

PENGUKURAN KOEFISIEN PERPINDAHAN KALOR EVAPORASI REFRIGERAN R-134a DI DALAM SALURAN HALUS VERTIKAL DENGAN VARIASI KAPASITAS BEBAN PENDINGINAN

Arya Yuda Handika

Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta Jalan Lingkar Selatan Tamantirto, Kasihan, Bantul, DI Yogyakarta, Indonesia, 55183

Arya.yuda.2013@ft.umy.ac.id

INTISARI

Penelitian ini menggunakan refrigeran R-134a atau *Tetrafluoroethane* (CF_3CH_2F). Refrigeran ini termasuk dalam HFC (*Hydro Fluoro Carbon*) yang tidak memiliki unsur Cl (*Chlor*) dan merupakan zat yang tidak berwarna, tidak terlalu berbau, memiliki titik didih pada suhu kamar serta dapat digunakan dalam tekanan rendah, refrigeran R-134a digunakan dalam sistem refrigerasi kompresi uap sederhana yang dimodifikasi, tujuan penelitian ini untuk mengetahui pengaruh beban pendinginan terhadap koefisien perpindahan kalor evaporasi dalam saluran halus vertikal.

Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah metode eksperimental dengan memvariasikan kapasitas beban pendingin (*cooling load*) pada evaporator dan juga mengatur frekuensi inverter untuk mengatur variasi laju aliran refrigeran. Evaporator diletakkan di dalam suatu bak dengan ukuran 25 cm x 15 cm x 20 cm yang nantinya akan diisi air dan debitnya diukur menggunakan rotameter air. Pengujian dilakukan dengan menggunakan alat uji berupa sistem kompresi uap sederhana yang dimodifikasi dengan menambahkan *heater*, *seksi uji*, dan *orifice*. Pada titik yang sudah ditentukan letakkan *pressure gauge* dan termokopel untuk pengambilan data tekanan dan temperaturnya. Refrigeran yang digunakan adalah R-134a.

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa nilai koefisien perpindahan kalor evaporasi naik dengan naiknya kapasitas beban pendinginan yang diberikan ke dalam evaporator, dengan ditambahkannya beban pendinginan (*cooling load*) per satu variasi laju aliran massa maka didapatkan nilai koefisien perpindahan kalor evaporasi (h_{evap}) tertinggi yaitu 4836,089 W/m²K pada variasi frekuensi inverter 16 Hz. Nilai kapasitas beban pendinginan (*cooling load*) tertinggi yaitu 1030,20 Watt yaitu pada variasi frekuensi inverter 24 Hz. Nilai koefisien perpindahan kalor evaporasi (h_{evap}) terendah yaitu 707,25 W/m²K yaitu pada frekuensi 24 Hz, nilai kapasitas beban pendinginan (*cooling load*) terendah yaitu 281,75 Watt yaitu pada frekuensi 18 Hz.

Kata Kunci : Koefisien Perpindahan Kalor, evaporasi, *cooling load*, R-134a, Saluran Halus vertikal.

I. PENDAHULUAN

1.1.Latar Belakang

Seiring dengan kemajuan teknologi, para ilmuwan telah membuat alat pengkondisi udara, Pada daerah tropis yang memiliki suhu rata-rata lebih tinggi daripada daerah lain dapat dicapai suatu kondisi yang nyaman untuk beraktivitas. Pengkondisian udara merupakan proses perlakuan terhadap udara dengan mengatur suhu, kelembaban, kebersihan dan pendistribusiannya secara serentak guna mencapai kondisi nyaman yang dibutuhkan oleh penghuni yang berada di dalamnya dengan baik, apalagi kegiatan yang dilakukan dalam ruangan, misalnya di dalam kantor dan kendaraan, bahkan untuk beristirahat pun kebanyakan orang memerlukan penggunaan alat ini untuk kenyamanan (Stoecker, 1992).

Dalam sistem kerjanya, terdapat fluida yang berperan sebagai media penghantar panas yang disebut refrigeran. Refrigeran dibedakan berdasarkan unsur pembentuknya yaitu CFC (*Chloro Fluoro Carbon*), HCFC (*Hydro Chloro Fluoro Carbon*), HFC (*Hydro Fluoro Carbon*), dan Refrigeran Hidrokarbon. Diperlukan refrigeran yang stabil, tidak mudah terbakar, tidak beracun dan kompatibel dengan sebagian besar komponen sistem refrigerasi. Dalam penelitian ini, refrigeran yang akan digunakan adalah refrigeran R-134a atau *Tetrafluoroethane* (CF_3CH_2F). Refrigeran ini termasuk dalam HFC (*Hydro Fluoro Carbon*) yang tidak memiliki unsur Cl (*Chlor*) dan merupakan zat yang tidak berwarna, tidak terlalu berbau, memiliki titik didih pada suhu kamar serta dapat

digunakan dalam tekanan rendah walaupun masih memiliki GWP yang cukup tinggi.

Salah satu jenis dari sistem refrigerasi adalah Sistem Refrigerasi Kompresi Uap. Sistem ini memiliki evaporator tempat terjadinya perubahan fasa dari fasa campuran menjadi fasa uap yang dapat disebut proses evaporasi. Proses tersebut tidak selalu konstan, tetapi bergantung pada salah satu parameter yang dapat disebut laju aliran massa refrigeran. Parameter ini dapat mengubah pola aliran refrigeran dari suatu sistem, hingga dapat mengubah nilai dari koefisien perpindahan kalor evaporasi.

Dari latar belakang tersebut, penulis membuat judul “Pengukuran Koefisien Perpindahan Kalor Evaporasi Saluran Halus Pipa Vertikal pada Variasi Beban pendingin dengan Refrigeran R-134a”. Banyak pengaruh yang dapat mengubah nilai dari koefisien perpindahan kalor evaporasi seperti pola aliran, sifat dari fluida, kecepatan fluida dan lainnya. Dengan banyaknya pengaruh tersebut, penelitian ini dilakukan secara eksperimental.

1.2.Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian pengukuran koefisien perpindahan kalor evaporasi refrigeran R-134a dengan variasi kapasitas beban pendinginan di dalam saluran halus vertikal yaitu untuk mengetahui pengaruh beban pendinginan terhadap koefisien perpindahan kalor evaporasi dalam saluran halus vertikal..

1.3.Manfaat Penelitian

Pada penelitian ini diharapkan dapat memberikan beberapa manfaat diantaranya sebagai berikut:

1. Memberikan informasi tentang nilai koefisien perpindahan kalor evaporasi

terhadap variasi kapasitas beban pendinginan refrigerant R-134a khususnya dalam saluran halus vertikal.

2. Untuk perbandingan data penelitian sejenis yang terkait dengan variasi kapasitas beban pendinginan yang lain.
3. Menambah daftar pustaka mengenai koefisien perpindahan kalor evaporasi

1.4. Manfaat Penelitian

Bahan yang akan digunakan pada penelitian ini adalah Freon R-134a dan air. Freon R-134a berfungsi sebagai fluida penyerap kalor yang terdapat di dalam saluran, sedangkan air berfungsi sebagai sumber kalor yang masuk ke dalam evaporator, nantinya akan diatur debitnya sehingga berapa banyak kalor yang terserap dapat dihitung dan bisa diketahui pengaruh yang akan terjadi pada nilai koefisien perpindahan kalornya.

II. Pendekatan Teori

2.1. Perpindahan Kalor

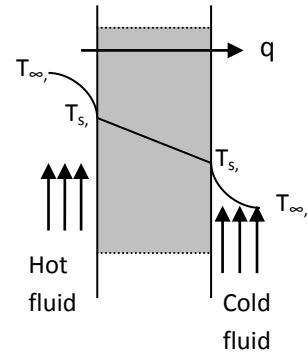
Perpindahan kalor (*heat transfer*) adalah ilmu yang mempelajari perpindahan energi yang terjadi akibat adanya perbedaan suhu antara benda atau material. Energi yang berpindah tersebut dinamakan kalor (heat). Perpindahan kalor dibagi atas tiga macam, yaitu:

1. Perpindahan kalor Konduksi
2. Perpindahan kalor Radiasi
3. Perpindahan kalor Konveksi

2.2. Perpindahan Kalor Konduksi (Stedi satu Dimensi)

1. Dinding Datar

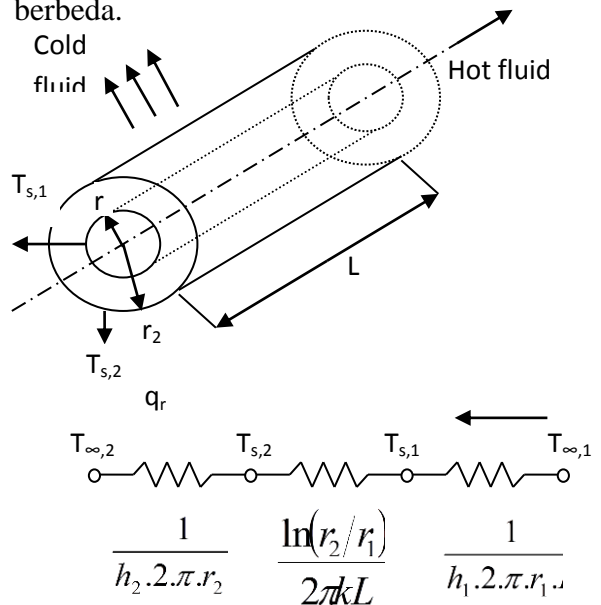
Dinding datar tebal L pada gambar (1) berada pada lingkungan fluida bergerak.



$$q \rightarrow \begin{matrix} T_{\infty,1} & & T_{s,1} & & T_{s,2} & & T_{\infty,2} \\ \text{---} & \text{---} & \text{---} & \text{---} & \text{---} & \text{---} & \text{---} \\ & \frac{1}{h_{1,L}} & & \frac{L}{k,L} & & \frac{1}{h_{2,L}} & \end{matrix}$$

Gambar 1. Perpindahan kalor pada dinding datar (Kurniawan, 2007)

permukaan dalam dan luar berhadapan dengan fluida yang mempunyai temperatur berbeda.



$$\begin{matrix} T_{\infty,2} & & T_{s,2} & & T_{s,1} & & T_{\infty,1} \\ \text{---} & \text{---} & \text{---} & \text{---} & \text{---} & \text{---} & \text{---} \\ & \frac{1}{h_2 \cdot 2 \cdot \pi \cdot r_2} & & \frac{\ln(r_2/r_1)}{2\pi k L} & & \frac{1}{h_1 \cdot 2 \cdot \pi \cdot r_1} & \end{matrix}$$

Gambar 2. Perpindahan kalor pada silinder (pipa) (Kurniawan, 2007)

2.3. Koefisien Perpindahan Kalor Evaporasi

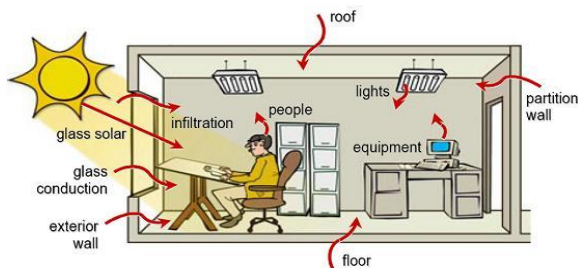
Koefisien perpindahan kalor evaporasi dalam saluran halus horizontal tidak bisa langsung atau sangat sulit didapatkan

dengan cara analitik. Sifat fluida baik sifat fisik maupun sifat termodinamik yang menentukan koefisien tersebut berubah karena terjadinya perubahan fasa. Kondisi yang tidak simetri akibat pengaruh gravitasi semakin menyulitkan analisis. Sehingga penentuan koefisien perpindahan kalor evaporasi ditentukan dengan cara eksperimental dari hukum *Newton* tentang pendinginan (Santosa, 2003) pada persamaan berikut

$$h_{TP} = \frac{\dot{q}}{T_{w,i} - T_{sat}}$$

2.4. Beban Pendingin

Beban pendingin adalah jumlah panas yang dipindahkan oleh sistem pengkondisian udara setiap waktu. Beban pendingin terdiri atas panas yang berasal dari ruang dan tambahan panas, jumlah panas setiap saat yang masuk kedalam ruang melalui kaca secara radiasi maupun melalui dinding akibat perbedaan temperatur, pengaruh penyimpanan energi pada struktur bangunan, serta peralatan listrik seperti lampu dan peralatan elektronik lainnya.

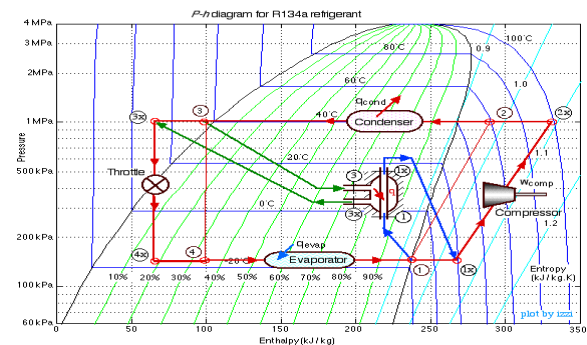


Gambar 3. Skema beban pendingin (Syahputra, 2012)

2.5. Sistem Refrigerasi Siklus Kompresi Uap

Sistem refrigerasi saat ini banyak menggunakan refrigerasi dengan sistem

kompresi uap. Beberapa komponen utama dari sistem kompresi uap yaitu kompresor, kondensor, katup ekspansi, dan evaporator. Dalam siklus ini uap refrigeran bertekanan rendah akan ditekan oleh kompresor sehingga menjadi uap refrigeran bertekanan tinggi, dan dikondensasikan menjadi cairan refrigeran bertekanan tinggi dalam kondensor. Kemudian fluida refrigeran tekanan tinggi tersebut diturunkan tekanannya oleh katup ekspansi lalu refrigeran tekanan rendah tersebut dapat menguap kembali dalam evaporator menjadi uap refrigeran tekanan rendah. Refrigerasi dapat dikatakan juga sebagai sebagai proses pemindahan panas dari suatu bahan atau ruangan ke bahan atau ruangan lainnya (Ilyas, 1993) dan menurut Tampubolon (2005) refrigerasi adalah usaha untuk mempertahankan suhu rendah yaitu suatu proses mendinginkan udara sehingga dapat mencapai temperatur dan kelembaban yang sesuai dengan kondisi yang dipersyaratkan terhadap kondisi udara dari suatu ruangan tertentu, faktor suhu dan temperatur sangat berperan dalam memelihara dan mempertahankan nilai kesegaran ikan. Terlihat pada gambar 4 Skema mesin refrigerasi siklus kompresi uap.



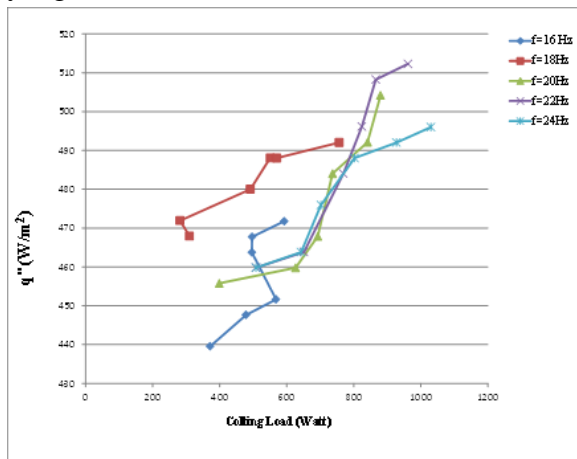
Gambar 4. Skema refrigerasi siklus kompresi uap. (Urieli, tanpa tahun).

III. Hasil Dan Pembahasan

Berikut adalah data hasil penelitian dengan variasi beban pendinginan pada beberapa frekuensi inverter:

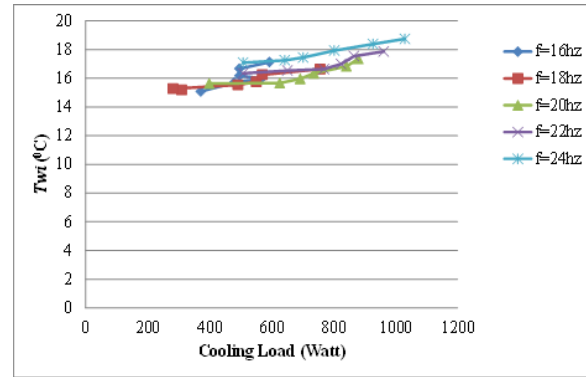
Frekuensi Inverter 16 Hz; 18 Hz; 20 Hz; 22 Hz; 24 Hz dengan variasi beban pendinginan 1; 1,2; 1,4; 1,6; 1,8; 2; 2,2; 2,4; 2,6; 2,8; 3 LPM.

Berikut adalah grafik dari hasil penelitian dan hasil perhitungan pada setiap variasi yang dilakukan:



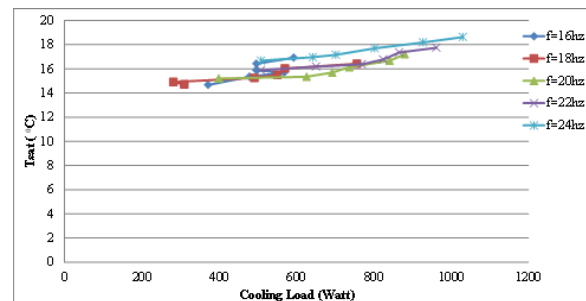
Gambar 5. Gerafik hubungan antara nilai q'' dengan kapasitas beban pendingin (colling load).

Gambar 4.1 menunjukkan hubungan antara nilai q'' dengan kapasitas beban pendingin (*colling load*). Nilai q'' didapat dari nilai suhu T_5 (suhu masuk udara seksi uji), T_6 (suhu keluar udara seksi uji), V_{udara} (kecepatan udara pada seksi uji), A (luas permukaan seksi uji), sehingga apa bila nilai q'' naik maka nilai kapasitas beban pendingin juga naik. Dapat dianalisa bahwa apabila nilai kapasitas beban pendingin (*colling load*) naik dipengaruhi perpindahan kalor evaporator menjadi besar, hal ini yang mempengaruhi lajunya perpindahan kalor pada seksi uji naik.



Gambar 6. Grafik hubungan antara nilai T_{wi} dengan kapasitas beban pendingin (Colling Load).

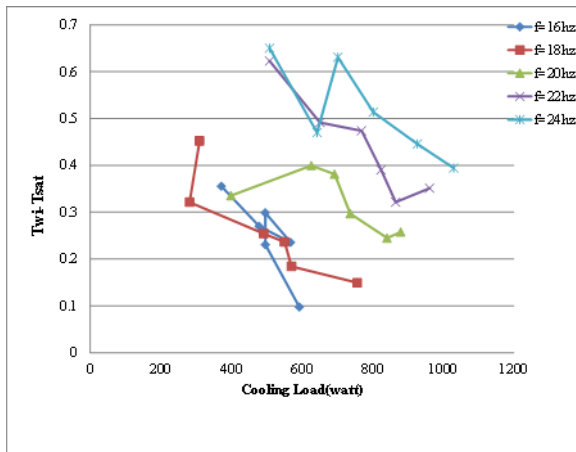
Gambar 4.2 menunjukkan hubungan antara nilai T_{wi} dengan nilai kapasitas beban pendingin (*colling load*). Nilai T_{wi} didapat dari nilai suhu T_5 (suhu udara masuk seksi uji), T_6 (suhu keluar seksi uji), dan $T_2, T_3, T_4, T_{10}, T_{11}, T_{12}$ (suhu dinding seksi uji), sehingga apa bila nilai T_{wi} naik maka nilai kapasitas beban pendingin (*colling load*) juga semakin naik. Dapat dianalisa bahwa apabila nilai kapasitas beban pendingin (*colling load*) naik mempengaruhi kalor yang diserap evaporator menjadi besar, hal ini yang mempengaruhi tekanan pada seksi uji naik.



Gambar 7. Grafik hubungan antara T_{sat} dengan beban pendingin (*Colling load*)

Gambar 4.3 menunjukkan hubungan antara nilai T_{sat} dengan nilai kapasitas beban pendingin. Nilai T_{sat} didapat dari niali T_1

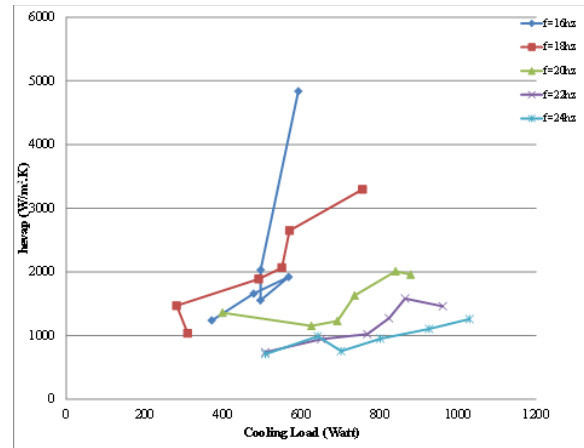
(suhu masuk seksi uji pipa bagian atas) dan nilai T_9 (suhu masuk seksi uji pipa bagian bawah) yang di mana nilai T_{sat} naik, maka nilai kapasitas beban pendingin (*Colling load*) ikut naik. Dapat dianalisa bahwa apa bila nilai kapasitas beban pendingin (*Colling Load*) naik mempengaruhi kalor yang di serap evaporator menjadi besar, sehingga tekanan yang terjadi pada seksi uji ikut naik dan mempengaruhi nilai T_{sat} naik.



Gambar 8. Gerafik hubungan antara T_{wi} - T_{sat} dengan kapasitas beban pendingin (cooling load).

Gambar 4.4 menunjukkan hubungan antara nilai T_{wi} - T_{sat} dengan kapasitas beban pendingin (*cooling load*) didapatkan nilai *cooling load* semangkin tinggi dan variasi frekuensi inverter yang semangkin besar, sehingga mempengaruhi nilai T_{wi} - T_{sat} yang cenderung menurun. Dapat dianalisa ketika nilai kapasitas beban pendingin (*cooling load*) naik menyebabkan kalor yang diserap evaporator menjadi besar, dan hal ini menyebabkan nilai m ikut naik, hal ini berpengaruh terhadap nilai T_{wi} dan T_{sat} naik, maka hal ini menyebabkan nilai T_{wi} - T_{sat} menurun.

Grafik di atas merupakan grafik pendukung untuk menentukan nilai kapasitas beban pendingin dan nilai koefisien perpindahan kalor evaporasi. Berikut ini adalah grafik utama hubungan kapasitas beban pendingin (*Colling load*) dengan koefisien perpindahan kalor evaporasi (h_{evap}):



Gambar 9. Grafik koefisien perpindahan kalor evaporasi (h_{evap}) dengan beban pendingin (cooling load).

Grafik pada gambar 4.5 merupakan hubungan perbandingan antara nilai pengujian koefisien perpindahan kalor evaporasi (h_{evap}) dengan nilai beban pendingin (*cooling load*). Menunjukkan naiknya nilai kapasitas beban pendingin (*cooling load*) mempengaruhi nilai koefisien perpindahan kalor evaporasi yang cenderung naik untuk setiap variasi frekuensi inverter (Hz) yang sama. Dari hasil pengujian data yang didapat pada koefisien perpindahan kalor evaporasi (h_{evap}) tertinggi yaitu 4836,089 $W/m^2.K$ pada variasi frekuensi inverter 16 Hz. Sedangkan nilai kapasitas beban pendingin (*cooling load*) tertinggi yaitu 1030,20 (watt) pada variasi frekuensi inverter 24 Hz. Nilai-nilai tersebut

dipengaruhi oleh nilai suhu yang di dapat pada pengambilan data saat pengujian, terutama pada T_1 (suhu udara setelah seksi uji pipa masuk atas), T_2 , T_3 , T_4 (suhu dinding masuk seksi uji), T_5 (suhu udara sebelum seksi uji), T_6 (suhu udara setelah seksi pipa masuk bawah), T_9 (suhu udara setelah seksi uji pipa masuk bawah) T_{10} , T_{11} , T_{12} (suhu dinding keluar seksi uji) dan T_{15} (suhu air masuk evaporator), T_{16} (suhu air keluar evaporator). Grafik di atas dapat dianalisa bahwa besar debit yang air yang masuk ke evaporator, sehingga mempengaruhi perpindahan panas yang diserap oleh refrigeran besar dan menyebabkan laju perpindahan fasa yang terjadi besar, di mana perubahan fasa yang terjadi dari fasa cair ke fasa uap dengan cepat.

IV. Kesimpulan Dan Saran

Bedasarkan hasil dari pengamatan dan pengolahan data dalam pengujian nilai koefisien perpindahan kalor evaporasi dengan variasi kapasitas beban pendingin dalam saluran halus vertikal dengan menggunakan *Refrigeran* R-134a yang merupakan hasil perhitungan dan pengaplikasian dalam bentuk grafik menggunakan program MS. Excel sehingga dapat disimpulkan:

Pada kapasitas beban pendingin (*Cooling Load*) berpengaruh pada nilai koefisien perpindahan kalor evaporasi, dengan semangkin naik nilai kapasitas beban pendingin (*Cooling Load*) maka nilai koefisien perpindahan kalor evaporasi semangkin naik pada frekuensi inverter yang sama. Nilai kapasitas beban pendingin

(*Cooling Load*) dan nilai koefisien perpindahan kalor evaporasi (h_{evap}) yang tertinggi yaitu 1030,20 watt dan 4836,089 $\text{W/m}^2\text{K}$ pada variasi inverter 16 Hz.

Nilai kapasitas beban pendingin (*Cooling Load*) dan nilai koefisien perpindahan kalor evaporasi (h_{evap}) yang terendah yaitu 281,75 watt pada variasi inverter 18 Hz dan 707,25 $\text{W/m}^2\text{K}$ pada variasi inverter 24 Hz.

Untuk penelitian berikutnya dapat melakukan pengembangan penelitian dengan melakukan penelitian dan pembahasan yang sama namu menggunakan data kualitas, dengan menggunakan variasi panas listrik pada heater pada saat melakukan pengujian. Melakukan penelitian dan pembahasan yang sama menggunakan jenis *Refrigerant* yang berbeda.

V. Daftar Pustaka

- Ilyas, 1993. Teknik Refrigerasi Hasil-Hasil Perikanan. In Lembaga Teknologi Perikanan. Jakarta.
- Kurniawan, 2007. Pengembangan Perpindahan Panas Konveksi Antara Gelembung Udara Dengan Aliran Air Bersuhu Konstan.
- Santosa, Tito Hadji. 2003. Pengukuran Koefisien Perpindahan Kalor Evaporasi Refrigeran Petrozon Rossy 12 di Dalam Saluran Halus Horisontal. Yogyakarta: Universitas Gadjah Mada.
- Stoecker, W. 1982. Refrigerasi dan Pengkondisian Udara Edisi Kedua. Jakarta: Penerbit Erlangga.

Syahputra, Irian. 2012. Analisis Sistem Pengkondisian Udara Pada Gedung *Information and Communication Technology* (ICT). Bandah Aceh: Universitas Syiah Kuala Darussalam.

Tampubolon, D. & Samosir, R. 2005. Pemahaman Tentang Sistem Refrigerasi, Jurnal Teknik SIMETRIKA Vol. 4 No. 1 Hal. 312-318.

Urieli, Israel. (tanpa tahun). “*Engineering Thermodynamics*”. Melalui, https://www.ohio.edu/mechanical/thermo/Intro/Chapt.1_6/refrigerator/refrig_ig_problems.html>[10/08/17]