

Studi Eksperimen Variasi Beban Pendinginan pada Evaporator Mesin Pendingin Difusi Absorpsi R22-DMF

Akhmad Syukri Maulana dan Ary Bachtiar Khrisna Putra
Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)
Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111 Indonesia
e-mail : arybach@me.its.ac.id

Abstrak— Indonesia merupakan negara dengan iklim tropis, sehingga lebih dibutuhkan sistem pendingin daripada sistem pemanas. Salah satu teknologi pendinginan yang dapat digunakan adalah DAR (*Diffusion Absorption Refrigeration*). Berbeda dengan sistem kompresi uap, sistem refrigerasi difusi absorpsi tidak menggunakan kompresor, namun menggunakan *generator* sebagai penggantinya. Namun seiring waktu, sistem pendingin absorpsi mulai ditinggalkan karena memiliki COP (*Coefficient Of Performance*) yang relatif kecil. Pada penelitian kali ini pasangan refrigeran dan absorben yang digunakan adalah R22 dan DMF (*Dhymethylformamylde*) dengan konsentrasi R22 sebesar 60%. Penelitian dilakukan dengan memvariasikan beban pendinginan pada kabin evaporator dengan memasang heater elektrik yang dilengkapi dengan voltage regulator. Terdapat tiga variasi beban pendinginan yang akan dilakukan yaitu beban pertama dengan mengkondisikan beban heater electric 0 watt (tanpa beban), beban kedua dengan beban 7,84 watt, dan beban ketiga 15,68 watt. Hasil yang diperoleh dari pengujian beban pendinginan pada evaporator, yaitu semakin tinggi beban pendinginan maka COP dari sistem pendingin akan semakin tinggi. Adapun hasil performa optimum yang didapatkan antara lain: Q_{gen} optimum adalah 337.417 watt, laju alir massa refrigeran (\dot{m}_{ref}) optimum adalah 0.679 gram/s. Panas yang diserap evaporator (Q_{evap}) optimum adalah 130.604 Watt. Coefficient Of Performance (COP) optimum 0.398. Panas yang dibuang kondensor (Q_{cond}) maksimum 132.026 Watt.

Kata kunci : COP, Beban Pendinginan, DAR , DMF, DMF, Evaporator, Performasi, R-22.

I. PENDAHULUAN

Pada tahun 1922 dua orang peneliti berkebangsaan swedia, Baltzar Von Platen dan Carl Munters menemukan sistem pendingin yang menggunakan pemanas elektrik atau pembakaran gas untuk energi pengoperasiannya. Sistem pendinginan ini menggunakan siklus DAR (*diffusion Absorption Refrigeration*). Berbeda dengan sistem pendinginan VCR (*Vapour Compresssion Refrigeration*) yang pada umumnya digunakan, siklus DAR tidak menggunakan komponen kompresor pada penggunaannya, namun fungsi kompresor digantikan dengan absorber dan generator.

Pada penggunaannya, siklus DAR menggunakan pasangan refrigeran-absorben amonia-air dan air-lithiumbromida. Pada siklus DAR semua siklus terjadi secara natural tanpa kerja paksa dari kompresor. Hal ini dikarenakan refrigeran yang bertekanan parsial rendah pada evaporator didapatkan dari bantuan hidrogen sebagai gas *inert* yang tidak ikut bereaksi. Gas hidrogen ini berfungsi untuk mengendalikan tekanan total fluida di dalam

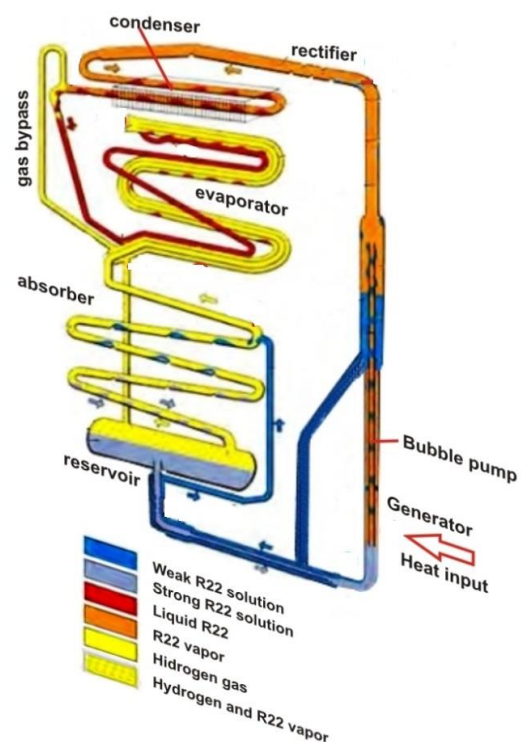
evaporator agar sama dengan tekanan total pada komponen lainnya.

II. URAIAN PENELITIAN

A. Siklus Refrigerasi Difusi Absorpsi

Siklus DAR pertama kali ditemukan oleh Baltzar von Platen dan Carl Munters, dua orang peneliti berkebangsaan Swedia pada tahun 1922, yang menggunakan pemanas elektrik atau pembakaran gas untuk energi pengoperasiannya. Produk ini dipasarkan oleh Electrolux di Swedia dan beberapa negara di USA. Produk ini menggunakan pasangan refrigeran-absorben amonia-air dan tambahan gas inert yaitu hidrogen.

Skema dari siklus DAR yang digunakan dapat dilihat pada gambar 1. Pada skema tersebut terdapat *gas heat exchanger* pada evaporator yang berfungsi melakukan pendinginan awal gas hidrogen sebelum masuk ke inlet evaporator.



Gambar 1. Skema Refrigerasi Difusi Absorpsi R22 – DMF [1]

Di dalam tangki penampung (*reservoir*) terdapat larutan R22-DMF . Larutan yang dikenal dengan istilah *strong solution* (larutan kaya) ini mengalir ke generator

akibat kesetimbangan level cairan antara dua bejana yang berhubungan. *Strong solution* kemudian dipanaskan di dalam generator hingga temperatur 100 °C yang menyebabkan sebagian besar R22 menguap. Gelembung-gelembung uap yang terbentuk menekan kolom larutan cair yang berada di dalam pipa *bubble pump* menuju ke rectifier untuk dimurnikan. Uap R22 akan terus bergerak ke atas sementara larutan cair yang masih mengandung DMF ditampung dan dialirkan kembali menuju absorber. Larutan yang mengandung sedikit R22 ini disebut *weak solution* (larutan miskin).

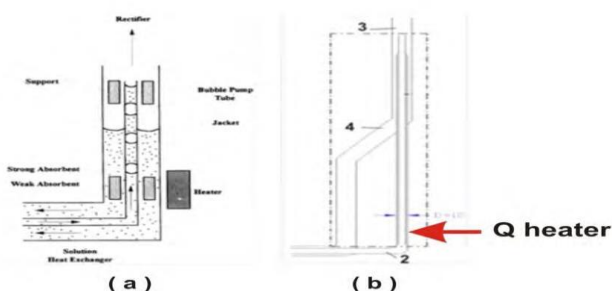
Uap R22 yang bergerak dari rectifier menuju inlet kondensor untuk dikondensasikan). R22 cair hasil kondensasi kemudian bergerak memasuki evaporator.

Pada inlet evaporator, R22 cair bertemu dengan hidrogen sebagai gas *inert* yang menurunkan tekanan parsial R22. Turunnya tekanan mengakibatkan R22 cair dapat menguap pada temperatur yang lebih rendah. Pada saat yang sama R22 cair ini juga menerima kalor dari beban pendinginan sehingga R22 cair mulai menguap. R22 terus menguap sembari mengalir di dalam evaporator hingga pada outlet evaporator tekanan parsialnya sudah naik.

Massa jenis R22 jauh lebih besar dari hidrogen, karena itu uap campuran (R22 dan hidrogen) semakin berat seiring dengan terus menguapnya R22 cair sehingga uap campuran itu turun dari *evaporator* memasuki reservoir absorber. Di dalam reservoir sebagian uap R22 terserap oleh DMF yang turun dari absorber. Hal ini mengakibatkan uap campuran R22-hidrogen kembali menjadi lebih ringan dan mulai bergerak ke atas memasuki absorber. Di dalam absorber, penyerapan R22 oleh DMF (*weak solution*) semakin banyak dan akhirnya hanya tinggal gas hidrogen dengan sedikit uap R22 yang keluar dari absorber.

B. Penelitian Terdahulu

Pada penelitian berjudul “Studi Eksperimen Mesin pendingin Difusi Absorpsi R22- DMF Dengan Variasi Heater Generator” [2] melakukan penelitian dengan memodifikasi desain generator sistem DAR 2 dan menggunakan pasangan refrigeran R22-DMF serta hidrogen sebagai gas inert kemudian memvariasikan panas heater electric. Ada lima variasi panas heater dalam percobaan kali ini, yaitu 102,2; 116,8; 131,4; 146; dan 160,6 Watt.

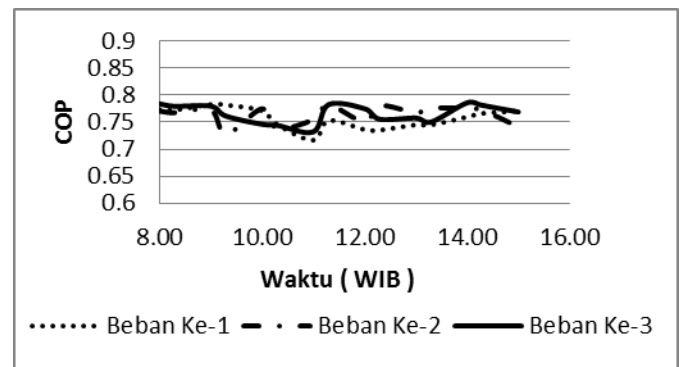


Gambar 2. (a) Desain Awal ; (b) Modifikasi Desain Generator

Gambar 2 terdapat desain awal dan hasil modifikasi desain generator. Hasil penelitian ini menunjukkan hasil modifikasi desain generator yang baru memberikan panas generator (Qgen) dan COP sistem DAR yang lebih tinggi.

Pada penelitian lainnya, oleh Aris berjudul “Studi Eksperimen Variasi Beban Pendinginan pada Evaporator Mesin Pendingin Difusi Absorpsi Musicool22-DMF” [3], Aris melakukan penelitian dengan memodifikasi desain generator sistem DAR 2 dan menggunakan pasangan

refrigeran Musicool22-DMF serta hidrogen sebagai gas inert kemudian memvariasikan panas *heater electric*. Ada tiga variasi panas *heater* dalam percobaan kali ini, yaitu 0 volt; 15 volt; dan 30volt

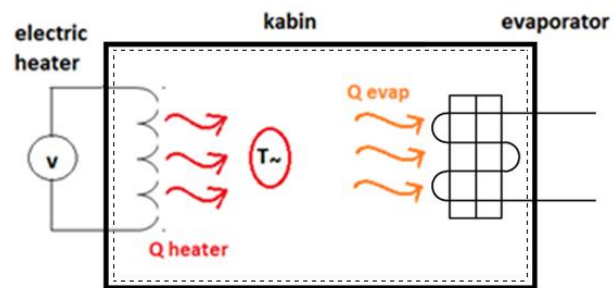


Gambar 3. Grafik Hasil Percobaan COP oleh Aris Nur Cahyadi

Dari hasil percobaan, menunjukkan COP tertinggi terdapat pada beban ketiga dengan COP maksimal 0.786.

III. METODOLOGI

A. Skema Pengujian performa DAR dengan variasi beban pendinginan

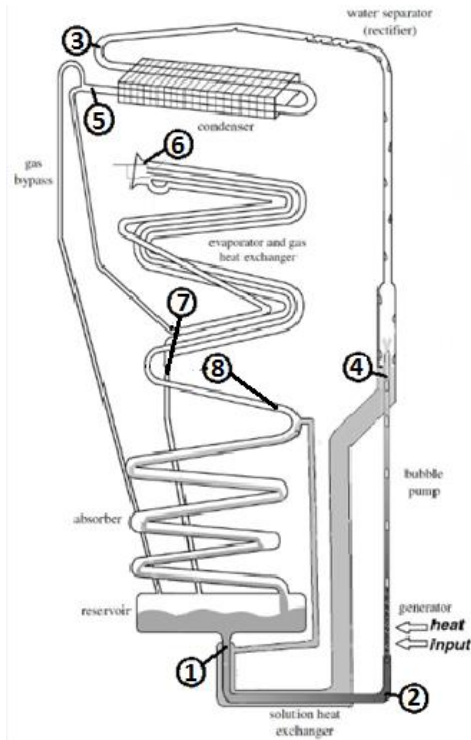


Gambar 4. Skema Beban Pembebanan pada Kabin Pengujian

Gambar 4 menunjukkan skema penelitian ini. Pada penelitian ini beban pendinginan yang digunakan adalah sebuah *electric heater* yang diletakkan di dalam kabin evaporator dan kemudian diberikan input tegangan. Tegangan yang diberikan divariasikan sebanyak tiga variasi, 0 watt (tanpa beban), 7,84 watt dan 15,68 Watt. Sehingga panas yang dikeluarkan oleh *heater electric* juga bervariasi.

Langkah pertama memasang *electric heater* didalam kabin dan mengatur besaran input tegangannya. Setelah langkah tersebut selesai, langkah selanjutnya adalah menghidupkan sistem DAR dengan cara menghidupkan *electric heater* sumber panas generator, menyalakan pompa untuk mengalirkan *thermal oil* ke generator dan menyalakan *fan* kondensor. Setelah itu sistem ditunggu hingga steady(sekitar 10 jam) setelah itu dilakukan pengambilan data dari selama 3 jam dengan *range* 15 menit. Setelah data pertama didapatkan dilanjutkan kembali pengambilan data secara bertahap dengan variasi beban pendinginan yang lainnya.

B. Parameter Titik Pengukuran



Gambar 5. Skema Titik Pengukuran Percobaan

Keterangan:

1. Temperatur outlet reservoir (T1).
2. Temperatur dan tekanan strong solution saat memasuki generator (T2,P2).
3. Temperatur dan tekanan inlet kondensator (T3,P3).
4. Temperatur weak solution pada keluaran generator (T4).
5. Temperatur outlet kondensator (T5).
6. Temperatur inlet evaporator (T6).
7. Temperatur outlet evaporator (T7).
8. Temperatur dan tekanan absorber (T8,P8).
9. Temperatur kabin pendinginan (Tk).
10. Temperatur inlet thermal oil generator (Tig).
11. Temperatur outlet thermal oil generator (Tog).

C. Perhitungan Sistem Refrigerasi Difusi Absorpsi

a. Laju alir massa refrigeran

$$\dot{m}_{ref} = \frac{Pudara \cdot v \cdot A \cdot c_p \cdot pudara \cdot (T_{uo} - T_{ui})}{(h_3 - h_5)}$$

b. Kapasitas pendinginan

$$\dot{Q}_{evap} = \dot{m}_{ref} (h_7 - h_6)$$

c. Kalor yang diserap generator

$$\dot{Q}_{gen} = \dot{m}_{ref} \cdot h_3 + \dot{m}_{ws} \cdot h_4 - \dot{m}_{ss} \cdot h_2$$

d. Kalor yang dilepas kondensor

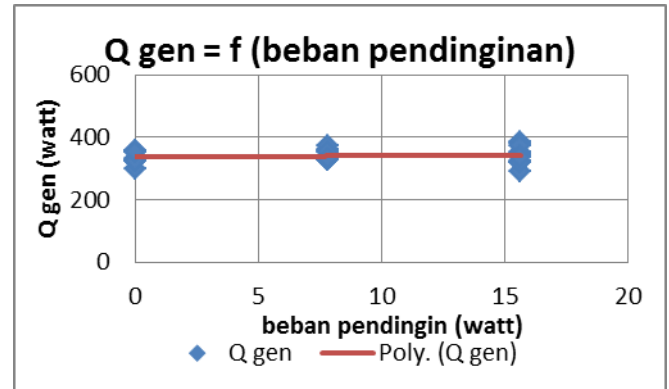
$$\dot{Q}_{kondensor} = \dot{m}_c (h_3 - h_5)$$

e. Coefficient of Performance (COP)

$$COP = \frac{\dot{Q}_{evap}}{\dot{Q}_{gen}}$$

IV. ANALISA DATA

Pada penelitian pengujian peformasi sistem DAR dengan pemberian variasi beban pendinginan menghasilkan beberapa grafik dengan tiga variasi beban pendinginan. Pada Gambar 6 menampilkan grafik panas generator (Q_{gen}) terhadap fungsi waktu pengambilan data

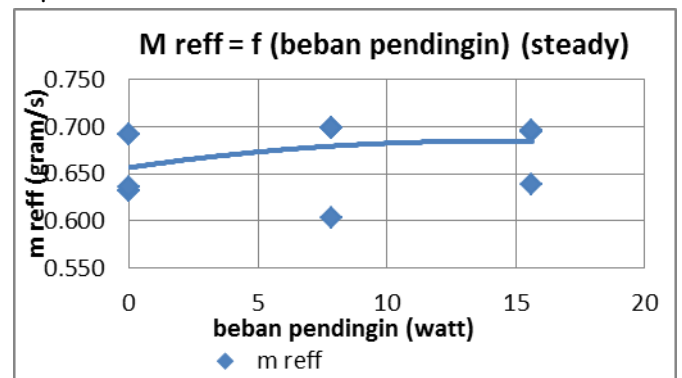


Gambar 6. Grafik Q_{gen} fungsi Beban Pendinginan

Pada grafik 6. data diatas, dapat ditarik trendline pada ketiga beban pendinginan. Trendline pada grafik menunjukkan garis yang cenderung konstan antara ketiga beban tersebut. Hal ini dikarenakan pada percobaan, set point temperatur dan debit dari *thermal oil* pada setiap variasi diatur dengan besar yang sama

Gambar 7 menunjukkan laju aliran massa (*mass flow rate*) refrigeran terhadap fungsi beban pendinginan pada keadaan *unsteady* dan *steady*. Kedua grafik tersebut menunjukkan trenline grafik yang cenderung naik seiring dengan naiknya beban pembebanan. Dari gambar grafik juga terlihat laju aliran massa refrigeran pada beban ketiga (15.68 watt) memiliki laju aliran massa yang paling tinggi jika dibandingkan dengan laju aliran massa refrigeran pada kedua beban pendinginan lainnya. Namun selisih laju aliran massa refrigeran pada beban ketiga dan beban kedua tidak terlalu signifikan jika dilihat pada data hasil perhitungan.

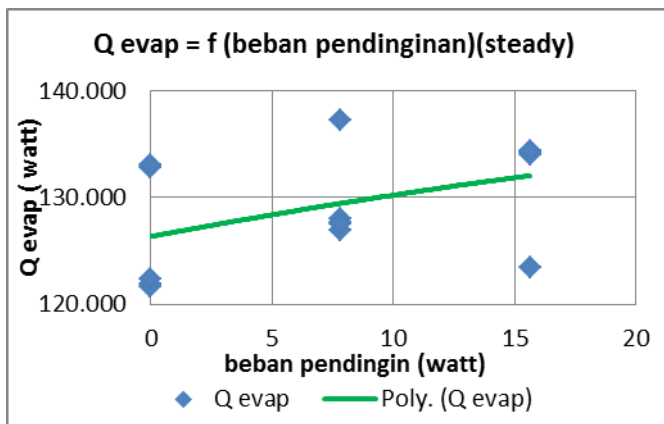
Naiknya laju aliran masa refrigeran pada beban ketiga disebabkan karena perhitungan laju aliran massa refrigeran pada ini menggunakan perbandingan antara besarnya panas yang dilepaskan kondensor ke lingkungan sekitar akibat kerja paksa dari fan dibagi dengan selisih entalpi pada *inlet* dan *outlet* pada kondensor. Semakin besar pembebanan yang dilakukan maka besarnya panas yang dilepaskan oleh kondensor juga semakin besar.



Gambar 7. Grafik \dot{m}_{ref} fungsi beban pendinginan

Pada gambar 8 merupakan grafik hubungan antara kapasitas pendinginan (Q_{evap}) terhadap fungsi beban pendinginan, dapat terlihat bahwa seiring meningkatnya beban pendinginan, maka $Q_{evaporator}$ pun cenderung naik. Dari grafik terlihat pada beban ketiga (15.68 watt) memiliki kapasitas evaporator yang paling tinggi jika dibandingkan dengan kapasitas evaporator pada kedua beban pendinginan lainnya.

Meningkatnya nilai kapasitas evaporator, sebanding dengan meningkatnya nilai beban pendinginan. Hal ini dikarenakan, semakin tinggi beban pendinginan, maka refrijeran pada evaporator akan menyerap lebih banyak kalor dari kabin yang dipengaruhi oleh beban pendinginan, sehingga temperatur outlet evaporator akan semakin naik. Selisih temperatur antara input dan output evaporator akan semakin naik. Hal ini akan menyebabkan perubahan entalpinya pun akan semakin naik. Selain itu semakin tinggi beban pendinginan, maka penguapan refrijeran pada evaporator pun akan semakin cepat.



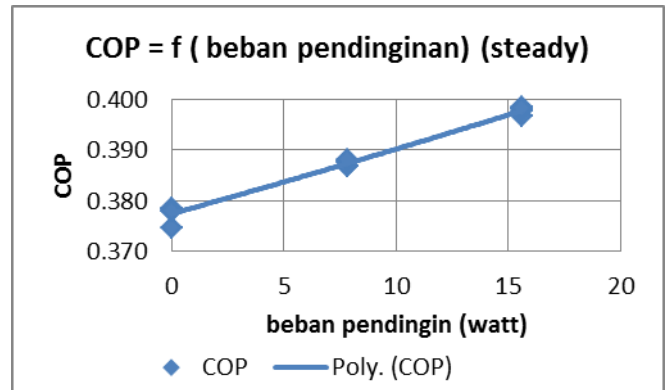
Gambar 8. Grafik Q_{evap} fungsi beban pendinginan

Grafik 9 ini merupakan grafik *Coeffisient of Performanse*(COP) terhadap fungsi beban pendinginan, dengan perbandingan tiga variasi beban pendinginan. COP sendiri adalah perbandingan antara panas yang diserap oleh evaporator, dengan panas yang diberikan ke generator. Dimana pada sistem pendinginan VCR, nilai dari COP ini selalu lebih besar dari satu (>1). Adapun pada sistem DAR nilai yang dihasilkan rendah, kurang dari satu (<1).

Dari gambar 9 terlihat bahwa pada beban pendinginan ketiga (15.64 watt) memiliki nilai COP yang paling tinggi. Hal ini menunjukkan bahwa semakin tinggi beban pendinginan, maka COP akan semakin naik. Hal ini dikarenakan beban pendinginan akan menaikkan nilai kapasitas pendinginan ($Q_{evaporator}$). Sedangkan $Q_{evaporator}$ berbanding lurus dengan COP. Seperti yang dijabarkan pada persamaan sebagai berikut :

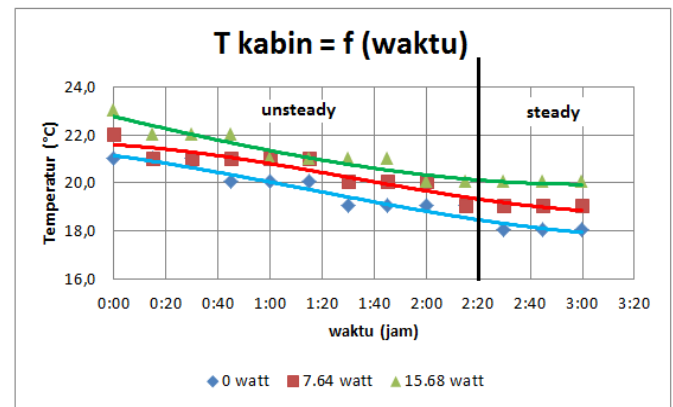
$$COP = \frac{Q_{evap}}{Q_{gen}}$$

Dari rumusan diatas dapat kita ketahui bahwa semakin besar panas yang diserap oleh evaporator (Q_{evap}) dengan panas generator cenderung konstan maka COP sistem DAR akan meningkat.



Gambar 9. Grafik COP fungsi beban pendinginan.

Pada Gambar 10 adalah grafik temperatur kabin evaporator (T_k) terhadap fungsi waktu. Dari grafik diatas dapat kita lihat bahwa trenline grafik yang terjadi terus menurun seiring waktu berjalan. Temperatur kabin terus menurun hingga pada waktu 2.30 temperatur kabin mulai stabil (*steady*). Pada titik 0.00 hingga 2.15 disebut masa transient (*unsteady*) dimana keadaan kabin belum *steady*.



Gambar 10. Grafik Temperatur kabin evaporator fungsi waktu pengambilan data

Dari grafik ini nampak adanya pengaruh pembebanan pada kabin evaporator. Yaitu berpengaruh pada *cooling rate* dan suhu kabin evaporator. Hal ini terlihat pada grafik, dimana dengan waktu yang sama, suhu kabin evaporator yang dikondisikan tanpa beban memiliki suhu yang paling rendah, jika dibandingkan dengan menggunakan beban.

V. KESIMPULAN/RINGKASAN

Setelah melakukan penelitian terhadap mesin pendingin sistem difusi absorpsi R22 - DMF, maka dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Semakin tinggi beban pendinginan, maka kapasitas pendinginan ($Q_{evaporator}$) akan semakin tinggi, dan akan semakin tinggi pula nilai COP.
2. Dengan memvariasikan beban pendinginan di kabin evaporator DAR, diperoleh nilai – nilai optimum dari performance sistem DAR pada variasi beban tertinggi (15,68 watt) sebagai berikut:
 - Panas generator (Q_{gen}) optimum adalah 337.417 watt.
 - Panas yang dibuang kondensor (Q_{cond}) maksimum 132.026 watt.
 - Laju alir massa refrijeran (\dot{m}_{ref}) optimum adalah 0.679 gram/s.

- Panas yang diserap evaporator (Q_{evap}) optimum adalah 130.604 Watt.
 - Coefficient Of Performance (COP) optimum 0.398.
3. Temperatur kabin paling rendah yang dapat dicapai terdapat pada beban pendinginan 0 watt (tanpa beban pendinginan) yaitu 18 °C.

NOMENKLATUR

m_{R22}	Massa <i>refrigerant</i>
m_{DMF}	Massa <i>DMF</i>
\dot{m}_{ref}	Laju alir massa <i>refrigerant</i>
\dot{m}_4	Laju alir massa <i>weak solution</i>
\dot{m}_2	Laju alir massa <i>strong solution</i>
ρ_{udara}	Massa jenis udara
$c_{p\ udara}$	Kalor spesifik udara
A	Luas penampang <i>ducting</i>
v_{udara}	Kecepatan <i>udara</i>
h_2	Entalpi <i>strong solution</i> pada <i>inlet</i> generator
h_3	Entalpi R22 pada <i>inlet</i> kondensor
h_4	Entalpi <i>weak solution</i>
h_5	Entalpi <i>outlet</i> kondensor
h_6	Entalpi <i>inlet</i> evaporator
h_7	Entalpi <i>outlet</i> evaporator
Q_{evap}	Kapasitas pendinginan
Q_{gen}	Kalor yang diserap generator
COP	<i>Coefficient of Performance</i>

UCAPAN TERIMA KASIH

Dalam penyusunan tugas akhir ini, penulis berusaha menerapkan ilmu yang didapat selama menjalani perkuliahan di Jurusan Teknik Mesin ITS. kiranya penulis tidak akan mampu menyelesaikan tugas akhir ini tanpa bantuan, saran, dukungan dan motivasi dari berbagai pihak. oleh karena itu penulis menyampaikan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada bapak dosen pembimbing serta dosen penguji dan seluruh pihak yang memabantu kelancaran pengerjaan jurnal ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Himawan Boby. 2013. “Variasi Laju Pendinginan Kondensor Pada Mesin Pendingin Difusi Absorpsi R22- DMF”. Surabaya: Tugas Akhir Teknik Mesin FTI-ITS.
- [2] Riva’I, Mohamad. 2013. “Studi Eksperimen Mesin Pendingin Difusi Absorpsi R-22- DMF Dengan Variasi Heater Geerator”. Surabaya: Tugas Akhir Teknik Mesin FTI-ITS.
- [3] Cahyadi, Aris N. 2012. “Study eksperimen Variasi Beban Pendinginan pada Evaporator Mesin Pendingin Difusi Absorpsi Musicool22-DMF”.