

# Pengaruh Variasi Massa Refrigeran *Charge* R-134a Pada Sistem Refrigerasi *Dual Function* Sebagai *Water Chiller* Terhadap $Q$ Evaporator dan $Q$ Kondensor

Benedicta Dian Alfanda<sup>1</sup>, George Endri Kusuma<sup>1</sup>, Zulfa Maulana<sup>1\*</sup>, Mahasin Maulana Ahmad<sup>1</sup>, Niki Veranda Agil Permadi<sup>1</sup>, Budhi Santoso<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Jalan Teknik Kimia, Sukolilo, Surabaya 60111, Indonesia

<sup>2</sup> Jurusan Teknik Perkapalan Politeknik Negeri Bengkalis, Jalan Bathin Alam, Sungai Alam, Bengkalis, Riau 28711, Indonesia

Email: [zulfamaulana08@student.ppns.ac.id](mailto:zulfamaulana08@student.ppns.ac.id)

## Abstrak

Sistem refrigerasi *dual function* di laboratorium permesinan fluida Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya adalah sistem refrigerasi yang secara bawaan pabrik menggunakan refrigeran R-12. Saat ini sistem tersebut telah di retrofit dengan refrigeran R-134a untuk mengganti R-12 yang sudah dilarang penggunaannya. Ketika dilakukan retrofit, timbul permasalahan saat dilakukan refrigeran *charge*. Permasalahannya adalah belum diketahui massa optimal dari refrigeran *charge* pada sistem. Maka pada penelitian ini dilakukan eksperimen dengan melakukan beberapa variasi massa refrigeran *charge* pada sistem. Pada penelitian ini didapatkan  $Q$  Evaporator tertinggi bernilai 177,18 kJ/kg pada mode *water chiller* dengan *flowrate chilled water* 8 l/m pada variasi massa refrigeran 399,5 gram;  $Q$  Kondensor tertinggi bernilai 233,25 kJ/kg pada mode *water chiller* dengan *flowrate chilled water* 6 l/m dan 7 l/m pada variasi massa 470 gram.

**Kata kunci:** Air; *Flowrate*; Fluida; Refrigeran; *Water Chiller*

## Abstract

*Dual function refrigeration system at fluid machinery laboratory of the Shipbuilding Institute of Polytechnic Surabaya is a refrigeration system in default use R-12. Currently the system has been retrofitted with R-134a to replace R-12 which has been banned. When retrofit process, the problem is unknown about the optimal mass of refrigerant charge in the system. So this project as been conducted as an experiment with several variations of the refrigerant mass charge in the system. The highest value of  $Q$  Evaporator (Cooling Effect) is 177.18 kJ/kg was obtained in water chiller mode with 8 l/m flowrate of chilled water at 399.5 gram refrigerant mass. The highest value of  $Q$  Condenser (Heating Effect) is 233.25 kJ/kg was obtained in water chiller mode with 6 l/m and 7 l/m flowrate of chilled water at 470 gram refrigerant mass.*

**Keywords:** *Flowrate*; Fluid; Refrigerant; Water; *Water Chiller*

## 1. Metode Penelitian

Sistem refrigerasi adalah sistem dengan susunan komponen, peralatan, dan perpipaan yang dihubungkan dalam urutan tertentu untuk menghasilkan efek refrigerasi. Efek refrigerasi merupakan banyaknya kalor yang dapat dipindahkan oleh setiap satuan massa refrigeran (Purnomo and Waluyo, 2015). Umumnya siklus refrigerasi yang banyak digunakan adalah siklus refrigerasi dengan jenis siklus kompresi uap. Jenis siklus tersebut banyak digunakan pada sistem-sistem seperti *air conditioner*, lemari pendingin, dan juga pompa kalor. Sama halnya pada sistem refrigerasi *dual function* yang ada di laboratorium permesinan fluida Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya yang juga menggunakan siklus refrigerasi dengan jenis kompresi uap.

Dalam sistem refrigerasi terdapat fluida kerja berupa refrigeran. Refrigeran merupakan fluida yang berfungsi untuk memindahkan kalor (Pratama *et al.*, 2021). Maka keberadaan refrigeran di dalam sistem refrigerasi tersebut dapat menentukan kemampuan sistem dalam menghasilkan efek refrigerasi. Sehingga pada sebuah sistem refrigerasi pasti terdapat refrigeran yang *discharge* ke dalam sistem tersebut. Proses *charging* refrigeran kedalam sistem refrigerasi harus dilakukan secara hati-hati untuk memastikan tidak terjadi kondisi refrigeran *charge* yang berlebihan. Ketika sebuah sistem

---

<sup>1\*</sup> [zulfamaulana08@student.ppns.ac.id](mailto:zulfamaulana08@student.ppns.ac.id)

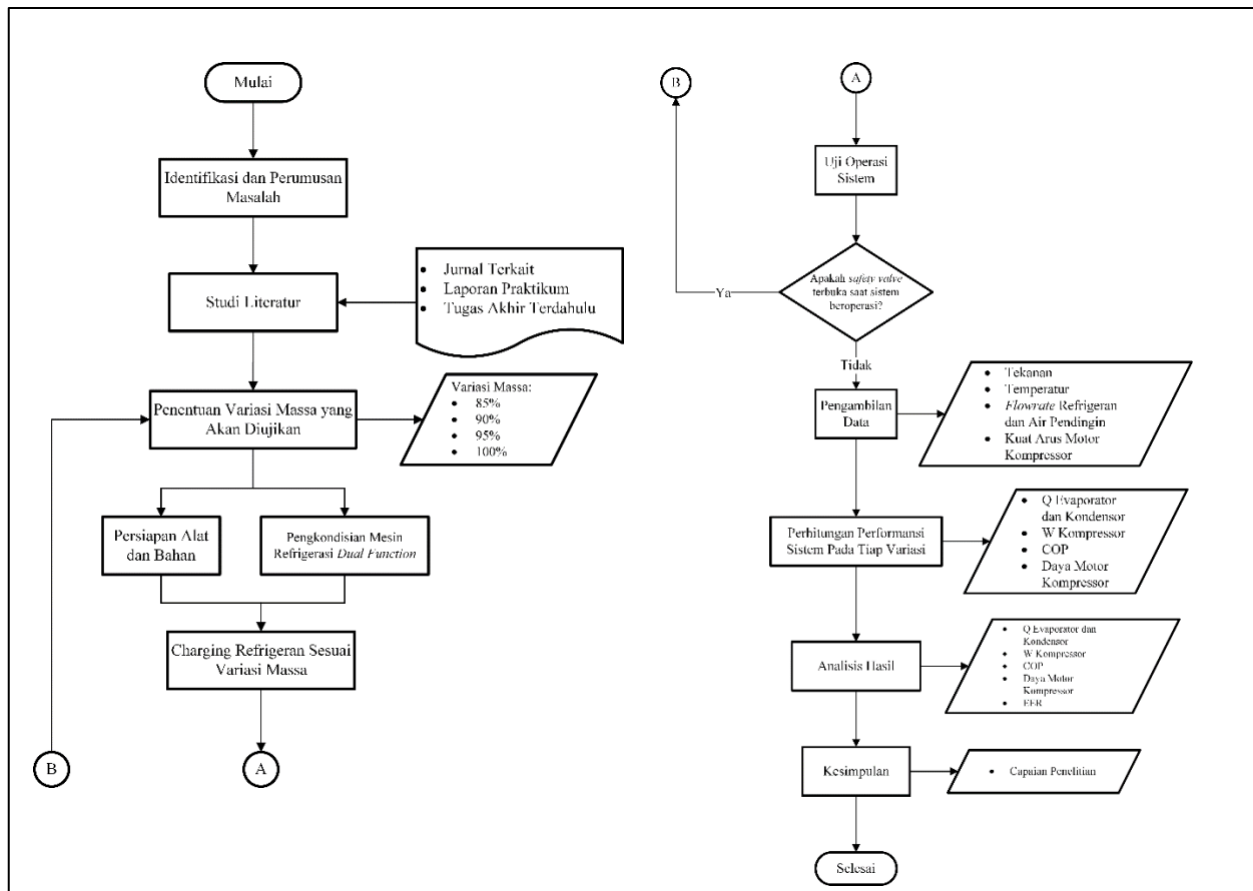
refrigerasi terjadi kondisi refrigeran *overcharge*, maka akan terjadi peningkatan tekanan kerja dalam sistem. Pada dasarnya suatu sistem refrigerasi terdapat batas tekanan aman pada sistem. Sehingga jika peningkatan tekanan akibat *overcharge* melampaui batas maksimum tekanan aman yang dapat diterima oleh sistem, maka pasti terjadi pelepasan tekanan dari sistem melalui *pressure safety valve*. Kondisi tersebut juga terjadi ketika proses *charging* pada sistem refrigerasi *dual function* pada saat akhir proses retrofit lalu. Massa refrigeran yang *dicharge* pada sistem refrigerasi juga mempengaruhi kapasitas, performa, dan efisiensi dari sebuah sistem refrigerasi (Berman *et al.*, 2019). Sehingga penentuan massa dari refrigeran yang *dicharge* pada sistem harus diperhatikan, terlebih ketika melakukan retrofit dengan refrigeran yang berbeda. Karena pada dasarnya setiap refrigeran memiliki karakteristik yang tidak dapat disamakan. Hal inilah yang menjadikan ketika proses *charging* setelah proses retrofit harus dilakukan dengan beberapa percobaan variasi massa refrigeran. Hal tersebut dilakukan untuk dapat diketahui karakteristik kapasitas, performa, dan efisiensi sistem refrigerasi pada tiap variasi massa *charging* refrigeran. Sehingga dalam penggunaannya, sistem refrigerasi memiliki kapasitas, performa, dan efisiensi sesuai yang diinginkan.

Kegiatan yang serupa juga pernah dilakukan oleh (Sutandi *et al.*, 2020) dengan judul "*Experimental Study of R32 as a Retrofit for R410A Refrigerant in a Residential Air Conditioner*". Penelitian tersebut melakukan studi eksperimen dengan melakukan retrofit pada sistem *AC residential* yang semula menggunakan refrigeran R-410 menjadi R-32. Pada penelitian tersebut disampaikan bahwa tantangan terberat adalah menemukan massa refrigeran yang ideal untuk memperoleh performa sistem yang optimal. Maka untuk mencapai tujuan tersebut, dilakukan variasi massa refrigeran *charge* pada sistem mulai dari 90% hingga 105% dari massa standar pengisian refrigeran R-32 100% setelah diretrofit. Setelah dilakukan retrofit dengan R-32, nilai *COP* pada semua variasi massa cenderung lebih rendah dari pada saat menggunakan R-410. Variasi massa yang memperoleh nilai *COP* terendah didapatkan saat melakukan *charge* dengan refrigeran pada massa 105% dari kapasitas normal sistem, dengan nilai *COP* 2,40. Sedangkan variasi massa yang memperoleh nilai *COP* tertinggi adalah saat melakukan *charge* dengan refrigeran pada massa 95% dari kapasitas normal sistem, dengan nilai *COP* 2,78. Dari penelitian tersebut dapat dijadikan acuan bahwa saat melakukan variasi massa refrigeran, perlu diketahui terlebih dahulu kapasitas normal dari massa refrigeran *charge* pada sistem. Kemudian variasi dilakukan dengan mengurangi pada rentang 5% dari kapasitas normal ataupun juga dapat menambah 5% dari kapasitas normalnya.

Upaya untuk meningkatkan performa dan efisiensi energi tidak pernah surut, banyak cara yang telah ditempuh untuk mencapai pemakaian energi yang efisien. Seperti melakukan optimalisasi dalam penentuan *set point*, kecepatan *fan* pada kondensor ataupun evaporator, dan juga beban kerja motor kompresor (Erham, 2018). Pada penelitian ini, dilakukan eksperimen terhadap variasi massa refrigeran *charge* R-134a pada sistem refrigerasi *dual function* yang telah dilakukan retrofit pada penelitian sebelumnya di laboratorium permesinan fluida Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya. Dalam eksperimen ini, variasi massa dibatasi berdasarkan kapasitas maksimum yang diijinkan pada refrigeran *charge* untuk sistem refrigerasi *dual function* yang ada pada laboratorium permesinan fluida Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya. Pada eksperimen tersebut diambil data temperatur, tekanan, *flowrate* pada refrigeran, *flowrate* air pada kondensor dan *water chiller*. Dengan eksperimen tersebut, diharapkan dapat diketahui massa *optimal* refrigeran *charge*, agar tidak terjadi kekurangan ataupun kelebihan refrigeran didalam sistem yang dapat mempengaruhi kapasitas, performansi, dan efisiensi pada sistem tersebut.

## 2. Metode Penelitian

Pada penelitian ini menggunakan metode eksperimen dengan mengacu pada penelitian yang dilakukan sebelumnya oleh (Sutandi *et al.*, 2020). Akan tetapi kali ini sistem yang digunakan adalah sistem refrigerasi *dual function*, dengan menggunakan refrigeran R-134a setelah proses retrofit. Adapun gambar bagan alir (*flowchart*) penelitian telah tersaji pada gambar 1 berikut.



Gambar 1 Bagan Alir (Flowchart) Penelitian

## 2.1 Identifikasi dan Perumusan Masalah

Pada tahap awal dilakukan identifikasi dari masalah yang terjadi setelah sistem refrigerasi *dual function* dilakukan retrofit dan dilakukan refrigeran *charge*, saat itu pada sistem *pressure safety valve* mengalami *release pressure* ke atmosfer. Artinya pada saat proses refrigeran *charge* tersebut mengindikasikan terlalu banyak massa refrigeran *charge* pada sistem. Kejadian ini terjadi beberapa kali karena saat melakukan *charging* tidak dilakukan pemantauan massa refrigeran yang telah masuk pada sistem. Dari hal tersebut muncul ide untuk menganalisis massa refrigeran *charge* yang seharusnya pada sistem, agar tidak terjadi tekanan kerja yang berlebih dan kompresor berada pada kondisi kerja optimal. Maka pada penelitian ini dirumuskan untuk mencari massa refrigeran *charge* yang seharusnya pada sistem dengan mempertimbangkan kapasitas pada sistem tersebut.

## 2.2 Studi Literatur

Setelah ditemukan rumusan masalah pada penelitian ini dilanjutkan dengan studi literatur dari penelitian-penelitian terdahulu yang memiliki kesamaan permasalahan untuk dilakukan pengumpulan teori yang digunakan sebagai acuan penentuan variasi dari massa refrigeran *charge* pada sistem. Beserta dengan metode eksperimen yang dilakukan untuk dapat dijadikan pedoman saat melaksanakan kegiatan tersebut.

## 2.3 Penentuan Variasi Massa yang Akan Dicharging

Berdasarkan studi literatur pada penelitian dengan judul "*Experimental Study of R32 as a Retrofit for R410A Refrigerant in a Residential Air Conditioner*" (Sutandi *et al.*, 2020), maka dilakukan variasi dilakukan dengan *charging* pada sistem dengan variasi massa 85%, 90%, 95%, dan 100 % dari kapasitas maksimum saat pengisian. Lalu pada saat pengisian tersebut, pemantauan massa dilakukan dengan cara memantau penurunan berat tabung refrigeran pada *refrigerant scale*.

## 2.4 Persiapan Alat dan Bahan

Dilakukan persiapan seluruh alat yang digunakan saat melakukan eksperimen, mulai dari kompresor vakum, *manifold*, kunci *valve*, dan juga kecukupan dari refrigeran yang digunakan untuk eksperimen. Untuk kompresor vakum perlu diperhatikan ketersediaan dari minyak pelumas di dalam kompresor tersebut. Sehingga saat persiapan harus diamati level minyak pelumas yang ada pada kompresor vakum, apabila minyak pelumas kurang, maka harus dilakukan

pengisian hingga berada pada level aman dari ketersediaan minyak pelumas pada kompresor tersebut. Lalu untuk *manifold* pengisian refrigeran perlu diperhatikan keadaan dari konektor penghubung dan juga *hose* pada *manifold* tersebut, jika kondisinya sudah getas ataupun rusak, maka tidak dapat digunakan karena dapat beresiko terjadi kebocoran. Selain itu tak kalah pentingnya adalah kunci *valve*, kunci ini merupakan jenis *special tool* yang digunakan untuk membuka dan menutup *valve* pengisian refrigeran pada sistem refrigerasi supaya tidak merusak *valve* dan juga mempermudah saat melakukan buka tutup *valve*.

### 2.5 Pengkondisian Sistem Refrigerasi Dual Function

Sebelum melakukan eksperimen perlu dilakukan pemeriksaan kesiapan dari sistem. Seperti halnya melakukan pemeriksaan dari fungsionalitas instrumen alat ukur yang terdapat pada sistem tersebut. Lalu pemeriksaan kondisi dari instrumen kelistrikan yang ada untuk memastikan keamanan saat melakukan kegiatan tersebut. Serta memastikan tidak ada kebocoran dari fluida-fluida yang ada pada sistem, mulai dari minyak pelumas kompresor, refrigeran, dan juga air pada saluran menuju kondensator ataupun *water chiller*.

### 2.6 Charging Refrigeran Sesuai Variasi Massa

Untuk mendapatkan hasil yang baik dari eksperimen yang dilakukan maka sistem refrigerasi *dual function* perlu dilakukan proses vakum terlebih dahulu untuk memastikan tidak ada refrigeran dan kotoran didalamnya. Sehingga saat dilakukan *charging* sistem dari keadaan hampa hingga terisi refrigeran sesuai pada variasi massa yang ditentukan. Saat *charging* harus selalu diamati massa refrigeran yang masuk kedalam sistem dan juga kenaikan tekanan pada sistem, hal tersebut guna memastikan rencana dari variasi massa yang dilakukan tidak melebihi ataupun kurang dari massa refrigeran *charge* yang ditetapkan.

### 2.7 Uji Operasi Sistem

Pada tahap uji operasi ini dilakukan hingga sistem beroperasi pada kondisi stabil. Hal tersebut untuk memastikan bahwa sistem telah beroperasi pada tekanan kerja sistem yang aman. Jika sistem berjalan dengan normal, maka dapat dilanjutkan pada proses pengambilan data pada setiap variasi massa yang telah ditentukan. Akan tetapi, jika saat uji operasi sistem berada pada tekanan kerja yang berlebih akibat kelebihan saat *charging* dan terjadi kondisi refrigeran keluar dari *safety valve* maka harus dilakukan proses vakum ulang untuk menghampakan kembali sistem tersebut.

### 2.8 Pengambilan Data

Pengambilan data dilakukan secara bertahap sesuai dengan variasi massa refrigeran yang dilakukan. Adapun data-data yang diambil terdiri dari temperatur, tekanan, *flowrate* refrigeran, dan *flowrate* air. Perlu diperhatikan pengambilan data dapat dilakukan setelah uji operasi sistem berjalan dengan normal.

### 2.9 Perhitungan Q Evaporator dan Q Kondensator

Dilakukan perhitungan dari data yang didapatkan pada kegiatan pengambilan data, dengan diolah dan didapatkan nilai Q Evaporator, Q Kondensator. Sehingga dari hasil perhitungan pada tiap-tiap variasi massa yang dilakukan, akan didapatkan variasi data hasil sesuai dengan variasi dari massa refrigeran *charge* yang dilakukan. Untuk melakukan validasi dari perhitungan yang dilakukan, maka perhitungan ini dilakukan baik secara manual dan juga dengan memanfaatkan perangkat lunak pembantu seperti *Engineering Equation Solver* dan juga *Coolpack*. Adapun beberapa persamaan yang digunakan dalam perhitungan pada penelitian ini adalah sebagai berikut.

#### A. Q Evaporator

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

Keterangan:

$h_1$ = Enthalpi refrigeran saat keluar dari evaporator *kJ/kg*

$h_4$ = Enthalpi refrigeran saat masuk ke evaporator *kJ/kg*

#### B. Q Kondensator

$$Q_{\text{Kondensator}} = h_2 - h_3 \quad \text{kJ/kg} \quad (2)$$

Keterangan:

$h_2$ = Enthalpi refrigeran saat masuk ke kondensator *kJ/kg*

$h_3$ = Enthalpi refrigeran saat keluar dari kondensator *kJ/kg*

### 2.10 Analisis Data

Setelah perhitungan pada tiap-tiap variasi massa yang dilakukan, akan dilanjutkan menuju tahap analisis hasil eksperimen yang telah dilakukan. Adapun hasil dari analisis yang dilakukan akan divisualisasikan berupa grafik atau diagram untuk mempermudah dalam menginterpretasikan hasil dari analisis yang telah dilakukan. Sehingga tujuan untuk mengetahui karakteristik kinerja sistem pada tiap variasi massa refrigeran *charge* pada sistem dapat tercapai.

### 2.11 Penarikan Kesimpulan

Pada tahap ini merupakan akhir dari kegiatan penelitian, dengan luaran hasil penelitian yang telah dilakukan. Dengan capaian target yang diraih pada eksperimen yang dilakukan.

### 3. Hasil dan Diskusi

Setelah dilakukan penelitian, maka telah didapatkan data hasil eksperimen. Data tersebut merupakan data yang digunakan untuk melakukan plot pada *P-h diagram* dan juga perhitungan pada langkah selanjutnya.

#### 3.1. Pengolahan Data Hasil Eksperimen

Adapun data yang didapatkan telah tersaji pada tabel 1 berikut.

**Tabel 1.** Data Hasil Eksperimen

Variasi Flowrate Chilled Water	Variasi Massa	Data						
		T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>	P <sub>1</sub>	P <sub>2</sub>	P <sub>3</sub>	F <sub>1</sub>
l/m	Gram	°C	°C	°C	Bar (G)	Bar (G)	Bar (G)	l/m
6	399,5 (85%)	30	98	36	1,4	9	8,5	1,4
	423 (90%)	31	93	37	1,9	9,6	9,1	1,4
	446,5 (95%)	30	89	40	2,2	10,3	9,8	1,6
	470 (100%)	30	99	36	1,4	9,2	8,9	1,4
7	399,5 (85%)	30	96	36	1,3	8,9	8,5	1,4
	423 (90%)	31	94	38	1,9	9,7	9,1	1,4
	446,5 (95%)	30	90	41	2,3	10,5	9,9	1,6
	470 (100%)	30	99	36	1,5	9,2	8,8	1,4
8	399,5 (85%)	30	90	35	1,4	9	8,5	1,4
	423 (90%)	31	94	38	1,9	9,8	9,2	1,4
	446,5 (95%)	30	90	41	2,4	10,5	10	1,6
	470 (100%)	30	99	37	1,5	9,2	8,8	1,4

Keterangan:

T<sub>1</sub> = Temperatur Refrigeran Masuk Kompresor

T<sub>2</sub> = Temperatur Refrigeran Keluar Kompresor

T<sub>3</sub> = Temperatur *Sub-Cooling*

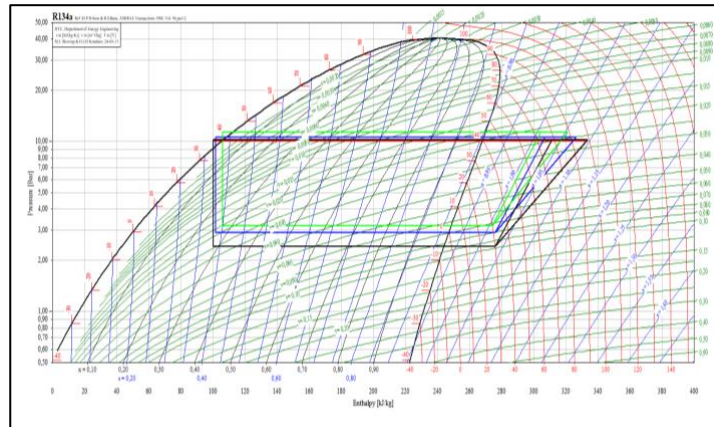
P<sub>1</sub> = Tekanan Sisi *Suction* Kompresor

P<sub>2</sub> = Tekanan Sisi *Discharge* Kompresor

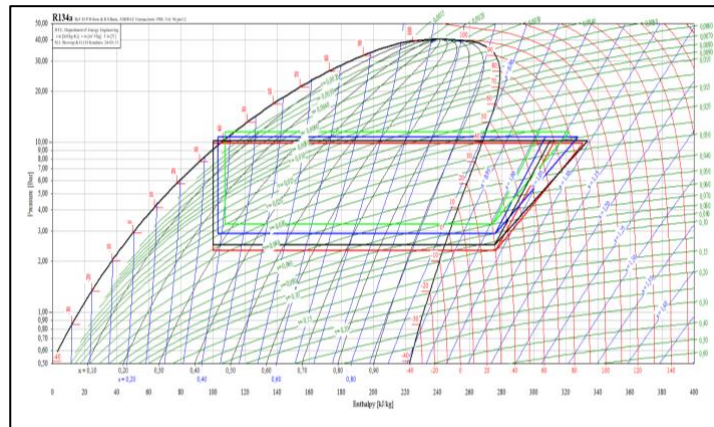
P<sub>3</sub> = Tekanan Sebelum Katup Ekspansi

F<sub>1</sub> = *Flowrate* Refrigeran

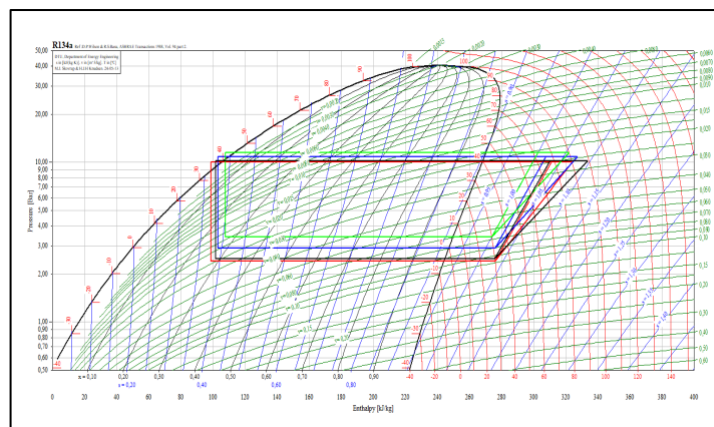
Dari data yang telah didapatkan tersebut, kemudian dilakukan plot siklus refrigerasi pada *P-h Diagram* R-134a untuk mendapatkan nilai enthalpi. Adapun data yang diperlukan adalah tekanan dan temperatur refrigeran di beberapa titik pada setiap variasi massa yang dilakukan dan juga variasi operasi *flowrate chilled water*. Sehingga untuk mempermudah pembacaan hasil pada *P-h Diagram* R-134a maka siklus pada massa 399,5 gram (85%) digambar berwarna merah, 423 gram (90%) digambar berwarna biru, 446,5 gram (95%) digambar berwarna hijau, dan 470 gram (100%) digambar berwarna hitam sebagai berikut.



Gambar 2 Plot Pada P-h Diagram R-134a Mode Water Chiller Flowrate 6 l/m



Gambar 3 Plot Pada P-h Diagram R-134a Mode Water Chiller Flowrate 7 l/m



Gambar 4 Plot Pada P-h Diagram R-134a Mode Water Chiller Flowrate 8 l/m

Dari hasil plot pada *P-h Diagram* R-134a maka dilanjutkan dengan pembacaan nilai-nilai enthalpi yang didapatkan pada siklus refrigerasi. Adapun hasil pembacaan nilai-nilai enthalpi telah tersaji pada tabel 2 sebagai berikut.

**Tabel 2** Nilai Enthalpi Hasil Pembacaan Pada *P-h Diagram*

Variasi Flowrate Chilled Water	Enthalpi	Massa 399,5 Gram (85%)	Massa 423 Gram (90%)	Massa 446,5 Gram (95%)	Massa 470 Gram (100%)
6 l/m	$h_1$ (kJ/kg)	275,952	275,839	274,275	275,952
	$h_{2a}$ (kJ/kg)	332,654	326,502	321,219	333,502
	$h_{2i}$ (kJ/kg)	310,883	307,097	304,25	311,381
	$h_3$ (kJ/kg)	100,249	101,726	106,189	100,249
	$h_4$ (kJ/kg)	100,249	101,726	106,189	100,249
7 l/m	$h_1$ (kJ/kg)	276,157	275,839	274,062	275,745
	$h_{2a}$ (kJ/kg)	330,613	327,466	322,054	333,502
	$h_{2i}$ (kJ/kg)	312,029	307,328	303,616	310,031
	$h_3$ (kJ/kg)	100,249	103,208	107,688	100,249
	$h_4$ (kJ/kg)	100,249	103,208	107,688	100,249
8 l/m	$h_1$ (kJ/kg)	275,952	275,839	273,847	275,745
	$h_{2a}$ (kJ/kg)	324,011	327,341	322,054	333,502
	$h_{2i}$ (kJ/kg)	310,883	307,557	302,578	310,031
	$h_3$ (kJ/kg)	98,777	103,208	107,688	101,726
	$h_4$ (kJ/kg)	98,777	103,208	107,688	101,726

Keterangan:

- $h_1$  = Nilai enthalpi refrigeran R-134a saat keluar dari evaporator
- $h_{2a}$  = Nilai enthalpi aktual refrigeran R-134a saat keluar dari kompresor
- $h_{2i}$  = Nilai enthalpi ideal refrigeran R-134a saat keluar dari kompresor
- $h_3$  = Nilai enthalpi refrigeran R-134a saat keluar dari kondensor
- $h_4$  = Nilai enthalpi refrigeran R-134a saat masuk evaporator

Dari nilai-nilai enthalpi yang didapatkan tersebut maka dilanjutkan untuk mendapatkan nilai Q Evaporator dan Q Kondensor dengan rumus sesuai pada persamaan 1 dan persamaan 2 yang telah dijelaskan sebelumnya. Dengan hasil yang telah disajikan pada tabel 3 berikut ini.

**Tabel 3** Hasil Kalkulasi Pada Seluruh Variasi yang Dilakukan

Variasi Flowrate Chilled Water	Variasi Massa	Data Hasil	
		Q Evaporator	Q Kondensor
l/m	Gram	kJ/kg	kJ/kg
6	399,5 (85%)	175,7030	232,4050
	423 (90%)	174,1130	224,7760
	446,5 (95%)	168,0860	215,0300
	470 (100%)	175,7030	233,2530
7	399,5 (85%)	175,9080	230,3640
	423 (90%)	172,6310	224,2580
	446,5 (95%)	166,3740	214,3660
	470 (100%)	175,4960	233,2530
8	399,5 (85%)	177,1750	225,2340
	423 (90%)	172,6310	224,1330
	446,5 (95%)	166,1590	214,3660
	470 (100%)	174,0190	231,7760

### 3.2. Analisis dan Pembahasan Hasil Eksperimen

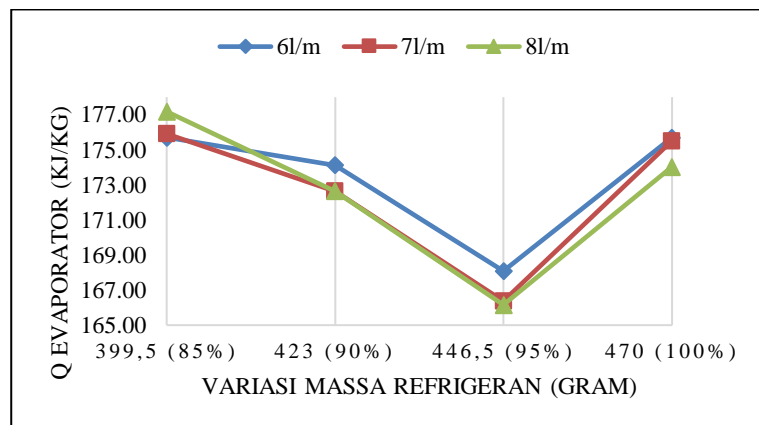
Pada gambar 5 merupakan gambar grafik hubungan antara nilai Q Evaporator dalam satuan kJ/kg dengan tiap-tiap variasi massa refrigeran yang beroperasi pada mode *water chiller*. Dalam mode tersebut terdapat kondisi variasi operasi tiga *flowrate chilled water* yang berbeda. Pada variasi massa refrigeran 399,5 gram (85%) nilai Q Evaporator adalah 175,7 kJ/kg pada *flowrate* 6 l/m; 175,9 kJ/kg pada *flowrate* 7 l/m; dan 177,17 kJ/kg pada *flowrate* 8 l/m. Jika dilihat, nilai Q Evaporator pada variasi massa refrigeran 399,5 gram (85%) ini mengalami kenaikan di setiap kenaikan nilai *flowrate*

*chilled water*nya, hal tersebut dipengaruhi oleh penurunan nilai temperatur *sub-cooling* pada kondisi tersebut sehingga nilai enthalpi pada titik tersebut juga menurun.

Untuk variasi massa refrigeran 423 gram (90%) nilai Q Evaporator terjadi penurunan dibanding pada variasi massa sebelumnya dengan rincian pada *flowrate* 6 l/m 0,9% dengan nilai 174,113 kJ/kg; pada *flowrate* 7 l/m terjadi penurunan 1,86% dengan nilai 172,63 kJ/kg; pada *flowrate* 8 l/m terjadi penurunan 2,56% dengan nilai 172,63 kJ/kg. Penurunan tersebut terjadi karena pada variasi massa refrigeran 423 gram (90%) terdapat kenaikan nilai temperatur *sub-cooling* dibanding dengan variasi massa sebelumnya sehingga hal tersebut mempengaruhi perbedaan nilai enthalpi pada titik tersebut dengan variasi massa sebelumnya. Nilai Q Evaporator di *flowrate* 7 l/m dan *flowrate* 8 l/m yang sama ini dipengaruhi oleh nilai temperatur *sub-cooling* yang sama saat sistem beroperasi pada *flowrate* *chilled water* tersebut.

Untuk variasi massa refrigeran 446,5 gram (95%) nilai Q Evaporator terjadi penurunan lagi dibanding pada variasi massa sebelumnya dengan rincian pada *flowrate* 6 l/m 3,46% dengan nilai 168,08 kJ/kg; pada *flowrate* 7 l/m terjadi penurunan 3,62% dengan nilai 166,37 kJ/kg; pada *flowrate* 8 l/m terjadi penurunan 3,75% dengan nilai 166,159 kJ/kg. Penurunan tersebut terjadi karena pada variasi massa refrigeran 446,5 gram (95%) terdapat penurunan nilai temperatur superheat dan juga kenaikan nilai temperatur *sub-cooling* sehingga hal tersebut mempengaruhi nilai enthalpi pada titik tersebut. Nilai Q Evaporator yang semakin menurun setiap *flowrate* *chilled water* dinaikkan pada variasi massa 446,5 gram (95%) ini disebabkan karena adanya kenaikan nilai temperatur *sub-cooling* disaat kenaikan *flowrate* 7 l/m dan juga terdapat sedikit kenaikan tekanan pada sisi *suction* kompresor.

Lalu untuk variasi massa refrigeran 470 gram (100%) nilai Q Evaporator terjadi kenaikan dibanding pada variasi massa sebelumnya dengan rincian pada *flowrate* 6 l/m 4,53% dengan nilai 175,7 kJ/kg; pada *flowrate* 7 l/m terjadi kenaikan 5,48% dengan nilai 175,496 kJ/kg; pada *flowrate* 8 l/m terjadi kenaikan 4,73% dengan nilai 174,019 kJ/kg. Kenaikan tersebut terjadi karena pada variasi massa refrigeran 470 gram (100%) terdapat penurunan nilai temperatur *sub-cooling* dibanding pada kondisi variasi massa sebelumnya. Sehingga hal tersebut mempengaruhi nilai enthalpi pada titik tersebut. Nilai Q Evaporator yang menurun setiap kenaikan nilai *flowrate* *chilled water* pada variasi massa 470 gram (100%) ini disebabkan karena adanya kenaikan nilai temperatur *sub-cooling* disaat kenaikan *flowrate* *chilled water*, khususnya saat kenaikan *flowrate* 8 l/m.



**Gambar 5** Grafik Hubungan Q Evaporator Dalam kJ/kg Dengan Tiap Variasi Massa Refrigeran Pada Mode *Water Chiller*

Pada gambar 6 merupakan gambar grafik hubungan antara nilai Q Kondensor dalam satuan kJ/kg dengan tiap-tiap variasi massa refrigeran yang beroperasi pada mode *water chiller*. Dalam mode tersebut terdapat kondisi variasi operasi tiga *flowrate* *chilled water* yang berbeda. Pada variasi massa refrigeran 399,5 gram (85%) nilai Q Kondensor adalah 232,405 kJ/kg pada *flowrate* 6 l/m; 230,364 kJ/kg pada *flowrate* 7 l/m; dan 225,234 kJ/kg pada *flowrate* 8 l/m; Jika dilihat, nilai Q Kondensor pada variasi massa refrigeran 399,5 gram (85%) ini mengalami penurunan di setiap kenaikan nilai *flowrate* *chilled water*nya, hal tersebut dipengaruhi oleh penurunan nilai temperatur *discharge* kompresor pada kondisi tersebut sehingga nilai enthalpi pada titik tersebut juga menurun.

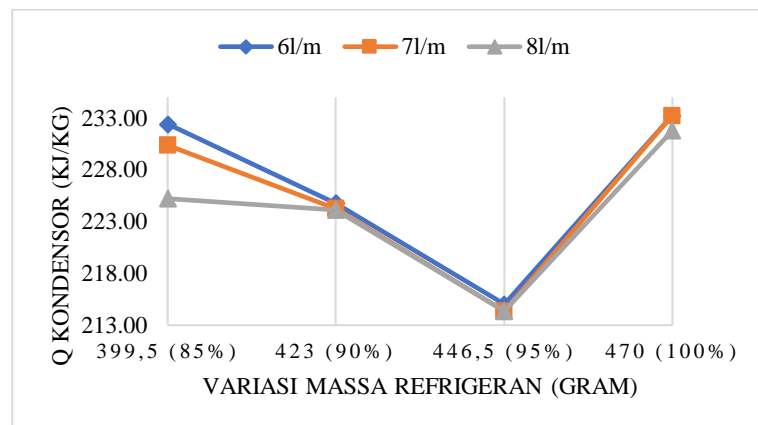
Untuk variasi massa refrigeran 423 gram (90%) nilai Q Kondensor terjadi penurunan dibanding pada variasi massa sebelumnya dengan rincian pada *flowrate* 6 l/m 3,28% dengan nilai 224,776 kJ/kg; pada *flowrate* 7 l/m terjadi penurunan 2,65% dengan nilai 224,258 kJ/kg; pada *flowrate* 8 l/m terjadi penurunan 0,49% dengan nilai 224,133 kJ/kg. Penurunan tersebut terjadi karena pada variasi massa refrigeran 423 gram (90%) terdapat kenaikan nilai temperatur *sub-cooling* dibanding dengan variasi massa sebelumnya sehingga hal tersebut mempengaruhi perbedaan nilai enthalpi pada titik tersebut dengan variasi massa sebelumnya. Nilai Q Kondensor yang relatif menurun di variasi massa 423 gram (90%) ini



ketika terjadi kenaikan *flowrate chilled water* disebabkan oleh nilai tekanan *discharge* kompresor yang bertambah namun hanya pada rentang 0,1-0,2 bar(G) saja dengan nilai temperatur yang sama.

Untuk variasi massa refrigeran 446,5 gram (95%) nilai Q Evaporator terjadi lagi penurunan dibanding pada variasi massa sebelumnya dengan rincian pada *flowrate 6 l/m* 4,34% dengan nilai 215,03 kJ/kg; pada *flowrate 7 l/m* terjadi penurunan 4,41% dengan nilai 214,366 kJ/kg; pada *flowrate 8 l/m* terjadi penurunan 4,36% dengan nilai 214,366 kJ/kg. Penurunan tersebut terjadi karena pada variasi massa refrigeran 446,5 gram (95%) terdapat penurunan nilai temperatur *discharge* kompresor dan juga kenaikan nilai temperatur *sub-cooling* sehingga hal tersebut mempengaruhi nilai enthalpi pada titik tersebut. Nilai Q Kondensor yang sama pada *flowrate 7 l/m* dan *flowrate 8 l/m* pada variasi massa 446,5 gram (95%) ini disebabkan karena nilai temperatur *sub-cooling* yang sama pada kondisi operasi di *flowrate* tersebut.

Lalu untuk variasi massa refrigeran 470 gram (100%) nilai Q Kondensor terjadi kenaikan dibanding variasi massa sebelumnya dengan rincian pada *flowrate 6 l/m* 8,47% dengan nilai 233,253 kJ/kg; pada *flowrate 7 l/m* terjadi kenaikan 8,81% dengan nilai 233,253 kJ/kg; pada *flowrate 8 l/m* terjadi kenaikan 8,12% dengan nilai 231,776 kJ/kg. Kenaikan tersebut terjadi karena pada variasi massa refrigeran 470 gram (100%) terdapat penurunan nilai temperatur *sub-cooling* dibanding pada kondisi variasi massa sebelumnya. Serta kenaikan nilai temperatur *discharge* kompresor dibanding pada kondisi variasi massa sebelumnya Sehingga hal tersebut mempengaruhi nilai enthalpi pada titik tersebut. Nilai Q Kondensor yang sama pada *flowrate 6 l/m* dan *flowrate 7 l/m* pada variasi massa 470 gram (100%) ini disebabkan karena kesamaan nilai temperatur *sub-cooling* pada kondisi operasi di *flowrate* tersebut.



Gambar 6 Grafik Hubungan Q Kondensor Dalam kJ/kg Dengan Tiap Variasi Massa Refrigeran Pada Mode *Water Chiller*

#### 4. Kesimpulan

Pada penelitian yang telah dilakukan dihasilkan analisis Q Evaporator dan Q Kondensor pada empat variasi massa refrigeran *charge* yang telah dilakukan. Variasi massa refrigeran *charge* yang dilakukan terbukti menjadikan adanya perbedaan kapasitas penyerapan panas pada evaporator dan juga kapasitas pelepasan panas pada kondenser. Sehingga terjadi pergeseran atau perubahan temperatur *sub-cooling*, temperatur *superheat*, dan juga temperatur refrigeran pada saat keluar dari kompresor pada tiap-tiap variasi massa refrigeran. Hal tersebut tentunya mempengaruhi naik dan turunnya nilai enthalpi refrigeran.

#### Ucapan Terima Kasih

Terima kasih kepada Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya (PPNS) yang telah mendanai penelitian ini. Serta Terimakasih kepada seluruh pihak yang membantu dalam pelaksanaan penelitian ini.

#### Daftar Pustaka

- Berman, E.T. *et al.* (2019) 'Uji Performa Wall Mounted Split Air Conditioner Menggunakan Refrigeran Hc-290 Sebagai Pengganti Refrigeran Hcfc-22', *FLYWHEEL: Jurnal Teknik Mesin Untirta*, V(1), p. 94. Available at: <https://doi.org/10.36055/fwl.v0i0.5448>.
- Erham, E. (2018) 'Analisis Konsumsi Energi Listrik Pada Sistem Refrigerasi Cascade Akibat Perubahan Kecepatan Putaran Fan Kondenser', *Prosiding Nasional Rekayasa Teknologi Industri dan Informasi XIII*, 2018(November), pp. 254–258. Available at: <http://journal.stnas.ac.id/ReTII/>.
- Pratama, F.A. *et al.* (2021) 'Kajian kinerja sistem refrigerasi menggunakan refrigeran R32, R22 dan R1270 menggunakan REFPROP', *Prosiding The 12th Industrial Research Workshop and National Seminar*, pp. 472–477.
- Purnomo, B.C. and Waluyo, B. (2015) 'Optimalisasi penggunaan refrigeran musicool untuk meningkatkan performa

sistem refrigerasi kompresi uap dengan variabel katup ekspansi’, *Semnastek Universitas Muhammadiyah Jakarta*, (November), pp. 1–7. Available at: <https://jurnal.umj.ac.id/index.php/semnastek/article/view/473>.  
Sutandi, T. *et al.* (2020) ‘Experimental Study of R32 as a Retrofit for R410A Refrigerant in a Residential Air Conditioner’, 198(Issat), pp. 167–170. Available at: <https://doi.org/10.2991/aer.k.201221.029>.