

KAJI EKSPERIMENTAL PERFORMANSI AKIBAT VARIASI JUMLAH PENGISIAN REFRIGERAN R290 PADA MESIN COOL ROOM

Triaji Pangripto Pramudantoro ¹⁾, Krissy Kirana Dewi ²⁾

¹ Politeknik Negeri Bandung

email: trijipangripto@polban.ac.id

² Politeknik Negeri Bandung

email: krissykirana@gmail.com

Abstract

Hydrocarbon refrigerants are increasingly being used as a cooling medium in refrigeration systems and air conditioning systems because they are considered to have an environmentally friendly advantage that does not cause depletion of the ozone layer and does not cause global warming. The use of hydrocarbon refrigerants is also considered to have an effect on saving the consumption of electricity used. The purpose of this research is to know changes in the performance of the cool room engine due to the amount of refrigerant that varies. The research method is carried out on a cool room engine with a capacity of 0.5 HP that has been specially designed charged with R290 hydrocarbon refrigerant. The amount of refrigerant that is varied is first the system is filled with the amount reduced by 10% of observations, then the system is filled with the amount that matches the data listed on the name plate and the next observation is the system filled with an amount of 10% more than the data stated in the name-plate. From the observations obtained results for the systems that are reduced by 10%, systems that are filled according to the name plate and systems that are filled more 10% in a row show : Chilling time that can be achieved is 170 minutes, 80 minutes and 70 minutes, while The COP that can be achieved is 4.15; 4.91 and 4.90 with an efficiency of 75.2%; 78.8% and 78.79%. The energy consumption consumed during the 300 minute observation shows: 52.6 kWh; 58.9 kWh and 66.2 kWh.

Keywords: Hydrocarbons, R290, Cool-room, environmentally friendly.

1. PENDAHULUAN

Sistem refrigerasi kompresi uap pada umumnya menggunakan jenis refrigeran CFC, HCFC yang pada akhir-akhir ini semakin dibatasi penggunaannya karena berdampak terhadap penipisan lapisan ozon dan menyebabkan peningkatan temperatur global, sehingga diperlukan jenis refrigeran alternatif yang lebih ramah lingkungan. Sattar.M.A, (2001) menyatakan bahwa refrigeran HC sangat layak digunakan karena selain ramah lingkungan juga dapat menghemat energy karena memiliki tekanan kerja yang relatif lebih rendah dibandingkan dengan refrigeran HCFC.

Banyak orang kemudian melakukan penggantian refrigeran CFC atau HCFC dengan refrigeran yang ramah lingkungan yaitu R 290 atau R600a yang sering dikenal dengan sebutan refrigeran hidrokarbon. Salah satu metoda penggantian refrigeran tersebut adalah yang biasa dikenal dengan istilah *retrofitting* yaitu berupa sistem yang sebelumnya menggunakan refrigeran non-hidrokarbon selanjutnya diganti isinya dengan refrigeran hidrokarbon secara *drop-in* (tanpa mengganti komponen mekaniknya). Kelemahan dari metoda drop-in ini adalah sistem akan mudah mengalami kebocoran terutama pada komponen-komponen yang terbuat dari karet seperti seal kompresor atau seal yang

terdapat pada komponen mekanik lainnya terutama yang bersentuhan dengan refrigeran hidrokarbon tersebut. I.Vinoth Kanna, (2018) melakukan pengujian penggunaan refrigeran hidrokarbon pada sistem refrigerasi dengan *double evaporator* menunjukkan bahwa dengan menggunakan refrigeran hidrokarbon dapat terjadi peningkatan kinerja sistem. Bukola O Bolaji dan Zhongjie Huan, (2012) telah melakukan penelitian membandingkan kapasitas pendinginan antara R290;R600a dan R1270 terhadap R22, hasilnya menunjukkan bahwa R290;R600a dan R1270 lebih unggul terhadap R22 masing-masing sebesar 35.4%, 29.5% and 27.3%.

Penelitian penggunaan refrigeran hidrokarbon sebagai refrigeran ramah lingkungan telah dilakukan pada sistem refrigerasi domestik dan Tata Udara domestik dan menghasilkan peningkatan kapasitas pendinginan pada kondenser sebesar 1,6% dan pengurangan jumlah refrigeran yang diisikan sebesar 28,3% (Bo Xu, Ying Wang, Jiangping Chen, Feng Li, Dong Li, Xiaoyong Pan. 2016).

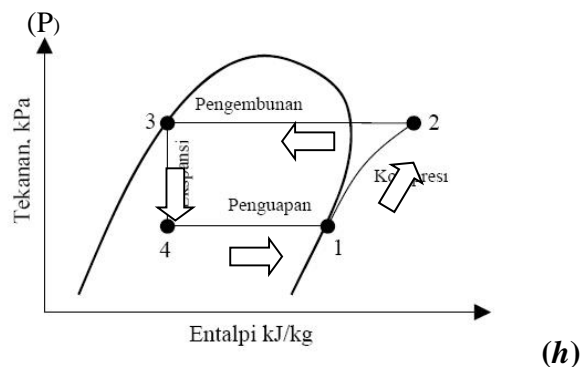
2. KAJIAN LITERATUR

Dossat, R J. (1985) menjelaskan bahwa sistem refrigerasi kompresi uap adalah suatu sistem yang berfungsi untuk mengatur temperatur sampai mencapai temperatur di bawah temperatur lingkungan. Sistem refrigerasi kompresi uap merupakan salah satu dari sistem refrigerasi yang memiliki komponen yang paling sederhana dibandingkan dengan sistem refrigerasi yang lainnya. Sistem refrigerasi kompresi uap adalah sistem refrigerasi yang paling banyak digunakan, dengan komponen utamanya adalah kompresor, kondenser, alat ekspansi (*throttling device*) dan evaporator. Keempat komponen tersebut akan saling berhubungan dan membentuk siklus refrigerasi kompresi uap. Dalam sistem ini kompresor berfungsi menaikkan tekanan dan mensirkulasikan refrigeran. Gambar diagram sistem refrigerasi kompresi uap dapat dilihat pada Gambar II.1.



Gambar II.1 Siklus refrigerasi kompresi uap sederhana

Siklus refrigerasi pada Gambar II.1 bila digambarkan dalam diagram P-h dapat dilihat seperti pada Gambar II.2.



Gambar II.2 Diagram P-h siklus refrigerasi kompresi uap sederhana

Proses yang terjadi pada Gambar II.2 sebagai berikut:

1-2 Proses Kompresi

Refrigeran masuk ke kompresor dalam keadaan uap jenuh dengan temperatur rendah dan tekanan rendah. Refrigeran yang masuk kompresor dikompresi sehingga menjadi uap *superheat*. Refrigeran yang keluar dari kompresor dalam keadaan temperatur tinggi dan tekanan tinggi.

Besarnya kerja yang dilakukan kompresor dapat dihitung menggunakan Persamaan II.1.

$$(II.1) \quad \dot{Q}_w = \dot{m} (h_2 - h_1) \dots\dots\dots$$

dengan,

$$\dot{Q}_w = \text{Kerja Kompresi (kW)}$$

$$\dot{m} = \text{Laju aliran massa refrigeran (kg/s)}$$

$$h_1 = \text{Entalpi refrigeran masuk kompresor (kJ/kg)}$$

$$h_2 = \text{Entalpi refrigeran keluar kompresor (kJ/kg)}$$

atau

Kerja spesifik dapat dihitung menggunakan Persamaan II.2.

$$(II.2) \quad q_w = h_2 - h_1 \dots\dots\dots$$

2-3 Proses Kondensasi

Di kondenser refrigeran melepaskan kalor ke lingkungan sehingga terjadi penurunan temperatur sampai batas uap jenuh, setelah itu refrigeran berubah fasa dari uap menjadi cair jenuh. Proses ini terjadi dalam keadaan tekanan konstan (*isobar*) dan besar kalor yang dilepaskan di kondenser atau *heat rejection* dapat dihitung menggunakan Persamaan II.3.

$$(II.3) \quad \dot{Q}_c = \dot{m} (h_2 - h_3) \dots\dots\dots$$

dengan,

$$\dot{Q}_c = \text{Besarnya kalor yang dilepaskan di kondenser (kW)}$$

$$\dot{m} = \text{Laju aliran massa refrigeran (kg/s)}$$

$$h_2 = \text{Entalpi refrigeran masuk kondenser (kJ/kg)}$$

$$h_3 = \text{Entalpi refrigeran keluar kondenser (kJ/kg)}$$

atau

Kalor spesifik yang dilepas dapat dihitung menggunakan Persamaan II.4.

$$(II.4) \quad q_c = h_2 - h_3 \dots\dots\dots$$

3-4 Proses Ekspansi

Pada proses ini refrigeran masuk ke dalam alat ekspansi dan mengalami penurunan tekanan sehingga temperaturnya pun mengalami penurunan. Dalam hal ini refrigeran tidak mengalami penambahan atau pengurangan entalpi tetapi terjadi *drop* tekanan dan penurunan temperatur sehingga proses ini berlangsung dalam kondisi entalpi konstan (*iso-enthalphy*) yaitu $h_3 = h_4$.

dengan,

h_3 = Entalpi refrigeran saat masuk ke alat ekspansi (kJ/kg)

h_4 = Entalpi refrigeran saat keluar dari alat ekspansi (kJ/kg)

Umumnya refrigeran yang masuk dalam keadaan cair jenuh dan setelah diekspansi refrigeran akan keluar dalam keadaan fasa campuran dengan kualitas dominan fasa cair.

4-1 Proses Evaporasi

Proses ini terjadi pada tekanan konstan (*isobar*) dan temperatur konstan (*isothermal*). Refrigeran yang keluar dari alat ekspansi masuk ke evaporator lalu menyerap kalor dari lingkungan, bahan atau media yang akan didinginkan. Refrigeran yang ada di evaporator menguap sehingga fasanya berubah dari fasa campuran menjadi fasa uap seluruhnya pada tekanan dan temperatur yang rendah.

Refrigeran yang keluar dari evaporator dalam bentuk uap jenuh. Besarnya kalor yang diserap oleh evaporator disebut beban pendinginan atau kapasitas pendinginan. Kalor yang diserap oleh evaporator dapat dihitung menggunakan Persamaan II.5.

$$Q_e = \dot{m} (h_1 - h_4) \dots \dots \dots (II.5)$$

Dengan,

Q_e = Beban Pendinginan (kW)

\dot{m} = Laju aliran massa refrigeran (kg/s)

h_1 = Entalpi refrigeran masuk ke evaporator (kJ/kg)

h_4 = Entalpi refrigeran keluar dari evaporator (kJ/kg)

Penarikan kalor spesifik di evaporator disebut efek refrigerasi, dapat dihitung menggunakan Persamaan II.6.

$$q_e = h_1 - h_4 \dots \dots \dots (II.6)$$

Berdasarkan besaran-besaran di atas maka dapat diketahui kinerja yang dihasilkan oleh sebuah siklus sistem refrigerasi kompresi uap standar, diantaranya adalah yang biasa disebut dengan COP (*Coefficient of Performance*) dan efisiensi refrigerasi sistem.

Nilai kinerja sistem dapat dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut:

- a. COP_{aktual} adalah perbandingan efek refrigerasi terhadap kerja kompresi.

COP_{aktual} dapat dihitung menggunakan Persamaan II.7.

$$COP_{aktual} = \frac{\text{Efek Refrigerasi}}{\text{Kerja Kompresi}} = \frac{q_e}{q_w} \dots \dots \dots$$

(II.7)

- b. COP_{Carnot} adalah perbandingan temperatur evaporasi dibandingkan dengan selisih temperatur kondensasi dan evaporasi. COP_{Carnot} dapat dihitung menggunakan Persamaan II.8.

$$COP_{Carnot} = \frac{T_{evaporasi(K)}}{T_{kondensasi(K)} - T_{evaporasi(K)}} \dots \dots \dots (I$$

1.8)

- c. Efisiensi Refrigerasi adalah perbandingan antara COP_{aktual} dan COP_{Carnot} . Efisiensi dapat dihitung menggunakan Persamaan II.9.

$$Efisiensi = \frac{COP_{aktual}}{COP_{Carnot}} \dots \dots \dots$$

(II.9)

Pemilihan refrigeran primer yang digunakan sebagai media pendingin pada sistem refrigerasi ini yaitu menggunakan R290. Refrigeran primer ini adalah yang paling ramah lingkungan karena angka index dingin yang cukup rendah walaupun tingkat mudah terbakarnya tinggi. Refrigeran R290 memiliki ODP Nol (0) dan GWP <3. (ASHRAE,2009). Karakteristik refrigeran R290 dapat dilihat pada Tabel II.1.

Tabel II.1 Karakteristik Refrigeran Primer R290
(ASHRAE,2009)

Properti	R290
	C_3H_8
<i>Molecular Mass (g/mole)</i>	44.09
<i>Boiling Point ($^{\circ}C$)</i>	-42.11
<i>Freezing Point ($^{\circ}C$)</i>	-187.62
<i>Critical Temperature ($^{\circ}C$)</i>	96.74
<i>Critical Pressure (kPa)</i>	4251.2
<i>Critical Density (kg/m³)</i>	220.4

Energi listrik yang terpakai biasanya dinyatakan dengan daya yang terpakai untuk menjalankan suatu mesin dalam periode atau waktu yang ditentukan. Energi listrik dinyatakan dengan besaran kWh yang berarti banyaknya daya yang terpakai dalam satuan kilo Watt per jam. Dapat dinyatakan dengan rumus berikut:

$$Q = (V \cdot I \cdot \cos\phi) \cdot h \dots \dots \dots (II-10)$$

Dengan:

- Q = Energi listrik [kWh]
- V = Tegangan listrik [Volt]
- I = Arus listrik [Ampere]
- Cosφ = Beda tegangan
- h = Waktu terpakai [Jam]

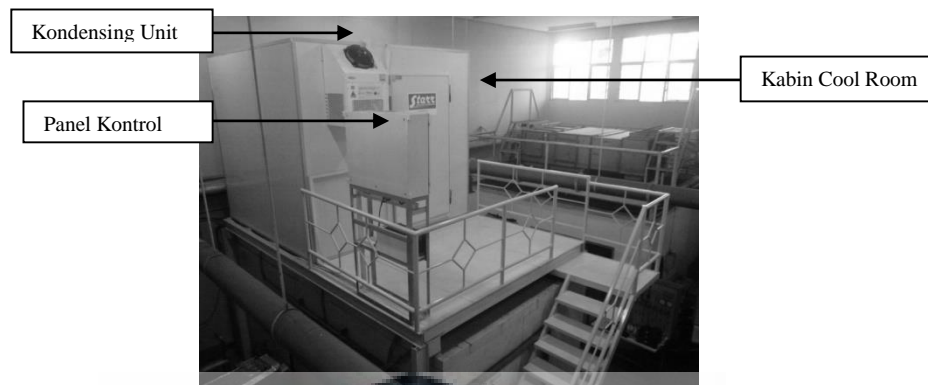
2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan pada mesin “Cool Room Initial Filling” yang artinya mesin Cool Room ini sejak awal seluruh komponennya sudah dirancang untuk diisi dengan refrigeran hidrokarbon R290, Jenis kompresor yang digunakan tipe semi-hermetik dengan kapasitas 0,5 HP. Ruang pendingin berupa sebuah Cool room dengan ukuran Panjang x Lebar x Tinggi adalah 3m x 3m x 2,7 m. Jumlah isi refrigeran yang direkomendasikan sesuai dengan name-plate adalah sebanyak 170 gram.

Pada mesin tersebut selanjutnya diperlakukan dengan mengisi sejumlah refrigeran R290 yang massanya divariasikan yaitu pertama sistem diisi dengan refrigeran yang jumlahnya dikurangi sebanyak 10% dari kondisi jumlah refrigeran yang seharusnya (153 gram), selanjutnya sistem diisi refrigeran dengan jumlah yang normal sesuai dengan petunjuk yang tertera pada Name-plate dari mesin tersebut 170 gram) dan langkah yang ketiga yaitu dengan menambahkan isi refrigeran sebanyak 10% sehingga seolah-olah telah terjadi kelebihan pengisian sebanyak 10% (187 gram). Dari tiga kondisi tersebut kemudian diamati dan diambil datanya untuk diolah dan dibandingkan performansinya.

Pengambilan data dilakukan dengan menggunakan program software X-Web yang telah terpasang pada mesin Cool room tersebut. Dari hasil pengujian tersebut

selanjutnya dibandingkan dan dikaji performansinya yang meliputi: Laju pendinginan; Tekanan kerja; *Coeficient of performance*, Efisiensi dan Konsumsi Energi listriknya.



Gambar 3.1 Mesin *Cool Room* Hidrokarbon

Parameter data yang diambil dan diamati meliputi:

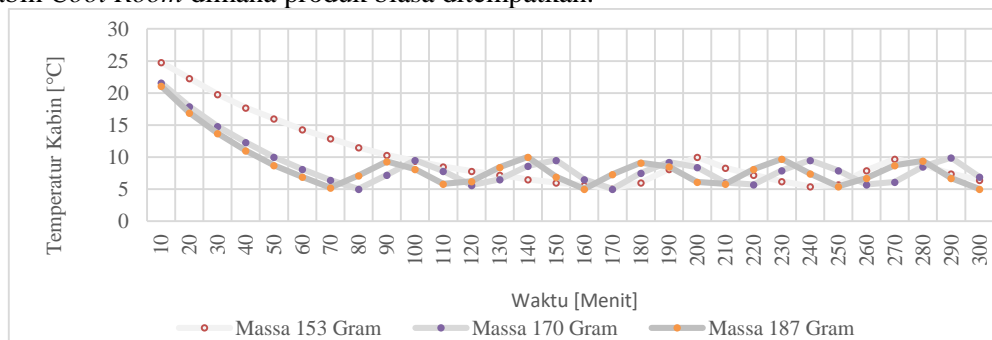
1. Tekanan *Discharge* (Bar)
2. Tekanan *suction* (Bar)
3. Temperatur kabin ($^{\circ}\text{C}$)
4. Temperatur *Discharge* ($^{\circ}\text{C}$)
5. Temperatur *Suction* ($^{\circ}\text{C}$)
6. Temperatur keluar kondenser ($^{\circ}\text{C}$)
7. Temperatur lingkungan ($^{\circ}\text{C}$)
8. Tegangan listrik (Volt)
9. Arus listrik (Amper)
10. Konsumsi energi listrik (Watt)
11. Massa refrigeran yang diisi (gram)

4. HASIL PENELITIAN

Hasil penelitian yang disajikan meliputi: *Chilling time* dan Laju pendinginan yang terjadi di dalam kabin *Cool Room*, tekanan kerja sistem, *Coeficient of Performance*, Efisiensi kerja sistem dan Konsumsi energi listrik yang terpakai.

4.1 Laju Pendinginan

Gambar 4.1 menunjukkan grafik laju penurunan temperatur yang terjadi di dalam kabin *Cool Room* dimana produk biasa ditempatkan.



Gambar 4.1 Laju Pendinginan di dalam Kabin

Dari Gambar 4.1 tampak pada saat sistem diisi refrigeran sesuai *Name-plate* maka *chilling time* dapat tercapai pada menit ke 80, selanjutnya akibat dari pengisian refrigeran yang dikurangi 10% berdampak terhadap laju penurunan temperatur yang relatif lebih lama dimana *Chilling time* tercapai pada menit ke 170 (lebih lama 90 menit), hal ini disebabkan laju aliran massa refrigeran yang sedikit berkurang sehingga laju penyerapan kalor di evaporator menjadi berkurang pula, sementara jika pengisian ditambah 10% lebih banyak maka berakibat laju pendinginan dapat tercapai pada menit ke 70 (lebih cepat 10 menit). Dengan demikian maka dapat dikatakan bahwa laju aliran massa refrigeran dengan penambahan atau pengurangan sebanyak 10% dari massa yang dianjurkan, akan berpengaruh terhadap laju pendinginan atau *Chilling time* di ruang pendingin.

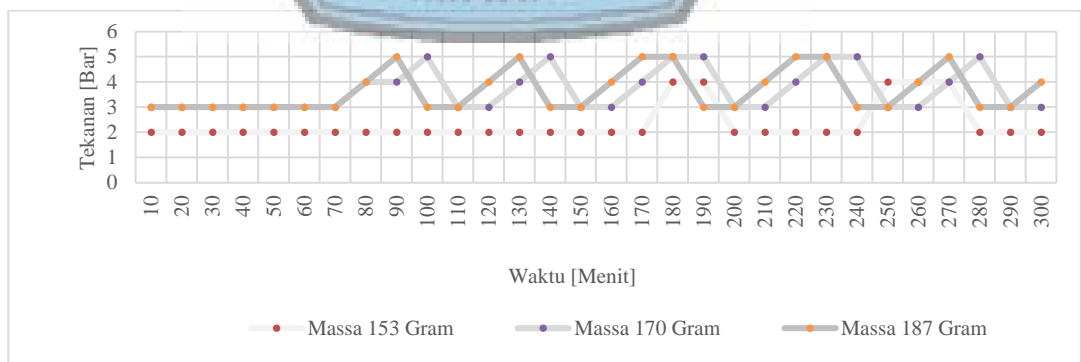
4.2 Tekanan Kerja

Tekanan kerja suatu sistem refrigerasi kompresi uap sangat erat kaitannya dengan jumlah refrigeran yang diisi, seperti terlihat pada Gambar 4.2 dan Gambar 4.3 berikut ini.



Gambar 4.2 Grafik Perbandingan Tekanan *Discharge*

Tekanan *discharge* tampak menurun dari 12 Bar menjadi 11 Bar seiring dengan pengurangan jumlah refrigeran yang diisi, sementara saat pengisian ditambah jumlahnya sebanyak 10% tampak tidak menunjukkan kenaikan tekanan secara signifikan.

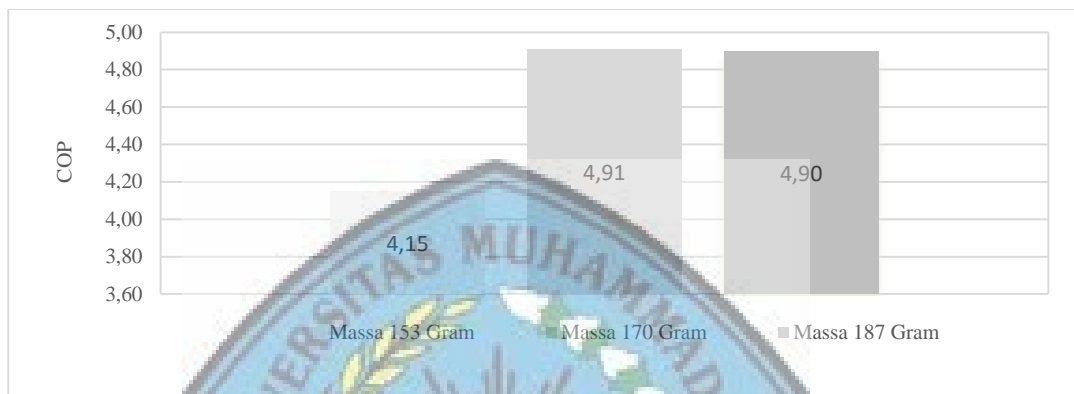


Gambar 4.3 Grafik Perbandingan Tekanan *Suction*

Tekanan *suction* tampak menurun dari 3 Bar menjadi 2 bar seiring dengan pengurangan jumlah refrigeran yang diisi, sementara saat pengisian ditambah jumlahnya sebanyak 10% tampak tidak menunjukkan kenaikan tekanan secara signifikan. Dari Gambar 4.2 dan Gambar 4.3 dapat dikatakan pengurangan dan penambahan refrigeran yang diisi akan berpengaruh terhadap tekanan kerja sistem refrigerasi.

4.3 Kinerja Sistem *Cool Room*

Salah satu indikator unjuk kerja sistem refrigerasi biasanya bisa dilihat dari nilai COP (*Coefficient of Performance*) yang dapat dicapai.

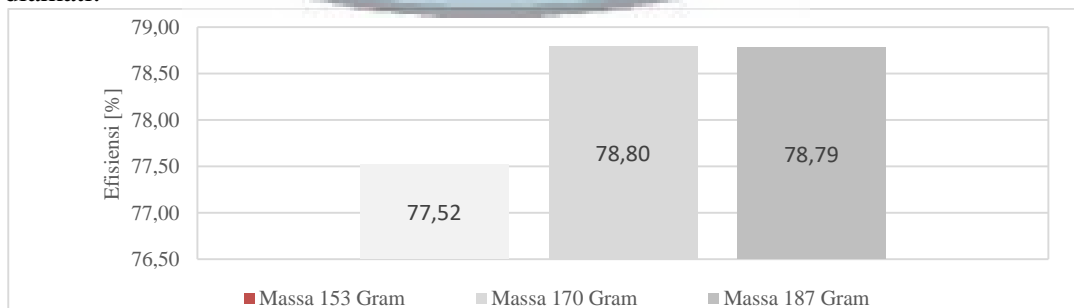


Gambar 4.4 Grafik *Coefficient of Performance* (COP)

Dari Gambar 4.4 tampak nilai kinerja yang terbaik diperoleh pada sistem yang diisi dengan jumlah refrigeran sesuai dengan rekomendasi pada *Name-plate*, dengan nilai COP sebesar 4,91. Pengurangan jumlah refrigeran 10% berakibat penurunan kinerja sekitar 15,4% sementara akibat dari penambahan refrigeran 10% dari massa yang direkomendasikan juga mengakibatkan penurunan nilai kinerja walaupun tidak signifikan (0,2%).

4.4 Efisiensi Refrigerasi

Efisiensi Refrigerasi merupakan salah satu indikator unjuk kerja sistem yang biasa diamati.

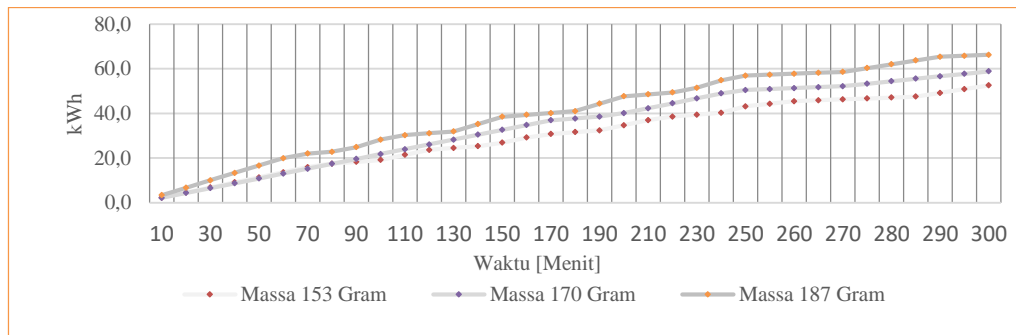


Gambar 4.5 Grafik Perbedaan Efisiensi Sistem Refrigerasi

Efisiensi Refrigerasi yang dapat dicapai oleh sistem refrigerasi akibat perbedaan jumlah pengisian 10% dapat dilihat pada Gambar 4.5. Tampak pengurangan jumlah isi refrigeran berakibat terhadap penurunan nilai efisiensi sementara jumlah isi refrigeran yang berlebih sebanyak 10% juga berakibat terhadap penurunan efisiensi walaupun tidak signifikan.

4.5 Konsumsi Energi Listrik

Gambar 4.6 menunjukkan konsumsi energi listrik yang terpakai selama pengamatan 300 menit.



Gambar 4.6 Grafik Perbandingan Energi yang Terpakai terhadap Waktu

Gambar 4.6 Grafik konsumsi energi menunjukkan adanya keterkaitan jumlah refrigeran yang diisikan ke dalam sistem terhadap konsumsi energi, semakin banyak jumlah yang diisikan maka konsumsi tenaga listriknya akan meningkat. Pada Gambar 4.6 dapat dilihat saat diisi 153 gram konsumsi energi listrik yang diamati selama 300 menit adalah 52,6 kWh (turun 10,7%), sementara saat diisi 170 gram adalah 58,9 kWh dan saat diisi 187 gram adalah 66,2 kWh (meningkat 12,4%).

5. SIMPULAN

Pengurangan isi refrigeran 10% akan berakibat keterlambatan *Chilling time* selama 90 menit, penurunan tekanan kerja sekitar 1 bar, penurunan kinerja 15,4% dan konsumsi energi listrik turun 10,7%. Sementara penambahan isi refrigeran 10% berakibat *Chilling time* lebih cepat 10 menit, tekanan kerja tidak mengalami perubahan yang signifikan, kinerja menurun tapi tidak signifikan (0,2%) dan konsumsi energi listrik meningkat hingga 12,4%.

6. REFERENSI

- American Society of Heating Refrigerating and Air Conditioning Engineers.2002, *ASHRAE Handbook of Refrigeration - Dairy Products*. Atlanta: GA.
- American Society of Heating Refrigerating and Air Conditioning Engineers. 2005, *ASHRAE Handbook of Fundamental - Secondary Coolant*. Atlanta: GA.
- American Society of Heating Refrigerating and Air Conditioning Engineers. 2009, *ASHRAE Handbook of Fundamental - Refrigerant*. Atlanta: GA.
- Bo Xu^{1,2}, Ying Wang¹, Jiangping Chen^{1*}, Feng Li³, Dong Li³, Xiaoyong Pan³. Investigation of domestic air conditioner with a novel low charge microchannel condenser suitable for hydrocarbon refrigerant, Measurement (2016), doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.measurement.2016.04.034>
- Bukola O Bolaji and Zhongjie Huan,2012, Comparative analysis of Performance of hydrocarbon refrigerant with R22 in a sub-cooling heat exchanger refrigeration system. *Proc IMechE Part A:J Power and Energy* 226(7) 882-891@ ImechE 2012. South Afrika.

- Dossat, R J. 1985, Principle of Refrigeration and Air conditioning (2nd Edition), John Willey and Sons, New York.
- Kanna, I Vinoth. 2018, Department of Mechanical Engineering, Vel Tech Rangarajan Dr. Sagunthala R&D Institute of Science and Technology, Chennai, India
- Rongqiang, Quzhou. 2013, “Propane R290 ($CH_3CH_2CH_3$)”.
http://www.rongqiangchem.com/product_detail_en/id/3.html [21 Februari 2017; 23:15]
- Sattar.M.A, R.Saidur, and H.H.Masjuki, Performance Investigation of Domestic Refrigerator Using Pure Hydrocarbons and Blends of Hydrocarbons as Refrigerants, International Journal of Aerospace and Mechanical Engineering 1:1 2007.

