

ANALISIS PENGARUH PERUBAHAN MATERIAL *SUCTION PIPE* DARI TEMBAGA MENJADI ALUMINIUM TERHADAP *COOLING PERFORMANCE* *CHEST FREEZER* TIPE GCF-265

Komarudin

Program Studi Teknik Mesin
Fakultas Teknologi Industri
Institut Sains dan Teknologi Nasional
Jl. Moh. Kahfi II, Jagakarsa, Jakarta 12640, Indonesia
E-mail: komarudin.mt@gmail.com

Abstract

Refrigeration is a process of reducing heat of a space or material below the temperature of its surroundings. Chest freezer is one of the type domestic refrigeration. Many chest freezer competitors, make the producer to streamline production costs one of them to get a chest freezer price of finished goods cheaper is replacing the pipe material. Copper pipe is the best material as a heat exchanger pipeline. But the price is relatively expensive there are some alternative to the copper pipe that is considered cheaper, such as steel and aluminum pipes. In this final report will be discussed the effect of changing the material of the suction pipe from copper pipe become aluminum pipe on the chest type freezer GCF-265. Result from removal and processing data, obtained value of the rate of heat transfer in copper pipe is greater than in aluminum pipe which is an average of 20 mW. The amount of heat transfer rate on the suction pipe is very influential on the cooling temperature the chest freezer. From the results of this experiment can be concluded that replacing the pipe material from copper to aluminum could be recommended because the efficiency of the system better. But by changing the material from copper to aluminum, the heat transfer rate over a little so the freezer temperature to be less cold. So the freezer temperature has not been fulfilled but still at the temperature range in accordance with the system function as a freezer.

Keywords : Refrigerator, Aluminium, Cooling, Heat transfer

PENDAHULUAN

Sekarang ini kebutuhan masyarakat terhadap sistem pengawetan atau penyimpanan bahan baku ataupun makanan agar tetap segar baik untuk kapasitas industri maupun rumah tangga seperti lemari es, freezer dan chest freezer sangat besar. Hal ini dimanfaatkan dengan baik oleh para produsen peralatan system tersebut dengan memberikan beberapa inovasi canggih pada berbagai produk mereka.

Selain menonjolkan berbagai fitur yang menarik, para produsen juga saling bersaing dalam masalah harga. Para produsen berlomba-lomba memasarkan produk mereka dengan harga yang murah. Namun dengan adanya krisis global ini, harga-harga material semakin melonjak naik sehingga menjadi tantangan bagi para produsen untuk bisa mendapatkan berbagai barang material dengan harga yang murah, atau bahkan mengganti bahan material dengan harga yang lebih murah sehingga mereka dapat memasarkan produknya dengan harga yang murah dengan kualitas yang sama baiknya.

Salah satu komponen peralatan dalam system tersebut diatas adalah tempat saluran refrigerant yang baik dan banyak digunakan material berbahan pipa tembaga. Karena pipa tembaga ini mempunyai beberapa keunggulan diantara material lain, yaitu mempunyai daya hantar kalor yang baik, tidak berkarat dan mudah dibentuk. Namun harganya yang cukup mahal membuat para produsen mencari alternatif lain

untuk mencari pipa lain dengan harga yang lebih murah tapi tidak terlalu mempengaruhi *cooling performance* dari produk mereka.

Ada beberapa alternatif lain untuk menggantikan pipa tembaga sebagai tempat saluran refrigerant. Yang umum digunakan sebagai pengganti pipa tembaga adalah pipa aluminium dan pipa baja (*steel pipe*). Namun sebelum mengganti material pipa tersebut kita harus mempertimbangkan pengaruh perubahan dari karakteristik material tersebut.

Dalam jurnal ini penulis akan membahas dan menganalisa pengaruh perubahan material *suction pipe* dari pipa tembaga menjadi pipa aluminium terhadap *cooling performance chest freezer*.

TINJAUAN PUSTAKA

Pengertian Umum Tentang Refrigerasi

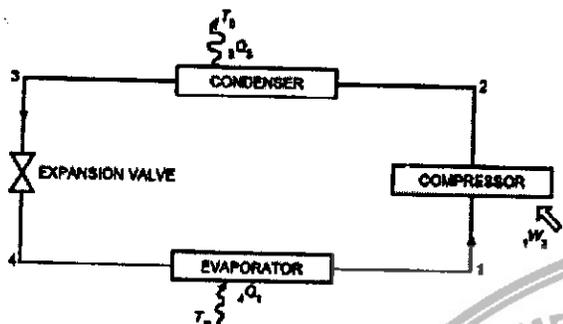
Refrigerasi merupakan suatu proses penarikan kalor/panas dari suatu benda/ruangan sehingga temperature benda/ruangan tersebut lebih rendah dari temperature lingkungannya. Berdasarkan penerapannya, system refrigerasi dapat dibagi dalam 5 bagian, yaitu: 1). Refrigerasi domestik, contohnya : lemari es dan freezer, 2). Refrigerasi komersil, contohnya : *display case, ice maker, reach-in cooler, drink dispencer, soda fountain, brine cooling* dan lain-lain, 3). Refrigerasi industri, contohnya : refrigerasi industri proses dan refrigerasi *warehouse*, 4). Refrigerasi transportasi, contohnya : refrigerasi *truck cooling*, 5). Tata udara industri dan tata udara

kenyamanan (*air conditioning system*), contohnya: sistem refrigerasi untuk industri kimia, untuk perkantoran dan lain-lain.

Siklus Dasar Sistem Refrigerasi

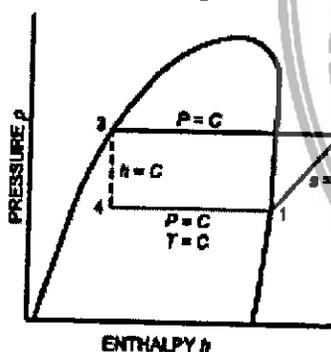
Sistem refrigerasi kompresi uap yang merupakan bagian dari sistem refrigerasi mekanik mempunyai penggerak yaitu kompresor. Komponen penting lain yang ada pada sistem refrigerasi kompresi uap adalah evaporator dan kondenser sebagai tempat penarikan dan pelepasan kalor serta alat ekspansi sebagai alat penurun tekanan refrigeran. Media yang digunakan sebagai penukar kalor adalah refrigeran.

Berikut adalah gambar siklus sistem refrigerasi kompresi uap sederhana.



Gambar 1 Siklus Refrigerasi Kompresi Uap (ASHRAE, 2005)

Pada diagram p-h siklus refrigerasi kompresi uap dapat digambarkan seperti berikut:



Gambar 2 Sistem Refrigerasi Kompresi Uap pada Diagram p-h (ASHRAE, 2005)

Untuk menentukan prestasi dari sistem refrigerasi kompresi uap dapat kita hitung dengan menggunakan persamaan berikut:

$$COP_{aktual} = \frac{\text{Energi_termanfaatkan}}{\text{Energi_kompresi}}$$

$$COP_{aktual} = \frac{Q_e}{W} = \frac{\dot{m}q_e}{\dot{m}q_w} = \frac{\dot{m}(h_1 - h_4)}{\dot{m}(h_2 - h_1)} = \frac{(h_1 - h_4)}{(h_2 - h_1)}$$

$$COP_{Carnot} = \frac{T_e}{T_k - T_e}$$

Efisiensi sistem refrigerasi kompresi uap dapat dicari dengan persamaan berikut:

$$Effisiensi = \eta = \frac{COP_{aktual}}{COP_{Carnot}} \times 100\%$$

Komponen Utama

Kompresor

Kompresor adalah alat untuk menghisap uap refrigeran yang berasal dari evaporator dan menekan uap refrigeran ke kondenser sehingga tekanan dan temperaturnya meningkat. Kompresor yang biasa digunakan umumnya bersatu dengan kondenser menjadi satu unit dan biasa disebut *condensing unit*.

Kondenser

Kondenser berfungsi sebagai alat perpindahan panas yang dilepaskan dari uap refrigeran ke udara luar (media pengembun) sehingga uap refrigeran akan mengembun dan berubah fasa dari uap ke cair. Sebelum masuk ke kondenser refrigeran berfasa uap dengan temperatur dan tekanan yang tinggi. Sedangkan setelah dari kondenser refrigeran berfasa cair jenuh dengan temperatur dan tekanan tinggi.

Alat Ekspansi

Alat ekspansi berfungsi untuk mengatur laju aliran refrigeran yang masuk ke evaporator dari *liquid line*, sehingga sesuai dengan laju penguapan refrigeran di evaporator. Selain dari itu alat ekspansi juga berfungsi untuk menjaga tekanan antara sisi tekanan tinggi dan sisi tekanan rendah, sehingga terjaga tekanan yang diinginkan.

Jenis alat ekspansi yang sering digunakan adalah jenis pipa kapiler dan katup ekspansi (terdiri atas beberapa macam). Pipa kapiler lebih sering digunakan untuk sistem dengan kapasitas kecil, di bawah 10 kWatt, dan tidak dapat distel lagi untuk mengatasi beban yang berbeda. Katup ekspansi termostatik (TXV), merupakan katup ekspansi yang paling populer, yang digunakan untuk kapasitas besar.

Evaporator

Evaporator merupakan tempat perpindahan kalor antara refrigeran dan ruang atau bahan yang akan didinginkan. Di evaporator, refrigeran mengalami perubahan fasa dari cair menjadi uap.

Refrigeran

Refrigeran adalah suatu substansi kerja dalam sistem refrigerasi, yang bertindak sebagai media penyerap kalor di evaporator dan pembuang kalor di kondenser. Di evaporator refrigeran menyerap kalor dari benda atau ruangan yang didinginkan sehingga fasa refrigeran berubah dari cair menjadi gas, sedangkan di kondenser refrigeran membuang kalor ke lingkungan sehingga fasa refrigeran berubah dari gas menjadi cair.

Zat yang dapat dipakai sebagai refrigeran harus memiliki memiliki properti fisika dan termal yang baik

sebagai refrigeran, stabil, tidak mudah terbakar, tidak beracun dan kompatibel terhadap sebagian besar bahan komponen dalam sistem refrigerasi.

Komponen Tambahan Mekanik

Thermostat

Kegunaan alat ini adalah untuk mengatur suhu dalam suatu ruangan agar dapat dipertahankan pada suhu yang konstan pada batas suhu yang telah ditentukan. Alat tersebut dapat secara otomatis memutuskan dan menghubungkan kembali arus listrik dari saklar magnetik ke motor listrik, katup solenoid, pemanas listrik dan lain-lain. Saklar kontrol temperatur untuk mesin pendingin, apabila suhu ruangan turun, titik kontakannya akan membuka. Setelah suhu ruangan naik lagi, kontakannya akan menutup kembali.

Filter dryer

Filter drier yang asli terdiri atas silica gel yang berfungsi sebagai penyerap uap air dan screen yang terdiri dari kawat kassa yang sangat halus yang berfungsi sebagai penyaring kotoran.

Accumulator

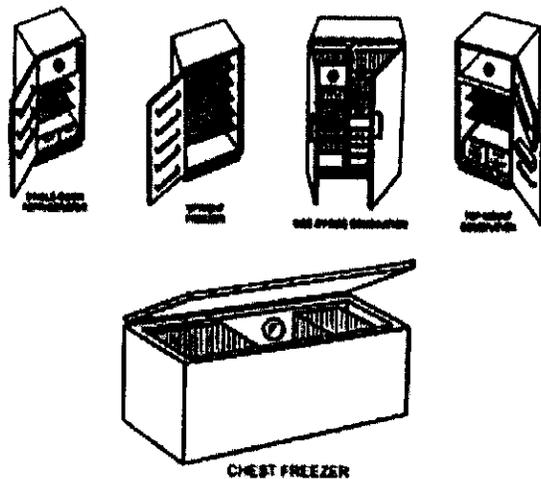
Accumulator fungsinya adalah sama dengan liquid receiver yaitu sebagai penyimpanan cairan refrigeran, Cuma bedanya hanya pada fasa zat yang diambil atau dengan kata lain cairan tersebut berada pada bagian dari accumulator.

Pipa

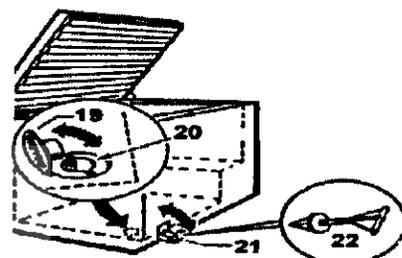
Pada sistem refrigerasi pipa yang digunakan pada umumnya adalah pipa tembaga, karena pipa tembaga memiliki sifat tidak getas bila diproses. Proses yang terjadi pada pipa seperti: pemotongan (*cutting*), pembengkokan (*bending*), perluasan (*reaming*), dan pembentukan lainnya. Selain itu juga ada proses penyambungan, yaitu pengelasan dan dengan menggunakan nut. Proses penyambungan ini harus dilakukan dengan teliti, karena sangat sensitif terhadap kebocoran refrigeran.

Chest Freezer

Chest type freezer atau lebih dikenal dengan *chest freezer* (peti pembeku) mempunyai beberapa kelebihan dibandingkan dengan *up-right freezer* (lemari pembeku). Karena bentuknya yang menyerupai peti dan karena udara dingin yang lebih berat dibandingkan dengan udara panas, hal ini membuat beban infiltrasi dalam *chest freezer* ini lebih kecil dibandingkan dengan *up-right freezer*. Hal ini juga akan menghentikan sejumlah uap air masuk bersamaan udara luar (yang panas dan lembab) ke dalam kabinet, akibatnya proses *defrost* jarang dilakukan. Biasanya *chest freezer* dilengkapi dengan system drain untuk membuang air *defrost*. Dan *defrost* dilakukan dengan cara manual.



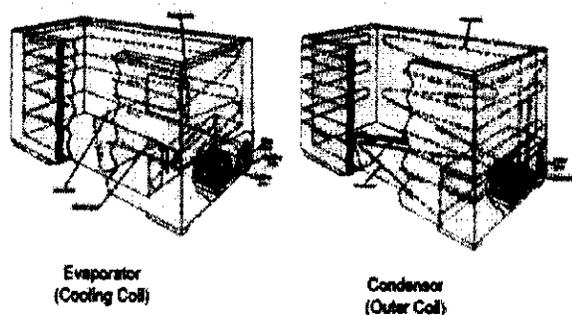
Gambar 3 Jenis Freezer berdasarkan bentuknya (Althouse, 1992)



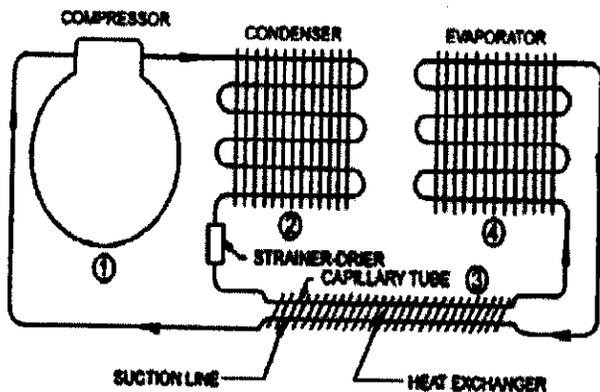
Gambar 4 Sistem pembuangan air pada chest freezer (Althouse, 1992)

Namun untuk pengambilan barang/produk yang didinginkan dalam *chest freezer* ini lebih sulit dibandingkan dengan yang didinginkan dalam *up-right freezer*. Sehingga untuk memudahkannya *chest freezer* dilengkapi dengan keranjang besi yang mudah dipindah-pindah.

Sisi lempengan permukaan luar dan dalam dari *chest freezer* biasanya terbuat dari lempengan logam. Koil evaporator menempel mengelilingi lempengan sebelah dalam, sedangkan koil kondensor menempel mengelilingi sisi lempengan permukaan sebelah luar dari kabinet *chest freezer*. Konstruksi ini membantu menghilangkan kondensasi yang mungkin terjadi pada sisi lempengan pada permukaan luar.



Gambar 5 Konstruksi chest freezer (Althouse, 1992)



Gambar 6. Sistem Refrigerasi Chest freezer (Althouse, 1992)

Chest freezer biasanya mempunyai tutup freezer yang memiliki sistem kesetimbangan berat, sehingga saat membuka tutup freezer untuk mengambil atau menyimpan produk ke dalam freezer kita tidak perlu tetap memegang tutup freezer tersebut. Sedangkan saat menutup tutup freezer tersebut, sistem kesetimbangannya dibuat sedemikian rupa sehingga menutup berdasarkan berat grafitasinya tanpa perlu dibanting.

Sistem Pemipaan

Dalam sistem refrigerasi kompresi uap, pipa sangat penting perannya sebagai penghubung antar komponen refrigerasi untuk mengalirkan refrigerant. Bahkan pada chest freezer, pipa sangat penting karena evaporator dan condenser yang digunakan adalah berbentuk pipa yang melingkari pelat dalam dan pelat luar cabin chest freezer. Tidak semua pipa dapat digunakan sebagai saluran refrigerant. Pipa yang digunakan biasanya pipa sifat konduktor (penghantar kalor) yang baik dan mudah dibentuk (dibending).

Tembaga

Tembaga merupakan konduktor panas dan listrik yang baik. Selain itu unsur ini memiliki korosi yang lambat sekali. Tembaga murni sifatnya halus dan lunak, dengan permukaan berwarna jingga kemerahan. Tembaga dicampurkan dengan timah untuk membuat perunggu. Tembaga memiliki warna kemerah-merahan. Unsur ini sangat mudah dibentuk, lunak, dan merupakan konduktor yang bagus untuk aliran elektron (kedua setelah perak dalam hal ini).

Secara industri sebagian besar penggunaan tembaga dipakai sebagai kawat atau bahan untuk penular panas dalam memanfaatkan hantaran listrik dan panasnya yang baik. Industri elektrik merupakan konsumen terbesar unsur ini. Campuran logam besi yang memakai tembaga seperti *brass* dan perunggu sangat penting.

Tabel 1 Karakteristik Tembaga (Wikipedia)

Sifat Fisis	Satuan
Densitas	8920 kg/m ³
Kapasitas Panas	24.440 J·mol ⁻¹ ·K ⁻¹
Sifat Mekanik	
Kuat tarik	200 N/mm ²
Modulus Elastisitas	130 Gpa
Kekerasan Brinnel	874 Mpa
Sifat Panas	
Koefisien Ekspansi Thermal	16.5 x 10 ⁻⁶ K ⁻¹
Konduktivitas panas	400 W/mK

Alumunium

Alumunium pertama kali ditemukan oleh Sir Humphrey Davy pada tahun 1809 sebagai suatu unsur dan pertama kali direduksi sebagai logam oleh H. C. Oersted pada tahun 1825. Secara Industri tahun 1886, Paul Heroul di Prancis dan C. M. Hall di Amerika Serikat secara terpisah telah memperoleh logam aluminium dari alumina dengan cara elektrolisa dari garam yang terfusi. Penggunaan aluminium sebagai logam setiap tahunnya adalah pada urutan yang kedua setelah baja dan besi, yang tertinggi diantara logam *non ferro*.

Sifat tahan korosi pada aluminium diperoleh karena terbentuknya lapisan oksid aluminium pada permukaan aluminium. Lapisan oksid ini melekat pada permukaan dengan kuat dan rapat serta sangat stabil (tidak bereaksi dengan lingkungannya) sehingga melindungi bagian yang lebih dalam. Adanya lapisan oksid ini disatu pihak menyebabkan tahan korosi tetapi di lain pihak menyebabkan aluminium menjadi sukar dilas dan disoldier (titik leburnya lebih dari 2000°C).

Tabel 2 Karakteristik Aluminium (Wikipedia)

Sifat Fisis	Satuan
Densitas	2707kg/m ³
Kapasitas Panas	24.200 J·mol ⁻¹ ·K ⁻¹
Sifat Mekanik	
Kuat tarik	176 N/mm ²
Modulus Elastisitas	70 Gpa
Kekerasan Brinnel	245 Mpa
Sifat Panas	
Koefisien Ekspansi Thermal	23.1 x 10 ⁻⁶ K ⁻¹
Konduktivitas panas	237 W/mK

Perpindahan Panas

Perpindahan panas adalah berpindahnya energy dari suatu daerah ke daerah lain sebagai akibat dari adanya perbedaan temperatir antara daerah-daerah tersebut. Dari termodinamika kita ketahui bahwa energy yang berpindah itu dinamakan kalor atau panas.

Proses Perpindahan Panas

Konduksi

Perpindahan panas konduksi adalah proses perpindahan panas dimana panas mengalir dari suatu daerah yang bertemperatur lebih tinggi ke daerah yang bertemperatur rendah didalam suatu media (padat, cair dan gas) atau antara medium-medium yang

bersinggungan secara langsung. Energy berpindah secara konduksi atau hantaran dan bahwa laju perpindahan kalor itu berbanding dengan gradient suhu normal.

$$\frac{q}{A} \sim \frac{dT}{dx}$$

Jika dimasukkan konstanta proporsionalitas:

$$q = -kA \frac{dT}{dx} \text{ untuk plat datar}$$

$$q = -kA \frac{dT}{dr} \text{ untuk silinder atau tabung}$$

Dimana :

Q = Laju perpindahan panas (W)

A = Luas penampang dimana panas mengalir (m²)

dT/dx = Gradien suhu pada penampang, atau laju perubahan suhu T terhadap jarak dalam arah aliran panas x atau r

k = Konduktivitas thermal bahan (w/m°C)

r atau x = Perpindahan panas pada tebal dinding

Konveksi

Perpindahan panas konveksi adalah proses perpindahan panas energy dengan kerja gabungan dari konduksi panas, penyimpanan energy dan gerakan (dinamis). Bila perpindahannya dikarenakan perbedaan kerapatan disebut konveksi alami (*natural convection*) dan bila didorong, misal dengan fan atau pompa disebut konveksi paksa (*forced convection*).

$$q = h A (\Delta T)$$

Dimana :

q = Laju perpindahan panas konveksi

h = Koefisien perpindahan panas konveksi (W/m²°C)

A = Luas penampang (m²)

ΔT = Perubahan atau perbedaan suhu (°C)

Radiasi

Perpindahan panas radiasi adalah proses dimana panas berpindah dari benda yang bertemperatur tinggi ke benda yang bertemperatur rendah dan kedua benda tersebut terpisah oleh ruangan tsb hampa/vakum. Istilah radiasi pada umumnya adalah tentang gelombang elektromagnetik yang terpancar dari suatu benda akibat suhu benda itu. Didalam perpindahan panas dibatasi pada aliran energi melalui media tembus cahaya atau melalui ruang akibat perbedaan temperatur yang disebut sebagai radiasi thermal.

Radiasi sempurna atau benda hitam (*black body*) memancarkan energi radiasi dari permukaan, menurut Steph-Boltzmann, laju perpindahan panas pada permukaan benda hitam diatas temperatur nol mutlak dirumuskan sebagai berikut

$$q = A \sigma T^4$$

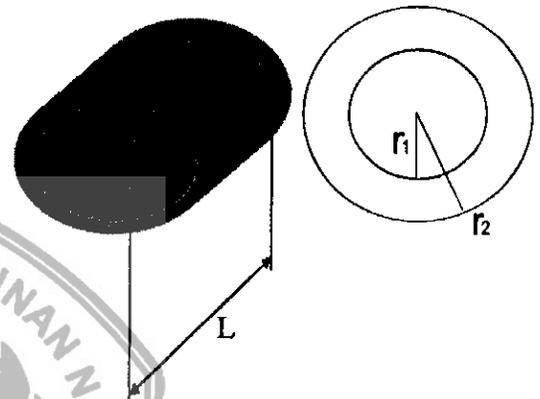
A = Luas permukaan (m²)

T = Temperatur permukaan (K)

σ = Kostanta stephan-Boltzmann 5,67x10⁻⁸ (W/m².K⁴)

Koefisien Perpindahan Panas Menyeluruh

Koefisien perpindahan kalor menyeluruh merupakan suatu perbandingan yang tetap, ya apabila dikalikan dengan luas permukaan perpindahan panas dan rata-rata perbedaan suhu diantara dua fluida akan menghasilkan laju perpindahan panas. Koefisien perpindahan panas ini merupakan jumlah dari masing masing tahanan yaitu : 1). Perpindahan panas dari refrigerant ke permukaan luar pipa, 2). Perpindahan panas yang menembus pipa, 3). Perpindahan panas dari permukaan dalam pipa ke fluida.



Gambar 7 Aliran kalor pada pipa (JP Holman, 1991)

$$q = \frac{\Delta T}{\frac{1}{h_i A_i} + \frac{\ln\left(\frac{r_o}{r_i}\right)}{2\pi k L} + \frac{1}{h_o A_o}}$$

$$q = \frac{A \Delta T}{R_{kvi} + R_{kd} + R_{kvo}}$$

Koefisien perpindahan panas menyeluruh dapat didasarkan atas bidang dalam atau luar pipa, jadi:

$$\text{Bidang dalam } U_i = \frac{1}{\frac{1}{h_i} + \frac{A_i \ln(r_o/r_i)}{2\pi k L} + \frac{A_i}{A_o} \frac{1}{h_o}}$$

$$\text{Bidang luar } U_o = \frac{1}{\frac{A_o}{A_i} \frac{1}{h_i} + \frac{A_o \ln(r_o/r_i)}{2\pi k L} + \frac{1}{h_o}}$$

Dimana :

h_i = koefisien konveksi pada bagian dalam pipa, W/m²°C

h_o = koefisien konveksi pada bagian luar pipa, W/m²°C

U_o = koefisien kalor menyeluruh, bidang luar, W/m²°C

U_i = koefisien kalor menyeluruh, bidang dalam, W/m²°C

A_o = luas permukaan pipa bagian luar, m²

A_i = luas permukaan pipa bagian dalam, m²

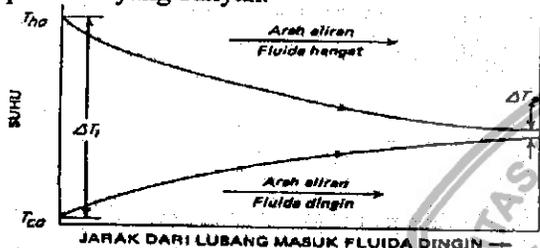
Logaritmik Mean Temperature Difference (LMTD)
 Logaritmik Mean Temperature Difference (LMTD) adalah beda suhu pada ujung pipa dikurangi beda suhu pada ujung yang satu lagi dibagi dengan logaritma perbandingan kedua beda suhu tersebut.

$$LMTD = \frac{(T_{h2} - T_{c2}) - (T_{h1} - T_{c1})}{\ln \left(\frac{T_{h2} - T_{c2}}{T_{h1} - T_{c1}} \right)}$$

Nilai LMTD diatas tergantung pada konfigurasi arah aliran fluida yang bergerak yaitu:

Arah aliran searah (parallel flow)

Pada aliran searah ini, kedua fluida (dingin dan panas) masuk pada sisi penukar panas yang sama, mengalir dengan arah yang sama, dan keluar pada sisi yang sama pula. Karakter penukar panas jenis ini, temperatur fluida dingin yang keluar dari alat penukar panas (T_{cb}) tidak dapat melebihi temperatur fluida panas yang keluar dari alat penukar panas (T_{hb}), sehingga diperlukan media pendingin atau media pemanas yang banyak.



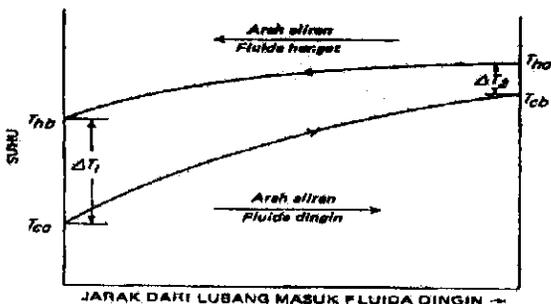
Gambar 8 Profil suhu untuk aliran searah (JP Holman, 1991)

Untuk menghitung nilai LMTD aliran searah dapat digunakan rumus sebagai berikut :

$$LMTD = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln \frac{\Delta T_1}{\Delta T_2}} = \frac{(T_{h1} - T_{c1}) - (T_{h2} - T_{c2})}{\ln \left(\frac{T_{h1} - T_{c1}}{T_{h2} - T_{c2}} \right)}$$

Arah aliran berlawanan (Counterflow)

Pada aliran berlawanan, fluida panas dan dingin masuk penukar panas dengan arah berlawanan, mengalir dengan arah berlawanan dan keluar pada sisi yang berlawanan. Temperatur fluida dingin yang keluar penukar panas (T_{cb}) lebih tinggi dibandingkan temperatur fluida panas yang keluar penukar panas (T_{hb}), sehingga dianggap lebih baik dari alat penukar panas aliran searah (Co-Current).



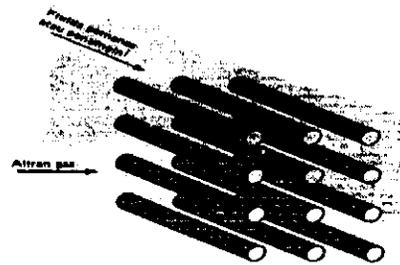
Gambar 9 Profil suhu untuk aliran berlawanan (JP Holman, 1991)

Untuk menghitung nilai LMTD pada aliran ini digunakan rumus sebagai berikut:

$$LMTD = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln \frac{\Delta T_1}{\Delta T_2}} = \frac{(T_{hi} - T_{co}) - (T_{ho} - T_{ci})}{\ln \left(\frac{T_{hi} - T_{co}}{T_{ho} - T_{ci}} \right)}$$

Arah aliran silang (cross flow)

Jika suatu penukar kalor yang bukan jenis pipa ganda digunakan, perpindahan-kalor dihitung dengan menerapkan factor koreksi terhadap LMTD untuk susunan pipa-ganda aliran berlawanan dengan suhu fluida panas dan suhu fluida dingin yang sama.



Gambar 10 Penukar kalor bukan jenis pipa ganda

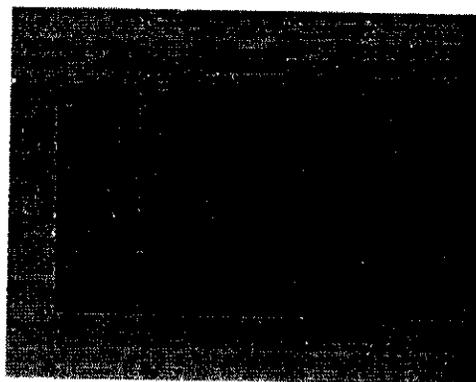
$$LMTD = F \times LMTD_{counterflow}$$

$$LMTD = F \times \frac{(T_{hi} - T_{co}) - (T_{ho} - T_{ci})}{\ln \left(\frac{T_{hi} - T_{co}}{T_{ho} - T_{ci}} \right)}$$

Nilai F dapat dicari dengan terlebih dahulu menghitung nilai P dan R, yang besarnya dapat dihitung dengan rumus berikut :

$$P = \frac{(T_{co} - T_{ci})}{(T_{hi} - T_{ci})} \quad R = \frac{(T_{hi} - T_{ho})}{(T_{co} - T_{ci})}$$

Nilai P dan R diplot ke gambar di bawah ini untuk memperoleh nilai faktor koreksi F.



Gambar 11 Grafik factor koreksi untuk penukar

kalor dengan satu lintas-selongsong dan dua, empat, atau masing-masing kelipatan dari dua lintas tabung tersebut (JP Holman, 1991)

Laju Aliran Panas Total

Dengan asumsi nilai kapasitas panas spesifik (cp) fluida dingin dan panas konstan, tidak ada kehilangan panas ke lingkungan serta keadaan steady state, maka kita menghitung laju aliran panas total dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$q = U \times A \times LMTD$$

dimana :

METODOLOGI

Perancangan Sistem dan Spesifikasi

Pada dasarnya komponen untuk pembuatan chest freezer ini sama dengan pembuatan unit pendingin lainnya, yaitu menggunakan compressor,

U = koefisien perpindahan panas menyeluruh
W/m².°C

A = luas permukaan perpindahan panas, m²

Q = laju perpindahan panas menyeluruh, Watt

LMTD = Log mean temperatur difference antara refrigeran terkondensasi dan media kondensasi, °C

condenser, evaporator dan alat ekspansi. Namun yang membedakan adalah komponen-komponen ini tertanam dalam kabin chest freezer dan untuk sistem kelistrikan sangat sederhana karena tidak menggunakan sistem defrost otomatis



Gambar 12 Chest Freezer GCF 265

Dimensi unit yang akan dipes adalah 1080 x 625 x 840 mm, dengan tebal insulasi polyurethane 60mm.

Spesifikasi Chest Freezer

Spesifikasi unit chest freezer yang akan dipes adalah sebagai berikut:

Tabel 3 Spesifikasi unit

No	Nama Komponen	Spesifikasi
1	Inner box	Aluminium embos plate 0,36mm
2	Evaporator	Aluminium pipe OD8 x t1,0 mm x 22663mm
3	Accumulaor	Copper
4	Suction pipe	Copper pipe OD 6.35 x t0.5x 2250mm
5	Capillary pipe	OD1.8x ID0.7x2500mm
6	Cabinet box	PCM 0,4mm
7	Condenser	Steel Pipe Ø4.0xt0.71x21000 mm
8	Pintu	PCM 0,4mm
9	Insulasi	Polyurethane tebal = 60mm
10	Kompresor	Panasonic SF48C10RAX 220V/50Hz, 139W
11	Refrigeran	R-134a, 100gram
12	Drier	Silica gel = 10 gram

Setelah dilakukan pengetesan chest freezer dengan spesifikasi diatas maka akan dilakukan pengetesan lagi dengan unit lain dengan penggantian

material suction pipe yang semula dari material tembaga OD 6.35 x t0.5x 2250 mm menjadi alumunium OD 8 x t 1 x 2250 mm.

Metodologi Pengambilan dan Pengamatan Data

Parameter Pengukuran

Untuk mengetahui performance chest freezer tersebut, maka akan dilakukan beberapa pengukuran dengan parameter temperatur dan arus listrik.

Titik Pengukuran

Ada beberapa titik pengukuran yang harus diambil datanya agar dapat menganalisa unit secara keseluruhan. Titik-titik pengukuran yang diperlukan adalah: 1). Temperatur: (a). Temperatur *suction*, (b). Temperatur *discharge*, (c). Temperatur masuk evaporator, (d). Temperatur keluar evaporator, (e). Temperatur masuk pipa kapiler, (f). Temperatur 1/3 dari tinggi *chest freezer*. 2). Besaran listrik: (a). Arus listrik

Peralatan yang Digunakan

1). Termorecorder digital, 2). Probe thermocouple, 3). Ampermeter

Prosedur Pengambilan Data

1). Kondisikan ruangan pada RT 30°C dan RH 75% serta kondisikan sumber listrik sebesar 220V, 50Hz, 2). Sebelum sistem dijalankan, periksa unit untuk memastikan kondisi sistem dalam keadaan baik, 3). Pasang alat ukur sesuai dengan titik-titik yang telah ditentukan, 4). Nyalakan *thermometer digital* sebelum unit dijalankan agar kondisi awal unit dapat terekam, 5). Jalankan unit, 6). Setelah ±4jam matikan unit dan *thermorecorder digital*.

Data Pengamatan

Tanggal : 16 Maret 2011
 Pukul : 09.00-17.00
 Kondisi ruangan : RT 30°C, RH 75%
 Suction Pipe : 2250mm pipa tembaga
 Refrigeran : 100 gram

Tabel 4 Data Pengamatan ke-1

Titik Pengukuran	Temperature						Running current
	evap In	evap out	Freezer	Suction	cap In	discharge	
Menit ke	°C	°C	°C	°C	°C	°C	A
0	29.6	29.5	30.6	29.8	29.5	29.3	4.21
30	-10.5	-2.5	17.4	34.3	45	74.3	0.65
60	-21.5	-20.6	-1.4	29.8	40.2	76.7	0.51
90	-26.7	-26.6	-13.7	28.3	37.3	75.8	0.47
120	-28.9	-28.9	-20.7	28.4	36.4	75.8	0.45
150	-30.1	-30.2	-24.7	28.3	35.7	75	0.44
180	-30.8	-30.7	-27.1	28.3	35.4	74.7	0.42
210	-31.2	-31.1	-28.6	28.3	35.3	74.5	0.42
240	-31.3	-31.1	-29.4	28.1	35.1	74.5	0.41
270	-31.4	-31.1	-29.9	28.1	35.1	74.3	0.42
300	-31.6	-31.2	-30.3	28	35.1	74.2	0.41
330	-31.5	-31.1	-30.4	28.3	35.2	74.3	0.41
360	-31.9	-31.3	-30.7	27.8	34.9	73.7	0.42
390	-31.5	-31.1	-30.5	28.4	35.1	74	0.42
420	-31.7	-31.1	-30.8	28.1	35	73.7	0.41
450	-31.6	-31	-30.6	28	35.1	73.8	0.42
480	-31.5	-30.9	-30.5	28.3	35.2	74.2	0.42

Tanggal : 3 Agustus 2011
 Pukul : 09.00-17.00
 Kondisi ruangan : RT 30°C, RH 75%
 Suction Pipe : 2250mm pipa aluminium
 Refrigeran : 100 gram

Tabel 5 Data Pengamatan ke-2

Titik pengukuran	Temperatur						Running current
	evap in	evap out	Freezer	suction	cap in	discharge	
Menit ke-	°C	°C	°C	°C	°C	°C	A
0	30.5	30.3	30.5	30.3	30.5	30.6	4.45
30	-3.1	4.8	19	33.1	43.5	71.1	0.67
60	-13.6	-10.5	2.7	29.5	40	76.4	0.56
90	-18.7	-16.6	-8.4	28.1	37.6	77.2	0.5
120	-21.3	-19.6	-15.1	27.7	36.7	77.4	0.47
150	-22.6	-21	-19	27.5	36	77.2	0.46
180	-23.3	-21.4	-21.2	27.3	35.8	77	0.44
210	-23.6	-21.7	-22.4	27.2	35.6	77	0.43
240	-23.7	-21.9	-23.1	27.4	35.4	76.8	0.41
270	-23.8	-21.8	-23.4	27.3	35.4	76.4	0.41
300	-23.8	-21.8	-23.5	27.3	35.4	76.2	0.41
330	-23.8	-21.7	-23.6	27.3	35.4	75.6	0.41
360	-23.8	-21.6	-23.6	27.3	35.2	76.1	0.42
390	-23.8	-21.6	-23.5	27.2	35.3	75.6	0.42
420	-23.8	-21.5	-23.5	27.4	35.3	75.6	0.41
450	-23.8	-21.4	-23.4	27.6	35.2	76.5	0.42
480	-23.8	-21.4	-23.4	27.5	35.3	75.8	0.42

Pengolahan Data

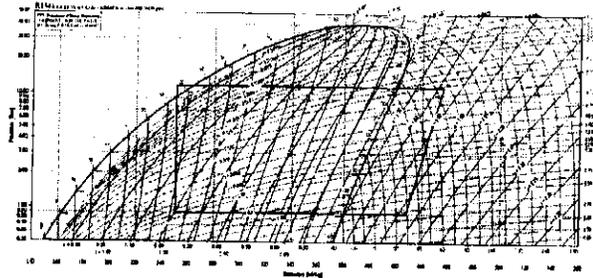
Dari data yang diperoleh dapat dihitung *performance* dan *effisiensi* dari *chest freezer*. Unit di

test tanpa menggunakan thermostat, sehingga pada menit ke-180 sistem pendinginan pada chest freezer sudah stabil dan tidak menunjukkan perubahan yang signifikan, maka pengolahan datapun hanya dilakukan sampai menit ke-180.

1. Chest freezer unit I (suction pipe = 2250 mm pipa tembaga, refrigerant 100gram)

Pada menit ke-120, diperoleh data :

- a) $T_{\text{Evap in}}$: -28,9°C
- b) $T_{\text{Evap out}}$: -28,9°C
- c) $T_{\text{room freezer}}$: -20,7°C
- d) T_{suction} : 28,4°C
- e) $T_{\text{capillary in}}$: 36,4°C
- f) $T_{\text{discharge}}$: 75,8°C



Gambar 14 Pengeplotan data pengamatan ke-1 pada menit ke 120 pada diagram ph

Dari hasil pengeplotan pada diagram ph didapatkan:

- Enthalpy h_1 : 404 kJ/kg
- h_2 : 470 kJ/kg
- $h_3=h_4$:250 kJ/kg

$$COP_{aktual} = \frac{Q_e}{W} = \frac{\dot{m}q_e}{\dot{m}q_w} = \frac{\dot{m}(h_1 - h_4)}{\dot{m}(h_2 - h_1)} = \frac{(h_1 - h_4)}{(h_2 - h_1)} = \frac{(404 - 250)kJ/kg}{(470 - 404)kJ/kg} = 2.33$$

$$COP_{Carnot} = \frac{T_e}{T_k - T_e} = \frac{244.1K}{(329.1 - 244.1)K} = 2.87$$

$$\eta = \frac{COP_{aktual}}{COP_{carnot}} \times 100\% = \frac{2.33}{2.87} \times 100\% = 81.13\%$$

$$R_c = \frac{P_{disc}}{P_{suc}} = \frac{15.2}{0.9} = 16.89$$

Mencari laju perpindahan panas dari pipa suction yang keluar dari Cabinet yaitu sepanjang 75cm = 0,75m
Diketahui :

- Konduktivitas konveksi permukaan luar : 22,7 W/m².°C
- T_{hi} = Temperatur lingkungan : 30 °C
- $T_{ho} = T_{co}$ = Temperatur suction : 28,4 °C
- T_{ci} = Temperatur keluar evaporator : -28,9 °C
- Koefisien termal (k) : 14,4 x 10⁻³ W/m.°C

$$R = \frac{\ln \frac{r_o}{r_i}}{k} = \frac{\ln \frac{0.00635}{0.00535}}{0.0144} = 11.899 m^2 \cdot C / W$$

$$U = \frac{1}{\frac{1}{f_o} + \frac{x}{k} + R} = \frac{1}{\frac{1}{22.7} + \frac{0.0005}{400} + 11.899} = 0.0837 W / m^2 \cdot C$$

$$A = \pi dt = \pi \times 0.00635 \times 0.75 = 0.0150 m^2$$

$$LMTD = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln \frac{\Delta T_1}{\Delta T_2}} = \frac{(T_{hi} - T_{co}) - (T_{ho} - T_{ci})}{\ln \frac{(T_{hi} - T_{co})}{(T_{ho} - T_{ci})}} = \frac{(30 - 28.4) - (28.4 - (-28.9))}{\ln \frac{(30 - 28.4)}{(28.4 - (-28.9))}} = 15.67 C$$

$$q = U \cdot A \cdot LMTD = 0.0837 \times 0.0150 \times 15.67 = 0.0197 Watt$$

Jadi laju perpindahan panas pada pipa tembaga sepanjang 75 cm pada menit ke-120 adalah sebesar 0,0197 Watt.

Tabel 6 Hasil Pengolahan Data Pengamatan ke-1

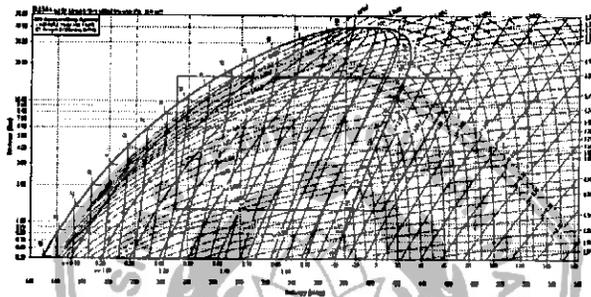
Data	Menit ke-	30	60	90	120	150	180
$h_3=h_4$	kJ/kg	263	256	252	250	250	250
h_1	kJ/kg	421.0	408.0	404.0	404.0	402.0	402.0
h_2	kJ/kg	474.0	470.0	469.0	470.0	470.0	470.0
Tek discharge	bar	16.5	16.2	15.6	15.2	15.0	15.0
Tek suction	bar	2.0	1.2	1.0	0.9	0.8	0.8
T evap	K	262.5	251.9	246.3	244.1	242.9	242.2
T kond	K	332.6	331.5	329.5	329.1	328.4	328.1
COP		3.0	2.5	2.3	2.3	2.2	2.2

COP carnot		3.7	3.2	3.0	2.9	2.8	2.8
Effisiensi		79.61	77.47	78.99	81.25	78.68	79.28
Rasio kompresi		8.3	13.5	15.6	16.9	18.8	18.8
Koefisien perpindahan kalor	W/m ² .C	0.087	0.085	0.084	0.084	0.084	0.084
th1	C	30	30	30	30	30	30
th2	C	34.3	29.8	28.3	28.35	28.3	28.25
tc1	C	34.3	29.8	28.3	28.35	28.3	28.25
tc2	C	-2.45	-20.55	-26.55	-28.85	-30.15	-30.65
LMTD	C	~	9.071	15.299	15.667	16.042	16.253
Q	Watt	~	0.0115	0.0191	0.0196	0.0201	0.0203

2. Chest freezer unit II (suction pipe = 2250 mm pipa alumunium, isi refrigerant 100 gram)
 Pada menit ke-120, diperoleh data :

- a) T_{Evap in} : -21.3°C
- b) T_{Evap out} : -19.6°C
- c) T_{room freezer} : -15.1°C
- d) T_{suction} : 27.7°C
- e) T_{capillary in} : 36,7°C
- f) T_{discharge} : 77.4°C

Dari hasil pengeplotan pada diagram ph didapatkan:



Gambar 15 Pengeplotan data pengamatan ke-2 pada menit ke-120 pada diagram ph

Enthalpy : h₁ : 407 kJ/kg
 h₂ : 467 kJ/kg
 h₃=h₄ : 251 kJ/kg

$$COP_{aktual} = \frac{Q_e}{W} = \frac{\dot{m} q_e}{\dot{m} q_w} = \frac{\dot{m}(h_1 - h_4)}{\dot{m}(h_2 - h_1)} = \frac{(h_1 - h_4)}{(h_2 - h_1)} = \frac{(407 - 251)kJ / kg}{(467 - 407)kJ / kg} = 2.6$$

$$COP_{Carnot} = \frac{T_e}{T_k - T_e} = \frac{251.7K}{(330 - 251.7)K} = 3.21$$

$$\eta = \frac{COP_{aktual}}{COP_{carnot}} \times 100\% = \frac{2.6}{3.21} \times 100\% = 80.88\%$$

$$R_c = \frac{P_{disc}}{P_{suc}} = \frac{15.7}{1.3} = 12.08$$

Mencari laju perpindahan panas dari pipa suction yang keluar dari cabinet yaitu sepanjang 75cm = 0,75m

Diketahui :

Konduktivitas termal (k): $14,3 \times 10^{-3} \frac{W}{m \cdot ^\circ C}$

Koefisien konveksi permukaan luar : $22,7 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$

T_{hi} = Temperatur lingkungan : 30 °C

T_{ho} = T_{co} = Temperatur suction : 27,7 °C

T_{ci} = Temperatur keluar evaporator : -19,6 °C

$$R = \frac{\ln \frac{r_o}{r_i}}{k} = \frac{\ln \frac{0.008}{0.006}}{0.0143} = 20.117 m^2 \cdot ^\circ C / W$$

$$U = \frac{1}{\frac{1}{f_0} + \frac{x}{k} + R} = \frac{1}{\frac{1}{22.7} + \frac{0.001}{237} + 20.117} = 0.0496 \text{ W/m}^2 \cdot \text{C} \quad A = \pi dt = \pi \times 0.008 \times 0.75 = 0.0188 \text{ m}^2$$

$$LMTD = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln \frac{\Delta T_1}{\Delta T_2}} = \frac{(T_{hi} - T_{co}) - (T_{ho} - T_{ci})}{\ln \frac{(T_{hi} - T_{co})}{(T_{ho} - T_{ci})}} = \frac{(30 - 277) - (277 - (-196))}{\ln \frac{(30 - 277)}{(277 - (-196))}} = 14.87 \text{ C} \quad q = U \cdot A \cdot LMTD = 0.0496 \times 0.0189 \times 14.87 = 0.0140 \text{ Watt}$$

Jadi laju perpindahan panas pada pipa aluminium sepanjang 75 cm pada menit ke-120 adalah sebesar 0,0140 W.

Tabel 7 Hasil Pengolahan Data Pengamatan ke-2

Data	Menit ke-	30	60	90	120	150	180
h3=h4	kJ/kg	261	256	252	251	250	250
h1	kJ/kg	425.0	415.0	410.0	408.0	406.0	406.0
h2	kJ/kg	468.0	468.0	467.0	467.0	466.0	467.0
Tek discharge	Bar	15.6	16.1	16.2	15.8	15.5	15.5
Tek suction	Bar	2.6	1.7	1.9	1.3	1.2	1.2
T evap	K	277.8	259.4	254.3	251.7	250.4	249.7
T kond	K	330.3	331.2	330.4	330.0	329.6	329.4
COP		3.8	3.0	2.8	2.7	2.6	2.6
COP carnot		5.3	3.6	3.3	3.2	3.2	3.1
Effisiensi		72.04	83.01	82.92	82.78	82.21	81.58
Rasio kompresi		6.0	9.5	8.5	12.2	12.9	12.9
Koefisien perpindahan kalor	W/m ² .C	0.0516	0.0503	0.0498	0.0497	0.0496	0.0495
th1	C	30	30	30	30	30	30
th2	C	33.1	29.5	28.1	27.7	27.5	27.3
tc1	C	33.1	29.5	28.1	27.7	27.5	27.3
tc2	C	4.8	-10.5	-16.6	-19.6	-21.0	-21.4
LMTD	C	~	9.185	13.541	14.872	15.589	15.964
Q	Watt	~	0.0087	0.0127	0.0139	0.0146	0.0149

HASIL DAN PEMBAHASAN

Temperatur masuk evaporator

Pada saat suction terbuat dari pipa tembaga temperature masuk evaporator lebih dingin dibandingkan pada saat suction terbuat dari pipa aluminium. Perbedaan temperaturnya cukup tinggi, yaitu sekitar 7°C. Ini dikarenakan laju aliran panas pada pipa tembaga lebih besar dibandingkan pada pipa aluminium, sehingga kalor yang diserap pada pipa tembaga lebih besar. Ini akan membantu kerja kompresor lebih baik karena refrigerant yang masuk kompresor adalah temperaturnya tidak terlalu dingin. Pada menit-menit awal unit beroperasi terjadi penurunan temperature yang drastis ini dikarenakan masih terjadi penyerapan kalor oleh evaporator, tetapi setelahnya temperature masuk evaporator stabil ini karena sudah tidak ada lagi kalor yang diserap oleh evaporator.

Temperatur keluar evaporator

Pada saat suction terbuat dari pipa tembaga temperature keluar evaporator lebih dingin dibandingkan pada saat suction terbuat dari pipa aluminium. Perbedaan temperaturnya cukup tinggi, yaitu 9°C. Ini dikarenakan laju aliran panas pada pipa tembaga lebih besar dibandingkan pada pipa aluminium, sehingga kalor yang diserap pada pipa

tembaga lebih besar. Ini akan membantu kerja kompresor lebih baik karena refrigerant yang masuk kompresor adalah temperaturnya tidak terlalu dingin. Pada menit-menit awal unit beroperasi terjadi penurunan temperature yang drastis ini dikarenakan masih terjadi penyerapan kalor oleh evaporator, tetapi setelahnya temperature keluar evaporator stabil ini karena sudah tidak ada lagi kalor yang diserap oleh evaporator.

Temperatur freezer

Pada saat suction terbuat dari pipa tembaga temperature freezer lebih dingin dibandingkan pada saat suction terbuat dari pipa aluminium. Dari grafik juga terlihat kecepatan pendinginan untuk mencapai temperature freezer 0°C lebih cepat pada saat suction terbuat dari pipa tembaga, Ini dikarenakan laju aliran panas pada pipa tembaga lebih besar dibandingkan pada pipa aluminium, sehingga kalor yang diserap pada pipa tembaga lebih besar. Ini akan membantu kerja kompresor lebih baik karena refrigerant yang masuk kompresor adalah temperaturnya tidak terlalu dingin.

Temperatur Suction

Pada saat suction terbuat dari pipa tembaga temperature suction sedikit lebih panas dibandingkan pada saat suction terbuat dari pipa aluminium. Ini

dikarenakan nilai konduktivitas panas tembaga lebih tinggi dibandingkan dengan aluminium, sehingga perambatan panas pada tembaga lebih baik dibandingkan dengan perambatan panas pada aluminium dan kalor yang diserap pada pipa tembaga lebih besar. Ini akan membantu kerja kompresor lebih baik karena refrigerant yang masuk kompresor adalah temperaturnya tidak terlalu dingin. Pada awal unit dioperasikan terjadi kenaikan temperature tapi setelahnya terjadi penurunan temperature kembali dan cenderung stabil, ini karena pada permulaan terjadi penyerapan kalor yang cukup banyak sehingga temperature refrigerant keluar evaporator sudah cukup panas dan selama perjalanan menuju kompresor (suction) terjadi penyerapan kalor juga dari udara sekitar pipa suction.

Temperatur masuk pipa kapiler

Tidak ada perbedaan temperature masuk kapiler pada saat pipa suction terbuat dari pipa aluminium maupun pipa tembaga. Ini dikarenakan pelepasan panas yang terjadi di kondensor sama. Pada awal unit dioperasikan terjadi kenaikan temperature tapi setelahnya terjadi penurunan temperature kembali dan temperature masuk kapiler cenderung stabil, ini karena pada awal unit beroperasi penyerapan kalor pada evaporator besar tetapi kapasitas pelepasan kalor pada pipa cabinet tidak bisa diperbesar sehingga refrigerant yang masuk pipa kapiler temperaturnya masih tinggi.

Temperatur discharge

Pada saat suction terbuat dari pipa tembaga temperature discharge sedikit lebih dingin dibandingkan pada saat suction terbuat dari pipa aluminium. Ini dikarenakan pada suction yang terbuat dari pipa tembaga temperature lebih tinggi dibandingkan dengan yang terbuat dari pipa aluminium sehingga compressor pun bekerja tidak terlalu berat dan hasilnya temperature discharge pun tidak terlalu panas. Pada awal unit bekerja terjadi kenaikan temperature yang tinggi ini karena compressor harus bekerja berat mengalirkan refrigerant ke condenser.

COP actual

Pada saat suction terbuat dari pipa tembaga nilai COP aktualnya lebih rendah dibandingkan dengan pipa suction yang terbuat dari pipa aluminium. Nilai COP actual ini dipengaruhi oleh temperature subcool, meskipun hanya sedikit perbedaan temperature subcool ini akan mempengaruhi terhadap nilai entalpi yang didapat dan akhirnya akan mempengaruhi hasil perhitungan COP actual.

COP carnot

Pada saat suction terbuat dari pipa tembaga nilai COP carnot-nya lebih rendah dibandingkan pada saat suction terbuat dari pipa aluminium. Ini dikarenakan nilai COP carnot dipengaruhi oleh temperature evaporasi dimana pada saat suction terbuat dari pipa

kapiler temperature evaporasinya lebih rendah dibandingkan pada saat suction terbuat dari pipa aluminium.

Effisiensi sistem

Pada saat suction terbuat dari pipa aluminium nilai effisiensinya lebih tinggi dan lebih stabil dibandingkan pada saat suction terbuat dari pipa tembaga. Ini dikarenakan pada suction yang terbuat dari pipa aluminium nilai COP actual dan COP carnotnya lebih besar.

Rasio kompresi

Pada saat suction terbuat dari pipa tembaga rasio kompresinya lebih besar dibandingkan pada saat suction terbuat dari pipa aluminium. Ini dikarenakan perbedaan antara tekanan suction dan discharge pada saat suction terbuat dari pipa tembaga lebih besar dibandingkan pada saat suction terbuat dari pipa aluminium.

Laju perpindahan panas

Pada saat suction terbuat dari pipa tembaga laju perpindahan panasnya lebih besar dibandingkan pada saat suction terbuat dari pipa aluminium. Ini dikarenakan nilai koefisien konduktivitas thermal pipa tembaga lebih besar dibandingkan dengan pipa aluminium, sehingga kalor yang diserap dari lingkungan lebih besar diserap oleh pipa tembaga.

SIMPULAN

Berdasarkan percobaan, pengukuran, perhitungan dan analisa data yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan: 1). Temperature masuk evaporator, keluar evaporator, freezer dan discharge pada saat suction terbuat dari pipa tembaga nilainya lebih rendah dibandingkan dengan pada saat suction terbuat dari pipa aluminium hal ini terjadi karena laju perpindahan kalor pada pipa suction yang terbuat dari pipa tembaga nilainya lebih besar yaitu 19mW dibandingkan pada saat pipa suction terbuat aluminium yang nilainya hanya 14mW, 2). Temperature masuk kapiler nilainya hampir sama baik pada saat suction terbuat dari pipa tembaga maupun pada saat menggunakan pipa aluminium. Hal ini dikarenakan kalor yang dilepas pada kondensor sama, sehingga temperature refrigerant masuk kapilerpun sama, 3). Temperature suction pada saat suction terbuat dari pipa tembaga nilainya lebih tinggi dibandingkan dengan pada saat suction terbuat dari pipa aluminium. Ini dikarenakan nilai konduktivitas thermal pipa tembaga lebih besar dibandingkan dengan pipa aluminium, sehingga penyerapan kalor pipa tembaga pun lebih besar dibandingkan dengan pipa aluminium, 4). COP actual, COP carnot dan Effisiensi sistem pada saat suction terbuat dari pipa aluminium nilainya lebih tinggi dibandingkan dengan pada saat suction terbuat dari pipa tembaga. Ini dikarenakan temperature evaporasi pada saat suction terbuat dari pipa aluminium (-23°C)

lebih tinggi dibandingkan dengan saat suction terbuat dari tembaga (-30°C), sehingga efek refrigerasi (selisih entalpi pada proses evaporasi) pada saat suction terbuat dari pipa aluminium nilainya lebih besar, 5). Rasio kompresi pada saat suction terbuat dari pipa tembaga nilainya lebih tinggi dibandingkan dengan pada saat suction terbuat dari pipa aluminium. Karena temperature evaporasi pada saat suction terbuat dari pipa tembaga nilainya lebih rendah yaitu sekitar -30°C sehingga tekanan suctionnya 0.8 bar sedangkan pada saat suction terbuat dari pipa aluminium temperature evaporasinya -23°C sehingga tekanan suctionnya 1,2 bar.

Dari beberapa kesimpulan diatas diperoleh bahwa mengganti material pipa dari tembaga menjadi aluminium dapat direkomendasikan karena efisiensi system lebih baik. Tetapi dengan mengganti material dari tembaga menjadi aluminium, temperature yang dicapai pada freezer belum terpenuhi tetapi masih berada pada range temperature sesuai dengan fungsi system sebagai freezer

DAFTAR PUSTAKA

- Dossat, Roy J. 1981. *Principles of Refrigeration Second Edition SI Version*. Texas: John Wiley & Sons, Inc.
- ASHRAE. 2005. *ASHRAE Handbook of FUNDAMENTAL*. Atlanta: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc.
- ASHRAE GRP 158. 1979. *Cooling and Heating Load Calculating Manual*. New York: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc.
- Althouse, A.D., Turnquist, C.H., Bracciano, A.F. (1992). *Modern Refrigeration and Air Conditioning*. The Goodheart & Wilcox Co. Inc., Illinois, USA.
- Sudira, Tata. & Shinroku Saitao. 1985. *Pengetahuan Teknik Bahan*. Jakarta. PT Pradnya Paramita
- <http://id.wikipedia.org/wiki/Aluminium>
- <http://en.wikipedia.org/wiki/Copper>

