



REPUBLIK INDONESIA
KEMENTERIAN HUKUM DAN HAK ASASI MANUSIA

SURAT PENCATATAN CIPTAAN

Dalam rangka perlindungan ciptaan di bidang ilmu pengetahuan, seni dan sastra berdasarkan Undang-Undang Nomor 28 Tahun 2014 tentang Hak Cipta, dengan ini menerangkan:

Nomor dan tanggal permohonan : EC00201944680, 2 Juli 2019

Pencipta
Nama : Harto Tanujaya
Alamat : Universitas Tarumanagara Jl. Letjen S Parman No. 1, Jakarta Barat, Dki Jakarta, 11440
Kewarganegaraan : Indonesia

Pemegang Hak Cipta
Nama : Harto Tanujaya
Alamat : Universitas Tarumanagara Jl. Letjen S Parman No. 1, Jakarta Barat, Dki Jakarta, 11440
Kewarganegaraan : Indonesia
Jenis Ciptaan : Makalah
Judul Ciptaan : Pengaruh Pengkondisian Refrigeran R-22 Di Pipa Kapiler Terhadap Mesin Pendingin

Tanggal dan tempat diumumkan untuk pertama kali di wilayah Indonesia atau di luar wilayah Indonesia : 5 Juli 2013, di Jakarta

Jangka waktu perlindungan : Berlaku selama hidup Pencipta dan terus berlangsung selama 70 (tujuh puluh) tahun setelah Pencipta meninggal dunia, terhitung mulai tanggal 1 Januari tahun berikutnya.

Nomor pencatatan : 000146033

adalah benar berdasarkan keterangan yang diberikan oleh Pemohon.
Surat Pencatatan Hak Cipta atau produk Hak terkait ini sesuai dengan Pasal 72 Undang-Undang Nomor 28 Tahun 2014 tentang Hak Cipta.



a.n. MENTERI HUKUM DAN HAK ASASI MANUSIA
DIREKTUR JENDERAL KEKAYAAN INTELEKTUAL

Dr. Freddy Harris, S.H., LL.M., ACCS.
NIP. 196611181994031001

Pengaruh Pengkondisian Refrigeran R-22 di Pipa Kapiler terhadap Mesin Pendingin

Harto Tanujaya

Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Tarumanagara
Jl. Letjen S Parman No. 1, Jakarta Barat

ABSTRAKSI

Penggunaan pipa kapiler sebagai pengeksansi pada mesin pendingin skala kecil lebih menguntungkan, selain bentuk nya yang sederhana juga harga nya murah. Unjuk kerja mesin pendingin dapat dipengaruhi oleh bentuk dan dimensi dari pipa kapiler. Pendinginan awal disekitar pipa kapiler yang berdekatan dengan sisi hisap dari evaporator diharapkan dapat meningkatkan kinerja dari mesin pendingin. Penelitian ini menggunakan refrigeran 22 dan bertujuan untuk mengetahui kebutuhan daya kompresor sebagai parameter penentu nilai dasar dalam segi ekonomi dan nilai COP dari mesin pendingin sebagai salah satu parameter unjuk kerja dari sistem. Data yang diperoleh pada keempat titik lokasi pada setiap siklus digunakan untuk menghitung kapasitas refrigerasi dan unjuk kerja dari mesin pendingin. Nilai COP yang dihasilkan dari pengujian tersebut menghasilkan nilai COP yang terbesar pada kondisi F_{11} sedangkan yang terendah pada kondisi F_{33} . Hal ini menerangkan bahwa pengkondisian pipa kapiler tersebut akan mempunyai kinerja yang lebih baik pada putaran rendah untuk fan evaporator dan kondensor.

Kata kunci ; Refrigeran 22, kapasitas refrigerasi, COP, temperatur, pipa kapiler

PENDAHULUAN

Pemanfaatan mesin pendingin dan sistem refrigerasi dewasa ini sangat luas. Sistem refrigerasi banyak dipakai pada penggunaan seperti *domestic refrigeration*, *commercial refrigeration*, *industrial refrigeration*, dan *marine refrigeration*. Sistem refrigerasi pada dasarnya memiliki komponen yang terdiri dari 4 komponen utama yaitu evaporator, kondensor, pengeksansi dan kompresor.

Penggunaan komponen pengeksansi tergantung dari sistem refrigerasi itu sendiri. Sistem refrigerasi yang membutuhkan pendinginan dengan skala besar umumnya menggunakan katup ekspansi, sedangkan sistem refrigerasi yang tidak terlalu besar dan tidak terlalu kompleks dapat menggunakan pipa kapiler sebagai pengeksansi.

Pipa kapiler umumnya terbuat dari material tembaga untuk refrigeran 22 dengan besar diameter antara 0,5 sampai dengan 2 mm, tergantung dari kebutuhan dan besarnya sistem tersebut. Panjang pipa kapiler juga bervariasi tergantung dari sistem tersebut. Penggunaan pipa kapiler sebagai pengeksansi mempunyai beberapa keuntungan, diantaranya adalah bentuk nya yang sederhana dan harga nya lebih murah jika dibandingkan dengan penggunaan katup ekspansi. Pendinginan awal disekitar pipa kapiler yang berdekatan dengan sisi hisap dari evaporator diharapkan dapat meningkatkan kinerja dari mesin pendingin. Beberapa eksperimen yang telah dilakukan juga menggambarkan bahwa penempatan pipa kapiler yang lebih efisien akan meningkatkan unjuk kerja mesin pendingin.

Penelitian yang terkait dengan pipa kapiler telah banyak dilakukan oleh beberapa peneliti. Akintunde (2007) telah meneliti pipa kapiler dengan dua bentuk yang berbeda *helical* dan *serpentine*. Fluida kerja yang digunakan R-134a. Hasil

penelitian dari kedua pipa kapiler tersebut diperoleh bahwa untuk pipa kapiler *helical*, *pitch* yang bervariasi tidak terlalu berpengaruh terhadap unjuk kerja sistem, berbeda dengan pipa kapiler *serpentine* yang dipengaruhi oleh *pitch* pipa kapiler. Unjuk kerja sistem dengan menggunakan pipa kapiler *helical* dipengaruhi oleh diameternya, sedangkan pipa kapiler *serpentine* yang mempengaruhi tingginya. Hasil penelitian tersebut mengindikasikan bahwa bentuk dan dimensi dari pipa kapiler dapat mempengaruhi unjuk kerja dari sistem. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kebutuhan daya kompresor sebagai parameter penentu nilai dasar dalam segi ekonomi dan nilai COP dari mesin pendingin sebagai salah satu parameter unjuk kerja dari sistem, jika pipa kapiler yang diperlukan untuk mengekspansi refrigeran dikondisikan secara ekstrim.

SIKLUS KOMPRESI UAP

Siklus kompresi uap merupakan siklus yang banyak dipergunakan dalam sistem refrigerasi. Siklus ini bekerja dengan mengkompresi uap refrigeran untuk kemudian dikondensasikan kembali. Mesin refrigerasi kompresi uap mempunyai empat komponen utama, kompresor, evaporator, kondensor, dan pengekspansi dalam penelitian ini menggunakan pipa kapiler. Kompresor berfungsi untuk mengkompresi refrigeran atau untuk menaikkan tekanan refrigeran dalam kondisi gas agar dapat diturunkan tekanannya secara mendadak. Evaporator yang berfungsi untuk menguapkan refrigeran didalam sistem dengan menyerap panas dari lingkungan. Kondensor yang berfungsi untuk mengkondensasikan refrigeran didalam sistem dengan membuang panas sistem ke lingkungan, dan pipa kapiler sebagai pengekspansi yang berfungsi untuk menurunkan tekanan secara mendadak agar diperoleh temperatur yang rendah.

PIPA KAPILER

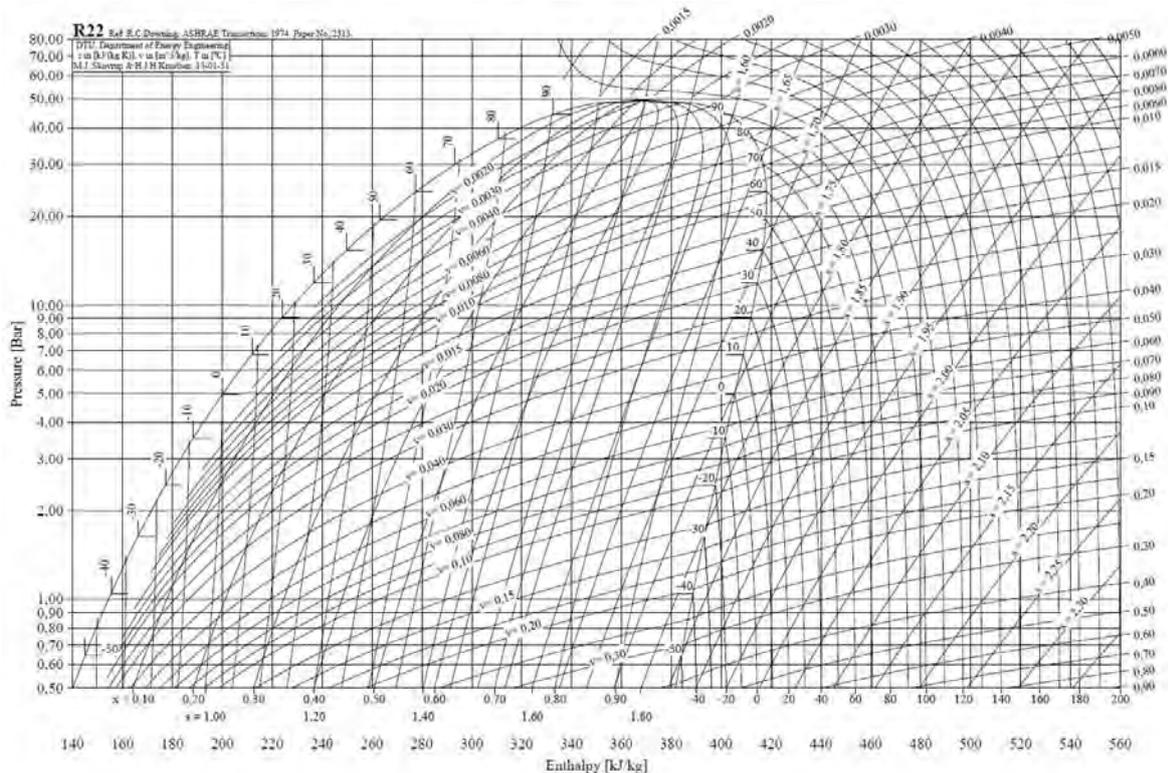
Pipa kapiler dipasang sebagai pengganti katup ekspansi pada penelitian ini dan dipasang didekat sisi hisap dari evaporator. Pipa kapiler berfungsi untuk menurunkan tekanan dan temperatur refrigeran agar refrigeran dapat menyerap panas di evaporator. Tekanan refrigeran dapat diturunkan dengan menggunakan pipa kapiler sebagai akibat adanya gesekan pipa kapiler yang panjang dan berdiameter kecil. Pipa kapiler digunakan pada mesin refrigerasi berkapasitas rendah seperti penyegar udara, pendingin air minum dsb. Diameter pipa kapiler berkisar antara 0,2 – 2 mm dengan panjang kurang dari 1 m. Tahanan dari pipa kapiler inilah yang dipergunakan untuk menurunkan tekanan. Diameter dan panjang pipa kapiler ditetapkan berdasarkan kapasitas pendinginan, kondisi operasi dan jumlah refrigeran yang mengalir. Konstruksi pipa kapiler sangat sederhana, dan jarang terjadi masalah. Seperti misalnya pada waktu sistem berhenti beroperasi kondisi tekanan didalam sistem akan terhubung dan mempunyai tekanan yang sama, yang dapat mempermudah untuk *start* awal berikutnya. Ada beberapa hal yang perlu diperhatikan dalam penggunaan pipa kapiler sebagai pengekspansi dalam sistem refrigerasi seperti;

- Tekanan pengembunan yang tidak terlalu tinggi karena keadaan tersebut dapat menyebabkan laju refrigeran akan bertambah besar dan kondisi operasi cairan kembali tidak dapat terhindarkan.
- Jumlah refrigeran tidak terlalu besar untuk mencegah beban operasi yang berat untuk jangka panjang.
- Pergunakan pipa kapiler yang sesuai untuk mesin refrigerasi. Jika pipa kapiler terlalu pendek dengan diameter besar dapat mengakibatkan aliran refrigeran terlalu besar sehingga dapat terjadi refrigeran cair kembali (*liquid back*) dan kapasitas refrigerasi berkurang, begitu juga jika terjadi sebaliknya.
- Pipa kapiler perlu diperhatikan terhadap kotoran yang dapat menyumbat aliran refrigeran tersebut.

REFRIGERAN

Refrigeran merupakan salah satu bahan pendingin atau fluida kerja yang bersikulasi didalam siklus refrigerasi. Refrigeran mempunyai kemampuan untuk meyerap dan membuang panas dengan dari dan ke lingkungan dengan selisih temperatur yang tinggi melalui mekanisme evaporasi dan kondensasi. Pada penelitian ini digunakan jenis Refrigeran 22 yang merupakan jenis dari HCFC.

Semua refrigeran yang dipakai pada sistem kompresi uap mempunyai karakteristik yang hampir sama, dengan nilai numerik yang berbeda-beda untuk setiap jenis refrigeran. Nilai entalpi merupakan nilai yang penting untuk diketahui. Diagram $p-h$ adalah diagram tekanan dan entalpi yang terdiri dari kumpulan garis-garis bantu termodinamik yang berguna dan membantu untuk memplotkan titik pada suatu keadaan dalam sistem. Diagram $p-h$ refrigeran 22 dapat dilihat seperti gambar 1 berikut.



Gambar 1. Diagram $p-h$ Refrigeran 22

KOEFISIEN PRESTASI (COP)

Pada siklus kerja mesin pendingin dapat dijelaskan sebagai berikut, saat refrigeran yang telah seluruhnya berubah menjadi gas yang dikompresi oleh kompresor, temperatur dan tekanan refrigeran akan meningkat sangat tinggi. Dengan mengasumsikan sistem adiabatik sehingga tidak ada kalor yang masuk dan keluar dari sistem dan dengan menggunakan hukum Termodinamika I maka didapat daya kompresor sebesar;

$$P = \dot{m} (h_3 - h_2) \quad (kW) \quad (1)$$

dengan $m = \rho \cdot V$, dan m merupakan massa, ρ merupakan densitas, dan V merupakan volume. Didalam kondensor, refrigeran yang bertekanan dan bertemperatur tinggi, mengalami proses pembuangan panas ke lingkungan, sehingga refrigeran didalam kondensor tersebut akan mengembun atau berkondensasi. Laju perpindahan panas yang terjadi pada kondensor dapat dirumuskan;

$$Q_{condensor} = \dot{m} (h_4 - h_3) \quad (kW) \quad (2)$$

Refrigeran bertekanan tinggi yang keluar dari kondensor akan diekspansi oleh pipa kapiler untuk diturunkan tekanannya secara mendadak. Refrigeran yang keluar dari pipa kapiler berupa fase campuran gas dan cair. Fase campuran tersebut dapat dicari kualitas uapnya dengan menggunakan;

$$x_1 = \frac{h_1 - h_{f-1}}{h_{fg-1}} \quad (3)$$

keterangan,

- h_f : Entalpi spesifik pada cair jenuh (kJ/kg)
- h_{fg} : Entalpi spesifik campuran cair-gas (kJ/kg)
- h_{fg-1} : $h_{g-1} - h_{f-1}$
- h_g : Entalpi spesifik uap jenuh (kJ/kg)

Perpindahan panas pada pipa kapiler dapat dihitung dengan menggunakan;

$$Q_{pipa\ kapiler} = \dot{m} (h_4 - h_1) \quad (kW) \quad (4)$$

Pada waktu meninggalkan pipa kapiler refrigeran telah berubah sepenuhnya menjadi cair jenuh. Dengan memanfaatkan refrigeran sebagai volume atur dan dengan menggunakan hukum pertama termodinamika maka perpindahan kalor di evaporator dapat dituliskan;

$$Q_{evaporator} = \dot{m} (h_2 - h_1) \quad (kW) \quad (5)$$

Koefisien Prestasi atau unjuk kerja dari mesin pendingin tersebut juga dapat dihitung dengan menggunakan persamaan,

$$COP = \frac{Q_{evaporator}}{P} \quad (6)$$

Pipa kapiler yang digunakan pada sistem pendingin kapasitas kecil umumnya berdiameter 0,5 ~ 2 mm dengan panjang sampai dengan 6 m. pipa kapiler digunakan untuk mengekspansikan cairan refrigeran secara adiabatik dari tekanan dan temperatur tinggi sampai mencapai keadaan tekanan dan temperatur rendah.

Perpindahan panas pada siklus ekspansi (proses 4 - 1) pada sistem tersebut yang seharusnya dianggap berlangsung dengan entalpi yang konstan ($h_4 = h_1$) berubah menjadi tidak konstan karena adanya proses pendinginan pada pipa kapiler. Pendinginan pada pipa kapiler menyebabkan adanya pertukaran panas pada pipa kapiler yang bersifat non adiabatik.

Proses pendinginan pada pipa kapiler tersebut seperti diperlihatkan di persamaan (4). Sedangkan perpindahan panas total secara umum dapat dinyatakan,

$$Q = A \cdot h \cdot \Delta T \quad (7)$$

Notasi ΔT merupakan selisih antara perbedaan temperatur pada dinding pipa kapiler dengan temperatur fluida yang melewatinya. Notasi h merupakan koefisien perpindahan panas konveksi nya. Nilai h yang merupakan koefisien perpindahan panas konveksi dapat ditentukan dengan menggunakan bilangan Nusselt yang merupakan bilangan tidak berdimensi yang penting dalam perhitungan perpindahan panas konveksi. Persamaan matematisnya adalah,

$$h = \frac{Nu \cdot k}{D} \quad (8)$$

Nilai k merupakan nilai konduktivitas termal dari refrigeran dan D merupakan diameter dari pipa kapiler.

METODE PENELITIAN

Metode penelitian yang digunakan adalah metode eksperimental dengan mengkondisikan pipa kapiler dibawah temperatur lingkungan . Temperatur pipa kapiler dikondisikan dengan menggunakan *dry ice* pada temperatur -70°C . Pemeriksaan temperatur *dry ice* dikontrol sesering mungkin dan dipertahankan konstan temperaturnya.

Pipa untuk jalur refrigeran menggunakan dua macam ukuran pipa, pipa *suction* dan pipa *discharge*. Pipa *suction* mempunyai panjang 0,3 m dengan diameter $\frac{1}{2}$ in, sedangkan pipa *discharge* mempunyai panjang 0,8 m dengan diameter $\frac{1}{2}$ in. Pipa kapiler yang digunakan mempunyai diameter dalam 0,0063 m dengan panjang 0,248 m. Kompresor yang digunakan untuk mengkompresi menggunakan jenis single cylinder reciprocating tipe AJ 4461A dengan daya maksimum $\frac{1}{2}$ Hp / 300 rpm. Kondensor yang digunakan mempunyai spesifikasi diameter normal pipa $\frac{3}{8}$ in, panjang 0,294 m, tinggi 0,27 m, kapasitas debit 1200 m³/h dengan lebar 0,143 m dan jumlah tabung 30. Evaporator mempunyai tinggi 0,28 m dengan diameter normal pipa $\frac{1}{2}$ in.

Flowmeter untuk mengukur aliran refrigeran menggunakan jenis *variable area flowmeter* dengan range 0 - 140 liter/jam. Untuk mengukur debit dari refrigeran terdapat koefisien konversi untuk flowmeter tersebut yang besarnya dapat dilihat di tabel 1 berikut.

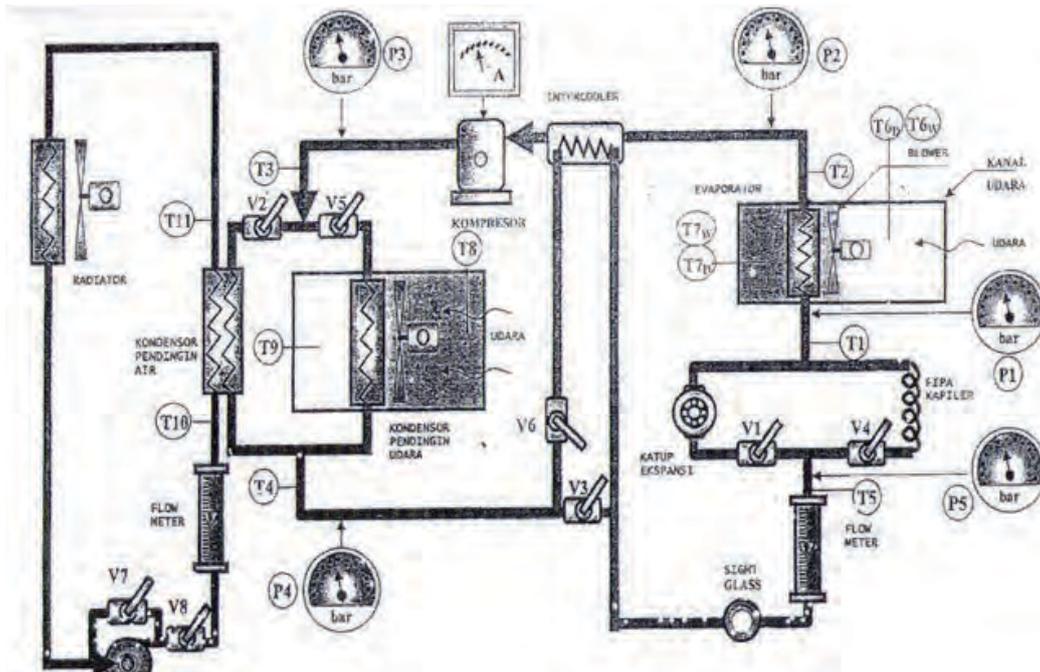
Tabel 1. Koefisien konversi Refrigeran 22

Densitas R-22 (kg/m ³)	Koefisien Konversi
750	0,850
800	0,880
850	0,910
900	0,940
950	0,970
1000	1,000
1050	1,028
1100	1,056
1150	1,084
1200	1,111
1250	1,139
1300	1,166

PENGAMBILAN DATA

Parameter untuk pengambilan data seperti tercantum dan terlihat di gambar 2 dan dilakukan sesuai prosedur berikut,

- a. Nyalakan sumber listrik
- b. Nyalakan blower kondensor dengan memutar switch dan diatur pada kondisi 1 dan blower evaporator dengan memutar switch dan diatur pada kondisi 1, 2, dan 3, setelah sistem stabil data kemudian diambil dan dicatat
- c. Nyalakan blower kondensor dengan memutar switch dan diatur pada kondisi 2 dan blower evaporator dengan memutar switch dan diatur pada kondisi 1, 2, dan 3, setelah sistem stabil data kemudian diambil dan dicatat
- d. Nyalakan blower kondensor dengan memutar switch dan diatur pada kondisi 3 dan blower evaporator dengan memutar switch dan diatur pada kondisi 1, 2, dan 3, setelah sistem stabil data kemudian diambil dan dicatat



Gambar 2. Diagram instalasi mesin pendingin

Pengujian menggunakan variasi dengan mengatur aliran udara yang memasuki evaporator dan kondensor. Kecepatan aliran udara divariasikan dengan tiga macam kecepatan udara yang berbeda untuk masing-masing evaporator dan kondensor. Penamaan variasi kondisi aliran udara tersebut adalah F₁₁, F₁₂, F₁₃, F₂₁, F₂₂, F₂₃, F₃₁, F₃₂, F₃₃. Keterangan notasi tersebut adalah,

- F₁₁ : posisi kecepatan fan 1 di evaporator dan kecepatan fan 1 di kondensor
- F₁₂ : posisi kecepatan fan 1 di evaporator dan kecepatan fan 2 di kondensor
- F₁₃ : posisi kecepatan fan 1 di evaporator dan kecepatan fan 3 di kondensor
- F₂₁ : posisi kecepatan fan 2 di evaporator dan kecepatan fan 1 di kondensor
- F₂₂ : posisi kecepatan fan 2 di evaporator dan kecepatan fan 2 di kondensor
- F₂₃ : posisi kecepatan fan 2 di evaporator dan kecepatan fan 3 di kondensor
- F₃₁ : posisi kecepatan fan 3 di evaporator dan kecepatan fan 1 di kondensor
- F₃₂ : posisi kecepatan fan 3 di evaporator dan kecepatan fan 2 di kondensor
- F₃₃ : posisi kecepatan fan 3 di evaporator dan kecepatan fan 3 di kondensor

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian dan pengambilan data dilakukan sesuai dengan prosedur yang telah ditetapkan. Pengukuran temperatur dan tekanan pada setiap kondisi dicatat dan dievaluasi. Data pengujian yang didapatkan dirangkum dan dapat dilihat di tabel 2 dibawah.

Tabel 2. Data Pengujian

	F ₁₁	F ₁₂	F ₁₃	F ₂₁	F ₂₂	F ₂₃	F ₃₁	F ₃₂	F ₃₃
T ₁	-17	-16	-16	-16	-10	-7	-8	-14	-16
T ₂	20	20	20	20	21	21	20	20	20
T ₃	63	73	80	87	96	98	106	107	108

T ₄	30	29	29	30	30	30	30	30	30
P ₁	1,2	1,2	1,3	1,3	2,1	2,3	2,2	2,3	2,3
P ₂	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	1	0,9	1	1
P ₃	14	14	14	14	12	13	13	13	13
P ₄	12	12	12	12	13	12	12	12	12

PERHITUNGAN

Hasil pengujian yang telah diperoleh perlu dilakukan suatu analisa untuk memperoleh nilai dari parameter yang diinginkan. Analisa pertama yang perlu dilakukan adalah dengan mencari harga entalpi dari sistem tersebut. Harga entalpi yang mempengaruhi efek dan kinerja dari mesin pendingin sangat terpengaruh oleh pendinginan awal pipa kapiler di sisi hisap evaporator. Untuk memperoleh nilai entalpi yang diinginkan dari setiap kondisi pada variasi pengujian tersebut dapat menggunakan diagram $p-h$ seperti gambar 1.

Nilai untuk setiap entalpi yang diinginkan pada diagram $p-h$ dapat dilihat di lampiran. Perincian hasil nilai entalpi dari analisa pada diagram $p-h$, selanjutnya dapat dilihat seperti ditunjukkan di tabel 3.

Tabel 3. Nilai Entalpi dari hasil pengujian secara keseluruhan

	F ₁₁	F ₁₂	F ₁₃	F ₂₁	F ₂₂	F ₂₃	F ₃₁	F ₃₂	F ₃₃
Titik 1	184	184	184	184	186	195	192	185	184
Titik 2	426	426	426	426	428	426	426	425	425
Titik 3	448	450	452	460	469	467	476	475	478
Titik 4	235	231	231	235	236	235	234	235	235

Satuan dalam kJ/m³

Dengan menggunakan data dari tabel diatas maka didapatkan nilai untuk parameter-parameter seperti daya kompresor, daya evaporator, daya kondensor, dan COP. Pengujian untuk kondisi normal didapat nilai rata-rata aliran sebesar 60 L/h, sehingga untuk rata-rata massa aliran refrigeran dapat dihitung,

$$m = \rho \cdot q_{R-22}$$

Dengan menggunakan tabel *properties* untuk refrigeran 22 (R-22), densitas (ρ) refrigeran pada saat pengukuran yang bersuhu 28°C adalah 1178 kg/m³, densitas tersebut dikonversi jika menggunakan refrigeran 22 dari tabel 1. Dengan menggunakan bantuan metode interpolasi linier didapatkan nilai dari konversi tersebut,

$$\begin{aligned}
 x &= \frac{x_2 (y_1 - y) - x_1 (y_2 - y)}{y_1 - y_2} \\
 &= \frac{1,111 (1150 - 1178) - 1,084 (1200 - 1178)}{1150 - 1200} \\
 &= 1,0991
 \end{aligned}$$

sehingga didapatkan laju alir refrigeran 22,

$$\begin{aligned} \dot{q}_{R-22} &= \frac{60 \text{ Lt/h} \times \text{faktor konversi}}{1000} \\ &= \frac{60 \times 1,0991}{3600} \\ &= 1,8318 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s} \end{aligned}$$

sehingga laju aliran massa refrigerannya,

$$\begin{aligned} \dot{m}_{R-22} &= \rho_{R-22} \cdot \dot{q}_{R-22} \\ &= 1178 \text{ kg/m}^3 \cdot 1,8318 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s} \\ &= 0,02158 \text{ kg/s} \end{aligned}$$

Massa aliran yang didapat digunakan untuk menghitung daya dari kompresor yang digunakan. Daya kompresor didapat dengan menggunakan persamaan (1), dengan memasukkan nilai massa aliran dan entalpi pada titik 2 dan 3 yang diperoleh dari diagram $p-h$. Sebagai contoh perhitungan untuk kondisi pada F₁₁ maka kerja kompresor (W) yang dihasilkan adalah,

$$\begin{aligned} W &= (h_3 - h_2) \\ &= (448 \text{ kJ/m}^3 - 426 \text{ kJ/m}^3) \\ &= 22 \text{ kJ/m}^3 \end{aligned}$$

Sedangkan daya kompresornya (P),

$$\begin{aligned} P &= \dot{m} (h_3 - h_2) \quad (\text{kW}) \\ &= 0,02158 \text{ kg/s} (448 \text{ kJ/m}^3 - 426 \text{ kJ/m}^3) \\ &= 0,4748 \text{ kW} \end{aligned}$$

Untuk daya kondensor dihitung dengan menggunakan kalor yang dilepas oleh kondensor. Kalor yang dilepas oleh kondensor,

$$\begin{aligned} q_c &= (h_4 - h_3) \\ &= (235 \text{ kJ/m}^3 - 448 \text{ kJ/m}^3) \\ &= -213 \text{ kJ/m}^3 \end{aligned}$$

Tanda (-) mengindikasikan panas terbuang atau keluar dari sistem.

Daya kondensor yang dihasilkan adalah,

$$\begin{aligned}
 Q_{condensator} &= \dot{m} (h_4 - h_3) \quad (kW) \\
 &= 0,02158 (235 - 448) \\
 &= -4,5965 \text{ kW}
 \end{aligned}$$

Tanda (-) mengindikasikan panas terbuang atau keluar dari sistem.

Untuk daya evaporator didapatkan dengan menghitung efek refrigerasi terlebih dahulu.

Efek refrigerasi nya,

$$\begin{aligned}
 q_e &= (h_2 - h_1) \\
 &= (426 \text{ kJ/m}^3 - 184 \text{ kJ/m}^3) \\
 &= 242 \text{ kJ/m}^3
 \end{aligned}$$

Sedangkan untuk daya evaporatornya,

$$\begin{aligned}
 Q_{evaporator} &= \dot{m} (h_2 - h_1) \quad (kW) \\
 &= 0,02158 (426 - 184) \\
 &= 5,2224 \text{ kW}
 \end{aligned}$$

Untuk daya di pipa kapiler dapat dihitung,

$$\begin{aligned}
 Q_{pipa\ kapiler} &= \dot{m} (h_4 - h_1) \quad (kW) \\
 &= 0,02158 (235 - 184) \\
 &= 1,1006 \text{ kW}
 \end{aligned}$$

Sedangkan koefisien prestasi atau COP nya didapat sebesar,

$$\begin{aligned}
 COP &= \frac{Q_{evaporator}}{P} \\
 &= \frac{5,2224}{0,4748} = 10,99
 \end{aligned}$$

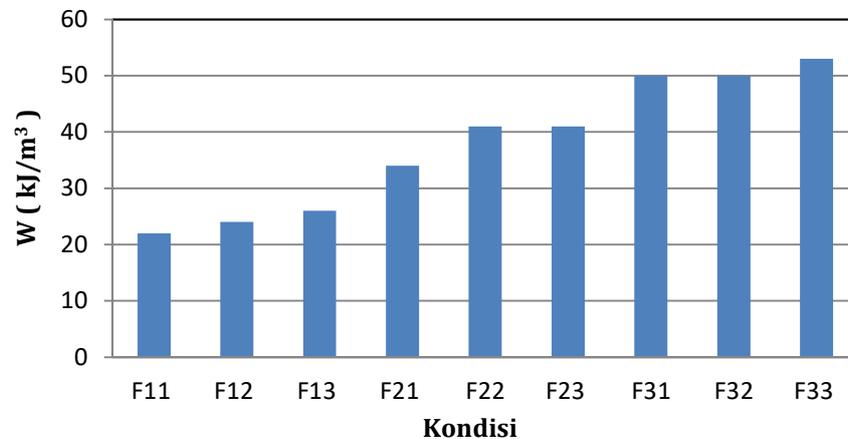
Hasil secara keseluruhan dari perhitungan dapat dilihat di tabel 4.

Tabel 4. Hasil perhitungan

	Kerja Kompresor (W) - kJ/m ³	Daya Kompresor (P) - kW	Efek Refrigerasi (q _e) - kJ/m ³	Q _e kW	Q _c kW	Q _{pipa kap} kW	COP
F ₁₁	22	0,4748	242	5,2224	-4,5965	1,1006	10,99
F ₁₂	24	0,5179	242	5,2224	-4,7260	1,0143	10,08
F ₁₃	26	0,5611	242	5,2224	-4,7692	1,0143	9,31
F ₂₁	34	0,7337	242	5,2224	-4,8555	1,1006	7,12
F ₂₂	41	0,8848	242	5,2224	-5,0281	1,079	5,90
F ₂₃	41	0,8848	231	4,9850	-5,0066	0,8632	5,63
F ₃₁	50	1,079	234	5,0497	-5,2224	0,9064	4,68
F ₃₂	50	1,079	240	5,1792	-5,1792	1,079	4,8
F ₃₃	53	1,1437	241	5,2008	-5,2439	1,1006	4,55

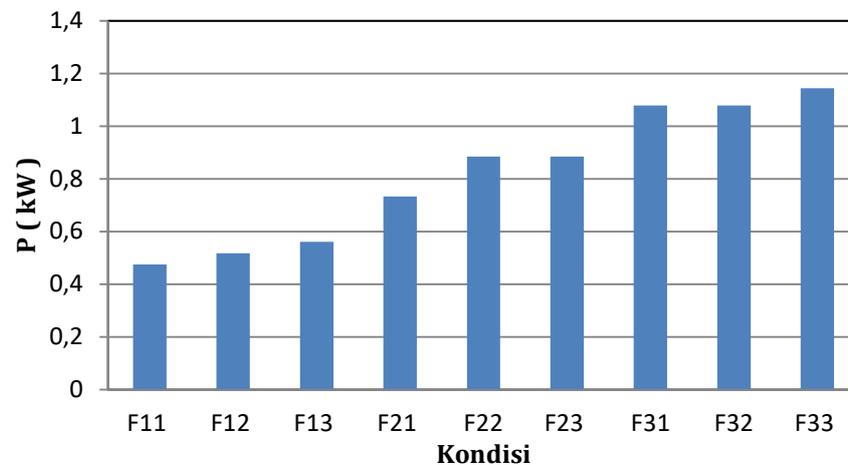
DISKUSI DAN PEMBAHASAN

Gambar 3 menggambarkan bahwa kerja kompresor pada posisi F₃₃ mempunyai kerja yang paling besar. Sedangkan posisi pada F₁₁ mempunyai nilai kerja yang paling kecil.



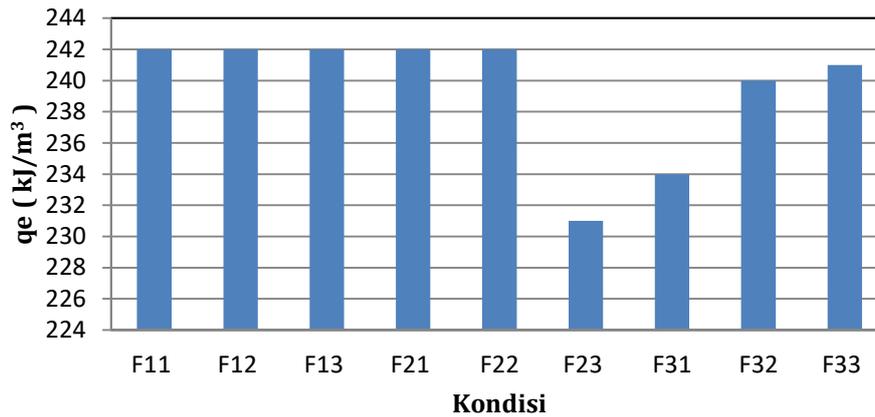
Gambar 3. Grafik kerja kompresor

Daya kompresor sangat terpengaruh oleh kerja kompresor dalam sistem, hal ini seperti yang diperlihatkan dalam gambar 4. Semakin besar kerja kompresor akan mengakibatkan daya kompresor semakin besar juga.



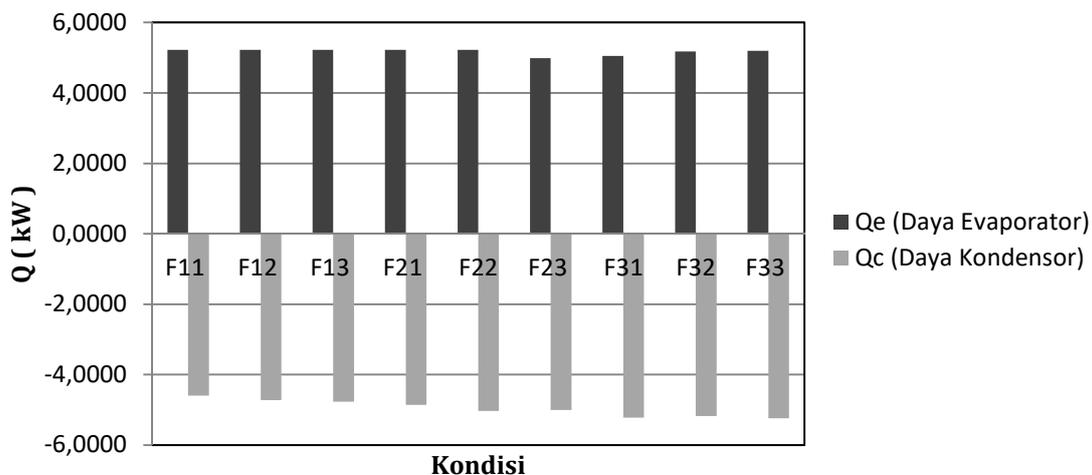
Gambar 4. Daya Kompresor

Efek refrigerasi merupakan salah satu parameter yang menentukan nilai efisiensi dari sistem refrigerasi. Gambar 5 memperlihatkan nilai efek refrigerasi dari sistem dimana pada kondisi F₁₁ sampai dengan F₂₂ mempunyai nilai efek refrigerasi yang sama dan paling tinggi.



Gambar 5. Efek refrigerasi

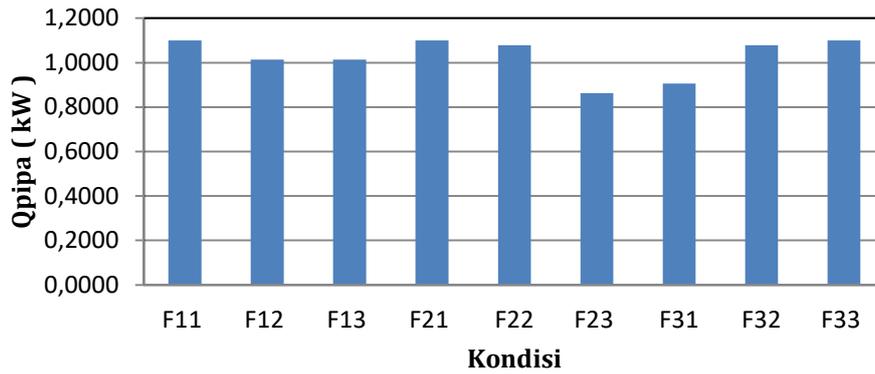
Gambar 6 memperlihatkan nilai dari daya evaporator dan daya kondensor. Nilai daya evaporator yang menyerap panas dari lingkungan mempunyai rata-rata nilai positif yang berarti sistem menyerap panas dari lingkungan. Sedangkan daya kondensor mempunyai nilai rata-rata negative yang berarti sistem membuang atau mengeluarkan panas dari sistem ke lingkungan. Besar nilai antara daya evaporator dengan daya kondensor tidak terlalu banyak selisihnya, hal ini mengindikasikan bahwa sistem bekerja dengan baik, dalam hal penyerapan dan pembuangan kalor.



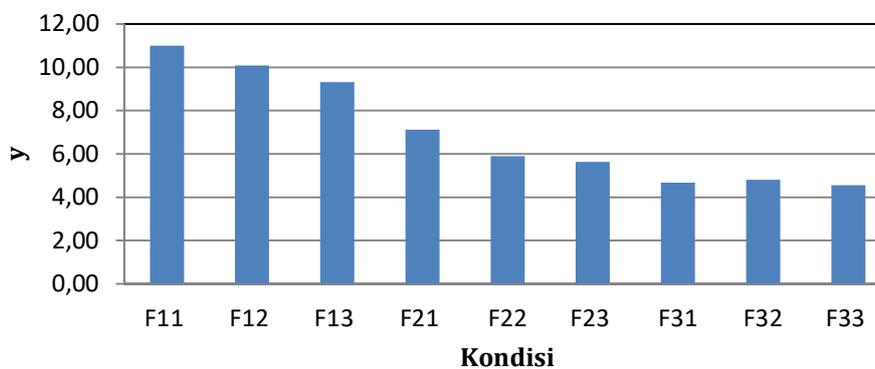
Gambar 6. Perbandingan Daya Evaporator dengan Daya Kondensor

Daya pipa kapiler ditunjukkan pada gambar 7. Pada gambar tersebut nilai daya kapiler terbesar didapat pada kondisi F21 sedangkan nilai yang terendah didapat pada kondisi F23.

Nilai COP merupakan nilai yang menentukan efisiensi dari sistem refrigerasi. Gambar 8 menunjukkan nilai COP yang diperoleh dari sistem pada kondisi F11 sampai dengan kondisi F33. Dari grafik didapat nilai COP yang terbesar didapat pada kondisi F11. Sedangkan untuk nilai COP terendah didapat pada kondisi F33.



Gambar 7. Daya Pipa Kapiler



Gambar 8. COP

KESIMPULAN

Daya kompresor yang digunakan pada setiap kondisi mengalami kecenderungan pemakaian daya kompresor semakin meningkat seiring dengan besarnya putaran fan di evaporator dan kondensor. Efek refrigerasi mengalami batas maksimal untuk pengkondisian pada putaran rendah fan evaporator dan kondensor. Sedangkan nilai COP yang dihasilkan dari pengujian tersebut menghasilkan nilai COP yang terbesar pada kondisi F₁₁ sedangkan yang terendah pada kondisi F₃₃. Hal ini menerangkan bahwa pengkondisian pipa kapiler tersebut akan mempunyai kinerja yang lebih baik pada putaran rendah untuk fan evaporator dan kondensor.

DAFTAR PUSTAKA

- Akintunde, Mutalubi A, Effect of Coiled Capillary Tube Pitch on Vapour Compression Refrigeration System Performance, AU J.T. 11(1) : 14-22, July, 2007.
- Arismunandar, Wiranto, "Penyegaran Udara", PT Pradnya Paramita, Jkarta, 1995
- Jordan, Richard C, "Refrigeration and Air Conditioning", Prentice Hall of India, New Delhi, 1981.
- SMACNA, "HVAC System, Testing, Adjusting, and Balancing", SMACNA Inc, Virginia, 1993.
- Stoecker, W.F., "Refrigeration and Air Conditioning", Mc Graw Hill, New Delhi, 1992.