

PENGARUH PERUBAHAN PUTARAN KOMPRESOR SERTA MASSA REFRIGERANT TERHADAP COP MESIN PENDINGIN KOMPRESI UAP

Sibut, Anang Subardi, Suparno Djiwo, I Made Yadiano
Prodi Teknik Mesin, Institut Teknologi Nasional Malang

ABSTRAKSI

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh variasi putaran poros kompresor serta massa refrigerant terhadap prestasi kerja mesin pendingin. Penelitian ini intinya apakah bertambahnya massa refrigerant akan berpengaruh terhadap kecepatan putar poros kompresor serta akan meningkatkan koefisien prestasi ataukah sebaliknya. Dalam penelitian ini digunakan alat uji sebuah mesin pendingin AC sederhana yang terdiri kompresor, kondensor, katup ekspansi, dan evaporator dengan menggunakan refrigeran R-134a. Untuk membuat variasi putaran kompresor dilakukan dengan melakukan beberapa perubahan ukuran diameter puli motor listrik yang menggerakkan kompresor. Variasi diameter puli motor listrik yang digunakan adalah $d = 80 \text{ mm}$, $d = 100 \text{ mm}$, dan $d = 120 \text{ mm}$. Dengan bertambahnya diameter puli motor listrik maka kecepatan putar poros kompresor yang dihasilkan akan semakin besar. Namun penambahan massa refrigerant akan menambah beban dari kompresor, sehingga menurunkan putarannya.

Kata kunci: Putaran Kompresor, Massa Refrigerant, COP.

PENDAHULUAN

Refrigerasi adalah pengeluaran kalor dari suatu ruangan dan kemudian mempertahankan keadaannya sedemikian rupa sehingga temperaturnya lebih rendah dari temperatur lingkungannya.. Salah satu jenis mesin refrigerasi yang umum digunakan pada zaman sekarang adalah jenis kompresi uap. Mesin pendingin jenis ini bekerja secara mekanik dan perpindahan panas dilakukan dengan memanfaatkan sifat refrigerant.

Sistem refrigerasi yang paling sederhana memiliki komponen utama yaitu kompresor, kondensor, katup ekspansi, dan evaporator (Arismunandar, 2002). Untuk mendapatkan suhu udara yang sesuai dengan yang diinginkan

banyak alternatif yang dapat diterapkan, diantaranya adalah dengan menaikkan koefisien perpindahan kalor kondensasi dan dengan menambahkan kecepatan udara pendingin pada kondensor sehingga akan diperoleh harga koefisien prestasi yang lebih besar. Selanjutnya dengan menambahkan kecepatan udara pendingin pada kondensor maka laju aliran massa akan menurun sehingga menyebabkan daya kompresor juga mengalami penurunan. Namun demikian fenomena ini perlu dikaji lebih jauh.

Suatu pemikiran baru yang muncul adalah bagaimana jika diameter puli motor listrik penggerak kompresor

divariasi diameternya? Dengan dirubahnya ukuran puli tersebut akan berubah pula kecepatan putar poros kompresor. Semakin besar puli pada motor listrik jumlah putaran kompresor juga akan semakin besar. Fenomena ini menarik untuk dikaji apakah perubahan kecepatan kompresor akan mempengaruhi kinerja sistem pendingin kompresi uap. Unjuk kerja di sini didefinisikan sebagai koefisien prestasi. Adakah pengaruh dari penggunaan ukuran pulley penggerak terhadap daya kompresor pada system pendingin kompresi uap. Adakah pengaruh dari variabel massa refrigerant terhadap kinerja mesin pendingin kompresi uap. Adapun tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui dan menganalisis pengaruh penggunaan diameter pulley yang berbeda terhadap kinerja mesin pendingin kompresi uap dan untuk mengetahui pengaruh dari variabel refrigerant terhadap kinerja mesin pendingin kompresi uap.

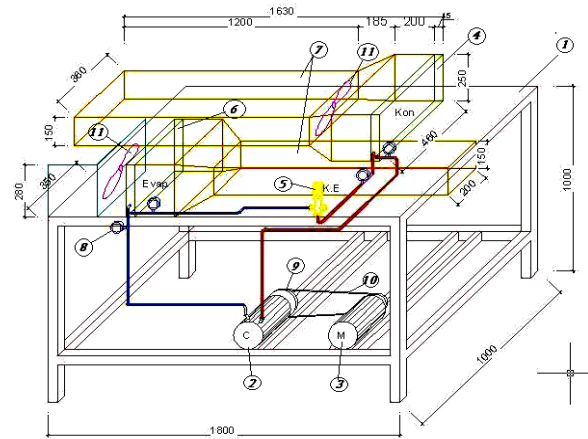
METODOLOGI

Dalam melaksanakan penelitian ini digunakan suatu metode dan prosedur penelitian, sehingga langkah-langkah serta tujuan dari penelitian yang dilakukan dapat sesuai dengan apa yang diharapkan. Untuk itu pada bab ini diberi gambaran mengenai penelitian ini, antara lain:

3.1. Model alat uji.

Model alat uji merupakan mesin pendingin kompresi uap yang dimodifikasi sedemikian rupa, sesuai dengan kebutuhan penelitian. Model alat uji yang

digunakan seperti pada gambar dibawah ini:



Gambar 3.1 Model alat uji

Keterangan gambar:

1. Rangka
2. Kompresor
3. Motor listrik
4. Evaporator
5. Katup ekspansi
6. Kondensor
7. Ducting
8. Alat ukur tekanan (manomete)
9. Pulley
10. Belt
11. kipas
12. Pulley
13. Belt
14. Kipas

Bahan dan alat yang digunakan

1. Ducting

Ducting merupakan saluran untuk mendistribusikan udara hasil dari pengkondisian pada mesin pendingin kompresi uap. *Ducting* merupakan sebuah sistem saluran udara tertutup yang menghubungkan *sistem* dengan ruangan, yang terdiri dari saluran udara yang masuk (*ducting supply*) dan saluran udara yang keluar dari kondensor. *Ducting* harus didesain sedemikian rupa sehingga dapat mendistribusikan udara ke

seluruh ruangan yang membutuhkan, dengan hambatan udara yang sekecil mungkin. Desain *ducting* yang tidak tepat akan mengakibatkan hambatan udara yang besar sehingga akan menyebabkan inefisiensi energi yang cukup besar. *Ducting* juga harus didesain agar memiliki *insulator* di sekeliling permukaannya, yang berfungsi untuk menahan penetrasi panas dari udara luar yang memiliki suhu yang lebih tinggi bila dibandingkan dengan suhu di dalam *ducting*.

Ducting yang digunakan pada sistem diatas mempunyai dimensi yang berbeda pada kondensor dan evaporator. Dimensi *ducting* pada kondensor memiliki luas penampang saluran 360 x 150 mm, dengan panjang 1200 mm. sedangkan luas penampang *ducting* pada evaporator 200 x 150 mm dengan panjang 1200 mm. luas penampang *ducting* pada kondensor yang dibuat lebih besar dari pada luas penampang *ducting* pada evaporator dimaksudkan agar supaya laju perpindahan panas pada kondensor lebih besar, sehingga mempengaruhi peforma dari mesin pending. Bahan *ducting* dipilih plat baja (seng) dikarenakan lebih mudah didapat dan mudah dibentuk. Selain itu memiliki permukaan yang halus sehingga meminimalisir gesekan yang terjadi antara udara dan dinding *ducting* itu sendiri.



Gambar 1 Ducting

2. Kompresor AC mobil

Kompresor adalah bagian yang terpenting dari suatu mesin pengkondisian udara. Pada penelitian ini jenis kompresor yang digunakan adalah kompresor torak, yang biasa digunakan pada system pendingin mobil. Kompresor berdaya 0.5 PK ini dipilih karena putarannya dapat divariasikan dengan menggunakan pulley sebagai alat untuk mentransfer putaran sekaligus pembandingan putaran dari motor listrik ke kompresor.

Spesifikasi kompresor adalah:

Jenis	: Torak
Refrigeran	: R-134a
Daya	: 0,5 PK



Gambar 2. Kompresor AC mobil

3. Motor Listrik

Motor listrik adalah suatu alat yang mengkonversikan energy listrik menjadi energy kinetic (putar). Motor listrik digunakan untuk memutar poros kompresor yang dihubungkan dengan pulley.

Spesifikasi motor listrik:

Jenis	: 3 - phase induction motor
Tegangan	: 220/380 volt
RPM	: 1400 rpm
Daya	: 0,75 kW



Gambar 3. Motor listrik

4. Kondensor

Pada percobaan ini digunakan kondensor dengan pendingin udara konveksi paksa. Pemilihan kondensor ini dikarenakan jumlah panas yang dikeluarkan pada kondensor lebih banyak. Sehingga kerja system pendingin akan menjadi lebih baik.

Spesifikasi kondensor adalah:

Jenis: kondensor dengan pendingin udara

Bahan pipa kapiler: Tembaga

Diameter Pipa kapiler : 9,5 mm

Dimensi : 460 mm x 45 mm x 350 mm

Jumlah kisi-kisi: 260 buah

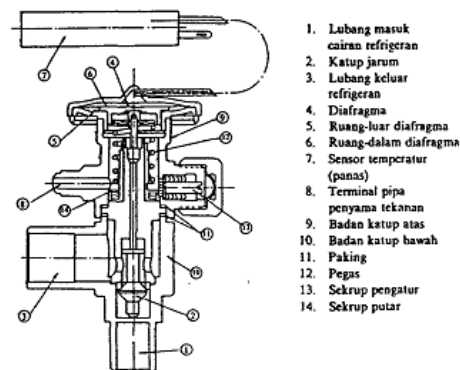


Gambar 4 Kondensor

5. Katup Ekspansi

Pada percobaan ini menggunakan katup ekspansi otomatik termostatic jenis penyama tekanan. Pada katup jenis ini, refrigerant masuk melalui saluran masuk

(1), dan keluar melalui saluran keluar (3), setelah melalui jarum katup (2). Pembukaan katup ekspansi tergantung dari perbedaan gaya (tekanan ruangan dari aliran diafragma (6) x luas efektif diafragma) dan tekanan luar dari diafragma (5) x luas efektif diafragma.



Gambar 5. Katup ekspansi

6. Evaporator

Pada percobaan ini digunakan evaporator jenis penguapan paksa, yang mana proses penguapan yang terjadi pada permukaan pipa evaporator dipaksa dengan bantuan kipas yang diletakan dipermukaan dalam evaporator. Selain itu pemakaian kipas juga diharapkan akan mengalirkan udara yang dikondisikan lebih baik keruangan yang udaranya dikondisikan.

Spesifikasi evaporator:

Bahan pipa kapiler : Tembaga
 Diameter pipa kapiler : 9,5 mm
 Dimensi: 280 mm x 45 mm x 350 mm
 Jumlah kisi-kisi : 175 buah



Gambar 6. Evaporator

7. Kipas atau Fan

Pada alat pendingin ini menggunakan jenis fan motor, yang terdiri dari motor listrik yang salah satu ujung porosnya menonjol ke luar. Pada poros tersebut dipasang daun kipas (*blade*) yang digunakan untuk membuat sirkulasi udara pada evaporator, agar terjadi pertukaran kalor dengan sempurna

8. Filter Dryer

Filter Dryer digunakan untuk menyerap atau menyaring air dan kotoran dari sistem pendingin. Komponen ini berbentuk tabung yang mana cairan refrigeran akan dialirkan. Di dalam tabung terdapat bahan yang dikenal dengan desiccant, misalnya silica gel. Komponen ini selalu ditempatkan di *liquid line*.

Alat Ukur Yang Digunakan

Untuk memperoleh data pengamatan selama proses pendinginan berlangsung maka digunakan alat ukur sebagai alat bantu yaitu :

1. Manometer

Manometer yang digunakan untuk mengukur tekanan refrigerant di empat titik pengamatan.. Pada instalasi pendingin ini menggunakan dua macam manometer yaitu manometer untuk mengukur tekanan tinggi dan manometer untuk tekanan rendah.

Biasanya pengatur tekanan dipasang dan dilengkapi dengan sebuah alat yang dapat menunjukkan besar tekanan fluida yang keluar. Prinsip kerja alat ini ditemukan oleh *Bourdon*. Fluida masuk pengatur tekanan melalui saluran P. Tekanan didalam pipa yang melengkung *Bourdon* (2) menyebabkan pipa memanjang. Tekanan lebih besar akan menyebabkan belokan radius lebih besar pula. Gerakan perpanjangan pipa tersebut diubah kesuatu jarum penunjuk (6) lewat tuas penghubung (3) tembereng roda gigi (4) dan roda gigi pinion (5). Tekanan pada saluran masuk dapat dibaca pada garis lengkung skala penunjuk (7). Jadi, prinsip pembacaan pengukuran tekanan manometer bekerja atas dasar analog.

2. Thermometer

Thermometer digunakan untuk mengukur temperature refrigerant, udara, yang mengalir melalui kondensor, evaporator, serta kompresor. Penggunaan thermometer digital akan memberikan nilai yang lebih akurat dan prinsip kerja thermometer digital yaitu :

- sensor yang berupa PTC atau NTC dengan tingkat sensitifitas tinggi akan berubah nilai tahanannya jika terjadi sebuah perubahan suhu yang mengenainya.
- perubahan nilai tahanan ini linear dengan perubahan arus, sehingga nilai arus ini bisa dikonversi ke dalam bentuk tampilan display
- sebelum dikonversi, nilai arus ini di komparasi dengan nilai acuan dan nilai offset di bagian komparator, fungsinya untuk menerjemahkan setiap satuan ampere ke dalam satuan volt yg akan dikonversi ke display.

3. Stop Watch.

Alat ini digunakan untuk menunjukkan interval waktu yang digunakan pada pengujian proses pendinginan dan ketahanan temperature pada penelitian yang berlangsung sehingga memudahkan untuk pengambilan data.

4. Alat penimbang.

Alat ini digunakan untuk menimbang berat refrigerant yang akan digunakan pada saat penelitian.

5. Pompa vakum

Pompa vakum digunakan untuk mengosongkan pipa dari gas, udara, uap air dan kotoran. Dengan menggunakan pompa vakum pengisian instalasi mesin pendingin lebih efisien, Karen udara, air, serta kotoran telah divakum dari instalasi dan dikeluarkan dari sistem.

Rancangan penelitian

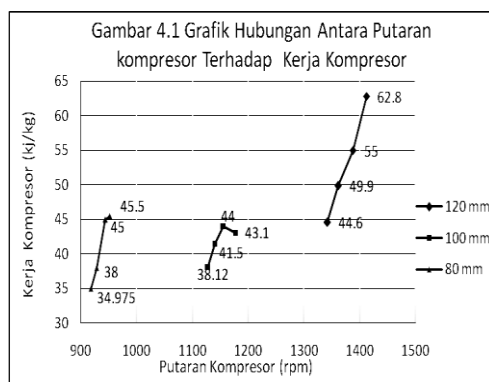
Dalam menyelesaikan penelitian ini kedalam bentuk laporan, maka menjelaskan awal proses penelitian ini sampai pada pengambilan data dan perhitungan data.

- Persiapkan alat dan bahan untuk penelitian.
- Mengecek mesin apakah terjadi kebocoran dan siap untuk dipakai penelitian.
- Menguras refrigerant hingga instalasi menjadi kosong, dilanjutkan dengan pemvakuman dengan pompa vakum.
- Selanjutnya mengisi instalasi dengan refrigerant sejumlah 50 gram.
- Penelitian dilakukan dengan menggunakan variasi 3 pulley penggerak ($d=80\text{mm}$, $d=100\text{mm}$, $d=120\text{mm}$) dengan 4 variabel massa refrigerant.
- Satu kali percobaan dilakukan dalam 150 menit dengan (asumsi 1 pulley $d=80\text{ mm}$, 1 massa refrigerant) diambil per 30 menit dengan merubah kecepatan udara pada evaporator.
- Pengambilan data hanya pada P1, P2, P3, P4, dan T1,T2,T3,T4 dan kecepatan motor penggerak.
- Setelah semua data yang dibutuhkan dicatat, dilanjutkan dengan penambahan massa refrigerant menjadi 100 gram, selanjutnya 150 dan 200 gram. Penambahan ini dilakukan dengan menimbang refrigerant yang akan digunakan dengan timbangan digital.

- i. Untuk pulley penggerak lainnya ($d=100$ mm, $d=120$ mm) dilakukan dengan cara, waktu, dan massa refrigerant yang sama.
- j. Pada saat penggantian pulley, mesin dimatikan, biarkan hingga dingin.
- k. Setelah pendataan selesai, matikan mesin, kembalikan semua peralatan yang digunakan, bersihkan tempat pengambilan data.

PEMBAHASAN

Analisis hasil percobaan ini menjelaskan tentang efek dari perubahan diameter pulley dan penambahan massa refrigerant terhadap COP mesin pendingin, yang sesuai dengan judul kami, untuk menganalisis tujuan tersebut maka beberapa tinjauan akan dijabarkan/dianalisis, antara lain:

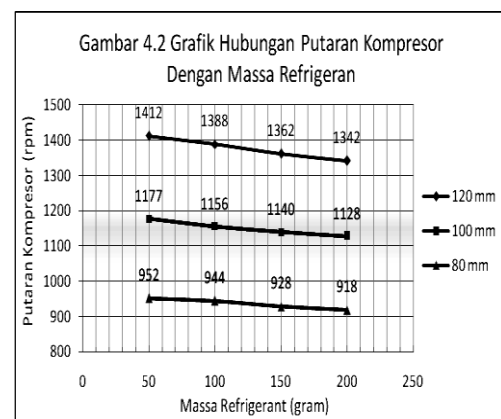


Grafik 1. Analisis Hubungan Antara Putaran Kompresor Terhadap Kerja Kompresor

Berdasarkan hasil perhitungan yang telah terjabarkan pada grafik 1 peningkatan kerja kompresor cenderung berbanding lurus dengan putaran motor penggerak.

Yakni semakin tinggi putaran motor penggerak maka kerja yang dihasilkan oleh kompresor akan semakin besar.

Pada penggunaan pulley yang berbeda, akan menghasilkan putaran yang berbeda pada kompresor. Ini sesuai dengan rumus perbandingan kecepatan, $N_2 = \frac{N_1 \cdot D_1}{D_2}$ yang mana (N = putaran, D = diameter pulley, 1=input, 2 = output). Pada grafik terlihat penggunaan pulley penggerak (in) yang diameter lebih kecil akan menghasilkan putaran kompresor yang lebih rendah dan menghasilkan kerja kompresor yang lebih kecil daripada penggunaan pulley dengan diameter lebih besar.

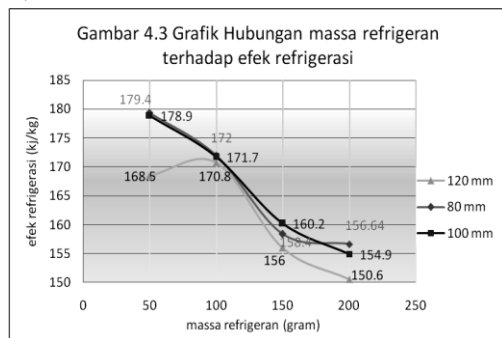


Grafik 2. Analisis Hubungan Antara Massa Refrigerant Terhadap Putaran Kompresor

Berdasarkan grafik 2 massa refrigerant berpengaruh terhadap putaran motor penggerak, hal ini dapat dilihat dari penurunan kecepatan putaran motor penggerak disetiap penambahan massa refrigerant. Semakin banyak jumlah dari massa refrigerant maka daya kompresor semakin besar dan berpengaruh terhadap putaran motor penggerak.

Untuk diameter pulley 80 mm, pada massa refrigerant 50 gram, putaran kompresor tertinggi mencapai 952 rpm

sedangkan pada massa refrigerant 200 gram, putaran kompresor turun menjadi 918 rpm. Untuk diameter pulley penggerak 100 mm, pada massa refrigerant 50 gram putaran motor penggerak mencapai 1177 rpm, dan massa 200 gram putarannya menjadi 1128 rpm. Sedangkan pada penggunaan pulley penggerak 120 mm, putaran kompresor mencapai 1412 rpm pada massa 50 gram. Dan pada massa 200 gram putarannya menjadi 1342 rpm. Setiap penambahan massa refrigerant per 50 gram, akan terjadi penurunan rata-rata 1,5 %.



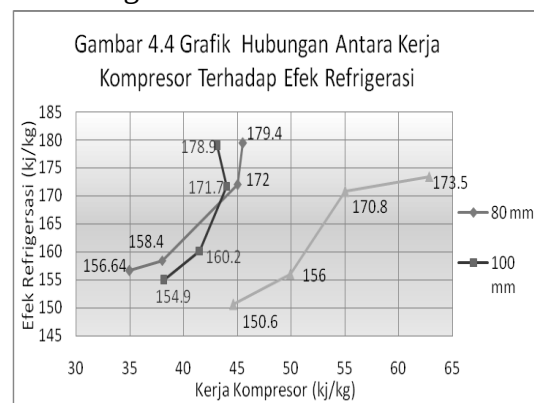
Grafik 3. Analisis Hubungan Antara Massa Refrigerant Terhadap Efek Refrigerasi

Berdasarkan grafik 3 untuk penggunaan pulley penggerak berdiameter 80 mm terjadi penurunan efek refrigerasi pada setiap penambahan massa refrigerant. Begitu pula pada penggunaan pulley penggerak 100 mm. Hal ini sesuai dengan persamaan

$Q_{\text{evap}} = h_1 - h_4$ yang mana harga h_1 diperoleh tekanan keluar evaporator (masuk kompresor) berdasarkan grafik pressure-enthalpy yang tidak berubah secara drastis pada saat penambahan massa refrigerant. Sedangkan untuk h_4 didapat dari tekanan masuk kondensor

berdasarkan grafik pressure-enthalpy yang berubah seiring dengan penambahan massa refrigerant.

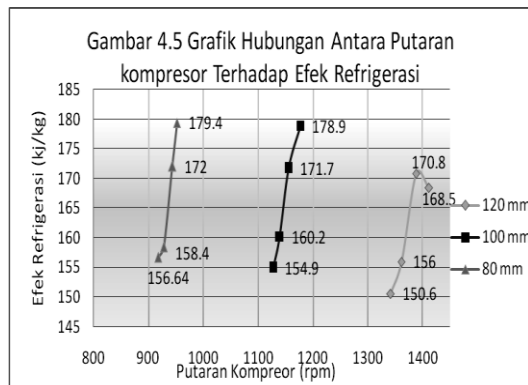
Namun pada penggunaan pulley penggerak berdiameter 120 mm, terjadi peningkatan efek refrigerasi pada penambahan massa refrigerant menjadi 100 gram. Dan penurunan efek refrigerasi pada penambahan massa refrigerant 150 gram dan 200 gram terjadi penurunan efek refrigerasi.



Grafik 4. Analisis Hubungan Antara Kerja Kompresor Terhadap Efek Refrigerasi

Berdasarkan grafik 4 terdapat hubungan kerja kompresor terhadap efek refrigerasi. Pada setiap pulley penggerak, peningkatan efek refrigerasi terjadi cenderung berbanding lurus dengan kerja kompresor. Semakin besar kerja yang dilakukan oleh kompresor, maka efek refrigerasi yang terjadi akan semakin besar. Efek refrigerasi terjadi karena adanya tekanan pada sisi masuk evaporator dikurangi oleh tekanan keluar evaporator yang merupakan satu saluran dengan sisi masuk kompresor. Jika kerja yang dilakukan kompresor meningkat, itu berarti tekanan pada sisi masuk evaporator akan ikut meningkat, namun pada sisi keluar tekanannya tidak sebesar

peningkat pada sisi masuk evaporator. Perbedaan ini kemungkinan terjadi karena panas ruangan yang diserap oleh evaporator berbeda.



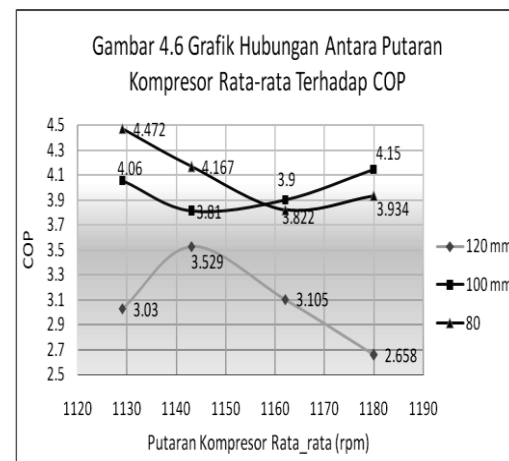
Grafik 5. Analisa Hubungan Antara Putaran Kompresor Terhadap Efek Refrigerasi

Berdasarkan grafik 5 diatas, pada tiap pulley dapat diketahui bahwa nilai dari efek refrigerasi cenderung meningkat seiring dengan bertambahnya kecepatan putaran kompresor. Hal ini disebabkan oleh meningkatnya nilai enthalpy pada setiap meningkatnya putaran kopresor (kerja ompresor). Nilai enthalpy tersebut akan berpengaruh langsung terhadap nilai efek refrigerasi yang terjadi pada system.

Untuk membandingkan nilai COP dari tiap pulley, maka perbedaan putaran kompresor dirata-rata sesuai dengan massa refrigerant yang digunakan. Berdasarkan grafik 4.6 nilai COP yang dihasilkan pada tiap pulley cenderung mengalami penurunan seiring dengan meningkatnya putaran kompresor. Hal ini sesuai dengan persamaan

$$COP = \frac{q_{evp}}{W_{kompresor}} \quad \text{dimana} \quad \text{putaran}$$

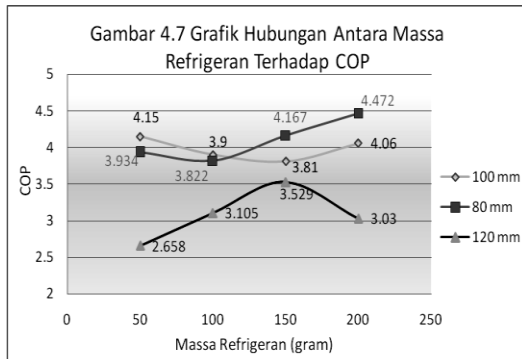
kompresor akan berpengaruh terhadap kerja yang dilakukan oleh kompresor itu sendiri, kerja kompresor akan digunakan sebagai pembagi dari efek refrigerasi yang dihasilkan oleh evaporator, sehingga nilai COP pun diperoleh.



Grafik 6. Analisis Hubungan Antara Putaran Kompresor Rata-rata Terhadap COP

Berdasarkan grafik diatas nilai COP yang dihasilkan oleh mesin, cenderung bersifat parabolic, dimana pada penggunaan massa refrigerant 50 gram COP yang dihasilkan cenderung tinggi, selanjutnya pada massa 100 gram nilainya menurun, begitu pula pada 150 gram, namun akan kembali naik pada 200 gram. Lain halnya pada pulley 120 mm, nilai COP pada penggunaan massa refrigerant 50 gram sebesar 3,03, dan pada massa 100 gram nilainya naik menjadi 3,529, namun pada penambahan 150 gram dan 200 gram nilai COP menurun berturut-turut menjadi 3.15 dan 2.658. hal ini dapat terjadi karena pada massa 200 grm, instalasi mesin pendingin sudah terisi

penuh bahkan melebihi kapasitas, oleh karena itu nilai COP yang dihasilkan menjadi rendah.



Grafik 7. Analisis Hubungan Antara Massa Refrigeran Terhadap COP

Berdasarkan grafik 7 terdapat variasi harga COP. Untuk penggunaan diameter pulley penggerak 80 mm terjadi peningkatan COP seiring dengan penambahan massa refrigerant. Namun pada penambahan massa refrigerant dari 50 gram menjadi 100 gram, terjadi penurunan COP sebesar 0.113. sebaliknya pada penggunaan pulley penggerak berdiameter 100 mm, terjadi penurunan harga COP seiring dengan penambahan massa refrigerant dari 50 gram menjadi 150 gram selanjutnya meningkat menjadi 4.472. penggunaan pulley penggerak berdiameter 120 mm, menghasilkan COP yang meningkat seiring dengan penambahan massa

kompresor ternyata tidak menyebabkan besarnya nilai COP, karena harga COP yang diperoleh dari penelitian per massa refrigerant yang dilakukan adalah sebaliknya. Yaitu harga COP menurun seiring dengan meningkatnya harga kecepatan putar poros kompresor.

Bertambahnya massa refrigerant pada instalasi sistem pendingin memberi pengaruh terhadap besarnya nilai COP, ini terlihat dari harga COP yang diperoleh dari penelitian. Yaitu harga COP akan meningkat seiring dengan bertambahnya massa refrigerant, namun jika massa refrigerant melebihi kapasitas instalasi mesin pendingin, harga COP akan kembali turun (tidak optimal).

DAFTAR PUSTAKA

1. W. F. Stocker, Supratman Hara, *Refrigerasi dan Pengkondisian Udara*, Erlangga, Jakarta, 1996.
2. Wiranto Arismunandar, Heizo Saito, *Penyegaran Udara*, Pradnya Paramita, Jakarta, 1995.
3. Kusnanto, S. 2004. Optimasi Pengaruh Kecepatan Udara Pendingin pada AC Mobil. Tugas Akhir S-1 Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Surakarta
4. http://id.bestconverter.org/unitconverter_pressure.php

KESIMPULAN

Berdasarkan analisis data, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

Berubahnya harga kecepatan putar poros kompresor (rpm) tidak banyak berpengaruh terhadap dampak refrigerasi. Semakin tinggi kecepatan putar poros