

PENGARUH VARIASI PEMASANGAN HEAT EXCHANGERS PADA REFRIGERATOR TERHADAP KAPASITAS PENDINGINAN DAN LAJU ALIRAN MASSA REFRIGERAN

Ega Taqwali Berman

Jurusan Pendidikan Teknik Mesin, FPTK Universitas Pendidikan Indonesia, Jl. Dr. Setiabudi No. 207
Bandung 40154 Tel dan Fax (022) 2020162, Hp: 081321866024,

kkega_refac@yahoo.com

ABSTRACT

This study aims to compare the effect of variations in the refrigerator heat exchanger installation of cooling capacity and refrigerant mass flow rate. Tests performed on the test section consists of two types of heat exchangers, Suction-Liquid Heat Exchanger (SLHX) and Tube in Tube Heat Exchanger (TiTHX). Test data measured at the temperature of the cooling load temperature of 60C to - 60C and the working fluid is used as a cooling medium is a refrigerant 12. As a result, it was obtained that in this research was cooling capacity by a refrigeration system that uses TiTHX 0.6% greater than the refrigeration system that uses SLHX. This is due to there is little difference between the temperature of evaporation and temperature liquid refrigerant that will go into the expansion device on a system that uses TiTHX than refrigeration systems that use SLHX. The amount of refrigerant is circulated 0.6% less on a system that uses TiTHX than systems that use SLHX.

Keyword: refrigerator, heat exchangers, cooling capacity, refrigerant

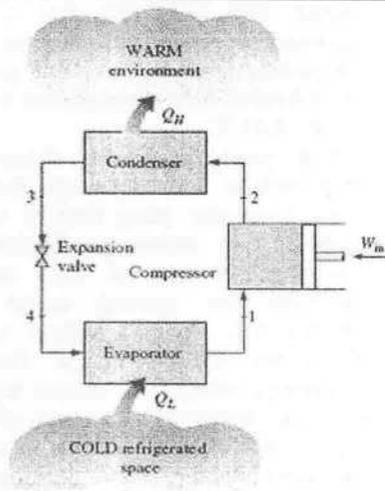
1. PENDAHULUAN

Sistem pendingin memegang peranan penting dalam kehidupan manusia baik yang skala besar untuk industri maupun skala kecil untuk rumah tangga. Saat ini khususnya di perkotaan, mesin pendingin merupakan suatu peralatan yang dapat dijumpai pada hampir setiap perkantoran, rumah sakit, pusat perbelanjaan, gedung-gedung pertemuan dan rumah tangga. Mesin pendingin dapat berfungsi sebagai *refrigerator, freezer, chiller* baik untuk kebutuhan *Air Conditioning (AC)* maupun penunjang proses produksi.

Tingginya harga listrik saat ini semakin membuat masyarakat resah, khususnya bagi mereka yang menggunakan peralatan mesin pendingin untuk kegiatan sehari-hari. Pemakaian mesin pendingin mempunyai andil yang besar dalam konsumsi energi listrik. Di Indonesia, Hermanto (2005) menyebut sekitar 60% konsumsi listrik hotel di Jakarta digunakan untuk memasok energi mesin pendingin (AC). Oleh karena itu, usaha penghematan energi yang dilakukan terhadap mesin pendingin (AC) akan berdampak signifikan terhadap usaha penghematan energi di dunia. Mengingat semakin mahalnya harga listrik dan semakin menipisnya sumber energi tak terbarui yang tersedia, maka diperlukan usaha untuk menghemat energi dengan meningkatkan

efisiensi kerja peralatan, khususnya dalam hal ini mesin pendingin.

Saat ini, kebanyakan mesin pendingin bekerja berdasarkan siklus refrigerasi kompresi uap (*vapor compression refrigeration cycle*). Pada siklus refrigerasi kompresi uap terdapat 4 komponen utama yaitu: evaporator, kompresor, kondensor dan alat ekspansi seperti dapat dilihat pada Gambar 1. *Refrigeran* saat mengalir dalam *evaporator* dan *suction line* berada pada temperatur rendah (biasanya lebih rendah sekitar 10⁰C sampai 15⁰C dari temperatur ruangan yang didinginkan). Setelah keluar dari kompresor, *refrigeran* mengalir dalam kondensor dan *liquid line* dengan temperatur lebih tinggi kira-kira 10⁰C sampai 15⁰C dari temperatur udara sekitar. Dengan demikian, *refrigeran* keluar kondensor dan masuk alat ekspansi pada temperatur yang lebih tinggi dibandingkan saat di dalam *line suction*. Perbedaan temperatur di kedua sisi tersebut dapat dimanfaatkan sebagai alat penukar kalor (*heat exchanger*).



Gambar 1. Skema Siklus Refrigerasi Kompresi Uap (sumber: Cengel, 2006: 611)

Pemasangan heat exchanger pada sistem pendingin merupakan salah satu cara untuk meringankan kerja kompresor dalam sistem sehingga akan berdampak pada pengurangan pemakaian energi listrik dan meningkatkan unjuk kerja dari sistem tersebut. Secara spesifik ASHRAE (1998) menyatakan bahwa pemasangan *heat exchanger* pada sistem refrigerasi sangat efektif untuk: 1) meningkatkan unjuk kerja sistem, 2) mendinginkan liquid refrigeran untuk mencegah terbentuknya gelembung-gelembung gas pada saluran masuk ke katup ekspansi, 3) menguapkan semua liquid refrigeran yang keluar dari evaporator untuk mencegah liquid masuk ke saluran hisap kompresor.

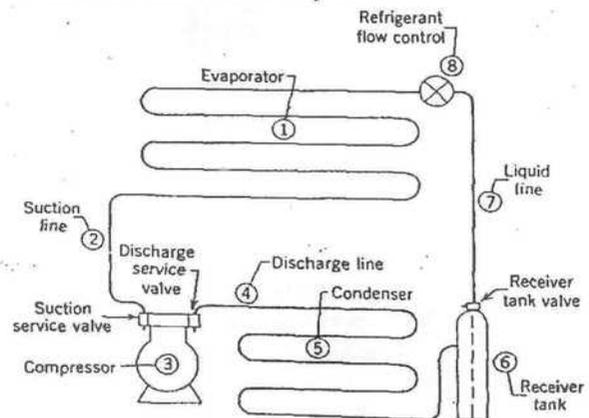
Berbagai cara yang dilakukan untuk membuat alat penukar kalor pada sistem refrigerasi diantaranya adalah dengan menempelkan saluran *suction* dengan saluran *liquid* (Domanski dan Didion, 1994, Klein et al., 2000, Mastrullo et al., 2007) atau dengan cara melilitkan pipa kapiler (alat ekspansi) dengan saluran *suction* (Handoyo, 2002). Berdasarkan penjelasan tersebut, maka dalam penelitian ini bertujuan untuk membandingkan pengaruh pemasangan *heat exchanger* dengan menggunakan SLHX dan TiTHX terhadap kapasitas pendinginan dan laju aliran massa refrigeran pada refrigerator.

2. METODE PENELITIAN

Kebanyakan mesin refrigerasi saat ini bekerja berdasarkan siklus refrigerasi kompresi uap (*vapor compression refrigeration cycle*). Diagram dari siklus refrigerasi kompresi uap ditunjukkan oleh Gambar 2. Komponen-komponen dari sistem tersebut adalah :

- Evaporator yang berfungsi untuk melakukan perpindahan kalor dari ruangan/produk yang didinginkan ke refrigeran yang mengalir di dalamnya melalui permukaan dindingnya.

- Saluran suction yang menghubungkan uap refrigeran tekanan rendah dari evaporator ke inlet suction dari kompresor.
- Kompresor berfungsi untuk memindahkan uap refrigeran dari evaporator dan menaikkan tekanan dan temperatur uap refrigeran ke suatu titik di mana uap tersebut dapat berkondensasi dengan normal sesuai dengan media pendinginnya.
- Saluran discharge (*hot gas*) menyalurkan uap refrigeran tekanan tinggi dan temperatur tinggi dari discharge kompresor ke kondensor.
- Kondensor berfungsi melakukan perpindahan kalor melalui permukaannya dari uap refrigeran ke media pendingin kondensor.
- Receiver tank berfungsi untuk menyimpan refrigeran cair dari kondensor sehingga pengiriman refrigeran cair selalu tersedia bilamana evaporator memerlukannya.
- Saluran liquid menyalurkan refrigeran cair dari receiver tank ke alat ekspansi.



Gambar 2 Diagram sistem refrigerasi kompresi uap (Sumber: Dossat, 1961:78)

- Alat ekspansi berfungsi untuk mengatur jumlah refrigeran yang mengalir ke evaporator dan menurunkan tekanan refrigeran cair yang masuk ke evaporator sehingga refrigeran cair akan menguap dalam evaporator pada tekanan rendah.

Diagram tekanan dan enthalpy (P-h)

Kondisi refrigeran pada setiap keadaan termodinamika dapat diketahui dengan memberikan *point* (titik) pada P-h diagram. Berdasarkan P-h diagram, seperti ditunjukkan oleh Gambar 3, kita dapat mengetahui proses-proses yang terjadi selama siklus refrigerasi berlangsung yaitu: proses kompresi, proses kondensasi, proses ekspansi dan proses evaporasi. Besaran-besaran penting yang diperlukan dalam siklus kompresi uap seperti kapasitas pendinginan (efek refrigerasi), kerja kompresi, jumlah pelepasan kalor, daya kompresor, jumlah refrigerant yang disirkulasikan dan koefisien unjuk

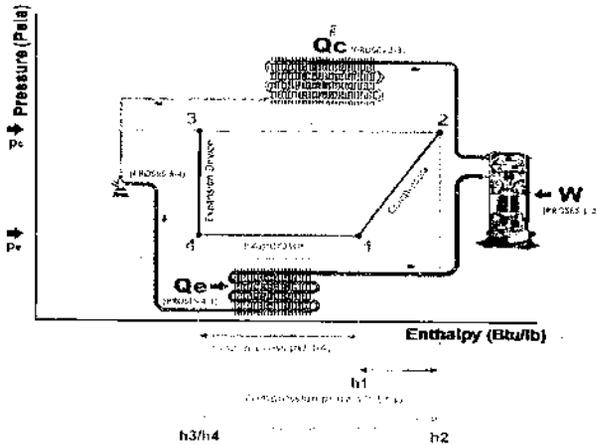
kerja (*coefficient of performance*) dapat diketahui dari setiap proses yang terjadi selama siklus refrigerasi berlangsung.

a. Hasil kerja kompresi yang dihasilkan selama proses kompresi dalam satuan Btu/lb dapat dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$W_k = h_2 - h_1 \dots \dots \dots (1)$$

b. Jumlah panas yang dibuang di kondensor sebagai hasil dari proses kondensasi dalam satuan Btu/lb dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$Q_c = h_2 - h_3 \dots \dots \dots (2)$$



Gambar 3 Sketsa diagram tekanan-enthalpy (P-h) (Sumber: Hermawan, 2011)

c. Besarnya jumlah panas yang mampu diserap oleh evaporator disebut juga dengan kapasitas pendinginan (efek refrigerasi) dan nilainya dapat dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$R_e = h_1 - h_4 \dots \dots \dots (3)$$

Selanjutnya untuk mengetahui jumlah refrigerant yang disirkulasikan (lb/min) di dalam sistem refrigerasi dapat dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$m = \frac{200}{R_e} \dots \dots \dots (4)$$

Semua proses pengujian dilakukan di Laboratorium Refrigerasi dan Tata Udara, Jurusan Pendidikan Teknik Mesin, Fakultas Pendidikan Teknologi dan Kejuruan, Universitas Pendidikan Indonesia, Bandung. Peralatan yang dipakai dalam eksperimen ini ditunjukkan oleh Gambar 4, fluida kerja yang digunakan sebagai media pendingin adalah refrigeran 12, dan sebagai beban pendinginan digunakan larutan air garam, dengan komposisi

campuran 500 gram air dan 60 gram garam. Penggunaan air garam 12% dimaksudkan agar tidak terjadi proses pembekuan selama pengambilan data, karena diketahui bahwa temperatur beku air garam 12 % adalah -8,05 °C.

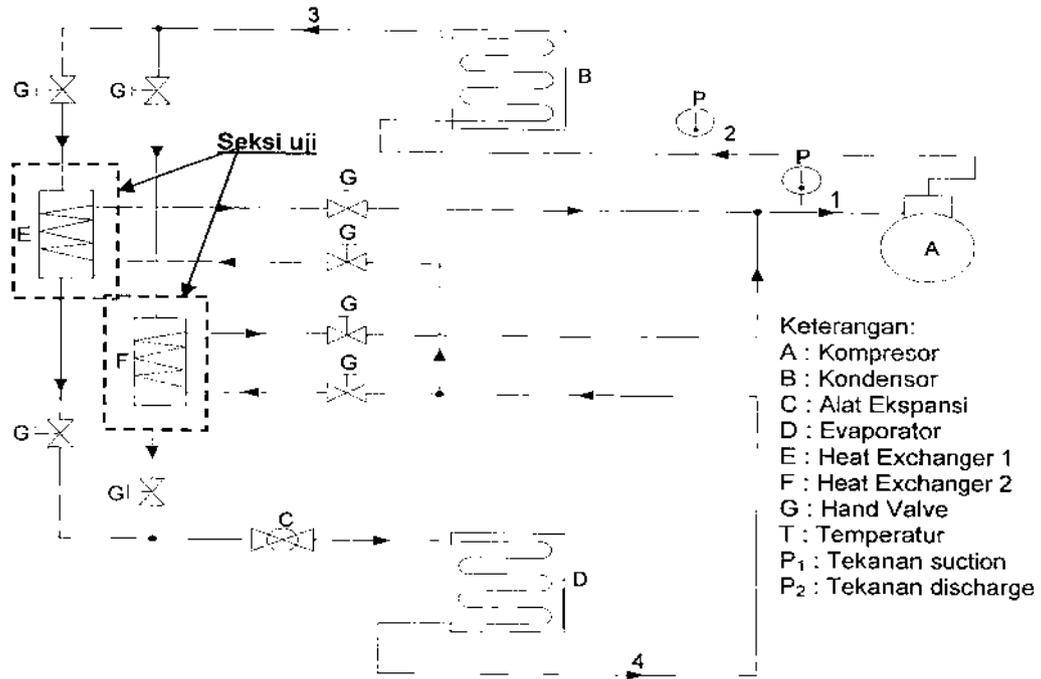
Data yang diperlukan dalam penelitian ini dijarah melalui cara observasi (pengamatan) pada alat uji. Parameter yang diamati adalah tekanan, temperatur, dan waktu pendinginan yang terjadi selama mesin beroperasi. Data temperatur beban pendinginan (air garam) mulai diambil pada temperatur 6°C dengan asumsi mesin pendingin sudah dalam kondisi *steady*. Kemudian diamati penurunannya setiap 1°C sampai temperatur beban pendinginan mencapai temperatur -6°C yaitu sebelum mencapai titik bekunya. Data tekanan dan waktu pendinginan beban diambil bersamaan dengan data temperatur, selengkapya instrumen penelitian dapat dilihat pada Tabel 1.

Cara pengujian yang dilakukan dalam penelitian ini mengikuti prosedur pengujian yang dilakukan Handoyo (2002) adalah sebagai berikut:

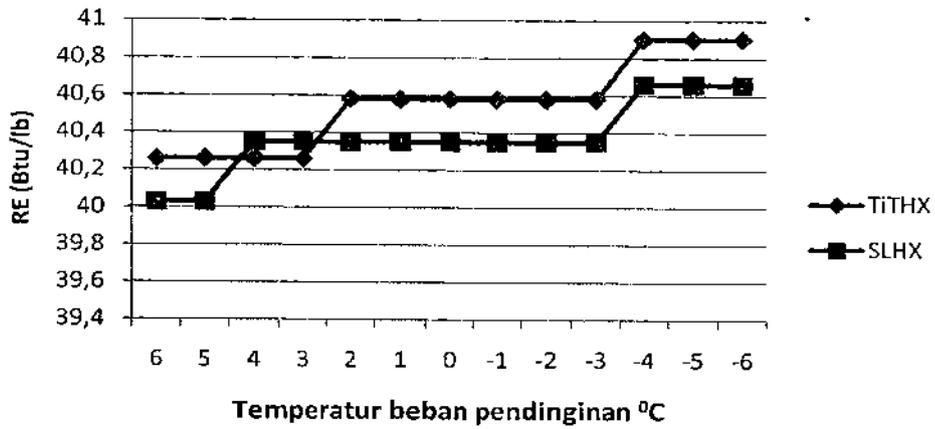
1. Sebelum penelitian dilakukan, semua alat ukur yaitu termometer dan pressure gauge dikalibrasi terlebih dahulu.
2. Sebelum mengisi refrigerant, mesin pendingin divakum terlebih dahulu.
3. Memeriksa kondisi alat uji guna menghindari terjadinya kebocoran refrigerant khususnya pada sambungan-sambungan las dan *hand valve*.
4. Mengoperasikan mesin pendingin selama ± 1 jam untuk mencapai kondisi *steady*.
5. Memasukkan bejana yang berisi air garam 12 % sebanyak 500 gram ke ruang freezer. Bejana ini telah dilengkapi dengan termometer.
6. Agar beban pendinginan sama, maka pengukuran dilakukan pada saat yang sama yaitu saat air garam mulai mencapai temperatur 6°C hingga -6°C di mana pengamatan dilakukan tiap penurunan 1°C. Pengukuran temperatur dan tekanan diambil di empat titik seperti pada Gambar 4.
7. Selain pengukuran temperatur dan tekanan, waktu yang diperlukan untuk menurunkan temperatur air garam sebesar 1°C juga dicatat.
8. Mengulangi prosedur eksperimen selama empat kali (empat hari yang berbeda).
9. Mengulangi prosedur no. 3 hingga no. 6 untuk satu kondisi yang lainnya.

Tabel 1 Data pengamatan alat uji

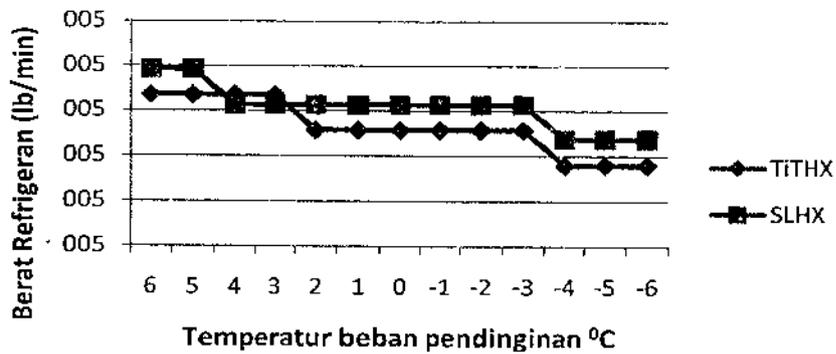
No	Titik Pengukuran	Data pendinginan pada Temperatur.... (°C)												
		6	5	4	3	2	1	0	-1	-2	-3	-4	-5	-6
1	Tek. Suction (Psia)	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√
2	Tek. Discharge (Psia)	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√
3	Temp. kondensor (°F)	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√
4	Temp. evaporator (°F)	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√
5	Waktu pendinginan (detik)	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√



Gambar 4 Skema alat penelitian



Gambar 5 Perbandingan Kapasitas pendinginan antara SLHX dan TiTHX



Gambar 6 Perbandingan pemakaian refrigeran antara SLHX dan TiTHX

3. HASIL PENELITIAN

3.1. Hasil pengujian

Berdasarkan data pengamatan yang diperoleh selama pengujian, kemudian data hasil pengamatan tersebut diplot pada diagram P-h sehingga didapatkan nilai enthalpy pada setiap titik pengukuran. Setelah nilai enthalpy diketahui selanjutnya menghitung besaran kapasitas pendinginan dan laju aliran massa refrigeran dengan menggunakan persamaan matematis sesuai dengan persamaan 3 dan 4. Keseluruhan data hasil perhitungan disusun ke dalam Tabel 2 dan Tabel 3.

3.2. Analisa dan pembahasan

Kapasitas pendinginan (Efek refrigerasi)

Berdasarkan hasil perhitungan data pengujian terlihat pada Gambar 5 bahwa kapasitas pendinginan untuk kedua jenis heat exchanger menunjukkan trend grafik yang sama yaitu meningkat pada saat temperatur beban pendinginan semakin rendah. Pada kondisi awal (temperatur beban 6°C) kapasitas pendinginan untuk SLHX diperoleh 40,03 Btu/lb dan pada kondisi akhir (temperatur beban -6°C) diperoleh 40,66 Btu/lb. Sementara itu kapasitas pendinginan pada TiTHX adalah 40,26 Btu/lb untuk kondisi awal dan 40,9 Btu/lb pada kondisi akhir. Kapasitas pendinginan yang dicapai oleh TiTHX lebih besar 0,6 % daripada pencapaian oleh SLHX, hal ini disebabkan ketika sistem menggunakan TiTHX terdapat perbedaan yang kecil antara temperatur penguapan dan temperatur refrigeran cair yang akan masuk ke alat ekspansi. Sehingga, hanya sebagian kecil refrigeran yang menguap di dalam alat ekspansi dan bagian yang lebih besar menguap di evaporator dan menghasilkan pendinginan yang bermanfaat.

a. Laju aliran refrigeran

Banyaknya refrigeran yang dialirkan di dalam sistem refrigerasi berhubungan dengan kapasitas pendinginan yang diperoleh. Berdasarkan data pengujian banyaknya refrigeran yang dialirkan untuk kedua jenis heat exchanger ditunjukkan oleh Gambar 6. Pada sistem yang menggunakan TiTHX jumlah refrigeran yang disirkulasikan lebih sedikit 0,6 % dibandingkan dengan sistem yang menggunakan SLHX. Hal tersebut karena kapasitas pendinginan yang diperoleh TiTHX lebih besar daripada SLHX. Pada sistem yang menggunakan SLHX refrigeran yang disirkulasikan sebesar 5 lb/min untuk kapasitas pendinginan yang diperoleh sebesar 4,03 Btu/lb. Sedangkan pada sistem yang menggunakan TiTHX refrigeran yang disirkulasikan sebesar 4,97 lb/min untuk kapasitas pendinginan yang diperoleh sebesar 40,26 Btu/lb. Semakin banyak kapasitas pendinginan yang diperoleh, maka jumlah aliran refrigeran yang disirkulasikan semakin sedikit.

Tabel 2 Data hasil pengujian pada Suction Liquid Heat Exchanger

Tem P. Beban $^{\circ}\text{C}$	Kapasitas pendinginan Btu/lb	Laju aliran refrigeran lb/min
6	40.03	5.00
5	40.03	5.00
4	40.35	4.96
3	40.35	4.96
2	40.35	4.96
1	40.35	4.96
0	40.35	4.96
-1	40.35	4.96
-2	40.35	4.96
-3	40.35	4.96
-4	40.66	4.92
-5	40.66	4.92
-6	40.66	4.92

Tabel 3 Data hasil pengujian pada Tube in Tube Heat Exchanger

Temp. Beban $^{\circ}\text{C}$	Kapasitas pendinginan Btu/lb	Laju aliran refrigeran lb/min
6	40.26	4.97
5	40.26	4.97
4	40.26	4.97
3	40.26	4.97
2	40.58	4.93
1	40.58	4.93
0	40.58	4.93
-1	40.58	4.93
-2	40.58	4.93
-3	40.58	4.93
-4	40.9	4.89
-5	40.9	4.89
-6	40.9	4.89

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian dan analisa data maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Besaran nilai kapasitas pendinginan pada sistem yang menggunakan TiTHX lebih besar 0,6% daripada sistem refrigerasi yang menggunakan SLHX.

2. Jumlah aliran refrigeran yang disirkulasikan pada sistem refrigerasi yang menggunakan TiTHX lebih sedikit 0,6% dari pada sistem refrigerasi yang menggunakan SLHX.

Daftar pustaka

- [1] ASHRAE *Refrigeration Handbook*, American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers., 1998. ISBN 1-883413-54-0, Chapter 2.
- [2] Çengel YA, Boles MA. 2006. *Thermodynamics: An Engineering Approach*. 5th ed. McGraw-Hill.
- [3] Domanski PA, Didion DA. 1994. *Evaluation of suction-line/liquid-line heat exchange in the refrigeration cycle*. *International Refrigeration Conference* 17: 487-493.
- [4] Dossat, R.J. 1961. *Principles of Refrigeration*, John Wiley & Sons, Inc. New York and London.
- [5] Handoyo EA, Lukito A. 2002. Analisis pengaruh pipa kapiler yang dililitkan pada line suction terhadap performansi mesin pendingin. *Jurnal Teknik Mesin*. Vol. 4: 94 – 98.
- [6] Klein S.A., Reindl D.T., Brownell K., 2000, Refrigeration system performance using liquid-suction heat exchangers, *Int.J. Refrigeration*. Vol. 23: 588-596.
- [7] Mastrullo R, Mauro A.W., Tino S., Vanoli G.P., 2007, A chart for predicting the possible advantage of adopting a suction/liquid heat exchanger in refrigerating system, *J. Applied Thermal Engineering* 27: 2443-2448.
- [8] Hermanto A., Suwono, A., Abdurrochim, Pasek A.D., 2005, Pengembangan Metode Simulasi Sistem Pengkondisian Udara Energi Surya, *J. Teknik Mesin*, Vol. 20, No.2.
- [9] Hermawan A. 2011. HVAC dan Refrigerasi Tutorial, Tersedia di: <http://citrapelangunusantara.blogspot.com>, diunduh 31.10.2011, pk.11.10 am.