

EFEK VARIASI BEBAN PENDINGINAN TERHADAP *COEFFICIENT OF PERFORMANCE* (COP) ALAT UJI PENGUKURAN KOEFISIEN EVAPORASI MENGGUNAKAN REFRIGERAN R-134A

Muhammad Akhid Riza¹, Tito Hadji Agung Santosa², Thoharudin³

Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta
Jalan Lingkar Selatan Tamantirto, Kasihan, Bantul, DI Yogyakarta, Indonesia, 55183
muhhammad.akhid.riza@gmail.com

Intisari

Pengkajian pengaruh beban pendinginan terhadap *Coefficient of Performance* (COP) sangat penting dilakukan. *Coefficient of Performance* (COP) berkaitan dengan kerja kompresor dan kapasitas refrigerasi agar tercipta suatu sistem pendingin yang memiliki nilai COP yang tinggi. Nilai COP tinggi dapat dicapai dengan kerja kompresor minimal namun memiliki kapasitas refrigerasi maksimal. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui efek variasi beban pendinginan terhadap performa alat uji pengukuran koefisien evaporasi. Dengan mengetahui perubahan performa terhadap variasi beban pendinginan, maka dapat bermanfaat dalam perancangan sistem pengkondisian udara yang efektif dan efisien.

Metode pengambilan data yang dilakukan adalah dengan metode eksperimental. Dengan memvariasikan laju aliran massa air (*cooling load*) menuju evaporator. Evaporator direndam dalam suatu bak berukuran 30 cm x 15 cm x 20 cm yang akan diisi air. Debit air bisa divariasikan dan diukur debitnya menggunakan rotameter. Refrigeran yang digunakan adalah R-134a. Percobaan dilakukan menggunakan alat uji pengukuran koefisien evaporasi. Alat ini adalah peraga sebuah sistem refrigerasi yang dimodifikasi dengan menambahkan perangkat *orifice*, seksi uji, dan heater. Termokopel dan *pressure gauge* dipasang pada titik-titik yang sudah ditentukan. Termokopel dan *pressure gauge* digunakan untuk pengambilan data temperatur dan tekanan. Setelah dilakukan pengujian dengan variasi *cooling load* evaporator yang berbeda, didapatkan data temperatur dan tekanan. Selanjutnya berdasarkan nilai tekanan dan temperatur didapatkan nilai entalpi untuk menghitung daya kompresor. Kapasitas refrigerasi dapat dihitung dari jumlah kalor yang diserap evaporator dari air dibagi dengan laju aliran massa refrigeran yang melewati evaporator.

Dalam penelitian ini didapatkan hasil bahwa *cooling load* yang diberikan pada evaporator mempengaruhi COP alat uji. Dengan semakin naiknya *cooling load* pada variasi yang ditentukan, akan terus menaikkan *Coefficient of Performance* (COP) alat uji. Pada penelitian ini didapatkan hasil kenaikan COP pada beberapa variasi laju aliran massa refrigeran. Hasil tertinggi didapatkan pada range variasi Inverter terendah yaitu 16 Hz ($\dot{m}_r = 9,4 \text{ g/s} - 10,26 \text{ g/s}$) dan variasi beban pendinginan tertinggi yaitu 2 LPM dengan nilai COP 4,96. Sedangkan hasil terendah didapatkan pada range variasi Inverter tertinggi yaitu 24 Hz ($\dot{m}_r = 11,83 \text{ g/s} - 12,25 \text{ g/s}$) dan variasi beban pendinginan terendah yaitu 1 LPM dengan nilai COP 1,98.

Kata kunci : Alat uji, R-134a, *Cooling load*, *Coefficient of Performance* (COP)

1. Pendahuluan

Sistem pengkondisian udara mutlak diperlukan pada lingkungan yang tidak mampu dikondisikan hanya dengan sistem ventilasi biasa. Indonesia berada di wilayah khatulistiwa, pada waktu tertentu wilayah Indonesia berada pada kondisi termal yang panas. Maka diperlukan sistem pengkondisian udara khususnya sistem pendinginan untuk mencapai kenyamanan termal. Tujuan utama sistem pengkondisian udara adalah untuk menjaga keadaan udara di dalam ruangan agar tetap nyaman. Temperatur ruangan menjadi salah satu kriteria penting dalam usaha mencapai kenyamanan termal. Kemampuan suatu mesin pendingin dalam memindahkan kalor disebut kapasitas pendinginan. Mesin pengkondisian udara yang memiliki kapasitas pendinginan yang besar tentunya dicari agar bisa memindahkan kalor yang banyak dalam satu ruangan. Salah satu usaha untuk meningkatkan kapasitas pendinginan adalah dengan memvariasikan beban pendinginan.

Beban pendinginan adalah jumlah kalor yang dipindahkan oleh sistem pengkondisian udara tiap satuan waktu (Anwar, 2010). Beban pendinginan terdiri dari panas ruangan dan tambahan panas yang berasal dari penerangan, alat elektronik, dan makhluk hidup. Beban pendinginan secara langsung

akan berpengaruh terhadap performa mesin pengkondisian udara. Pengkajian pengaruh beban pendinginan terhadap *Coefficient of Performance* (COP) sangat penting dilakukan. Karena suatu mesin pendingin yang memiliki nilai COP tinggi itu artinya memiliki kapasitas pendinginan yang besar namun menggunakan daya kompresor yang kecil.

Alat uji yang digunakan adalah alat uji pengukuran koefisien evaporasi. Alat uji ini digunakan untuk mengetahui pengaruh berbagai variasi terhadap perubahan koefisien evaporasi suatu refrigeran. Antara lain laju beban pendinginan, kualitas uap refrigeran, dan laju aliran massa refrigeran. Tujuan akhir dari pembuatan alat ini adalah untuk mendapatkan hasil penelitian yang mendukung perancangan sebuah evaporator yang efektif dan efisien. Dalam alat uji koefisien evaporasi ini memungkinkan untuk dilakukan pengujian *Coefficient of Performance* (COP). Dengan memvariasikan beban pendinginan pada evaporator lalu diteliti pengaruhnya agar mampu mencapai kapasitas pendinginan yang maksimal. Selain kapasitas pendinginan, diteliti pula pengaruhnya terhadap daya kompresor agar konsumsi listrik tidak boros. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui efek variasi pembebanan pendinginan terhadap COP (*Coefficient of*

Performance) alat uji pengukur koefisien evaporasi menggunakan refrigeran r-134a. Alat uji ini digunakan untuk mensimulasikan performansi suatu mesin-mesin pendingin apabila terjadi variasi beban pendinginan. Dari penelitian ini diharapkan dapat membantu mengetahui beban pendinginan yang sesuai agar tercipta mesin pendingin yang efektif dan efisien dalam konsumsi energinya.

2. Metode Penelitian

2.1. Bahan Penelitian

Bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah refrigeran dan air. Dalam hal ini refrigeran berfungsi sebagai fluida penghantar panas di seluruh sistem refrigerasi, sedangkan air sebagai sumber kalor bagi evaporator. Evaporator direndam dalam air tersebut untuk menyerap kalor yang berasal dari air. Pada penelitian ini digunakan bahan atau fluida kerja yaitu Refrigeran R-134a yang dimasukkan dalam alat uji hingga fase refrigeran yang terlihat pada *sight glass* adalah cair sepenuhnya. Refrigeran ini dibeli di Toko Yogya Teknik Sentul. Refrigeran ini buatan PT Polarin Xinindo dengan merek KLEA.

Tabel 1. Sifat-sifat dari Refrigeran R-134a (polarin.co.id/klea/)

Freon KLEA	Spesifikasi
R-134a	Komposisi: HFC134a (100%) Berat molekul: 102 Titik didih pada tekanan 1 atm: -26,2°C Tekanan uap (MPa(gauge)@25 °C): 0,565 Berat jenis uap (kg/m ³ @nBpt): 5,23 ODP (Ozone Depleting Potential): 0 GWP (Global Warming Potential): 1430

2.2 Pengisian Refrigeran

Setelah dipastikan alat tidak bocor, alat uji divakumkan dengan pompa vakum hingga 0 psi(abs) untuk menghilangkan sisa udara. Untuk mencegah raksa dalam manometer terhisap keluar, katup manometer ditutup penuh. Selanjutnya air di dalam tangki utama dialirkan menuju ke kondensor dan evaporator menggunakan pompa air. Debit air menuju evaporator ditetapkan 1,4 LPM, sedangkan debit kondensor menyesuaikan dengan posisi katup menuju kondensor terbuka penuh. Blower dinyalakan penuh untuk mengaliri udara pada seksi uji, katup menuju seksi uji dan kipas blower dibuka penuh.

Setelah air bersirkulasi dengan baik, nyalakan motor listrik sehingga kompresor mulai bekerja. Refrigeran dimasukkan ke kompresor sambil mengamati perubahan tekanan pada *pressure gauge* sisi tekan kompresor, sesekali mengamati *sight glass*. Pengisian refrigeran dikatakan penuh apabila di dalam *sight glass* sudah penuh terisi cairan refrigeran dan tidak terdapat gelembung udara yang menandakan bahwa fasa uap telah seluruhnya menjadi fasa cair setelah keluar kondensor. Refrigeran sebelum masuk *orifice* harus berfasa cair untuk pengukuran laju aliran massanya. Buka katup manometer pelan-pelan sehingga terlihat beda

ketinggian raksa pada manometer. Biarkan sistem beroperasi sampai kondisi *steady*.

2.3 Prosedur Penelitian

2.3.1 Tahap Pengujian

Tahapan yang dilakukan saat memulai pengujian pengambilan data COP yaitu:

1. Memastikan variable yang akan digunakan dalam pengujian, dan menyiapkan tabel pengamatan
2. *Heater* dalam posisi mati, blower meniupkan udara pada kecepatan konstan, katup ekspansi pada posisi konstan
3. Variabel yang digunakan adalah debit pendinginan evaporator yaitu 1, 1.2, 1.4, 1.6, 1.8, dan 2 LPM. Frekuensi inverter yang digunakan adalah 16, 18, 20, 22, dan 24 Hz
4. Menyalakan inverter dan pompa air lalu menyetelnya pada setiap variable, lalu biarkan selama lima menit agar kondisi mendekati *steady*.
5. Menaikkan laju debit pendinginan hingga variabel debit pendinginan habis
6. Menaikkan frekuensi inverter lalu mengulangi poin lima dan seterusnya hingga kedua variabel habis.

2.3.2 Tahap Pengambilan Data

Tahapan dalam pengambilan data meliputi:

1. Menyetel inverter pada frekuensi 16 Hz dan laju beban pendinginan 1 LPM, biarkan selama lima menit
2. Setelah alat uji beroperasi selama lima menit, catat data tekanan P_1 hingga P_6 , data temperatur T_1 hingga T_{20} , putaran motor dan kompresor, arus dan tegangan keluaran inverter, dan perubahan ketinggian air raksa pada manometer U
3. Menaikkan laju beban pendinginan menjadi 1,2 LPM lalu mengulangi langkah poin dua
4. Melakukan pengujian untuk laju beban pendinginan 1.4, 1.6, 1.8, dan 2 LPM
5. Menaikkan frekuensi inverter menjadi 18 Hz dan mengembalikan laju beban pendinginan menjadi 1 LPM lalu mengulangi langkah poin dua
6. Terus mengulangi langkah diatas hingga semua variabel terpenuhi.

2.3.3 Persamaan yang digunakan

Perhitungan q_{cond} , q_{evap} , dan W_{komp} dijelaskan dalam poin-poin berikut:

1. W_{komp} (kerja kompresor)

Kerja kompresor dapat dihitung dengan persamaan (1):

$$W_{komp} = \dot{m} (h_2 - h_1) \dots \dots \dots (1)$$

Dengan:

- W_{komp} = kerja kompresor (Watt)
- \dot{m} = laju aliran massa fluida (kg/s)
- h_1 = entalpi refrigeran saat masuk kompresor (kJ/kg)
- h_2 = entalpi refrigeran saat keluar kompresor (kJ/kg)

2. q_{kond} (panas yang dibuang kondensor)

Besarnya panas yang dibuang kondensor dapat dihitung dengan persamaan (2):

$$q_{kond} = \dot{m} (h_2 - h_3) \dots\dots\dots (2)$$

Dengan:

- q_{kond} = kalor yang dibuang kondensor (Watt)
- \dot{m} = laju aliran massa fluida (kg/s)
- h_2 = entalpi refrigeran saat keluar kompresor (kJ/kg)
- h_3 = entalpi refrigeran saat keluar kondensor (kJ/kg)

3. q_{evap} (kapasitas pendinginan)

Besarnya panas yang diserap evaporator tiap satuan massa disebut kapasitas pendinginan atau dampak refrigerasi. Dampak refrigerasi dapat dihitung dengan persamaan (3):

$$q_{evap} = \dot{m} (h_1 - h_4) \dots\dots\dots (3)$$

Dengan:

- q_{evap} = kapasitas pendinginan (Watt)
- \dot{m} = laju aliran massa fluida (kg/s)
- h_1 = entalpi refrigeran saat masuk kompresor (kJ/kg)
- h_4 = entalpi refrigeran saat masuk evaporator (kJ/kg)

Coefficient of Performance (COP) adalah bilangan tanpa dimensi untuk menyatakan nilai unjuk kerja dari siklus refrigerasi (Stoecker dan Jones, 1996). Besarnya nilai COP dirumuskan dengan persamaan (4) sebagai berikut:

$$COP = \frac{\text{kapasitas pendinginan}}{\text{kerja kompresor}} = \frac{q_{evap}}{w_{komp}} \dots\dots\dots (4)$$

Dengan:

- COP = Performa (unjuk kerja) mesin pendingin
- q_{evap} = Kalor yang diserap evaporator (Watt)
- w_{komp} = Kerja kompresor (Watt)

Persamaan (4) tidak memiliki dimensi karena merupakan perbandingan antara besarnya panas yang diserap evaporator dengan kerja kompresor, keduanya memiliki satuan yang sama yaitu (kJ/kg) maka bila dibagi akan menciptakan bilangan tanpa dimensi. Persamaan yang digunakan untuk menentukan nilai COP yaitu persamaan (4). Nilai w_{komp} dihitung dengan menggunakan persamaan (1) dan nilai q_{evap} didapatkan dengan menggunakan persamaan energi panas yang dimodifikasi sesuai kondisi alat uji yaitu:

$$Q_{evap} = \dot{m}_{air} \cdot C_{p,air} \cdot \Delta T \dots\dots\dots (5)$$

Dengan:

- Q_{evap} = Energi Panas (Joule)
- \dot{m}_{air} = Laju aliran massa air yang masuk evaporator (kg/s)
- $C_{p,air}$ = Kalor jenis air (4.200 J/kg.K)
- ΔT = Selisih temperatur air masuk dan keluar evaporator (K)

Setelah mendapatkan nilai kalor yang diberikan air

ke evaporator dengan menggunakan persamaan (5), nilai kalor yang diserap refrigeran tiap satuan massa refrigeran (q_{evap}) di modifikasi dari persamaan (5) yaitu dengan membagi energi panas yang diserap evaporator (Q_{evap}) dengan laju aliran massa refrigeran (\dot{m}_r) yaitu:

$$q_{evap} = \frac{Q_{evap}}{\dot{m}_r} \dots\dots\dots (6)$$

Setelah mendapatkan nilai q_{evap} , persamaan (6) disubstitusikan ke persamaan (4) menjadi:

$$COP_R = \frac{Q_{evap}}{w_{komp}} \dots\dots\dots (7)$$

Persamaan (7) bisa ditulis menjadi:

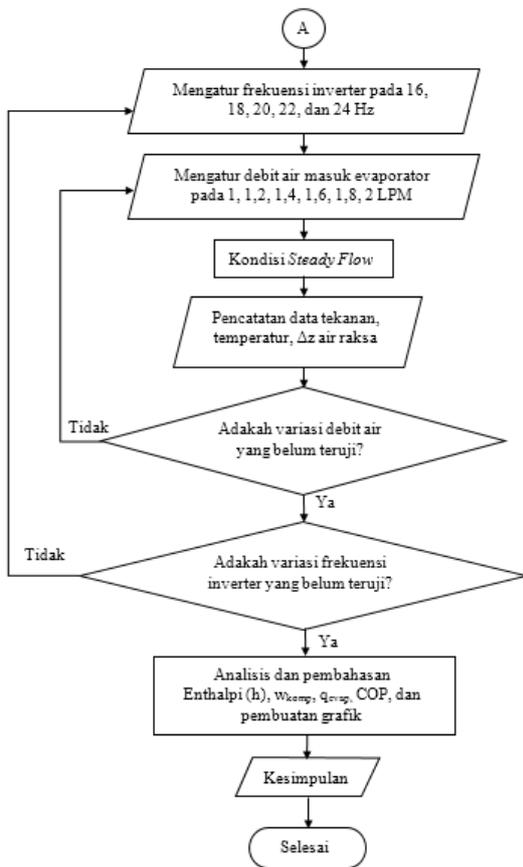
$$COP_R = \frac{Q_{evap}}{w_{komp} \cdot \dot{m}_r} \dots\dots\dots (8)$$

Setelah mendapatkan nilai COP_R dan variasi Q_{evap} , hasil perhitungan ditabelkan dan diplot menjadi grafik untuk selanjutnya dianalisa.

2.2. Diagram Alir Penelitian



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian (lanjutan)

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Hubungan *cooling load* dengan *coefficient of performance* (COP)

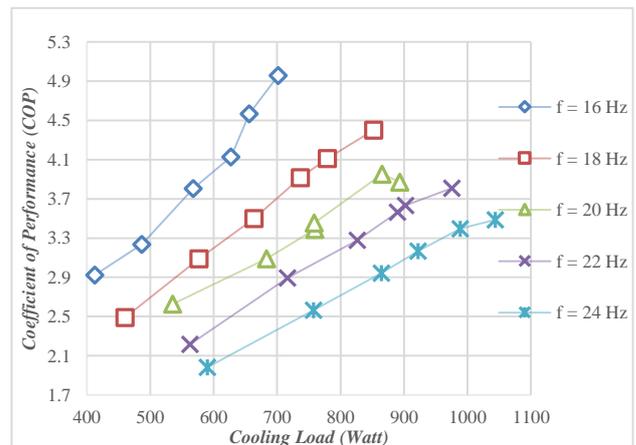
Hasil perhitungan *Cooling Load* dan *Coefficient of Performance* (COP) ditunjukkan pada tabel 1.

Tabel 1. Hubungan nilai *cooling load* (\dot{Q}_{evap}) terhadap COP

Frekuensi Inverter (Hz)	$\dot{V}_{air, eva}$ (LPM)	<i>Coefficient of Performance</i> (COP)	<i>Cooling Load</i> (\dot{Q}_{evap}) (J/s)
16	1	2,92	412,57
	1,2	3,24	486,88
	1,4	3,80	568,03
	1,6	4,13	627,29
	1,8	4,57	656,46
	2	4,96	702,04
18	1	2,49	460,43
	1,2	3,09	577,13
	1,4	3,50	663,75

Frekuensi Inverter (Hz)	$\dot{V}_{air, eva}$ (LPM)	<i>Coefficient of Performance</i> (COP)	<i>Cooling Load</i> (\dot{Q}_{evap}) (J/s)
16	1,6	3,92	736,68
	1,8	4,12	779,52
	2	4,40	852,45
20	1	2,63	535,64
	1,2	3,09	683,79
	1,4	3,39	759,46
	1,6	3,45	758,54
	1,8	3,95	865,66
	2	3,87	893,46
22	1	2,22	562,98
	1,2	2,89	716,60
	1,4	3,28	826,46
	1,6	3,56	889,82
	1,8	3,63	902,57
	2	3,81	975,49
24	1	1,98	590,32
	1,2	2,57	757,62
	1,4	2,94	864,74
	1,6	3,17	922,62
	1,8	3,39	988,71
	2	3,49	1043,86

Dari tabel 1 diatas, data hubungan antara *Coefficient of Performance* (COP) dan *Cooling Load* (\dot{Q}_{evap}) disajikan dalam bentuk grafik yang ditunjukkan pada gambar 2.



Gambar 2. Grafik Hubungan *Cooling Load* dengan *Coefficient of Performance* (COP)

Dari grafik pada gambar 2 dapat dilihat bahwa terjadi kenaikan *Coefficient of Performance* (COP) pada saat *cooling load* ditambah dari 1 LPM hingga 2 LPM dengan selisih penambahan 0,2 LPM. Kenaikan COP dipengaruhi oleh besarnya *cooling*

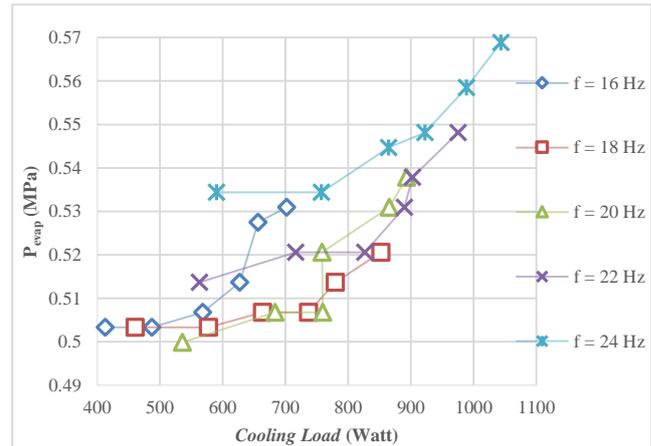
load yang diberikan kepada evaporator, semakin tinggi debit aliran air yang masuk ke dalam bak evaporator maka kapasitas pendinginan (q_{evap}) meningkat, sebaliknya nilai daya kompresor (w_{komp}) akan semakin mengecil. Penjelasan tentang pengaruh variasi *cooling load* terhadap w_{komp} dan q_{evap} akan dijelaskan dalam sub-judul 3.4. Maka hal ini berpengaruh terhadap nilai *Coefficient of Performance* (COP) nya. Bisa ditarik kesimpulan bahwa semakin besar debit air masukan ke evaporator berarti *cooling load* dalam bak evaporator semakin tinggi. Semakin tingginya *cooling load* pada evaporator mempengaruhi kondisi katup ekspansi, secara desain katup ekspansi yang terpasang pada alat uji apabila sensor temperatur yang masuk ke dalam bak evaporator mengalami kenaikan temperatur yang diakibatkan *cooling load* yang naik maka akan membuat uap pada pipa kapiler katup ekspansi mengembang lalu menekan membran katup lalu membuat katup ekspansi semakin membuka lebar dan membuat tekanan evaporasi serta laju aliran massa refrigeran akan meningkat. Penjelasan mengenai pengaruh variasi *cooling load* terhadap laju aliran massa refrigeran akan dijelaskan dalam sub-judul 3.3. Kenaikan tekanan evaporasi dan laju aliran massa refrigeran mempengaruhi tekanan dan temperatur pada sisi isap kompresor, tekan kompresor, dan sisi masuk katup ekspansi.

Dengan kenaikan tekanan evaporasi dan laju aliran massa refrigeran, tekanan dan temperatur pada sisi-sisi tersebut akan naik karena perpindahan refrigeran yang semakin cepat sehingga penurunan temperatur pada sisi evaporator semakin rendah. Perubahan tekanan dan temperatur pada titik titik tersebut menyebabkan perubahan entalpi. Pengaruh variasi *cooling load* terhadap temperatur dan tekanan evaporasi akan dijelaskan dalam sub-judul 3.2. Naiknya *cooling load* juga menyebabkan turunnya daya kompresor karena pada saat *cooling load* naik maka akan membuka katup ekspansi lebih lebar akibat mengembangnya uap pada pipa kapiler katup ekspansi. Semakin besar lubang pipa kapiler yang terbuka maka akan menurunkan hambatan alir refrigeran sehingga kebutuhan daya untuk mengalirkan refrigeran menurun yang berarti daya kompresor akan turun.

Dari pembahasan-pembahasan yang telah diuraikan diatas maka dapat ditarik kesimpulan dengan menggunakan persamaan 4. Dapat dilihat apabila kerja pendinginan atau kalor yang diserap evaporator (q_{evap}) semakin besar dan kerja kompresor (w_{komp}) semakin mengecil maka akan menghasilkan nilai *Coefficient of Performance* (COP) yang semakin tinggi pula.

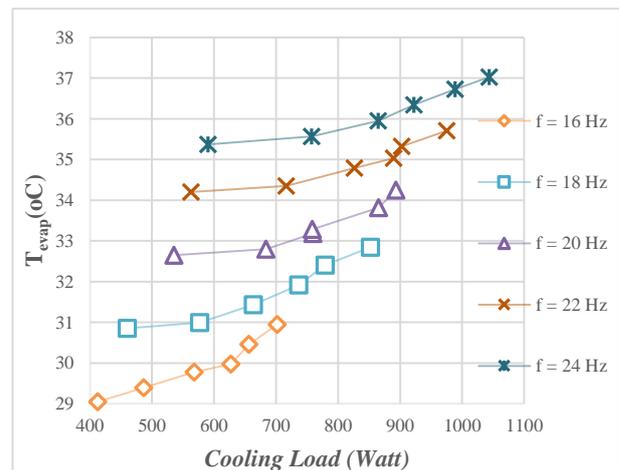
3.2 Hubungan antara *Cooling Load* dengan Temperatur dan Tekanan Evaporasi

Temperatur dan tekanan evaporasi merupakan tekanan yang berada pada sisi keluar katup ekspansi yang memiliki fase campuran sebelum masuk ke evaporator untuk diubah menjadi uap jenuh. Grafik hubungan *cooling load* dengan tekanan evaporasi ditunjukkan pada gambar 3 dan Grafik hubungan *cooling load* dengan temperatur evaporasi ditunjukkan pada gambar 4.



Gambar 3. Grafik Hubungan *Cooling Load* dengan Tekanan Evaporasi

Dari gambar 3 bisa dilihat bahwa kenaikan *cooling load* berpengaruh bagi tekanan evaporasi, pada frekuensi 16 Hz tekanan evaporasi berada pada nilai yang terendah dan pada frekuensi 24 Hz tekanan evaporasi berada pada nilai yang tertinggi semakin dinaikkan frekuensi nya berarti semakin besar pula laju aliran massa refrigeran yang melewati jalur. *Cooling load* mempengaruhi pada temperatur evaporator, *cooling load* yang naik akan membuat uap pada pipa kapiler katup ekspansi mengembang dan menekan membran katup ekspansi yang akhirnya akan membuka katup ekspansi semakin lebar. Melebarnya katup ekspansi mengakibatkan laju aliran massa refrigeran membesar dan menaikkan tekanan pada bagian keluar katup ekspansi. Kondisi inilah yang mengakibatkan naiknya tekanan evaporasi akibat bertambahnya *cooling load*.



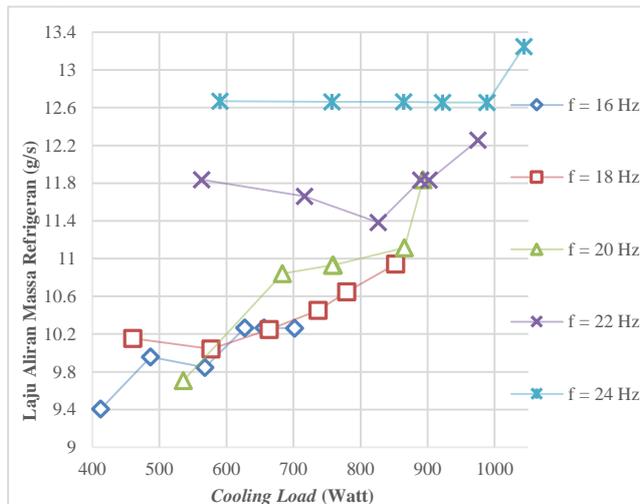
Gambar 4. Grafik Hubungan *Cooling Load* dengan Temperatur Evaporasi

Dari gambar 4.3 bisa dilihat bahwa kenaikan *cooling load* berpengaruh bagi temperatur evaporasi, pada frekuensi 16 Hz temperatur evaporasi berada pada nilai yang terendah dan pada frekuensi 24 Hz temperatur evaporasi berada pada nilai yang tertinggi semakin dinaikkan frekuensi nya berarti semakin besar pula laju aliran massa refrigeran yang melewati jalur. *Cooling load* mempengaruhi pada temperatur evaporator, *cooling load* yang naik akan

membuat uap pada pipa kapiler katup ekspansi mengembang dan menekan membran katup ekspansi yang akhirnya akan membuka katup ekspansi semakin lebar. Melebarnya katup ekspansi mengakibatkan laju aliran massa refrigeran membesar dan menaikkan tekanan pada bagian keluar katup ekspansi. Secara alamiah pada kondisi naiknya tekanan evaporasi maka akan diiringi oleh kenaikan temperatur. Kondisi inilah yang mengakibatkan naiknya temperatur evaporasi akibat bertambahnya *cooling load*.

3.3 Hubungan antara *Cooling Load* dengan Laju Aliran Massa Refrigeran (\dot{m}_r)

Grafik hubungan laju aliran massa refrigeran dengan *cooling load* dapat dilihat pada gambar 5.

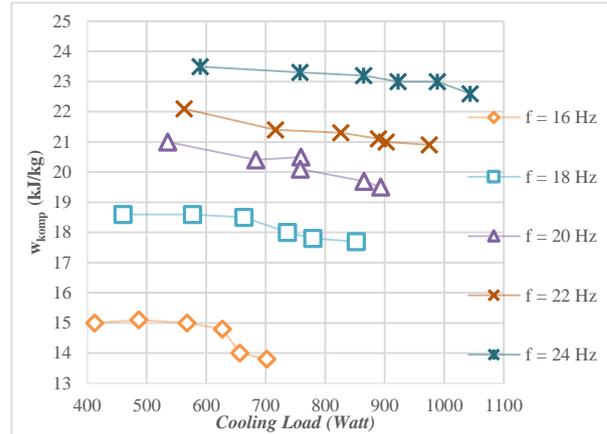


Gambar 5. Grafik Hubungan *Cooling Load* dengan Laju Aliran Massa Refrigeran

Dari gambar 5 dapat dilihat bahwa grafik mayoritas menunjukkan bahwa kenaikan *cooling load* akan menaikkan laju aliran massa refrigeran, kenaikan itu dikarenakan desain katup ekspansi. *Cooling load* mempengaruhi pada temperatur evaporator, *cooling load* yang naik akan membuat uap pada pipa kapiler katup ekspansi mengembang dan menekan membran katup ekspansi yang akhirnya akan membuka katup ekspansi semakin lebar. Membukanya katup ekspansi secara otomatis pasti akan membuat laju aliran massa akan semakin besar.

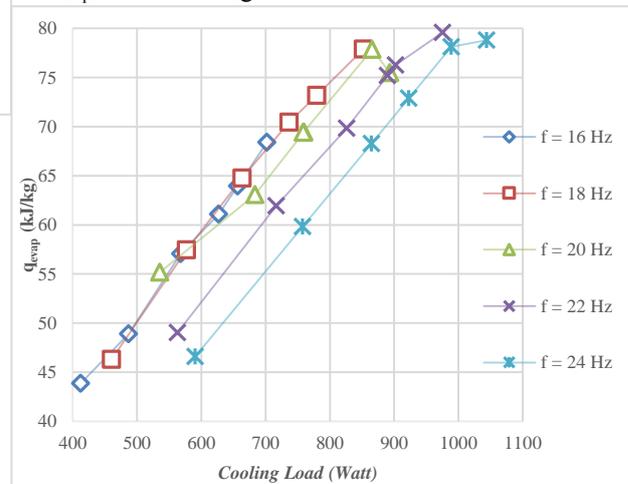
3.3 Hubungan *Cooling Load* dengan Daya Kompresor (w_{komp}) dan kapasitas pendinginan (q_{evap})

Daya Kompresor (w_{komp}) adalah daya masukan yang diserap kompresor, sedangkan kapasitas pendinginan (q_{evap}) adalah kalor yang diserap oleh evaporator untuk mengubah refrigerant menjadi uap. Grafik hubungan *cooling load* dengan kapasitas pendinginan (q_{evap}) ditunjukkan pada gambar 6, sedangkan grafik hubungan *cooling load* dengan kerja kompresor (w_{komp}) ditunjukkan pada gambar 7.



Gambar 6. Grafik Hubungan *Cooling Load* dengan Daya Kompresor

Dari gambar 6 bisa dilihat bahwa tren grafik pada setiap frekuensi mengalami penurunan. Semakin besar *cooling load* yang diberikan maka daya kompresor (w_{komp}) akan semakin mengecil. Ini dikarenakan pada saat *cooling load* naik maka akan membuka katup ekspansi lebih lebar akibat mengembangnya uap pada pipa kapiler katup ekspansi. Semakin besar lubang pipa kapiler yang terbuka maka akan menurunkan hambatan alir refrigeran sehingga kebutuhan daya untuk mengalirkan refrigeran menurun yang berarti daya kompresor akan turun. Ini yang menyebabkan nilai w_{komp} semakin mengecil



Gambar 7. Grafik Hubungan *Cooling Load* dengan Kapasitas Pendinginan

Dari gambar 7 bisa dilihat bahwa semakin besar *cooling load* yang diberikan maka semakin besar pula q_{evap} yang dihasilkan. Apabila *cooling load* yang diberikan semakin besar, sesuai dengan persamaan (7) maka nilai q_{evap} akan semakin besar pada frekuensi konstan. Kapasitas pendinginan terbesar justru terjadi pada frekuensi terkecil dan kapasitas pendinginan terkecil terjadi pada frekuensi terbesar. Ini dikarenakan apabila frekuensi semakin besar maka akan menghasilkan \dot{m}_r yang besar dan memperkecil q_{evap} . Sebaliknya, pada frekuensi kecil akan mengakibatkan \dot{m}_r kecil dan akan memperbesar kapasitas pendinginan.

4. Kesimpulan

- a. Laju pembebanan pendinginan berpengaruh pada semua titik tekanan dan temperatur. Tekanan dan temperatur pada sisi masuk katup ekspansi naik cukup signifikan sehingga kapasitas pendinginan (q_{evap}) semakin membesar.
- b. Laju aliran air yang melewati bak evaporator yang semakin besar artinya sumber kalor evaporator semakin membesar pula. Semakin besar beban pendinginan yang diberikan pada rentang variasi yang digunakan, maka laju aliran massa refrigeran akan semakin membesar. Hal ini membuat kapasitas pendinginan evaporator semakin besar dan membuat kerja kompresor semakin kecil. Hal ini karena hambatan alir refrigeran pada katup ekspansi berkurang akibat membukanya katup ekspansi.
- c. Kerja pendinginan atau kapastias pendinginan (q_{evap}) yang semakin besar dan kerja kompresor (w_{komp}) yang semakin mengecil maka akan menghasilkan nilai *Coefficient of Performance (COP)* yang semakin tinggi pula.
- d. Dari hasil penelitian didapatkan bahwa kapasitas beban pendinginan mempengaruhi nilai *Coefficient of Performance (COP)*. Hasil tertinggi didapatkan pada range variasi Inverter terendah yaitu 16 Hz dan variasi beban pendinginan tertinggi yaitu 2 LPM dengan nilai COP 4,96. Sedangkan hasil terendah didapatkan pada range variasi Inverter tertinggi yaitu 24 Hz dan variasi beban pendinginan terendah yaitu 1 LPM dengan nilai COP 1,98.

Daftar Pustaka

- Anwar, Khairil. 2010. "Efek Beban Pendingin Terhadap Performa Sistem Mesin Pendingin". Palu: Universitas Tadulako.
- Cengel Y.A., Boles M.A. 1989. "Thermodynamics: An Engineering Approach". Mc Graw-Hill
- Dewitt D.P., Incropera, F.P. 2002. "Fundamental of Heat and Mass Transfer". Jefferson City: John Wiley & Sons Inc.
- Fitriandi, Agus. 2010. "Karakteristik Bahan dan Aspek Lingkungan Refrigeran Hidrokarbon Menuju Indonesia Bebas ODS".
<https://indonesiasejahtera.wordpress.com/2007/11/01/karakteristik-bahan-dan-aspek-lingkungan-refrigeran-hidrokarbon-2/>
diakses pada 17 Juni 2017 pukul 04.38 WIB
- Hariyanto, Agus. 2015. "Perpindahan Panas". Yogyakarta: Innosain.
- Kuncara, Purba. 2013. "Cara Menghitung Kapasitas AC Berdasarkan Besar Ruang".
<http://purbakuncara.com/cara-menghitung-kapasitas-ac-berdasar-besar-ruangan/>
diakses pada 18 Juni 2017 pukul 16.01 WIB
- Kharagpur. 2008. "Refrigeration and Air Conditioning". Version I ME. India
- Kurniawan, Bayu Abdi. 2007. "Analisis Termal Unjuk Kerja *Heat Exchanger* 11-E-7 Di Kilang *Fuel Oil Complex* I PT Pertamina UP IV Cilacap". Yogyakarta: Universitas Muhammadiyah Yogyakarta.
- Moch. Rizal A.Y., Ilminnafik, Listyadi. 2013. "Pengaruh Variasi Beban Pendingin Terhadap Prestasi Kerja Mesin Pendingin Dengan Refrigeran R12 dan LPG". Jember: Universitas Jember.
- Nadjib, Muhammad. 2005. "Buku Ajar Teknik Refrigerasi dan Kriogenik" Yogyakarta: Universitas Muhammadiyah Yogyakarta.
- Pitts, Donald., Sissom, Leighton. 2011. "Schaums's Outline: Perpindahan Kalor, Edisi Kedua". Jakarta: Penerbit Erlangga.
- Santosa, Tito Hadji. 2003. "Pengukuran Koefisien Perpindahan Kalor Evaporasi Refrigeran Petrozon Rossy 12 di Dalam Saluran Halus Horizontal". Yogyakarta: Universitas Gadjah Mada.
- Stoecker, W.F., Jerold W. Jones, Supratman Hara. 1996. "Refrigerasi dan Pengkondisian Udara Edisi Kedua". Jakarta: Penerbit Erlangga.
- Subarkah, Agus. 2011. "Sejarah Sistem Pengkondisian Udara/*Air Conditioning*".
<http://agus-subarkah.blogspot.co.id/2011/10/sejarah-sistem-pengkondisian-udara.html>
diakses pada 17 Juni 2017 pukul 04.43 WIB
- Wicaksono, Bartholomeus D.A. 2014. "Pemanfaatan Panas Buang Mesin Pendingin Untuk Pengereng Pakaian". Yogyakarta: Universitas Sanata Dharma.
- Yasmin. 2011. "Beban Pendinginan dan Penghematannya". Pelatihan Dasar audit Energi dan Komisioning Gedung B2TE-BPPT.
- Yunianto, Bambang. 2005. "Pengaruh Perubahan Temperatur Evaporator Terhadap Prestasi *Air Cooled Chiller* Dengan Refrigeran R-134a, Pada Temperatur Kodensor Tetap". Semarang: Universitas Diponegoro.
- Wastam. 2010. "Pengaruh Variasi Kerja Fan, Boiler, dan *Pre-Heater* pada Mesin Air Conditioning Laboratory Unit A660 Terhadap Coefficient of Performance". Yogyakarta: Universitas Muhammadiyah Yogyakarta.
- <https://www.ohio.edu/mechanical/thermo/Intro/Chapter4c.html>
diakses pada 17 Juni 2017 pukul 04.49 WIB