

Kajian Variasi Temperatur Kerja Terhadap Efisiensi Volumetrik Kompresor Piston dan Kinerja Sistem Refrigerasi Kompresi Uap

Lola Juliawati^{1,*}, Windy Hermawan Mitrakusuma², Bowo Yuli Prasetyo³,
Muhammad Akmal⁴

^{1,2,3,4}Jurusan Teknik Refrigerasi dan Tata Udara, Politeknik Negeri Bandung, Bandung 40012
E-mail : ^{1,*}lola.juliawati.tptu419@polban.ac.id; ²windyhm@polban.ac.id; ³bowo_yuli@polban.ac.id;
⁴muhammad.akmal@polban.ac.id

ABSTRAK

Beberapa jenis kompresor yang sering digunakan salah satunya kompresor piston atau bisa juga disebut sebagai kompresor *reciprocating*. Kelebihan pada kompresor piston diantaranya mempunyai daerah operasi dengan tekanan kerja yang tinggi serta *maintenance* yang mudah. Dalam penggunaannya, kemampuan kompresor pada sistem dapat diketahui menggunakan efisiensi volumetrik pada kompresor. Efisiensi volumetrik ini didefinisikan sebagai nilai perbandingan antara volume refrigeran yang dihisap oleh kompresor dengan volume langkah pada kompresor. Penelitian ini dilakukan dengan memvariasikan parameter menggunakan REFPROP *Software* lalu diintegrasikan dengan Microsoft Excel. Parameter yang divariasikan adalah temperatur kondensasi dan temperatur evaporasi serta *superheat*. Hasil akhir dari penelitian ini menunjukkan kenaikan pada kinerja sistem saat efisiensi volumetrik semakin tinggi pada temperatur evaporasi 10 °C dan temperatur kondensasi 40 °C, serta *superheat* 0 K. Efisiensi volumetrik tertinggi yang didapatkan yaitu 84,90% dengan faktor *clearance* 5%. Kapasitas pendinginan tertinggi pada kondisi temperatur kerja tersebut adalah 20,49 kW, dan perbandingan rata-rata kapasitas pendinginan antara katalog kompresor dengan hasil perhitungan pada kondisi tersebut adalah 2,15%.

Kata Kunci

kompresor reciprocating, efisiensi volumetrik, kapasitas pendinginan, REFPROP Software

1. PENDAHULUAN

Kompresor digunakan untuk menekan fluida yang akan dialirkan pada sistem. Fluida tersebut berupa gas bertekanan rendah yang kemudian ditekan menjadi gas bertekanan tinggi. Kemampuan kompresor piston pada sistem dapat diketahui dengan perhitungan efisiensi volumetrik [1]. Efisiensi volumetrik ini akan dihitung pada berbagai model kompresor piston. Perbedaan kompresor piston dengan kompresor lainnya, salah satunya mempunyai nilai faktor *clearance* [2]. Faktor *clearance* mempunyai pengaruh pada efisiensi volumetrik, semakin kecil nilai faktor *clearance* maka efisiensi volumetrik juga akan semakin tinggi. Efisiensi volumetrik sangat erat kaitannya dengan faktor *clearance*, saat terjadi pengurangan volume *clearance* akan terjadi peningkatan pada efisiensi volumetrik [3]. Pada beberapa kompresor piston nilai faktor *clearance* akan berbeda-beda, hal tersebut akan menentukan kemampuan kompresor piston pada suatu sistem refrigerasi [4]. Pengaruh lainnya yang berkaitan dengan nilai efisiensi volumetrik yaitu efek pendinginan atau refrigerasi, sehingga nilai

kapasitas pendinginan pada suatu sistem juga akan bergantung pada nilai efisiensi volumetrik. Dengan mengetahui efisiensi volumetrik hal ini akan menentukan seberapa bagus sistem refrigerasi yang akan dirancang [5].

Selain itu dengan memvariasikan nilai temperatur kerja pada sistem refrigerasi maka efek refrigerasi juga akan berubah-ubah. Hal tersebut akan berhubungan dengan efisiensi volumetrik pada kompresor dan juga kinerja pada sistem. Dalam menganalisis efisiensi volumetrik pada kompresor piston yaitu dengan melihat pengaruh faktor *clearance* terhadap efisiensi volumetrik dan kinerja sistem seperti kapasitas pendinginan, daya kompresor dan juga efisiensi sistem pada siklus refrigerasi kompresi uap sederhana.

2. METODOLOGI

2.1 Metode Penelitian

Metode penelitian yang dilakukan pada penelitian ini berupa analisa grafik pengaruh perubahan temperatur kerja terhadap efisiensi volumetrik dan kinerja sistem pada siklus refrigerasi kompresi uap pada siklus sederhana. Perhitungan pada penelitian ini menggunakan REFPROP *Software* yang diintegrasikan

dengan Microsoft Excel. Penelitian dilakukan pada tiga model kompresor piston/*reciprocating* dengan *piston displacement* yang berbeda diantaranya yaitu 48.50 m³/h, 56.25 m³/h, dan 63.5 m³/h yang menggunakan R-134a, serta variasi parameter berdasarkan medium temperatur [6]. Selain itu, refrigeran ini banyak digunakan karena dapat menghasilkan efek refrigerasi dan COP yang cukup baik [7]. Variasi parameter pada penelitian ini, yaitu:

1. Variasi temperatur evaporasi -10 °C, -15 °C, -20 °C.
2. Variasi temperatur kondensasi 40 °C, 45 °C, 50 °C.
3. Variasi efek *superheat* 0 K, 5 K, 10 K

Persamaan *piston displacement* atau volume langkah dinyatakan pada Persamaan (1). Persamaan faktor *clearance* pada kompresor *reciprocating* dinyatakan pada Persamaan (2) [8]. Persamaan efisiensi volumetrik kompresor dinyatakan pada Persamaan (3). Persamaan kapasitas pendinginan pada sistem refrigerasi kompresi uap dinyatakan pada Persamaan (4). Persamaan daya kompresor dinyatakan pada Persamaan (5). Persamaan efisiensi sistem refrigerasi kompresi uap dinyatakan pada Persamaan (6).

$$PD = \frac{\pi}{4} \cdot D^2 \cdot L \cdot N \cdot n \quad (1)$$

$$C = \frac{V_{clearance}}{PD} \quad (2)$$

$$\eta_v = 1 + C - C \left(\frac{P_d}{P_s} \right)^{1/n} \quad (3)$$

$$Q_e = \dot{m} (q_e) \quad (4)$$

$$Q_w = \dot{m} (q_w) \quad (5)$$

$$\eta = \frac{COP_{aktual}}{COP_{carnot}} \quad (6)$$

Keterangan:

PD = *piston displacement* [m³/h]
D = diameter silinder (*bore*) [dm]
L = panjang langkah piston (*stroke*) [dm]
N = revolusi poros engkol per detik [RPS]
n = jumlah silinder
C = faktor *clearance*
V_{clearance} = volume Clearance (volume sisa) [L/s]
η_v = efisiensi volumetrik [%]
P_d = tekanan *discharge* [kPa]
P_s = tekanan *suction* [kPa]
n = *heat specific ratio* (Cp/Cv)
Q_e = kapasitas pendinginan [kW]
ṁ = laju aliran massa refrigeran [kJ/kg]
q_e = efek refrigerasi [kJ/kg]
Q_w = daya kompresor [kW]
q_w = kerja kompresi [kJ/kg]

η = efisiensi sistem refrigerasi [%]
COP = *coefficient of Performances*

Kompresor yang digunakan yaitu kompresor *semi-hermetic reciprocating* yang berjumlah tiga unit. Spesifikasi pada ketiga kompresor dapat dilihat pada Tabel 1

Tabel 1. Spesifikasi kompresor

No	Model Kompresor	n	L	D	N
1	Model 1	4	0.42	0.65	24,166
2	Model 2	4	0.42	0.7	24,166
3	Model 3	4	0.55	0.65	24,166

REFPROP merupakan *software* program yang dipakai untuk mencari sifat-sifat termodinamika pada suatu fluida untuk keadaan tertentu. REFPROP diambil dari singkatan *Reference Fluid Thermodynamic and Transfer Properties* yang dikembangkan oleh *National Institute of Standards and Technology* (NIST). Berikut persamaan rumus yang akan dipakai pada REFPROP *Software* dinyatakan pada Persamaan (7)

$$= \text{refprop}(\text{"data1"}, \text{"data2"}, \text{"data4"}, \text{data5"}) \quad (7)$$

Keterangan:

data1 = parameter yang ingin dicari
data2 = fluida kerja yang diketahui
data3 = parameter yang diketahui
data4 = satuan
data5 = nilai parameter yang diketahui

2.2 Data yang Diperlukan

Penelitian ini memerlukan beberapa data penunjang untuk mengetahui kinerja sistem. Data-data tersebut ditunjukkan pada Tabel 2

Tabel 2. Data yang diperlukan

No	Parameter	Satuan
1	Temperatur Evaporasi (Te)	°C
2	Temperatur Kondensasi (Tk)	°C
3	<i>Superheat</i>	K
4	<i>Piston Displacement</i> (PD)	m ³ /h
5	Faktor <i>Clearance</i> (C)	%
6	Tekanan <i>Suction</i> (Ps)	kPa
7	Tekanan <i>Discharge</i> (Pd)	kPa
8	Kalor Spesifik Tekanan Konstan (Cp)	[(kJ/kg)/K]
9	Kalor Spesifik Volume Konstan (Cv)	[(kJ/kg)/K]
10	Volume Hisap (V)	m ³ /h
11	<i>Density</i> (ρ)	kg/m ³
12	Laju Aliran Massa Refrigeran (ṁ)	kg/s
13	Entalpi 1 (keluar kompresor) (h1)	kJ/kg
14	Entalpi 2 (keluar kompresor) (h2)	kJ/kg
15	Entalpi 3 (keluar kondensator) (h3)	kJ/kg
16	Entalpi 4 (masuk evaporator) (h4)	kJ/kg
17	Entropi 1 (masuk kompresor) (s1)	kJ/kg.K

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Data perhitungan didapatkan dari pengolahan data di Microsoft Excel yang sudah diintegrasikan dengan REFPROP Software kemudian dikaji dengan membuat grafik yang akan di analisa pengaruh temperatur kerja terhadap efisiensi volumetrik dan kinerja pada sistem. Penelitian dilakukan dengan membandingkan terlebih dahulu hasil kapasitas pendinginan dari katalog kompresor *reciprocating* dengan hasil perhitungan kapasitas pendinginan menggunakan Microsoft Excel. Didapatkan hasil faktor *clearance* untuk tiga model kompresor diantaranya yaitu:

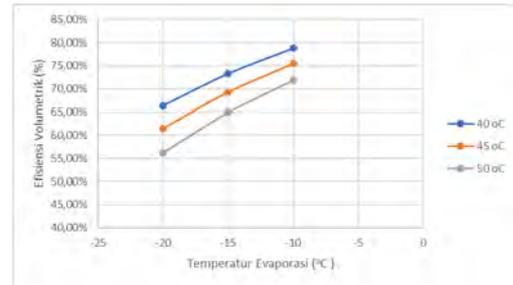
Tabel 3. Perbandingan pada tiga model kompresor

Model kompresor	Piston Displacement	Faktor Clearance	Rata-Rata Perbandingan
Model 1	48,50 (m3/h)	7%	2,07%
Model 2	56,25 (m3/h)	6%	1,14%
Model 3	63,50 (m3/h)	5%	2,15%

Tabel 3 menunjukkan nilai faktor *clearance* yang mendekati kapasitas pendinginan pada katalog kompresor. Faktor *clearance* tersebut akan digunakan untuk perhitungan selanjutnya.

3.1 Variasi Temperatur Kerja Terhadap Efisiensi Volumetrik

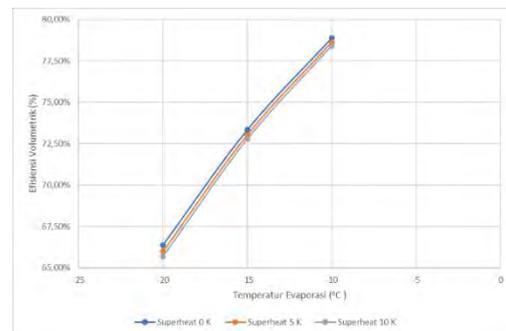
Gambar 1 menunjukkan bahwa nilai efisiensi volumetrik akan semakin besar saat temperatur evaporasi lebih tinggi dan juga temperatur kondensasi yang lebih rendah pada faktor *clearance* yang sama yaitu 7%, efisiensi volumetrik tertinggi berada pada titik temperatur evaporasi -10 °C dan temperatur kondensasi 40 °C dengan efisiensi volumetrik yang didapatkan adalah 78,87 %. Hal ini disebabkan karena tekanan *suction* atau masukan kompresor lebih tinggi pada saat temperatur evaporasi yang lebih tinggi namun tekanan *discharge* atau keluaran kompresor lebih rendah pada saat temperatur kondensasi yang juga lebih rendah. Selain itu nilai Cp/Cv pada masing-masing variasi temperatur akan berbeda-beda, namun pada titik tersebut nilai Cp/Cv lebih tinggi dibandingkan dengan titik yang lain.



Gambar 1. Pengaruh temperatur kerja terhadap efisiensi volumetrik

3.2 Variasi Superheat Terhadap Efisiensi Volumetrik

Gambar 2 terlihat bahwa terjadi kenaikan efisiensi volumetrik saat berada pada titik temperatur evaporasi -10 °C pada garis *superheat* 0 K dengan berwarna biru. Terlihat bahwa semakin besar *superheat* maka efisiensi volumetrik akan semakin menurun meskipun perbedaannya sedikit karena penambahan *superheat* 5 K dan 10 K. Kenaikan efisiensi volumetrik ini terjadi karena nilai Cp/Cv pada parameter tersebut lebih besar. Dengan ditambahkannya *superheat*, entalpi pada masukan kompresor menjadi lebih besar dibandingkan dengan tidak ada *superheat*. Selain itu penambahan *superheat* juga berdampak pada entropi pada sistem refrigerasi, semakin besar *superheat* maka entropi juga akan semakin besar. Pada grafik efisiensi volumetrik tertinggi yaitu 78,87%.



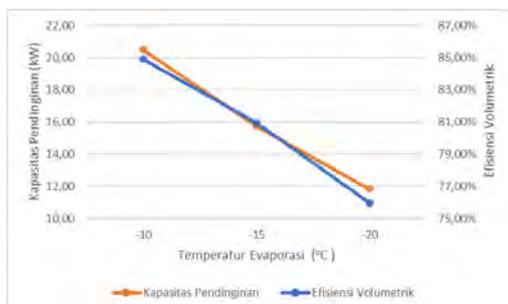
Gambar 2. Pengaruh *superheat* terhadap efisiensi volumetrik

3.3 Pengaruh Efisiensi Volumetrik Terhadap Kinerja Sistem

Dengan adanya pengaruh temperatur kerja terhadap efisiensi volumetrik, maka akan berpengaruh juga dengan kinerja sistem refrigerasi kompresi uap pada siklus sederhana. Kinerja sistem yang dibandingkan dengan efisiensi volumetrik ini diantaranya seperti kapasitas pendinginan, daya kompresor, dan efisiensi sistem refrigerasi.

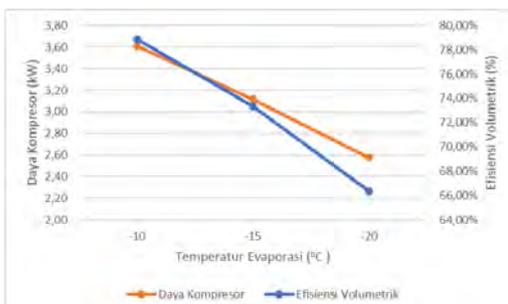
Gambar 3 menunjukkan bahwa semakin tinggi efisiensi volumetrik maka akan terjadi kenaikan

juga pada kapasitas pendinginan, semakin turun efisiensi volumetrik maka kapasitas pendinginan juga akan semakin menurun. Hal ini disebabkan karena pengaruh laju aliran massa refrigeran untuk kapasitas pendinginan pada siklus sederhana, karena laju aliran massa refrigeran akan bergantung pada volume yang dihisap kompresor [9]. Seperti yang sudah diketahui bahwa efisiensi volumetrik merupakan perbandingan antara volume refrigeran yang dihisap oleh kompresor dan juga volume langkah pada kompresor maka akan membuktikan bahwa kenaikan efisiensi volumetrik akan menaikkan juga kapasitas pendinginan pada sistem refrigerasi kompresi uap. Efisiensi volumetrik tertinggi yang didapatkan pada temperatur evaporasi $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ dan temperatur kondensasi $40\text{ }^{\circ}\text{C}$ adalah $84,90\%$ lalu kapasitas pendinginan yang didapatkan adalah $20,49\text{ kW}$.



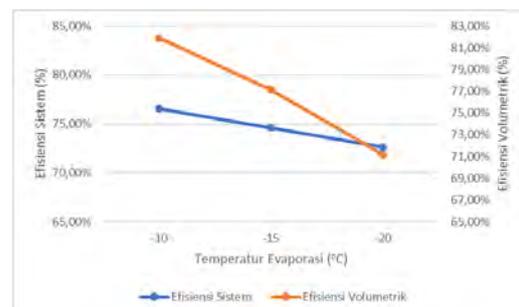
Gambar 3. Perbandingan efisiensi volumetrik dan kapasitas pendinginan

Gambar 4 menunjukkan bahwa garis daya kompresor menunjukkan penurunan saat temperatur evaporasi semakin rendah dikarenakan tekanan *suction* pada sistem lebih tinggi dibandingkan pada temperatur $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$ dan $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$. Hal ini juga sama dengan garis efisiensi volumetrik yang menunjukkan penurunan saat temperatur evaporasi yang sama. Didapatkan daya kompresor tertinggi pada temperatur evaporasi $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ dan temperatur kondensasi $40\text{ }^{\circ}\text{C}$ adalah $3,60\text{ kW}$ sedangkan efisiensi volumetrik yang diperoleh yaitu $78,87\%$.



Gambar 4. Perbandingan efisiensi volumetrik dan daya kompresi

Gambar 5 terlihat bahwa terdapat hubungan secara tidak langsung pada efisiensi volumetrik dan efisiensi sistem. Pada temperatur evaporasi $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ efisiensi sistem dan juga efisiensi volumetrik berada pada nilai tertinggi yaitu $81,89\%$ untuk efisiensi volumetrik dan $76,56\%$ untuk efisiensi sistem. Hal ini menunjukkan hubungan efisiensi volumetrik dan efisiensi sistem secara tidak langsung karena pada efisiensi sistem untuk mendapatkan COP aktual nilai laju aliran massa akan saling menghilangkan sehingga yang mempengaruhi hanya efek refrigerasi dan kerja kompresi pada sistem refrigerasi.



Gambar 5. Perbandingan efisiensi volumetrik dan efisiensi sistem

4. KESIMPULAN

Kesimpulan yang diperoleh setelah melakukan kajian penelitian ini adalah:

1. Perubahan temperatur kerja menunjukkan perbedaan efisiensi volumetrik. Efisiensi volumetrik tertinggi berada pada temperatur evaporasi $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ dan temperatur kondensasi $40\text{ }^{\circ}\text{C}$. Semakin tinggi temperatur evaporasi maka efisiensi volumetrik akan semakin tinggi namun berkebalikan dengan temperatur kondensasi. Efisiensi volumetrik tertinggi pada model kompresor 1 adalah $78,87\%$ dengan faktor *clearance* yang mendekati katalog 7% , pada model kompresor 2 diperoleh efisiensi volumetrik tertinggi sebesar $81,89\%$ dengan faktor *clearance* yang mendekati 6% , dan model kompresor 3 diperoleh nilai tertinggi sebesar $84,90\%$ dengan faktor *clearance* yang mendekati 5% .
2. Terjadi peningkatan pada kinerja sistem yang sudah ditunjukkan pada grafik ketika efisiensi volumetrik pada kompresor semakin tinggi. Efisiensi volumetrik dengan kinerja sistem berhubungan dengan laju aliran massa refrigeran pada sistem refrigerasi. Semakin besar laju aliran massa refrigeran maka semakin tinggi kinerja pada sistem.

5. SARAN

Penelitian selanjutnya, dapat dilakukan untuk menambahkan parameter yang divariasikan dan menggunakan faktor *clearance* yang benar-benar sesuai dengan spesifikasi pada katalog kompresor.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Achmad Thariq, Q. U. I. L. I. M. (2016). Rancang Bangun Sistem Refrigerasi Kompresi Uap 0,5 HP Dengan Menggunakan Refrigeran R22 (R-22) (Doctoral dissertation, Universitas Darma Persada).
- [2] Grolier, P. (2002). *A Method To Estimate The Performance Of Reciprocating Compressors CORE View metadata, citation and similar papers at core.ac.uk provided by Purdue E-Pubs*. <https://docs.lib.purdue.edu/icec>
- [3] Lubis, Y. A., & Wonoyudo, B. D. (2014). Karakteristik Getaran dan Efisiensi pada Valve Seat Sisi Discharge. *Jurnal Teknik Pomits*, 3(1), 7–52.
- [4] Widodo, I. G., K. A., Gutomo, A. P. G., & Safriana, E. S. (2022). Pengujian Unjuk Kerja (Performance) Kompresor Torak Multi Stage Dengan Tabung Tambahan Pada Saluran Keluaran Pada Silinder Pertama. http://www.academia.edu/8695661/makalah-kompresor_2
- [5] Wahyudi, A. A., & Soewono, A. D. (2019). Pengukuran Efisiensi Volumetrik Untuk Motor Bensin Berbasis Karburator. *Cylinder: Jurnal Ilmiah Teknik Mesin*, 5(1), 18-22.
- [6] ASHRAE, *Ashrae Handbook 2016, Fundamentals*, SI Edition, atlanta; published by the American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers, Inc.
- [7] Wilis, G. R. (2011). Penggunaan Refrigeran R22 dan R134a pada Mesin Pendingin. *OSEATEK*, (08).
- [8] C P Arora. (1994). *Refrigeration And Air Conditioning Third Edition*. New Delhi:Tata McGraw-Hill Publishing Company Limited.
- [9] Yuswandi, A. (2007). Pengujian Unjuk Kerja Sistem AC Mobil Statik Eksperimen Menggunakan Refrigeran CFC-12 dan HFC-134A Dengan Variasi Putaran (RPM) Kompresor.