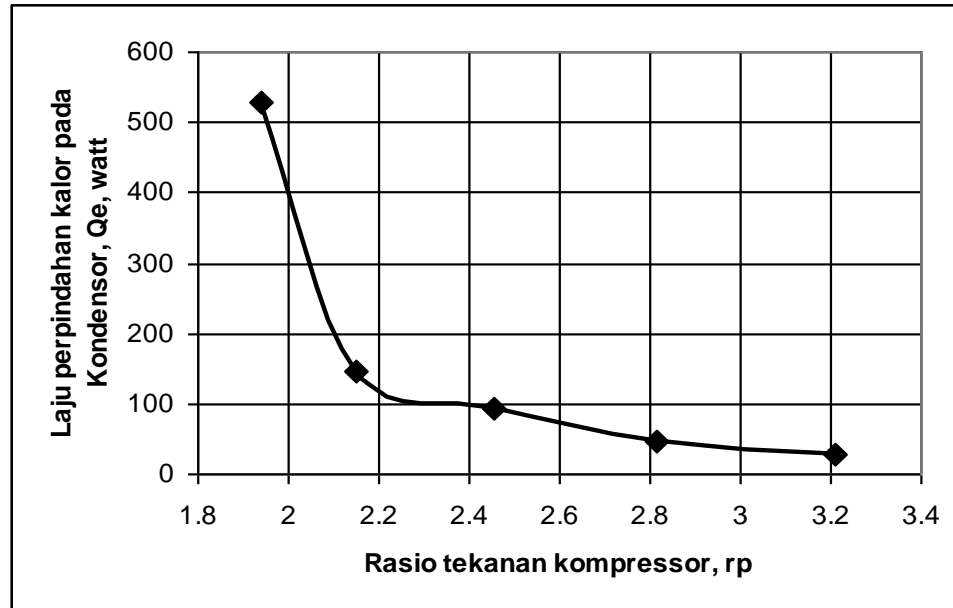
Nomor uji	1	2	3	4	5
Laju aliran massa air evap. $m_e$ (gm/s)	20	20	20	20	20
Temperatur air masuk evap. $t_1$ ( $^{\circ}$ C)	27	27	27	27	27
Temperatur air keluar evap. $t_2$ ( $^{\circ}$ C)	25.5	25.5	25.5	25.5	25.5
Tekanan ukur kond. $p_{c \text{ gauge}}$ , (kN/m <sup>2</sup> )	-40	-30	-20	-11	5
Tekanan abs. Kond. $p_{c \text{ abs}}$ (kN/m <sup>2</sup> )	61	71	81	90	106
Temperatur kondensor, $t_6$ , ( $^{\circ}$ C)	14.5	20	23.4	27.5	30.5
Laju aliran massa air Kond. $m_c$ (gm/s)	50	10	5	2	1
Temperatur air masuk Kond. $t_4$ ( $^{\circ}$ C)	27	27	27	27	27
Temperatur air keluar Kond. $t_3$ ( $^{\circ}$ C)	29.5	30.5	31.5	32.5	34

Tabel 2 .Hasil estimasi nilai  $Q_e$ ,  $Q_c$  dan  $r_p$

Perpindahan kalor pada Evap. $Q_e$ (w)	125.4	125.4	125.4	125.4	125.4
Perpindahan kalor pada Kond. $Q_c$ (w)	527.5	146.3	94.05	45.98	29.26
Rasio tekanan kompresor, $r_p$	1.941	2.151	2.454	2.813	3.212



Gambar 3. Grafik hubungan antara rasio tekanan kompresor dengan Laju perpindahan kalor pada evaporator



Gambar 4 . Grafik hubungan antara rasio tekanan kompresor dengan laju perpindahan kalor pada kondensor

Berdasarkan grafik pada Gambar 3, terlihat bahwa tidak ada pengaruh rasio tekanan kompresor terhadap Laju perpindahan kalor pada evaporator. Hal ini menunjukkan bahwa kenaikan rasio tekanan pada kompresor tidak mempengaruhi energi yang hilang ke air pendingin. Selanjutnya pada Gambar 4 terlihat bahwa terdapat pengaruh signifikan rasio tekanan kompresor terhadap Laju perpindahan kalor pada kondensor dimana naiknya rasio tekanan kompresor mengakibatkan turunnya Laju perpindahan kalor pada kondensor. Hal tersebut menunjukkan bahwa kenaikan rasio tekanan kompresor menurunkan kerugian/kehilangan energi pada kondensor, namun hal ini perlu dibatasi karena akan berakibat pada tidak efektifnya fungsi pendingin pada kondensor.

### 5. Kesimpulan

Berdasarkan hasil eksperimen dan analisis yang telah dilakukan dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

- Rasio tekanan kompresor tidak berpengaruh terhadap Laju perpindahan kalor pada evaporator
- Rasio tekanan kompresor berpengaruh terhadap laju perpindahan kalor pada

kondensor, dimana peningkatan rasio tekanan kompresor menurunkan laju perpindahan kalor pada kondensor.

### 6. Daftar Pustaka

- Arismunandar, Wiranto, 1981, *Penyegar Udara*, PT. Pradnja Paramita, Jakarta
- Holman, J.P., 1997, *Perpindahan Kalor*, Penerbit Erlangga, Jakarta
- P.A. Hilton, 1997, *Experimental Operating and Maintenance Manual Refrigeration Cycle Demonstration Unit R633*, Horsebridge, England
- Patabang, Daud, Kristian Seleng, 2003, *Efek Temperatur Evaporasi dan Kondensasi terhadap Laju Refrigerant dan Luaran Kalor pada Sistem Pendingin*, Majalah Ilmiah Mektek Tahun V no. 12.
- Joel Rayner, nd., *Basic Engineering Thermodynamic in SI Unit*, Longman Group Limited