

OPTIMALISASI PENGGUNAAN REFRIGERAN MUSICOOL UNTUK MENINGKATKAN PERFORMA SISTEM REFRIGERASI KOMPRESI UAP DENGAN VARIABEL KATUP EKSPANSI

Bagiyo Condro Purnomo^{1*}, Budi Waluyo², SK. Rizky Wibowo³

¹²Dosen Program Studi Mesin Otomotif, Fakultas Teknik

³Mahasiswa Program Studi Mesin Otomotif, Fakultas Teknik

Universitas Muhammadiyah Magelang

Jl. Mayjend Bambang Sugeng Km. 5, Mertoyudan, Magelang, Jateng, 56172

*superbgy@yahoo.com

ABSTRAK

Perkembangan dibidang refrigeran didorong oleh dua masalah lingkungan, yaitu penipisan lapisan ozon (*Ozone Depleting Potential*) dan pemanasan global (*Global Warming Potential*). Untuk mengatasi kedua permasalahan tersebut diperlukan refrigeran natural. Refrigeran natural yang biasa digunakan adalah air, udara, gas mulia, hidrokarbon, amonia dan karbondioksida. Musicool merupakan refrigerant hidrokarbon yang mempunyai sifat fisika dan thermodynamika lebih baik dibandingkan dengan refrigeran sintetik. Musicool dengan sifat kerapatan massa yang kecil dibandingkan dengan refrigeran sintetik mengakibatkan jumlah aliran massa melewati evaporator lebih sedikit. Dengan sifat tersebut diperlukan pengaturan laju aliran refrigeran untuk mendapatkan kesetimbangan aliran antara kompresor dan katup ekspansi. Tujuan penelitian ini adalah melakukan pengesetan titik awal bukaan katup ekspansi agar performa refrigerasi menjadi optimal menggunakan refrigeran musicool. Penelitian dilakukan dengan memvariasi jumlah aliran massa refrigeran yang masuk ke evaporator dengan memutar penyetel katup ekspansi searah dan berlawanan jarum jam (-360° , -180° , 0° atau standar, 180° dan 360°) untuk mendapatkan efek refrigerasi, kerja kompresi dan COP optimal. Dari penelitian ini didapat performa sistem refrigerasi terbaik pada kondisi katup ekspansi pada -180° yang memiliki nilai kerja kompresi rendah yaitu 37 kJ/kg dan nilai COP tertinggi yaitu 7,2.

Kata kunci: Optimalisasi, Sistem Refrigerasi, Musicool, Katup Ekspansi

ABSTRACT

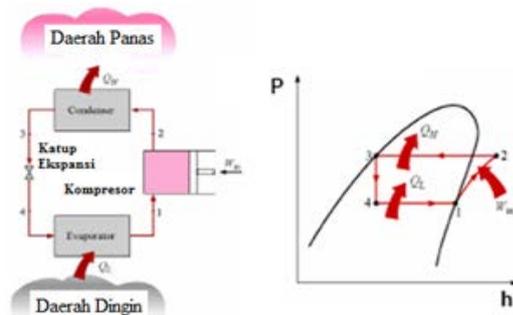
Developments in the field of refrigerant is driven by two environmental problem, namely the depletion of the ozone layer (Ozone Depleting Potential) and global warming (Global Warming Potential). To overcome both these problems required a natural refrigerant. Natural refrigerant used is water, air, noble gases, hydrocarbons, ammonia and carbon dioxide. Musicool a hydrocarbon refrigerant that has physical properties and thermodynamika better than synthetic refrigerants. Musicool with the nature of the mass density is small compared to synthetic refrigerants, resulting in the number of mass flow passing through the evaporator less. With these properties, required an adjustment of refrigerant flow rate to obtain an equilibrium flow between the compressor and the expansion valve. The purpose of this research is to set up the starting point of the expansion valve opening, in order to refrigeration system performance becomes optimized by using refrigerant Musicool. The study was conducted by varying the amount of refrigerant mass flow that enters the evaporator by turning the adjusting valve and a unidirectional expansion counterclockwise (-360° , -180° , standard 0° atau, 180° and 360°) to get the value of the effects of refrigeration, compression work, and COP, optimal. This research obtained the best performance of a refrigeration system on the condition of the expansion valve at -180° which has a low compression work values, namely 37 kJ / kg and the highest COP value is 7.2.

Keywords : *Optimalization, Refrigeration Systems, Musicool, Expansion Valve*

PENDAHULUAN

Mesin refrigerasi merupakan peralatan konversi energi yang mentransfer kalor dari media bertemperatur rendah ke media bertemperatur tinggi dengan menggunakan kerja dari luar sistem. Didalam bidang otomotif dikenal dengan istilah *Automotive Air conditioning* (AAC). Sistem yang digunakan untuk mesin refrigerasi adalah sistem refrigerasi.

Sistem refrigerasi merupakan kombinasi komponen, peralatan, dan perpipaan, yang dihubungkan dalam urutan tertentu untuk menghasilkan efek refrigerasi. Siklus refrigerasi kompresi uap adalah siklus yang paling banyak digunakan untuk almari es, sistem AC, dan pompa kalor. Siklus refrigerasi kompresi uap ideal dapat digambarkan dalam diagram $P-h$ seperti Gambar 1.



Gambar 1. Skema dan diagram $P-h$ refrigerasi kompresi uap (Cengel & Boles, 2008)

Proses-proses yang terjadi dalam siklus kompresi uap adalah :

- **Proses 1-2** : Kompresi isentropis dalam kompresor
- **Proses 2-3** : Pembuangan kalor secara isobaris dalam kondenser
- **Proses 3-4** : *Throttling* dalam katup ekspansi atau tabung kapiler
- **Proses 4-1** : Penyerapan kalor secara isobaris dalam evaporator

Refrigeran masuk ke kompresor dalam kondisi uap jenuh dan keluar sebagai uap panas lanjut. Dalam kondenser refrigeran melepas kalor sehingga terjadi kondensasi sampai ke kondisi cairan jenuh. kemudian refrigeran masuk ke katup ekspansi dan mengalami proses pengekangan (*throttling*) sehingga terjadi penurunan tekanan dan berubah menjadi campuran jenuh, selanjutnya refrigeran masuk ke evaporator untuk menyerap kalor sehingga

terjadi proses evaporasi dan siap untuk dilakukan langkah kompresi berikutnya.

Efek refrigerasi, kerja kompresi dan koefisien prestasi dievaluasi berdasarkan perhitungan-perhitungan berikut :

a. Efek refrigerasi

Efek refrigerasi adalah banyaknya kalor yang diserap setiap satuan massa refrigeran untuk menghasilkan efek refrigerasi. Besar efek refrigerasi (ER) adalah:

$$ER = h_1 - h_4 \text{ (kJ/kg)} \quad (1)$$

dimana:

ER = Efek refrigerasi (kJ/kg)

h_1 = Entalpi setelah evaporator (kJ/kg)

h_4 = Entalpi sebelum evaporator (kJ/kg)

b. Kerja kompresi

Kerja kompresi adalah banyaknya energi yang diperlukan untuk mengkompresikan setiap satuan massa refrigeran. Besar kerja kompresi adalah:

$$W_k = h_2 - h_1 \text{ (kJ/kg)} \quad (2)$$

dimana:

W_k = kerja kompresi (kJ/kg)

h_2 = entalpi sisi buang kompresor (kJ/kg)

h_1 = entalpi sisi hisap kompresor (kJ/kg)

c. Koefisien prestasi (COP)

Istilah prestasi di dalam siklus refrigerasi disebut dengan koefisien performa (KP) atau COP (*coefficient of performance*), yang dirumuskan pada persamaan 4 berikut:

$$COP = \frac{ER}{W_k} = \frac{h_1 - h_4}{h_2 - h_1} \quad (3)$$

dengan:

h_1 = entalpi keluar evaporator (kJ/kg)

h_2 = entalpi masuk kondenser (kJ/kg)

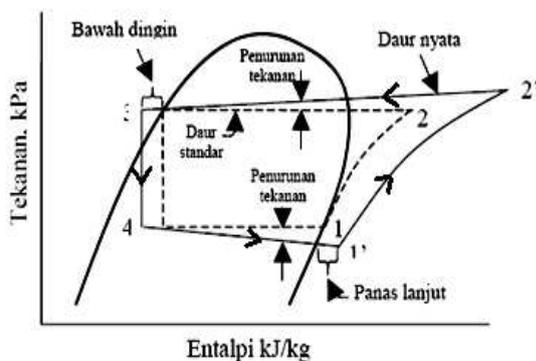
h_3 = entalpi keluar kondenser (kJ/kg)

h_4 = entalpi masuk evaporator (kJ/kg)

Daur kompresi uap nyata mengalami penurunan efisiensi dibandingkan dengan daur standar. Perbedaan penting antara daur nyata dengan standar terletak pada penurunan tekanan di dalam kondenser maupun evaporator, serta terjadi penurunan suhu saat keluar kondenser (*subcooling*) dan peningkatan suhu saat keluar evaporator (*superheating*). Penurunan tekanan pada daur nyata dikarenakan adanya kerugian-kerugian seperti *friction*, *gravitation*, dan *acceleration*.

Akibat dari penurunan tekanan tersebut, kompresi pada titik 1 dan 2 diperlukan kerja

yang lebih besar dibandingkan dengan daur standar. Proses *subcooling* merupakan suatu fenomena yang wajar, sehingga menjamin kondisi refrigeran masuk ke katup ekspansi dalam keadaan 100% cair, sedangkan proses *superheating* akan mencegah cairan masuk ke kompresor. Perbedaan lain yang ada adalah kompresi yang tidak lagi secara isentropik dan terjadi ketidakefisienan yang disebabkan oleh kerugian-kerugian yang terjadi. Proses daur uap standard dan nyata dapat dilihat di Gambar 2.



Gambar 2. Daur kompresi uap nyata dan standar (Stoecker, Jones, and Hara, 1987)

Media yang digunakan untuk mentransfer energi tersebut disebut dengan refrigerant. ASHRAE (2009) mendefinisikan refrigeran sebagai fluida kerja di dalam mesin refrigerasi, pengkondisian udara, dan sistem pompa kalor. Refrigeran menyerap panas dari satu tempat dan membuangnya ke tempat yang lain, biasanya melalui mekanisme evaporasi dan kondensasi.

Perkembangan yang cukup signifikan diperkenalkan oleh industri dan lembaga penelitian dalam penggunaan refrigeran untuk meminimalkan ancaman pada kerusakan lingkungan terutama penipisan lapisan ozon (ODP) dan pemanasan global (GWP). James M. (2008) membagi perkembangan refrigeran menjadi empat periode yaitu periode pertama, 1830-an hingga 1930-an, dengan kriteria refrigeran "apa pun yang bekerja di dalam mesin refrigerasi". Refrigeran yang digunakan dalam periode ini adalah ether, CO₂, NH₃, SO₂, hidrokarbon, H₂O, CCl₄, CHCs. Periode ke-dua, 1930-an hingga 1990-an menggunakan kriteria refrigeran aman dan tahan lama (*safety and durability*). Refrigeran pada periode ini adalah CFCs (Chloro Fluoro Carbons), HCFCs (Hydro Chloro Fluoro Carbons), HFCs (Hydro Fluoro Carbons), NH₃, H₂O. Periode ke-tiga, 1990-an hingga 2010-an, dengan kriteria refrigeran

proteksi ozon (*ozon protection*). Refrigeran pada periode ini adalah HCFCs, NH₃, HFCs, H₂O, CO₂. Periode ke-empat, setelah 2010-an, dengan kriteria refrigeran yang rendah potensi pemanasan global (*low GWP*). Padalkar, dkk. (2014) melakukan penelitian penggunaan propana (HC-290) sebagai alternatif pengganti HCFC-22 yang aman dan hemat energi untuk AC split dengan kapasitas pendinginan nominal hingga 5,1 KW. Dalkilic dan Wongwises (2010) melakukan studi teoritis kinerja pada sistem refrigerasi kompresi uap tradisional dengan campuran refrigeran berbasis HFC134a, HFC152a, HFC32, HC290, HC1270, HC600 dan HC600a dilakukan untuk berbagai rasio dan hasilnya dibandingkan dengan CFC12, CFC22 dan HFC134a.

Dengan mengacu pada dua perjanjian internasional yaitu Protokol Montreal dan protokol Kyoto maka hanya refrigeran natural yang boleh digunakan sebagai media pendingin. Refrigeran natural yang biasa digunakan adalah air, udara, gas mulia, hidrokarbon, amonia dan karbondioksida.

Hidrokarbon merupakan refrigeran yang menjadi alternatif untuk digunakan sebagai pengganti refrigeran sintetik yang sekarang digunakan yaitu CFC R-12, HCFC R-22 dan HFC R-134a. Musicool merupakan refrigeran kelompok hidrokarbon yang dikembangkan oleh PERTAMINA. Kelebihan refrigeran Musicool jika dibandingkan dengan refrigeran R-12 dan R-22 adalah (PERTAMINA, 2014):

1. Dapat menurunkan konsumsi tenaga listrik hingga 25%.
2. Tidak perlu penggantian/penambahan komponen pada Mesin AC.
3. Kerja kompresor menjadi lebih ringan.
4. Efek pendinginan lebih baik.
5. Ramah lingkungan (tidak merusak lapisan Ozon dan tidak meningkatkan pemanasan global).

Kelebihan lain dari musicool adalah mempunyai sifat fisika dan termodinamikanya yang lebih baik jika dibandingkan dengan refrigeran R-12 dan R-22. Musicool memenuhi persyaratan teknis sebagai refrigeran yang meliputi aspek sifat fisika dan termodinamika, diagram tekanan-temperatur serta uji kinerja pada siklus refrigerasi. Hasil pengujian menunjukkan bahwa dengan beban pendingin yang sama musicool memiliki keunggulan-keunggulan dibandingkan dengan refrigeran sintetik, diantaranya beberapa parameter

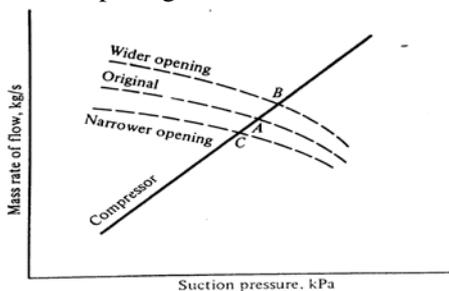
memberikan indikasi data lebih kecil, seperti kerapatan bahan (*density*), rasio tekanan kondensasi terhadap evaporasi dan nilai viskositasnya, sedangkan beberapa parameter lain memberikan indikasi data lebih besar, seperti efek refrigerasi, COP, kalor laten dan konduktivitas bahan. Refrigeran ini memiliki ODP nol dan GWP rendah, dan dapat digunakan langsung pada sistem refrigeran kompresi uap yang menggunakan refrigeran CFC dan HCFC, penghematan daya yang cukup signifikan.

ALAT EKSPANSI

Alat ekspansi mempunyai dua fungsi utama dalam sistem refrigerasi kompresi uap yaitu menurunkan tekanan refrigeran dan mengatur aliran refrigeran ke evaporator. Jenis alat ekspansi yang sering digunakan adalah jenis pipa kapiler, katup ekspansi berpengendali panas-lanjut (*thermostatik*), katup apung dan katup ekspansi tekanan konstan. Katup ekspansi *thermostatik* merupakan alat ekspansi yang paling banyak digunakan untuk sistem refrigerasi ukuran sedang.

Karakteristik dasar dari sistem kendali adalah keharusan adanya suatu penyimpangan dari keadaan yang disetel untuk mendorong suatu gerakan, sehingga suhu akan berbeda pada beban yang ringan dan yang berat. Gerakan katup bertujuan untuk mempertahankan jumlah fluida yang mendekati konstan di evaporator, jika refrigeran berkurang maka banyak refrigeran akan dipanaskan-lanjut sehingga katup akan membuka lebih besar untuk dapat mengalirkan refrigeran lebih banyak.

Untuk mempertahankan level aliran refrigeran di evaporator, katup ekspansi harus menciptakan kondisi aliran yang seimbang antara kompresor dan katup itu sendiri, seperti diperlihatkan pada gambar 3.

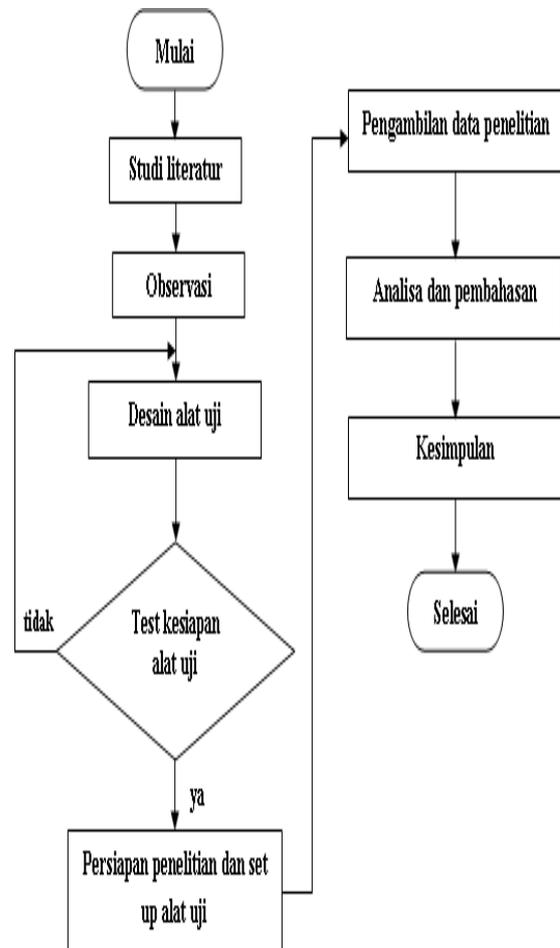


Gambar 3. Titik-titik keseimbangan dengan berbagai kondisi beban (Stoecker, Jones, and Hara, 1987)

Musicool dengan sifat kerapatan massa yang kecil dibandingkan dengan refrigeran sintetik mengakibatkan jumlah aliran massa melewati evaporator lebih sedikit. Untuk mendapatkan kesetimbangan aliran antara kompresor dan katup ekspansi perlu dilakukan pengesetan titik awal bukaan katup ekspansi agar performa refrigerasi menjadi optimal. Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan performa sistem refrigerasi yang optimal dengan mengatur jumlah aliran massa yang melewati evaporator dengan cara mengatur titik awal bukaan katup ekspansi.

METODE

Penelitian ini dilakukan dalam empat tahap yaitu persiapan, pembuatan media uji, pengujian dan penyajian akhir. Berikut ini alur penelitian :



Gambar 4. Alur Penelitian

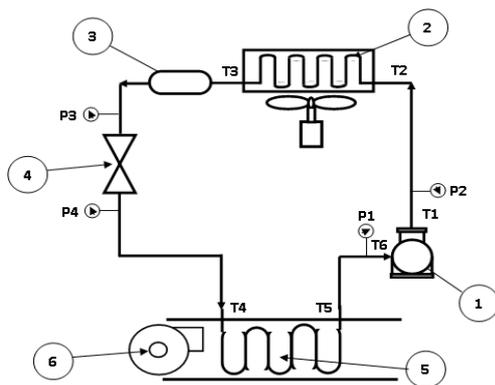
Alat dan bahan penelitian

Tabel 1. Alat dan Bahan

No	Alat dan Bahan
1	Sistem Refrigerasi Kompresi Uap
2	Refrigeran Musicool 134
3	Timbangan Digital
4	Tool Set
5	Pompa Vakum
6	Manifold Gauge

Set-up Media Uji

Set up alat pengujian dalam penelitian ini dapat dilihat di Gambar 5.



No Keterangan No Keterangan

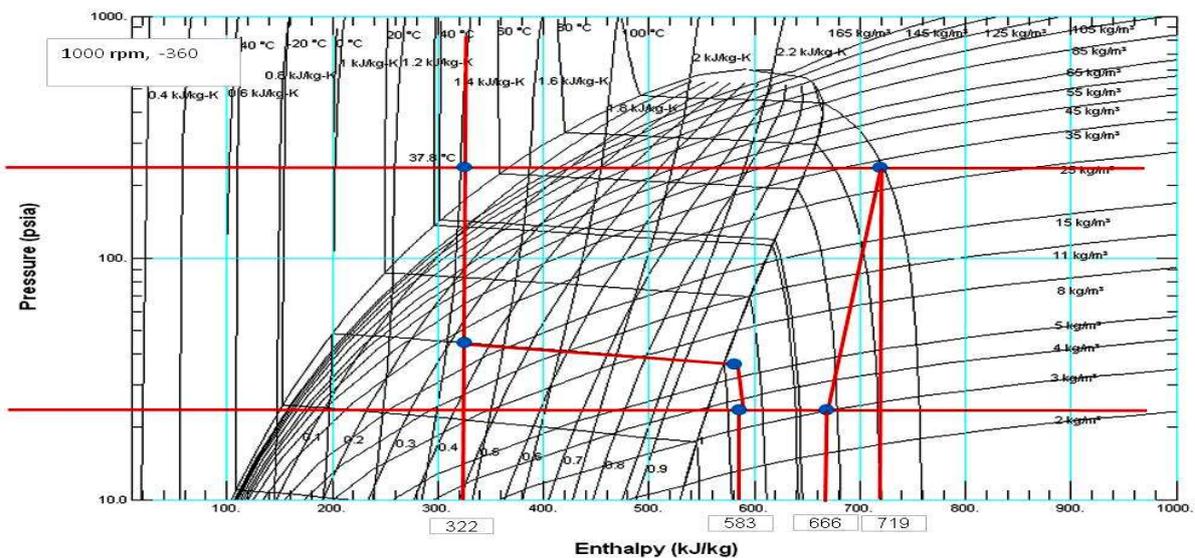
- 1 Kompresor
- 2 Kondensor
- 3 Dryer
- 4 Katup ekspansi
- 5 Evapulator

Gambar 5. Set up peralatan dan media uji

Cara Pengambilan Data

Lingkup penelitian ini mencakup variabel peyetelan katup ekspansi. Penyetelan katup ekspansi dilakukan pada posisi -360° , -180° , 0° , 180° dan 360° dengan memutar baut penyetel. Data hasil penelitian berupa temperatur dan tekanan seperti pada gambar 5. Selanjutnya data pengujian digambarkan pada P-h diagram untuk mendapatkan besarnya entalpi masing-masing kondisi dapat dilihat pada Gambar 6. Kemudian dari data entalpi tersebut untuk menghitung besarnya efek refrigerasi, kerja kompresi dan COP. Dari perhitungan tersebut dianalisa posisi penyetelan katup ekspansi yang optimal.

Dalam kasus di Gambar 6 tersebut refrigeran diekspansikan dari tekanan 240 psi sampai tekanan 24 psi dengan temperatur refrigeran keluar katup ekspansi yang tercapai adalah 0°C .



Gambar 6. Contoh penggambaran dan pembacaan tipikal sebuah siklus refrigerasi untuk kondisi putaran kompresor 1000 rpm, posisi katup ekspansi -360°

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bagian ini dianalisa pengaruh penyetelan katup ekspansi terhadap performa dari sistem refrigerasi kompresi uap pada AC mobil. Analisa performa tersebut meliputi efek refrigerasi, kerja kompresi dan COP.

Tabel 2. Data hasil pengujian

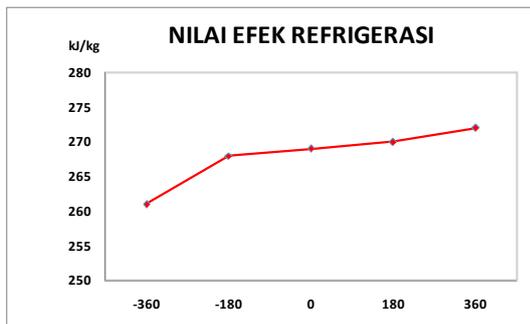
setelan katup ekspansi	Temperatur(°C)						Tekanan (psi)			
	T ₁	T ₂	T ₃	T ₄	T ₅	T ₆	P ₁	P ₂	P ₃	P ₄
-360	78	79	47	0	3	34	24	240	24	240
-180	77	77	45	3	3	34	22	240	22	240
0	81	80	46	2	2	34	24	240	24	240
180	82	82	46	3	3	35	24	240	24	240
360	83	82	46	4	4	35	24	240	24	240

Efek Refrigerasi

Efek refrigerasi (ER) adalah besarnya kalor yang diserap oleh setiap satuan massa aliran refrigeran. Tabel 3 menunjukkan nilai ER untuk variasi penyetelan katup ekspansi.

Tabel 3. Efek refrigerasi untuk berbagai penyetelan katup ekspansi

Setelan Katup Exsp	h ₁	h ₂	h ₃	h ₄	h ₅
	(kj/kg)	(kj/kg)	(kj/kg)	(kj/kg)	(kj/kg)
360°	666	719	322	322	583
180°	623	660	312	312	582
0°	621	679	312	312	581
180°	623	680	312	312	582
360°	623	682	312	312	584



Gambar 7. Pengaruh penyetelan katup ekspansi terhadap efek refrigerasi

Gambar 7 dan tabel 3 memperlihatkan bahwa efek refrigerasi secara umum mengalami kecenderungan naik untuk putaran penyetelan katup ekspansi ke arah kanan. Peningkatan efek refrigerasi tersebut memberikan informasi bahwa dengan diputar ke arah kanan menambah besarnya penyerapan kalor oleh refrigeran, hal tersebut karena bukaan katup akan diperkecil sehingga jumlah aliran massa refrigeran yang mengalir ke evaporator semakin kecil, sehingga energi per

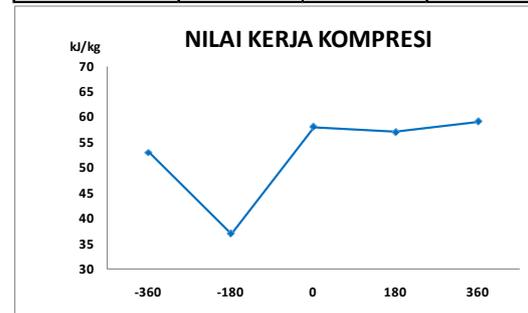
satuan massa yang diserap refrigeran menjadi optimal.

Kerja Kompresi

Kerja kompresi adalah energi yang diperlukan untuk mengkompresikan setiap satuan massa refrigeran. Tabel 4 menunjukkan nilai kerja kompresi untuk variasi penyetelan katup ekspansi.

Tabel 4. Kerja kompresi untuk berbagai penyetelan katup ekspansi

Setelan Katup Ekspansi (°)	h ₁ (kj/kg)	h ₂ (kj/kg)	W _k (kj/kg)
-360	666	719	53
-180	623	660	37
0	621	679	58
180	623	680	57
360	623	682	59



Gambar 8. Pengaruh penyetelan katup ekspansi terhadap kerja kompresi

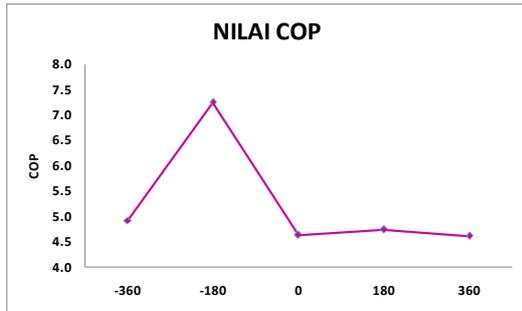
Gambar 8 dan tabel 4 memperlihatkan bahwa kerja kompresi terendah dicapai oleh penyetelan katup ekspansi pada posisi -180°, yaitu 37 kJ/kg. Hal tersebut menggambarkan bahwa kerja dari kompresor sangat ringan.

Koefisien Prestasi (COP)

Koefisien prestasi (COP) adalah bentuk penilaian dari suatu mesin refrigerasi, semakin besar COP menunjukkan bahwa kerja mesin tersebut semakin baik. COP merupakan perbandingan dari efek refrigerasi dengan kerja kompresi.

Tabel 5. COP untuk berbagai penyetelan katup ekspansi

Setelan Katup Ekspansi (°)	ER (kj/kg)	W _k (kj/kg)	COP
-360	261	53	4.9
-180	268	37	7.2
0	269	58	4.6
180	270	57	4.7
360	272	59	4.6



Gambar 9. Pengaruh penyetelan katup ekspansi terhadap COP

Gambar 9 dan tabel 5 memperlihatkan bahwa COP tertinggi dicapai oleh penyetelan katup ekspansi pada posisi -180° , yaitu 7,2. Hal tersebut menggambarkan bahwa performa sistem optimal pada penyetelan katup ekspansi tersebut.

KESIMPULAN DAN SARAN

Hasil dari penelitian pengaruh penyetelan katup ekspansi terhadap unjuk kerja mesin pendingin dengan refrigeran musicool (MC-134) dapat disimpulkan bahwa performa sistem refrigerasi terbaik pada penyetelan katup ekspansi pada posisi -180° dimana pada posisi tersebut mempunyai nilai kerja kompresi yang rendah sehingga kerja kompresor menjadi ringan dan tidak membutuhkan energi yang besar saat beroperasi, disamping itu nilai COP yang tinggi memberikan arti bahwa energi yang diperoleh dibanding dengan energi yang dibutuhkan sangat besar.

UCAPAN TERIMAKASIH

Ucapan terimakasih ditujukan kepada Program Studi Mesin Otomotif Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Magelang yang telah memberikan fasilitas untuk melakukan penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

- ASHRAE. (2009). *Fundamentals (SI)*. Atlanta, GA 30329: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc.
- Cengel, Y. A., and Boles, M. A. (2008). *Thermodynamics An Engineering Approach* (Fifth Edition ed.). McGraw-Hill.
- Dalkilic, A., and Wongwises, S. (2010). A performance comparison of vapour-compression refrigeration system using various alternative refrigerants. *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 1340–1349.
- James M., C. (2008). The next generation of refrigerants – Historical review, considerations, and outlook. *International Journal of Refrigeration*, 1123–1133.
- Padalkar, A. S., Mali, K. V., and Devotta, S. (2014). Simulated and experimental performance of split packaged air conditioner using refrigerant HC-290 as a substitute for HCFC-22. *Applied Thermal Engineering*, 277-284.
- PERTAMINA. (2012). *Musicool 134*. Retrieved May 14, 2014, from <http://www.pertamina.com/our-business/hilir/pemasaran-dan-niaga/produk-dan-layanan/solusi-bisnis/gas-produk/musicool/musicool-134/>
- Stoecker, W., Jones, J., and Hara, I. S. (1987). *Refrigerasi dan Pengkondisian Udara*. Jakarta: Erlangga.