

Studi Eksperimen Variasi Beban Pendinginan pada Evaporator Mesin Pendingin Difusi Absorpsi Musicool22-DMF

Aris Nur Cahyadi 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 kembali salah satunya adalah mesin pendingin Difusi Absorpsi atau sering disebut DAR (*Diffusion Absorption Refrigeration*). Pada penelitian ini akan dilakukan pengujian performa mesin DAR yang berada di Jurusan Teknik Mesin ITS Surabaya, yang diberi beban pendinginan pada kabin evaporatornya. Beban pendinginan pada penelitian ini berupa *electric heater* yang disambungkan dengan *Voltage Regulator* untuk mengatur panas *output electric heater* tersebut. Ada tiga variasi beban pendinginan yang akan diujikan yaitu beban pendinginan dengan suhu heater 25⁰C, suhu heater 32,5⁰C dan terakhir suhu heater 37⁰C. Pasangan Refrijerasi-Absorben yang digunakan pada penelitian kali ini adalah Musicool22-DMF (*Dimetilformamida*) dan gas hidrogen sebagai gas inert. Panas yang diberikan ke generator berasal dari fluida panas berupa *engine oil* yang disirkulasikan pada pipa generator. *Engine oil* ini dipanaskan oleh dua piranti, yaitu *electric heater* dan kolektor surya yang dikontrol oleh kontroler ATMega 32 bergantian memanasi *engine oil*. Hasil yang diperoleh dari pengujian performa sistem DAR dengan tiga variasi beban pendinginan yaitu semakin tinggi beban pendinginan maka semakin baik performa sistem DAR. Kapasitas pendinginan optimal ialah 136 W, COP tertinggi 0,87, laju alir massa refrigeran terbesar ialah 0,75 gram/s, dan *circulation ratio* terendah yaitu 2,17.

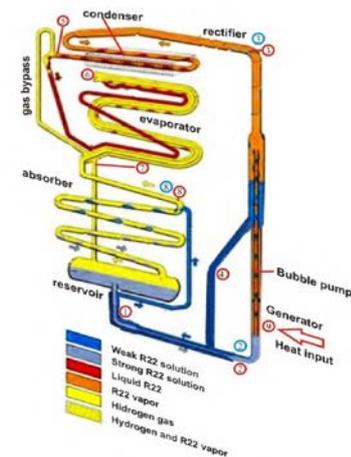
Kata Kunci— DAR, Musicool22 - DMF, Beban Pendinginan, Evaporator.

I. PENDAHULUAN

A. Penelitian Terdahulu

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).

Beda dengan sistem VCR (*Vapour Compression Refrigeration*) yang memiliki COP, pada sistem DAR tidak terdapat komponen kompresor di dalamnya, semua siklus berjalan secara alami, sehingga laju alir massa refrigeran relatif sangat kecil yang menyebabkan kapasitas pendinginan dan COP yang rendah. Pada penelitian [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. Hasil penelitian ini menunjukkan hasil modifikasi desain generator yang baru memberikan panas generator (Q_{gen}) dan COP sistem DAR yang lebih tinggi.



Gambar 1. Skema Refrigerasi Difusi Absorpsi Musicool22-DMF

Pada penelitian [3] melakukan penelitian performa mesin DAR dengan memvariasikan laju pendinginan pada kondensor, yaitu dengan memvariasikan kecepatan *fan* kondensor. Ada empat variasi kecepatan yang diujikan 0,711 m/s, 1,478 m/s, 2,038 m/s, dan 2,291 m/s. Hasil penelitian menunjukkan bahwa semakin tinggi laju pendinginan maka laju alir massa refrigeran, kapasitas pendinginan dan COP juga semakin meningkat.

Penelitian ini dilakukan dengan pengujian performa mesin DAR dengan melakukan variasi beban pendinginan pada kabin evaporator. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui performa mesin DAR yang diberi beban pendinginan yang berubah-ubah dan untuk mengetahui besarnya penghematan listrik yang dilakukann oleh piranti kolektor surya tipe *Parabolic Through*

B. Siklus Refrigerasi Difusi Absorpsi

Pada Gambar 1 dapat kita lihat ilustrasi Siklus DAR. Siklus dimulai dari tangki penampung (*reservoir*) dimana di dalamnya terdapat larutan Musicool22-DMF. Larutan di dalam tangki tersebut dikenal dengan istilah *strong solution* (larutan kaya), kemudian *strong solution* mengalir menuju generator. *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*.

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, dan dimurnikan dari fraksi kecil DMF yang ikut terbawa. Saat melewati kondensor uap Musicool22 akan terkondensasi secara sempurna, sehingga saat keluar dari kondensor diperoleh Musicool22 dalam fase *saturated liquid* atau cair jenuh.

Pada inlet evaporator, bertemu dengan hidrogen sebagai gas inert yang berfungsi untuk menurunkan tekanan parsial Musicool22 menjadi 1 bar sedangkan tekanan parsial hidrogen 24 bar. Turunnya tekanan mengakibatkan Musicool22 cair dapat menguap pada temperatur yang lebih rendah. Setelah Musicool22 masuk ke evaporator, maka Musicool22 mendapatkan beban pendinginan dari kabin evaporator, sehingga Musicool22 akan menguap hingga keluar pada outlet evaporator pada fase *superheated*. Setelah keluar dari evaporator, uap Musicool22 akan mengalir menuju absorber, dimana disini terjadi penyerapan uap Musicool22 oleh DMF yang kemudian larutan ini akan mengalir menuju tangki reservoir sebagai *strong solution*. Kemudian siklus ini berulang terus sampai panas generator dihentikan.

C. Perhitungan Sistem Refrigerasi Difusi Absorpsi

a. Laju alir massa refrigeran

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

b. Kapasitas pendinginan

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

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. Coefficient of Performance (COP)

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

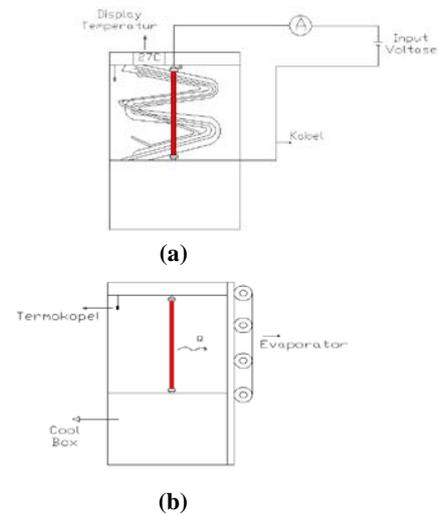
II. METODOLOGI

Skema Pengujian peforma DAR dengan variasi beban pendinginan. Gambar 2 menunjukkan skema penelitian. 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 (tanpa beban), 15 Volt (suhu heater 32,5⁰C) dan 30 Volt (suhu heater 37,5⁰C). Sehingga beban pendinginan yang dikeluarkan oleh *heater electric* juga bervariasi.

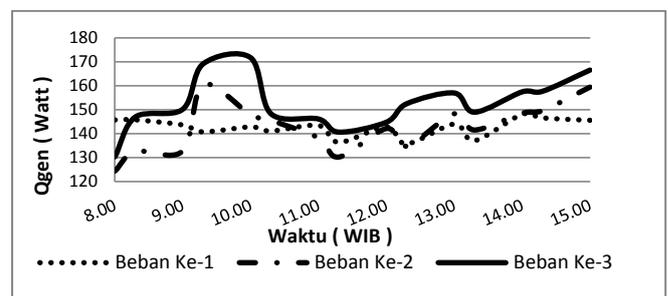
Langkah pertama memasang *electric heater* didalam kabin dan mengatur besaran input tegangannya. Setelah langkah tersebut selesai, langkah selanjutnya adalah menghidupkan sistem DAR dengan cara menghidupkan *electric heater* sumber panas generator, mengatur kolektor surya dan menyalakan *fan* kondensor. Setelah itu dilakukan pengambilan data dari pukul 08.00 WIB s.d 15.00 WIB. Setelah data pertama didapatkan dilanjutkan kembali pengambilan data secara bertahap dengan variasi beban pendinginan yang lainnya.

III. ANALISA DATA

Pada penelitian pengujian peformasi sistem DAR dengan pemberian variasi beban pendinginan menghasilkan beberapa grafik dengan tiga variasi beban pendinginan. Pada Gambar 3 menampilkan grafik panas generator (Q_{gen}) terhadap fungsi waktu pengambilan data.



Gambar 2. (a) Skema Pengujian (tampak depan) (b)

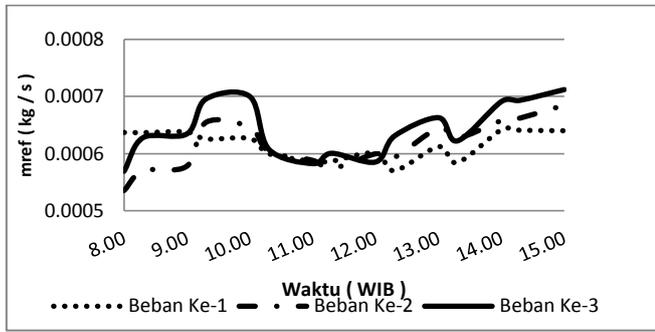


Gambar 3. Grafik Q_{gen} fungsi waktu

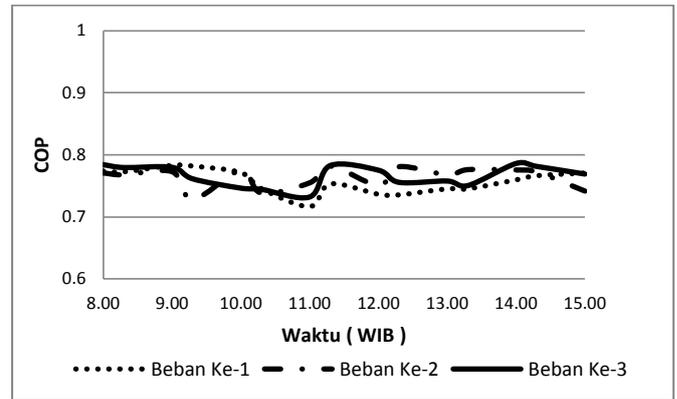
Grafik yang fluktuatif disebabkan karena sumber panas generator yang berbeda. Tren grafik yang naik dikarenakan pada waktu itu sumber panas berasal dari *electric heater*, sedangkan tren grafik yang turun diakibatkan pada waktu tsb sumber panas generator berasal dari kolektor surya, yang notabennya panas outputnya lebih kecil dibanding panas output *electric heater*.

Gambar 4 adalah grafik hubungan antara laju alir massa refrigeran (\dot{m}_{ref}) terhadap fungsi waktu.

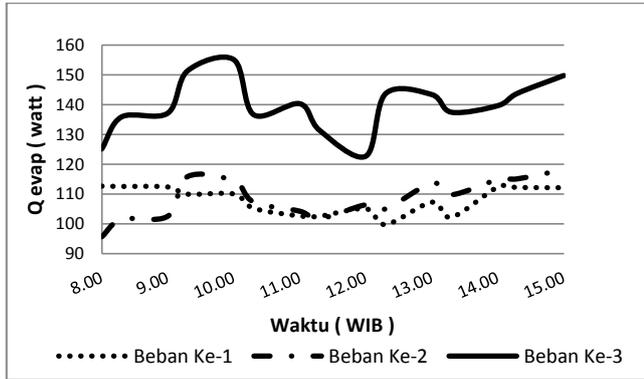
Tren grafik yang naik pada awal waktu pengambilan data dikarenakan pada awal waktu panas bersumber dari *heater electric* yang terus memanasi *engine oil* sehingga akan semakin banyak refrigeran yang akan menguap, yang mengakibatkan nilai \dot{m}_{ref} akan terus naik, kemudian tren grafik yang menurun pada rentang waktu 10.30 s.d 11.30 WIB dikarenakan pada waktu itu sumber panas berasal dari kolektor surya, dimana panas yang dihasilkan lebih kecil jika dibanding panas yang dihasilkan oleh *heater electric*, sehingga panas yang ditransfer oleh *engine oil* menurun sehingga penguapan refrigeran akan menurun yang menyebabkan nilai \dot{m}_{ref} juga akan turun. Adapun tren grafik yang semakin meningkat pada pukul 11.30 s.d 15.00 WIB disebabkan sumber panas telah berganti menjadi *heater electric*, sehingga panas yang diberikan akan kembali meningkat dan nilai \dot{m}_{ref} pun juga akan meningkat.



Gambar 4. Grafik m_{ref} fungsi waktu



Gambar 6. Grafik COP fungsi waktu pengambilan data



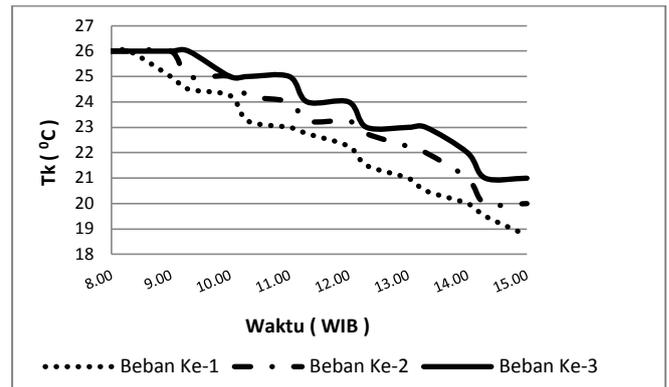
Gambar 5. Grafik Q_{evap} fungsi waktu pengambilan data

Pada gambar 5 merupakan grafik hubungan antara kapasitas pendinginan (Q_{evap}) terhadap fungsi waktu

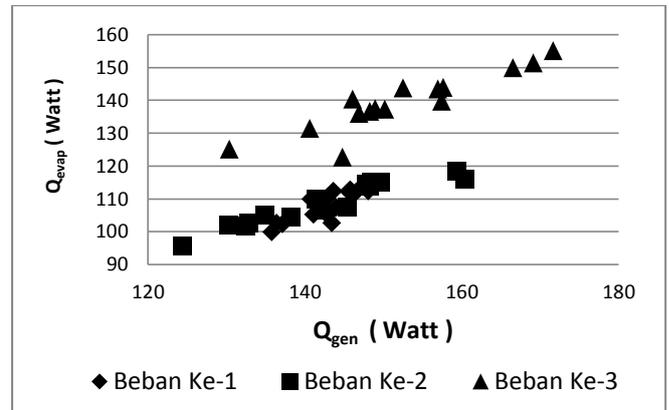
Nilai Q_{evap} sangat dipengaruhi oleh besar kecilnya nilai m_{ref} . Semakin tinggi nilai m_{ref} , maka nilai Q_{evap} juga akan semakin tinggi. Terlihat bahwa grafik Q_{evap} fluktuatif. Fluktuasi ini diakibatkan oleh naik turunnya nilai m_{ref} , yang juga berfluktuasi karena sumber panas generator yang tidak konstan. Nilai maksimum Q_{evap} pada penelitian ini adalah 155 Watt, sedangkan nilai minimumnya sebesar 99,84 Watt.

Pada gambar 6 merupakan grafik hubungan antara COP terhadap fungsi waktu. COP sendiri adalah perbandingan antara panas yang diserap oleh evaporator, dengan panas yang diberikan ke generator. Dimana pada sistem pendinginan VCR (*Vapour Compression Refrijeration*), nilai dari COP ini selalu lebih besar dari satu (>1). Adapun pada sistem DAR nilai yang dihasilkan masih rendah, kurang dari satu (<1). Nilai COP sendiri cenderung fluktuatif pada rentang nilai 0,7 – 0,8 dengan sedikit deviasi. Nilai COP yang cenderung fluktuatif dikarenakan panas input generator yang juga berubah-ubah. Setelah direrata, nilai COP tertinggi terjadi pa variasi beban ketiga sebesar 0,786, kemudian beban kedua sebesar 0,781 dan terakhir beban pertama sebesar 0,71.

Pada Gambar 7 adalah perbandingan rata – rata temperatur kabin pada tiap variasi percobaan. Dari gambar diatas terlihat grafik pada variasi pembebanan ketiga menempati posisi paling atas dengan suhu awal kabin evaporator berkisar pada $26^{\circ}C$ dan suhu akhirnya berkisar pada angka $21^{\circ}C$, kemudian diikuti variasi yang kedua dengan suhu awal kabin evaporator berkisar pada $26^{\circ}C$ dan suhu akhirnya berkisar pada rentang $19 - 20^{\circ}C$ dan yang terakhir adalah kondisi kabin tanpa pembebanan, dimana suhu awal kabin adalah $26^{\circ}C$ dan suhu akhir kabin pada rentang $18 - 19^{\circ}C$.

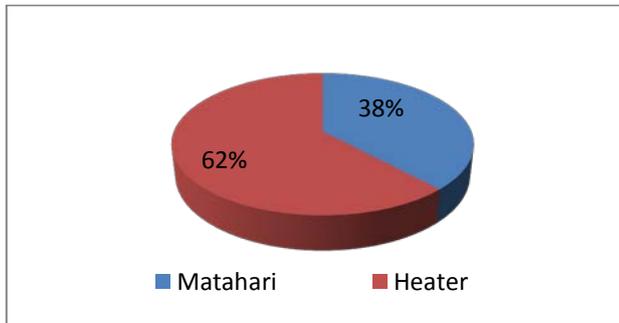


Gambar 7. Grafik Temperatur kabin evaporator fungsi waktu pengambilan data



Gambar 8. Grafik Kapasitas Pendinginan Fungsi Panas Generator

Pada Gambar 8 ditampilkan grafik Kapasitas Pendinginan (Q_{evap}) terhadap fungsi Panas generator (Q_{gen}). Tren grafik yang muncul adalah positif, dimana nilai Q_{evap} akan semakin besar dengan semakin bertambahnya nilai Q_{gen} . Rata-rata Nilai maksimum Q_{evap} pada percobaan kali ini sebesar 155 Watt, terjadi pada variasi beban pendinginan ketiga. Sedangkan nilai minimum nya sebesar 95,72 Watt terjadi pada variasi beban kedua. Grafik tertinggi terdapat pada variasi beban ketiga, hal ini pada variasi beban ketiga, suhu *electric heater* yang digunakan sebagai beban pendinginan mempunyai nilai paling tinggi (suhu *electric heater* $37,5^{\circ}C$) jika dibandingkan dengan beban pendinginan yang lain (suhu *electric heater* $32,5^{\circ}C$ dan $25^{\circ}C$ 0, hal ini menyebabkan temperature kabin evaporator juga semakin tinggi, sehingga perpindahan panas antara kabin evaporator dan evaporator pun semakin besar, perpindahan panas inilah yang disebut sebagai kapasitas pendinginan atau Q_{evap} .



Gambar 9. Diagram penggunaan energi mesin pendingin DAR.

Pada gambar 9 ditampilkan *pie diagram* presentase penggunaan energi untuk menjalankan sistem DAR. Pada penelitian ini, energi atau panas yang diberikan ke generator sistem DAR berasal dari dua sumber. Pertama dari panas *heater electric* dan yang kedua, panas bersumber dari komponen kolektor surya. Dua sumber panas ini akan silih berganti memanaskan *engine oil*, dimana terdapat komponen pengontrol ATmega 32 sebagai otak pengontrolnya. Setelah dihitung secara keseluruhan penggunaan energi pada eksperimen selama dua belas hari pengambilan data, maka didapat nilai penghematan energi listrik sebesar 38 %. Dan 62% kebutuhan energi masih dipenuhi oleh energi listrik.

IV. KESIMPULAN/RINGKASAN

Setelah melakukan penelitian terhadap mesin pendingin sistem difusi absorpsi Musicool-22 - DMF, maka dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Semakin tinggi beban pendinginan, maka semakin tinggi pula COP sistem DAR.
2. Dengan memvariasikan beban pendinginan di kabin evaporator DAR, diperoleh nilai – nilai optimum dari performa sistem DAR pada variasi beban tertinggi (Suhu heater 37,5 °C) sebagai berikut :
 - Panas generator (Q_{gen}) maksimum adalah 176,11 Watt
 - Laju alir massa refrijeran (\dot{m}_{ref}) maksimum adalah 0,784 gram / s
 - Panas yang diserap evaporator (Q_{evap}) Maksimum adalah 136 Watt
 - *Cofricient Of Peformance* (COP) maksimum 0,831
 - Panas yang dibuang kondensor (Q_{cond}) maksimum 153,17 Watt
 - *Circulation Ratio* (f) terbaik sebesar 2,176
3. Dari pengujian Absorpsi selama dua belas hari, didapatkan penghematan energi yang dihasilkan oleh Kolektor surya sebesar
 - Variasi Beban Pertama (tanpa beban) per tanggal 17 – 20 September 2013 sebesar 39%.
 - Variasi Beban Kedua (suhu heater 32,5°C) per tanggal 21 – 24 September 2013 sebesar 34%
 - Variasi Beban Ketiga (suhu heater 37,5°C) per tanggal 03 - 06 Oktober 2013 sebesar 41%

Penghematan energi yang dihasilkan oleh kolektor surya secara keseluruhan selama dua belas hari pengujian mesin pendingin DAR sebesar 38 %.

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
$c_p \text{ udara}$	Kalor spesifik udara
A	Luas penampang <i>ducting</i>
v	Kecepatan <i>udara</i>
h_3	Entalpi <i>refrigeran</i>
h_4	Entalpi <i>weak solution</i>
h_2	Entalpi <i>strong solution</i>
h_5	Entalpi <i>outlet</i> kondensor
h_7	Entalpi <i>outlet</i> evaporator
\dot{Q}_{evap}	Kapasitas pendinginan
\dot{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] Riva'I, Mohamad. 2013. "Studi Eksperimen Mesin Pendingin Difusi Absorpsi R-22- DMF Dengan Variasi Heater Geerator". Surabaya: Tugas Akhir Teknik Mesin FTI-ITS.
- [2] Himawan Boby. 2013. "Variasi Laju Pendinginan Kondensor Pada Mesin Pendingin Difusi Absorpsi R22- DMF". Surabaya: Tugas Akhir Teknik Mesin FTI-ITS.
- [3] Von Platen, B.C. & Munters, C.G., 1928. Refrigerator. U.S. Patent 1,685,764.
- [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. 1: 33-48.