

Studi Eksperimental Pengaruh Variasi Debit Fluida Engine Oil Sebagai Heater Generator Terhadap Performansi Mesin Pendingin Difusi Absorpsi Musicool22-DMF

Angga Panca Adianto dan Sudjud Darsopuspito
Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)
Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111 Indonesia
e-mail: sudjud@me.its.ac.id

Abstrak — Teknologi pendinginan lama yang mulai digunakan salah satunya adalah mesin pendingin Difusi Absorpsi COP dari mesin pendingin difusi absorpsi banyak dipengaruhi dari desain generator. Pada penelitian ini eksperimen dilakukan dengan mendesain ulang generator dan solar kolektor sebagai sumber panas yang didistribusikan oleh fluida engine oil, pada mesin pendingin difusi absorpsi yang menggunakan pasangan refrigeran Musicool22-DMF. Metode dalam penelitian ini adalah pengambilan data dilakukan dengan tiga variasi debit fluida engine oil. Hasil yang diperoleh dari pengujian untuk debit 4 liter/jam dapat menghasilkan panas input yang paling tinggi di dalam generator sebesar 101.9 °C. Dengan kapasitas pendinginan 121.5watt, laju aliran massa Musicool22 0.64gr/s. Heat input yang diserap generator sebesar 145.1 watt dan COP yang dihasilkan sistem adalah 0.8 dengan Circulation Ratio 2.5. Kontribusi energi surya yang diberikan kepada generator sebesar 39.3%

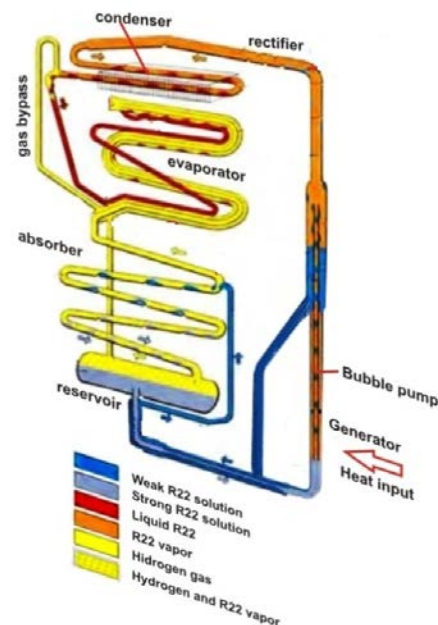
Kata Kunci— refrigerasi difusi absorpsi, generator, bubble pump, laju aliran massa refrigerasi, larutan Musicool22 – DMF (*dimetilformamida*).

I. PENDAHULUAN

Refrigerasi difusi absorpsi pertama kali ditemukan oleh Platen dan Munters pada tahun 1926 [1]. Fluida kerja yang digunakan pada sistem difusi absorpsi refrigerasi ini adalah refrigeran, absorben dan tambahan gas inert (hidrogen atau helium). Mesin pendingin difusi absorpsi banyak digunakan sebagai mesin pendingin *portable*.

Dari tahun ke tahun makalah tentang sistem pendingin difusi absorpsi telah banyak dijelaskan. Sebuah penelitian memodifikasi generator [2] dan pasangan refrigeran Musicool22-DMF dengan tujuan untuk meningkatkan kinerja dari siklus pendingin difusi absorpsi. Pada penelitian menunjukkan performansi dari siklus pendingin difusi absorpsi meningkat. Dalam studi lainnya dari siklus pendingin difusi absorpsi [3] sebuah eksperimen memvariasikan untuk konsentrasi massa R22 dan daya generator. Hal ini menunjukkan bahwa peningkatan performansi (COP, Kapasitas pendinginan, Suhu evaporator dan laju alir massa refrigerant) berasal dari variasi konsentrasi massa R22 dan daya generator.

Manfaat dari penelitian ini adalah memberikan informasi pengaruh variasi debit fluida engine oil sebagai heater generator terhadap performansi dari mesin pendingin difusi absorpsi.



Gambar 1. Skema Refrigerasi Difusi Absorpsi Musicool22-DMF

II. URAIAN PENELITIAN

A. Siklus Refrigerasi Difusi Absorpsi

Siklus refrigerasi difusi absorpsi dimulai dari tangki penampung (*reservoir*) yang terdapat larutan Musicool22-DMF. Larutan didalam reservoir tersebut 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 yang menyebabkan sebagian besar Musicool22 menguap. Gelembung-gelembung uap Musicool22 yang terbentuk menekan larutan cair yang berada di dalam pipa *bubble pump*. Prinsip kerja dari *bubble pump* sendiri yaitu memanfaatkan massa jenis refrigeran yang lebih rendah dibanding absorben, dan juga perbedaan titik didih dari refrigeran yang lebih rendah dibandingkan dengan absorben.

Uap Musicool22 akan terus bergerak ke atas menuju *rectifier*, sementara larutan yang mengandung sedikit Musicool22 cair (*weak solution*) dialirkan kembali menuju absorber. Uap Musicool22 yang bergerak keatas menuju *rectifier* ini sebenarnya masih mengandung sedikit DMF karena ketika Musicool22 menguap di generator ada

sebagian fraksi kecil DMF yang ikut menguap juga. Uap ini terus bergerak menuju *rectifier* untuk dimurnikan, dimana proses yang terjadi ialah pelepasan kalor dari sistem ke lingkungan. Saat melewati kondensor Musicool22 vapor akan terkondensasi secara sempurna, sehingga saat keluar dari kondensor diperoleh Musicool22 dalam fase *saturated liquid*. Desain kondensor sendiri dibuat miring agar saat Musicool22 berubah fase jadi *saturated liquid* akan membawa Musicool22 ke inlet evaporator secara natural akibat gaya gravitasi.

Pada inlet evaporator, Musicool22 dengan fase *saturated liquid* bertemu dengan hidrogen sebagai gas inert yang berfungsi untuk menurunkan tekanan parsial Musicool22 menjadi 1bar sedangkan tekanan parsial hidrogen 24bar. Turunnya tekanan mengakibatkan Musicool22 cair dapat menguap pada temperatur yang lebih rendah. Pada saat yang sama Musicool22 cair ini juga menerima kalor dari beban pendinginan sehingga Musicool22 cair mulai menguap. Musicool22 terus menguap mengalir di dalam evaporator hingga pada *outlet* evaporator tekanan parsialnya sudah naik

B. Perhitungan Sistem Refrigerasi Difusi Absorpsi

a. Fraksi massa

$$X = \frac{m_{R22}}{m_{R22} + m_{DMF}} \dots\dots\dots(1)$$

b. Laju alir massa refrigeran

$$\dot{m}_{ref} = \frac{p_{udara} \cdot v \cdot A \cdot c_p \cdot udara \cdot (T_{uo} - T_{ui})}{(h_3 - h_5)} \dots\dots\dots(2)$$

c. Laju alir massa strong solution

$$\dot{m}_{SS} = \dot{m}_{ws} + \dot{m}_{ref} \dots\dots\dots(3)$$

d. Laju alir massa weak solution

$$\dot{m}_{WS} = \dot{m}_3 \frac{(X_R - X_{SS})}{(X_{SS} - X_{WS})} \dots\dots\dots(4)$$

Dimana konsentrasi *weak solution* (X_{ws}) diperoleh dari plot data temperatur dan tekanan pada P-T-X diagram [4].

e. Kapasitas pendinginan

$$\dot{Q}_{evap} = \dot{m}_{ref} (h_7 - h_5) \dots\dots\dots(5)$$

f. Kalor yang diserap generator

$$\dot{Q}_{gen} = \dot{m}_{ref} \cdot h_3 + \dot{m}_{ws} \cdot h_4 - \dot{m}_{ss} \cdot h_2 \dots\dots\dots(6)$$

g. Efisiensi generator

$$\eta_{gen} = \frac{\dot{Q}_{gen}}{\dot{Q}_{heater\ gen}} \dots\dots\dots(7)$$

h. Coefficient of Performance (COP)

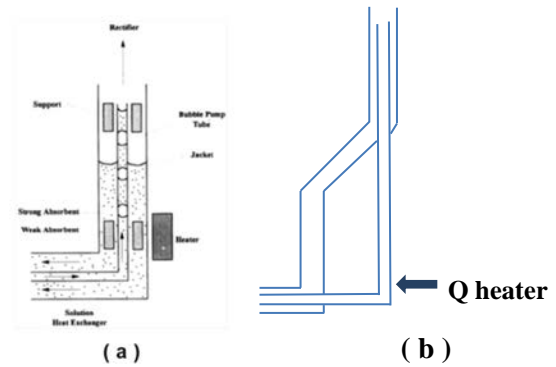
$$COP = \frac{\dot{Q}_{evap}}{\dot{Q}_{gen}} \dots\dots\dots(8)$$

i. Circulation ratio (f)

$$f = \frac{\dot{m}_{ss}}{\dot{m}_{ref}} \dots\dots\dots(9)$$

C. Studi Penelitian Refrigerasi Difusi Absorpsi

Pada penelitian Riva'i [2] melakukan penelitian dengan memodifikasi generator dimana pipa bubble pump dan pipa *weak solution* dipisahkan (**Gambar 2**) hal demmikian dilakukan denghan tujuan agar *heat input* yang diberikan *heater* pada generator dapat langsung diserap oleh pipa *bubble pump*. Pasangan refrijeran dan absorben yang

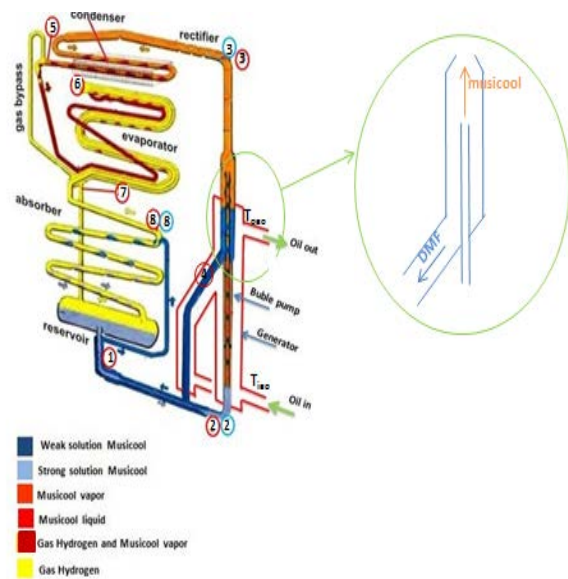


Gambar 2 a. Generator sebelum dimodifikasi
b. Generator sesudah dimodifikasi

digunakan adalah R22-DMF serta gas hydrogen sebagai gas inert.

III. METODOLOGI

D. Skema Desain Sistem Pendingin Difusi Absorpsi

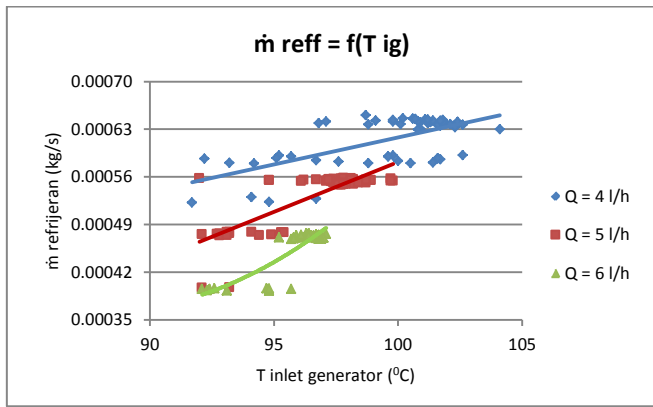


Gambar 3. Desain Sistem Pendingin Difusi Absorpsi

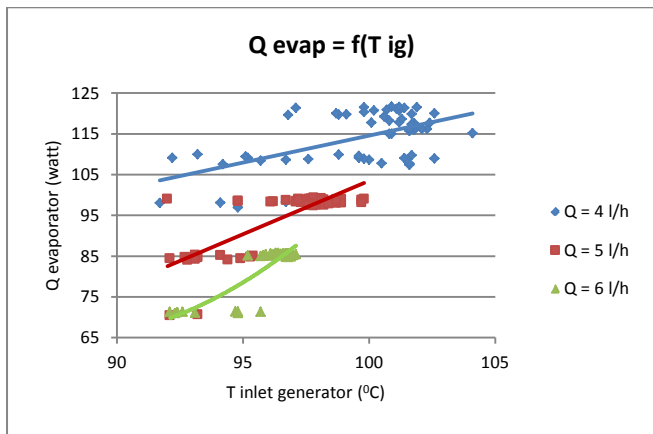
Keterangan:

1. *Strong solution* keluar absorber
2. *Inlet* generator (*strong solution*)
3. *Inlet* kondensor
4. *Weak solution* keluar generator
5. *Outlet* kondensor
6. *Inlet* evaporator
7. *Outlet* evaporator
8. *Gas hydrogen* dari absorber masuk inlet evaporator
9. Heater generator

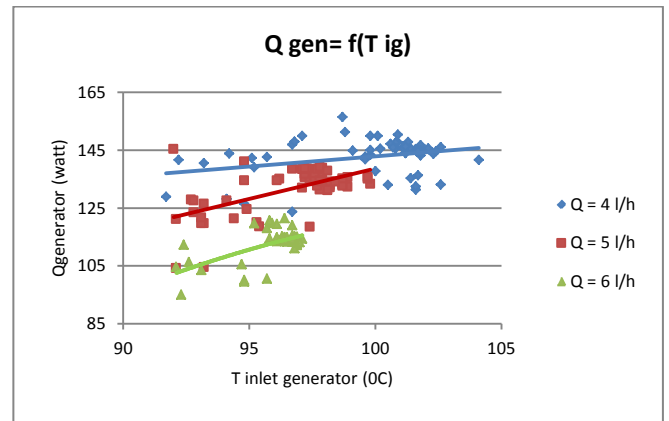
Awal mula melakukan uji kebocoran pada komponen sistem. Setelah tidak ada kebocoran, refrigerant, absorben dan gas inert di injeksikan kedalam sistem, lalu memasang pipa oli dan kolektor surya kemudian proses *running* alat dilanjutkan proses pengambilan data dengan langkah-langkah yang sudah ditentukan pada penelitian.



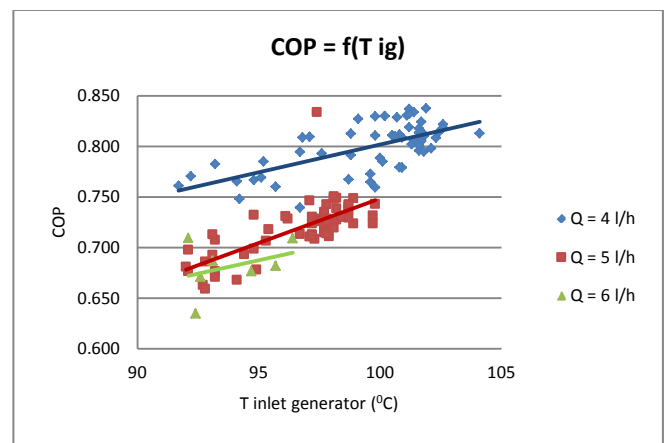
Gambar 4. Grafik laju alir massa refrigeran fungsi T inlet genrator



Gambar 5. Grafik Qevaporator fungsi T inlet generator



Gambar 6. Grafik Laju alir massa fungsiT inlet generator



Gambar 7. Grafik COP fungsi T inlet generator

Langkah pertama menyalakan fan kondensor, menyalakan sensor temperature, menyalakan heater generator dan pompa oli hingga sistem berjalan steady. Lalu dilakukan pengambilan data temperatur, tekanan pada titik-titik pengamatan serta data kecepatan fan dan udara masuk, keluar ducting kondensor

Setelah data pertama didapatkan dilanjutkan kembali pengambilan data secara bertahap dengan variasi debit fluida engine oil dari 4 liter/jam, 5 liter/jam dan 6 liter/jam.

IV. ANALISA DATA

Pada penelitian eksperimen sistem pendingin difusi absorpsi dengan variasi debit fluida engine oil didapatkan beberapa analisa performansi siklus pendingin dengan grafik. Gambar 4 membahas pengaruh temperatur engine oil yang memasuki generator terhadap laju alir massa refrigeran. Dari hasil grafik menunjukkan bahwa semakin besar temperatur engine oil yang memasuki generator maka semakin besar pula laju alir massa refrigeran.

Pada gambar 5 di bawah terlihat bahwa grafik tersebut memiliki tren yang semakin relatif naik. Semakin tinggi temperatur inlet generator maka kapasitas pendinginan juga semakin naik. Hal ini terjadi karena semakin tingginya temperatur engine oil maka semakin besar panas yang diberikan engine oil untuk ditransfer menuju generator. Jika panas yang diberikan engine oil pada generator semakin besar maka panas yang diserap generator akan semakin besar. Dengan adanya panas yang tinggi akan mengakibatkan refrijeran dalam generator menguap, dimana semakin tinggi panas yang diserap generator maka semakin banyak pula refrijeran yang akan menguap. Semakin banyak refrijeran yang menguap akan mengakibatkan laju aliran massa dari refrijeran ikut meningkat pula. Dengan meningkatnya nilai

$\dot{m}_{refrigeran}$ secara tidak langsung laju perpindahan panas pada evaporator akan meningkat karena $\dot{m}_{refrigeran}$ berbanding lurus dengan laju perpindahan panas. Hal ini dapat di buktikan dari rumus sebagai berikut : $\dot{Q}_{evap} = \dot{m}_{ref}(h_7 - h_6)$ Pada Gambar 6 adalah perbandingan antara grafik laju perpindahan panas pada generator untuk debit fluida engine oil 4 liter/jam, 5 liter/jam dan 6 liter/jam, dapat dilihat bahwa grafik mempunyai tren yang cenderung meningkat. Dimana semakin besar nilai temperatur engine oil yang masuk ke dalam generator, maka nilai laju perpindahan panas pada generator akan semakin meningkat juga.

Setelah dilakukan analisa data, debit fluida engine oil 4 liter/jam mempunyai nilai laju perpindahan panas yang paling tinggi jika dibandingkan dengan debit 5 liter/jam dan 6 liter/jam. Hal ini terjadi karena debit 5 liter/jam dan 6 liter/jam mempunyai kecepatan aliran yang terlalu besar sehingga saat pendistribusian engine oil panas menuju generator akan terlalu cepat dan laju perpindahan panas yang terjadi di dalam generator akan sangat kecil.

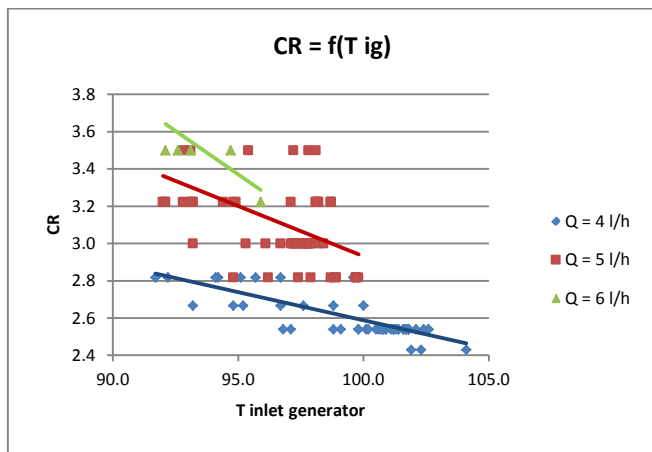
Pada Gambar 7 dapat di lihat bahwa grafik dengan debit fluida engine oil 4 liter/jam, 5 liter/jam, dan 6 liter/jam mempunyai tren yang cenderung naik seiring bertambahnya nilai dari temperatur engine oil yang masuk ke dalam generator.

Dari grafik di atas dapat di analisa bahwa COP akan meningkat seiring bertambahnya nilai temperatur inlet generator. Dengan melihat perumusan COP :

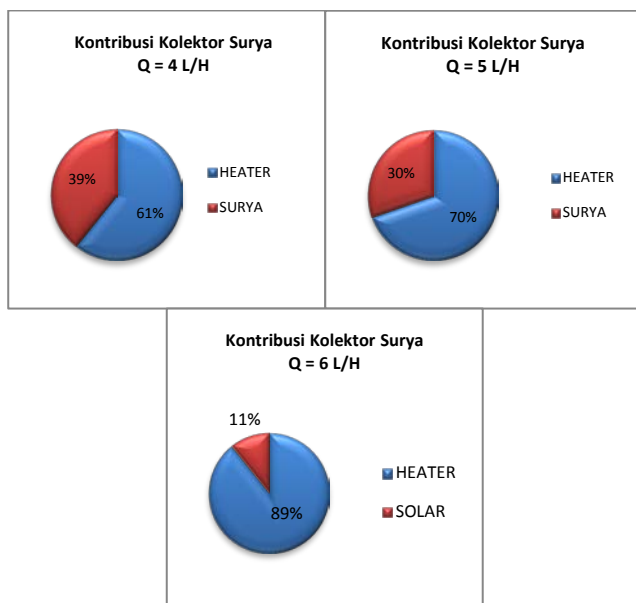
$$COP = \frac{\dot{Q}_{evaporator}}{\dot{Q}_{generator}}$$

Jadi semakin besar nilai temperatur engine oil yang masuk ke dalam generator maka nilai $\dot{Q}_{generator}$ dan $\dot{Q}_{evaporator}$ akan meningkat sehingga nilai COP juga akan meningkat seiring bertambahnya nilai laju perpindahan panas yang terjadi di dalam generator dan evaporator.

Dari Gambar 8 adalah grafik hasil dari analisa untuk debit fluida engine oil 4 liter/jam, 5 liter/jam dan 6 liter/jam, dapat



Gambar 8. Grafik Circulation ratio fungsi T inlet genrator



Gambar 9. Grafik Kontribusi Kolektor Surya

dilihat bahwa grafik memiliki tren yang cenderung menurun, dimana nilai *circulation ratio* akan menurun seiring dengan bertambahnya temperatur *engine oil* yang masuk ke dalam generator. Hal ini sesuai dengan Gambar 4 dimana nilai laju aliran massa refrigeran akan meningkat seiring bertambahnya temperatur *engine oil* yang masuk ke dalam generator. Dari perumusan *circulation ratio* of $f = \frac{\dot{m}_{ss}}{\dot{m}_{ref}}$ Nilai dari *circulation ratio* akan menurun akibat laju aliran massa refrigeran yang meningkat. Sehingga bila temperatur *engine oil* yang masuk ke dalam generator mengalami peningkatan, maka nilai dari *circulation ratio* akan mengalami penurunan. Dari grafik di atas dapat dilihat bahwa nilai terkecil dari *circulation ratio* diperoleh pada debit fluida *engine oil* 4 liter/jam yaitu 2.4286 dengan temperatur inlet generator sebesar 104.1 °C.

Pada Gambar 9 adalah grafik yang menampilkan waktu penggunaan heater elektrik dan solar kolektor. Dapat dilihat bahwa kontribusi solar kolektor terbesar terjadi saat debit 4 liter/jam sedangkan untuk kontribusi solar kolektor terendah adalah saat debit 6 liter/jam.

Semakin tinggi debit fluida *engine oil* maka kontribusi solar kolektor kepada generator akan semakin kecil. Hal ini terjadi karena semakin tinggi nilai debit maka laju perpindahan panas yang terjadi pada solar kolektor akan kurang maksimal sehingga saat *engine oil* keluar dari pipa receiver solar kolektor temperatur yang didapatkan tidak akan setinggi temperatur saat fluida *engine oil* dialirkan dengan debit 4 liter/jam. Pada saat debit 4 liter/jam solar kolektor mempunyai kontribusi kepada paling tinggi, hal ini terjadi karena saat pengambilan data pada debit 4 liter/jam kondisi

atau cuaca yang terjadi sangat terang, sehingga nilai dari intensitas matahari saat itu sangat tinggi dan solar kolektor dapat berkontribusi selama 165 menit.

V. KESIMPULAN/RINGKASAN

Setelah dilakukan eksperimen terhadap mesin pendingin difusi absorpsi pasangan Musicool22-DMF dengan fluida *engine oil* sebagai *heat input* generator dengan tiga variasi bukaan katup pada aliran fluida *engine oil*, maka dapat di ambil beberapa kesimpulan diantaranya adalah :

- A. Semakin tinggi temperatur inlet generator, maka :
 1. Performa sistem difusi absorpsi semakin baik
 2. Laju aliran massa refrigeran yang mengalir di dalam evaporator semakin tinggi
 3. Laju aliran massa refrigeran, *weak solution* dan massa *strong solution* semakin tinggi.
 4. Nilai laju perpindahan panas pada generator, kondensor dan evaporator akan semakin tinggi.
 5. Nilai *circulation ratio* semakin menurun.
 6. Nilai COP semakin meningkat.
- B. Unjuk kerja terbaik dari sistem difusi absorpsi diperoleh pada temperatur inlet generator sebesar 104.1 °C dengan debit *engine oil* 4 liter/jam yaitu :
 - Kapasitas pendinginan : 120.4819 watt
 - COP : 0.83
 - $\dot{m}_{refrigeran}$: 0.00064 kg/s
 - $\dot{m}_{weak\ solution}$: 0.001 kg/s
 - $\dot{m}_{strong\ solution}$: 0.00164 kg/s
 - Circulation ratio* : 2.5358
- C. Semakin rendah nilai *circulation ratio* maka semakin tinggi nilai COP. Dimana semakin tinggi nilai COP yang dihasilkan sistem maka semakin baik performa dari mesin pendingin difusi absorpsi.
- D. Besarnya kontribusi yang diberikan kolektor surya kepada generator untuk masing-masing debit fluida *engine oil* adalah:
 - Debit 4 liter/jam : 39.2857%
 - Debit 5 liter/jam : 30.3571%
 - Debit 6 liter/jam : 10.7143%

NOMENKLATUR

| | |
|------------------|--|
| X | Fraksi massa |
| X_{ss} | Fraksi massa <i>strong solution</i> |
| X_{ws} | Fraksi massa <i>weak solution</i> |
| m_{R22} | Massa <i>refrigerant</i> |
| m_{DMF} | Massa DMF |
| \dot{m}_{ref} | Laju alir massa refrigeran |
| \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 | Kecepatan udara |
| h_3 | Entalpi refrigeran |
| h_4 | Entalpi <i>weak solution</i> |
| h_2 | Entalpi <i>strong solution</i> |
| h_5 | Entalpi outlet kondensor |
| h_7 | Entalpi outlet evaporator |
| \dot{Q}_{evap} | Kapasitas pendinginan |
| \dot{Q}_{gen} | Kalor yang diserap generator |
| η_{gen} | Efisiensi generator |
| COP | <i>Coefficient of Performance</i> |
| f | <i>Circulation ratio</i> |

UCAPAN TERIMA KASIH

Dalam penyusunan tugas akhir ini, penulis berusaha menerapkan ilmu yang didapat selama menjalani perkuliahan di teknik mesin. 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.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Von Platen, B.C. & Munters, C.G., 1928. Refrigerator. U.S. Patent 1,685,764.
- [2] Riva'I Mohammad. 2012. "*Studi Eksperimen Mesin Pendingin Difusi Absorpsi R22-DMF Dengan Variasi Heater Generator*". Surabaya: Tugas Akhir Teknik Mesin FTI-ITS.
- [3] Ardita. I. N. 2008. "*Studi Eksperimental Penggunaan Refrigeran-Absorben (R22-DMF) pada Performansi Siklus Refrigerasi Absorpsi Difusi*". Surabaya: Thesis Teknik Mesin FTI-ITS.
- [4] Fatouh, M. & Murthy, S. S. 1992. "Comparison of R22-Absorbent Pairs For Vapour Absorption HeatTransformers Based On P-T-X-H Data". Heat Recovery Systems & CHP Vol. 13, No. I: 33-48.