

# Analisis komparatif pengaruh *retrofitting* refrigeran HCFC:R22 konversi HC:MC22 pada mesin refrigerasi kompresi uap *single stage*

Aji Triana\*, Agung Wahyudi Biantoro

Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Mercu Buana, Indonesia

## Article Info

### Article history

Received Jan 20, 2021

Revised December 7, 2021

Accepted December 10, 2021

### Keywords

Refrigeran;  
Refrigeration;  
R22;  
MC22;  
COP

## ABSTRACT

Each refrigerant can affect the different refrigeration and performance coefficients, from previous research has published. Until now, there are still many users of HCFC: R22 refrigerants in air conditioning systems, so research is continuing to make a refrigerant that can replace HCFC: R22 refrigerants, HC: MC-22 refrigerants can replace HCFC: R22 synthetic refrigerants. This study aims to see the effect on the use of these refrigerants through retrofitting on refrigeration machines of the type of unit AC-Split which are expected to measure the performance, energy consumption and cooling rate of these types of refrigerants, as well as to determine the type of refrigerant. The results showed that the compressor discharge pressure had a significant effect on performance / COP (Coefficient of Performance) with the average obtained for the use of refrigerant R22 of 6.61 and MC22 of 7.54. Then there is a significant effect on energy consumption with the average obtained by using R22 refrigerant of 131.1 W·h and MC22 of 115.7 W·h, while there is no significant effect on the rate of cooling in door (evaporator temperature) with an average obtained when using R22 is 22.71 °C and MC22 is 21.77 °C. In the 60th minute, the COP obtained by refrigerant R22 is 5.8 and MC22 is 7.1, then consume the energy used by the refrigerant R22 264.0 W·h and MC22 of 231.0 W·h and temperature measurement in door (evaporator) refrigerant R22 at 20.20 °C and MC22 at 19.90 °C.

This is an open access article under the [CC BY-SA 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/) license.



### \*Corresponding Author

Aji Triana

Jurusan Teknik Mesin,

Universitas Mercu Buana,

Jl. Meruya Selatan No. 1, Kembangan, Jakarta Barat 11650, Indonesia

Email: ajitriana.at@gmail.com

## 1. PENDAHULUAN

Perkembangan dan kemajuan teknologi seiring dengan kemajuan ilmu pengetahuan, salah satu bentuk dari kemajuan teknologi ialah mesin refrigerasi atau mesin pendingin yang pada umumnya digunakan untuk mendinginkan suatu ruangan (*air conditioning*) dan mengawetkan makanan. Mesin refrigerasi (*refrigerator*) merupakan suatu pesawat atau rangkaian mesin yang mampu menghasilkan temperatur rendah [1]. Penggunaan peralatan refrigerasi dan tata udara (*Refrigeration and Air Conditioning*) RAC terus meningkat, perkiraan konsumsi energi sektor ini mencapai 81,8 TWh tahun 2015 setara 41% penjualan listrik nasional tahun 2015 dengan pengguna didominasi oleh AC-Split sebesar 56% dan kulkas rumah tangga sebesar 18% dari total konsumsi energi sektor RAC pada tahun 2015 dan diproyeksikan mencapai 149,4 TWh pada tahun 2030 untuk skenario *Business as Usual* (BAU) [2].

Dari hasil audit di salah satu Hotel Jakarta, penggunaan energi listrik didominasi oleh sistem tata udara (*air conditioning*) mencapai 67% dari total penggunaan energi listrik, kemudian penghematan dapat dilakukan dengan penggunaan refrigeran R410 atau R32 pada AC-Inverter untuk menggantikan refrigeran R22 pada beberapa unit AC-Split yang telah dipasang [3]. Refrigeran merupakan fluida kerja yang bersirkulasi dalam siklus refrigerasi yang dapat menimbulkan efek pendinginan dan pemanasan pada mesin refrigerasi [4].

Pada penelitian sebelumnya menyatakan bahwa konsumsi energi listrik pada sistem tata udara tergantung pada jenis media pendingin yang digunakan, refrigeran R22 digantikan Smart-trik pada AC (stu-AC) menunjukkan penghematan konsumsi energi listrik sebesar 19,5% untuk kapasitas unit AC sebesar 0,746 kW sampai 3,728 kW [5]. Kemudian pada penelitian perbandingan kinerja menggunakan refrigeran R134a dan R404a pada mesin *bar ice cream* dengan metode penelitian eksperimental, hasil menunjukkan pada penggunaan refrigeran R134a hasil COP (*Coefficient of Performance*) yang diperoleh adalah 2,93 dan penggunaan refrigeran R404a hasil COP yang diperoleh adalah 2,03 [6].

Hinga saat ini masih banyak penggunaan dari refrigeran R22 pada sistem pengkondisian udara, sehingga penelitian terus dilakukan untuk membuat media pendingin yang dapat menggantikannya, karena dapat menyebabkan kerusakan lapisan ozon [7]. Musicool (MC22) mampu menggantikan refrigeran sintetik R22 dan lebih ramah lingkungan serta *retrofitting* pada mesin tidak membutuhkan penyesuaian perangkat keras dan pelumas [8].

Berdasarkan latar belakang di atas dan penelitian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa meningkatnya penggunaan peralatan refrigerasi dan tata udara akan mempengaruhi penggunaan listrik nasional, potensi penghematan pada peralatan tata udara dapat dilakukan dengan penggunaan pada jenis refrigeran R410 dan refrigeran R32 untuk menggantikan refrigeran R22, karena setiap jenis refrigeran akan mempengaruhi efek pendinginan (refrigerasi) dan koefisien prestasi yang dihasilkan, refrigeran Musicool (MC22) mampu menggantikan refrigeran sintetik R22.

Untuk mengetahui perbedaan pengaruh dari penggunaan refrigeran R22 dan penggunaan refrigeran MC22, maka dalam penelitian ini akan dilakukan analisis dan eksperimen pada mesin refrigerasi melalui *retrofitting*. Oleh karena itu, penelitian ini diharapkan dapat mengetahui perbedaan performansi, konsumsi energi listrik dan laju pendinginan dari jenis refrigeran tersebut serta pertimbangan dalam menentukan jenis refrigeran tersebut.

## 2. METODOLOGI PENELITIAN

### 2.1. Objek Penelitian

Objek dalam penelitian mesin refrigerasi, dengan melakukan *retrofitting* refrigeran R22 digantikan dengan MC22. Penelitian ini akan dilaksanakan di Rumah Pribadi dengan alat uji unit AC-Split daya listrik 310 Watt dan tegangan 220 Volt.

### 2.2. Metode dan Pendekatan

Penelitian menggunakan metode penelitian eksperimental (*experimental research*), dilakukan secara sistematis dengan melakukan pengamatan dan pengukuran terhadap objek penelitian serta pendekatan analitis termodinamika dengan beberapa parameter yang telah ditentukan.

### 2.3. Desain Penelitian

Penelitian menggunakan desain *pra-eksperimental* dengan jenis *One group pretest-posttes design*, yaitu melakukan pengukuran menggunakan satu kelompok sampel (*pretest*), kemudian memberikan perlakuan (*retrofitting*) dalam periode yang berlainan dan melakukan pengukuran kedua (*posttes*) serta membandingkan pengaruh dari sebelum (*pretest*) dan sesudah *retrofit* (*posttes*) dengan pola tabel, seperti yang ditunjukkan pada Tabel 1 berikut.

**Tabel 1:** Pola Penelitian

SUBJEK	PRETEST	TREATMENT	POSTTEST
R	O <sub>1</sub>	X <sub>1</sub>	O <sub>2</sub>

dimana:

R = *Subject* (kelompok kontrol dan kelompok eksperimen)

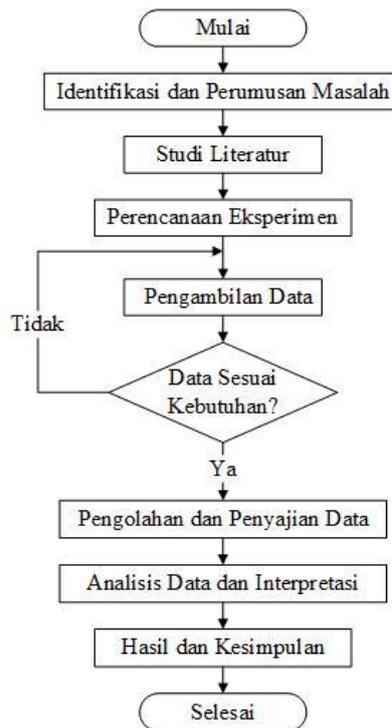
X<sub>1</sub> = Variabel bebas (*independent variable*) *retrofitting* R22 ke MC22

O<sub>1</sub> = Variabel terikat (*dependent variable*) observasi penggunaan R22

O<sub>2</sub> = Variabel terikat (*dependent variable*) observasi penggunaan M22

### 2.4. Sistematika Penelitian

Sistematika penelitian merupakan hal penting dalam sebuah penelitian yang menunjukkan alur proses dalam penyelesaian suatu tujuan penelitian, alur proses pada penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 1 berikut.



**Gambar 1:** *Flowchart Penelitian*

#### 2.4.1. Identifikasi dan Perumusan Masalah

Tahapan mengidentifikasi suatu masalah, berupa masalah yang relevan dan layak dikaji, kemudian membatasi masalah yang akan diteliti untuk dapat disimpulkan menjadi poin-poin perumusan masalah sebagai dasar utama untuk menentukan tujuan penelitian dan membentuk kerangka pikir.

#### 2.4.2. Studi Literatur

Melakukan studi literature dengan berbagai kegiatan meliputi; browsing internet, jurnal, buku, dan laporan penelitian terdahulu yang berkaitan dengan tema penelitian.

#### 2.4.3. Perencanaan Eksperimen

Perencanaan eksperimen tidak lepas dari proses studi literatur, penulis mempelajari landasan teori yang berkaitan dengan tema yang dibahas, menentukan metode, teknik pengambilan data, menentukan parameter atau titik pengukuran yang diperlukan untuk pengolahan data dan analisis, menentukan tempat dan objek penelitian serta alat dan bahan yang dibutuhkan.

#### 2.4.4. Pengambilan Data

Data primer yang diperoleh melalui pengukuran dalam bentuk angka atau bilangan dalam skala interval (numerik), dilakukan secara bergantian dimulai dari mesin pendingin refrigeran R22, kemudian melakukan pengamatan dan pengukuran, selanjutnya *retrofitting* mengganti R22 dengan MC22 dan melakukan pengambilan data dengan langkah yang sama.

#### 2.4.5. Pengolahan dan Penyajian Data

Proses ini dimaksudkan untuk memperoleh data ringkasan atau data yang dibutuhkan, data hasil pengukuran nantinya digunakan untuk menghitung besaran: performansi, konsumsi energi dan laju pendinginan dengan pendekatan teori dan rumus perhitungan yang telah didapat dari literatur. Pengolahan data menggunakan bantuan perangkat lunak Microsoft Excel dan *Coolpack*.

#### 2.4.6. Analisis dan Interpretasi

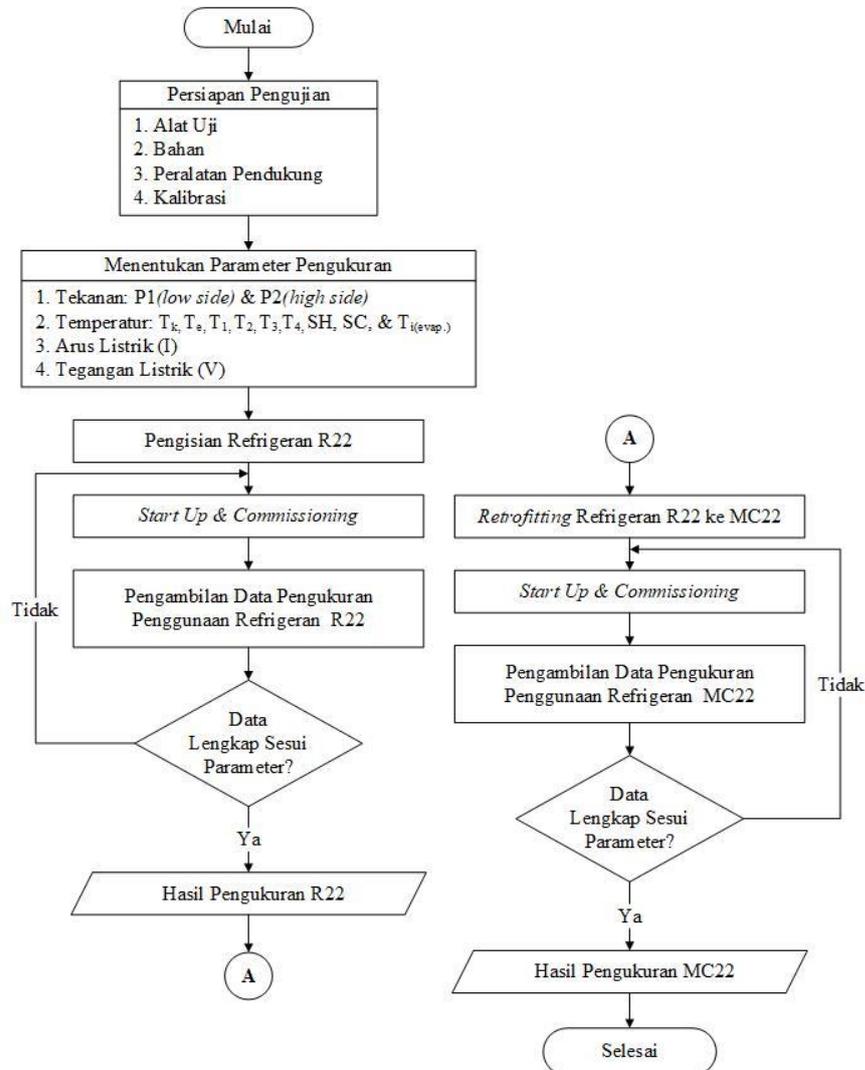
Proses yang paling penting dalam pemecahan masalah, data statistik dari masing-masing refrigeran dibandingkan, langkah awal dalam tahapan ini ialah menentukan alat uji statistik yang sesuai dengan jenis data statistik yang diperoleh, proses analisis data penulis menggunakan program komputer SPSS statistik.

### 2.4.7. Kesimpulan dan Saran

Proses penarikan kesimpulan dari hasil penelitian yang berupa pernyataan yang dapat digunakan sebagai bahan pertimbangan bagi penulis ataupun pembaca laporan ini, serta saran dan rekomendasi untuk penelitian selanjutnya.

### 2.5. Alur Proses Pengambilan Data

Pengambilan data dilakukan untuk mendapatkan informasi yang dibutuhkan, alur proses pengambilan data pada penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 2 berikut.



**Gambar 2:** Flowchart Pengambilan Data

#### 2.5.1. Persiapan Penguji-an

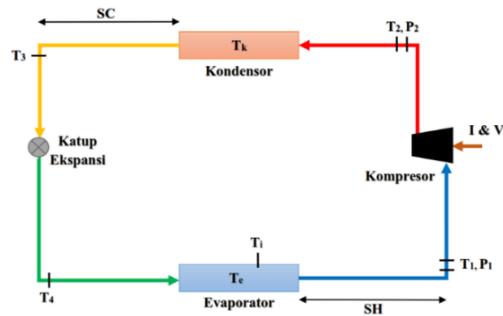
Langkah awal dalam pengambilan data ialah menyiapkan kebutuhan pelaksanaan eksperimen, seperti yang ditunjukkan pada Tabel 2 berikut.

**Tabel 2:** Pola Penelitian

<b>Tempat Penelitian</b>	<b>Rumah pribadi</b>
<b>Alat Uji</b>	Mesin pendingin jenis AC Split 310 W 220 V
<b>Bahan</b>	Refrigeran R22 dan Refrigeran M22
<b>Alat Penunjang</b>	Digital Manifold DSZH tipe WK-6889-L, Manifold Gauge, Pompa Vacuum, Clamp Meter, Thermocouple, Stopwatch dan set Toolbox

#### 2.5.2. Parameter Pengukuran

Berikut merupakan titik pengukuran seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.



**Gambar 3:** Titik Pengukuran

dimana:

$P_1$  = Tekanan absolut *suction* (*high side*) (MPa) (hasil konversi Psi g atau Bar g)

$P_2$  = Tekanan absolut *discharge* (*low side*) (MPa) (hasil konversi Psi g atau Bar g)

$T_c$  = Temperatur refrigeran evaporasi ( $^{\circ}\text{C}$ ) (hasil konversi  $P_1$ )

$T_e$  = Temperatur refrigeran kondensasi ( $^{\circ}\text{C}$ ) (hasil konversi  $P_2$ )

$T_1$  = Temperatur pipa akhir *evaporator* (*suction*) ( $^{\circ}\text{C}$ )

$T_2$  = Temperatur pipa *inlet* kondensator (*discharge*) ( $^{\circ}\text{C}$ )

$T_3$  = Temperatur pipa akhir kondensator ( $^{\circ}\text{C}$ )

$T_4$  = Temperatur pipa *inlet* evaporator ( $^{\circ}\text{C}$ )

$I$  = Kuat arus listrik (A)

$V$  = Tegangan listrik (V)

$T_i$  = Temperatur *indoor* (*evaporator*) ( $^{\circ}\text{C}$ )

SH = Temperatur *superheating* ( $\text{SH} = T_1 - T_c$ ) dalam K (temp. absolut Celsius)

SC = Temperatur *subcooling* ( $\text{SC} = T_c - T_3$ ) dalam K (temp. absolut Celsius)

### 2.5.3. Pengosongan dan Pengisian Refrigeran R22

Sebelum melakukan pengosongan dan pengisian refrigeran, perlunya pengetahuan pentingnya Keselamatan dan Kesehatan Kerja (K3) dalam praktek kerja ini. Salah satunya dengan menerapkan APD (alat pelindung diri) saat melakukan proses ini seperti penggunaan masker, kacamata dan sarung tangan. Pengosongan atau *evacuating* (*vacuum system*) yang bertujuan untuk mengosongkan sistem dari udara dan uap air dengan cara menurunkan tekanan dibawah 1 atm. Kemudian melakukan pengisian refrigeran dengan tekanan 200 Psig (tekanan *discharge* kompresor)

### 2.5.4. Pengambilan Data

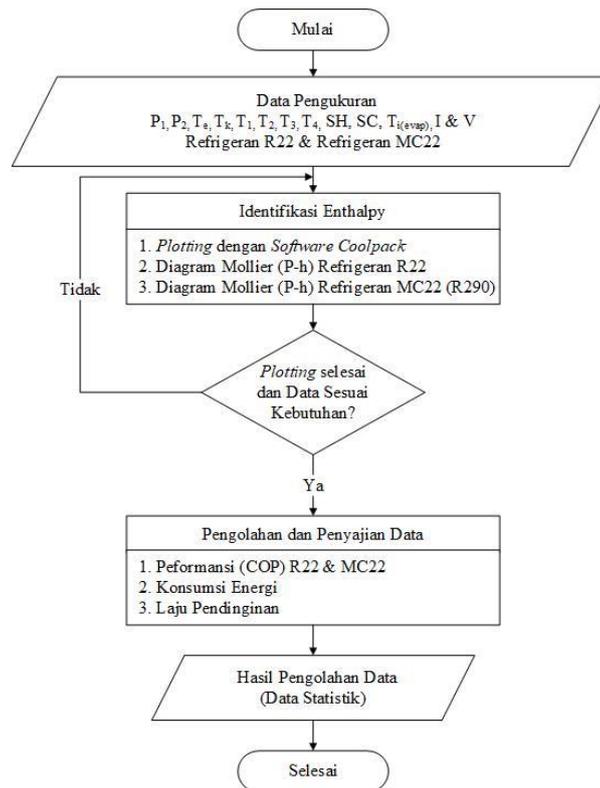
Sebelum melakukan pengambilan data, pastikan mesin beroperasi dengan baik, pasang alat ukur sesuai titik pengukuran dan data diambil 13 kali selama 60 menit dari *start up* mesin, pengambilan data dilakukan dalam kurun waktu 5 menit mencatat dari hasil pengukuran.

### 2.5.5. Retrofitting R22 Ke MC22

*Retrofitting* atau proses penggantian refrigeran dari R22 digantikan dengan refrigeran MC22, proses ini meliputi proses *recovery*, pengosongan atau *evacuating* (*vacuum system*), dan pengisian refrigeran MC22 serta pengambilan data dengan langkah yang sama seperti pada saat pengambilan data refrigeran R22.

## 2.6. Alur Proses Pengolahan dan Penyajian Data

Dalam proses ini dimaksudkan untuk memperoleh data ringkasan atau data yang dibutuhkan, alur proses tersebut ditunjukkan pada Gambar 3 berikut.



**Gambar 3:** Flowchart Pengolahan Data

### 2.6.1. Data Hasil Pengukuran

Data hasil pengukuran yang berupa nilai tekanan  $P_1$  (*low side*) dan  $P_2$  (*high side*), temperatur ( $T_e$ ,  $T_k$ ,  $T_1$ ,  $T_2$ ,  $T_3$ ,  $T_4$ ,  $SH$ ,  $SC$ , dan  $T_{indoor(evaporator)}$ ) arus listrik ( $I$ ) serta tegangan listrik ( $V$ ).

### 2.6.2. Identifikasi Nilai Entalpi

Untuk mempermudah dan agar lebih akurat dalam proses mencari nilai entalpi penulis menggunakan bantuan perangkat lunak yaitu *software Coolpack Version 1.49*. Diagram P-h untuk refrigeran R22 menggunakan property R22 dan refrigeran MC22 menggunakan R290, karena penomoran standar international MC22 memakai R290 dengan komposisi bahan terbesar dari refrigeran jenis MC22 yaitu propane ( $C_3H_8$ ). Parameter untuk menentukan nilai entalpi dengan menggunakan *software Coolpack* ialah dengan menginput besaran temperatur evaporasi ( $T_e$ ) dan temperatur kondensasi ( $T_k$ ), serta temperatur superheat ( $SH$ ) dan subcooling ( $SC$ ) yang terjadi pada sistem ( $SH$  dan  $SC$  dalam satuan absolut Celsius yaitu Kelvin).

Nilai entalpi ( $h_1$ ,  $h_2$ ,  $h_3$ , dan  $h_4$ ) dari masing masing refrigeran direkap dalam tabel, dengan notasi sebagai berikut:

$h_1$  = Entalpi refrigeran *in* kompresor (kJ/kg)

$h_2$  = Entalpi refrigeran *out* kompresor (kJ/kg)

$h_3$  = Entalpi refrigeran *out* kondensor (kJ/kg)

$h_4$  = Entalpi refrigeran *in evaporator* (kJ/kg)

### 2.6.3. Pengolahan dan Penyajian Data

Dalam proses pengolahan data meliputi beberapa proses perhitungan, untuk mempermudah dalam pengolahan data penulis menggunakan bantuan perangkat lunak Microsoft Excel, *Coolpack*

#### 1. Analisis Performansi/COP (*Coefficient of Performance*)

Dalam proses ini penulis menggunakan bantuan perangkat lunak Microsoft Excel dengan dasar rumus perhitungan sebagai berikut:

- a) Menghitung kerja kompresor [9]:

$$W_c = h_2 - h_1 \text{ (kJ/kg)} \quad (2.1)$$

b) Menghitung efek refrigrasi [9]:

$$Q_e = h_1 - h_4 \text{ (kJ/kg)} \quad (2.2)$$

c) Menghitung  $COP_{ref}$  (Coefficient of Performance) [9]:

$$COP_{ref} = \frac{\text{Efek Refrigerasi}}{\text{Kerja Kompresor}} = \frac{Q_e}{W_C} = \frac{h_1 - h_4}{h_2 - h_1} \quad (2.3)$$

## 2. Analisa Konsumsi Energi

Dalam proses analisis konsumsi energi menggunakan bantuan perangkat lunak yaitu Microsoft Excel dengan parameter data pengukuran kuat arus listrik (I), tegangan listrik (V) dan waktu pemakaian (s) dan menggunakan dasar rumus perhitungan sebagai berikut [10].

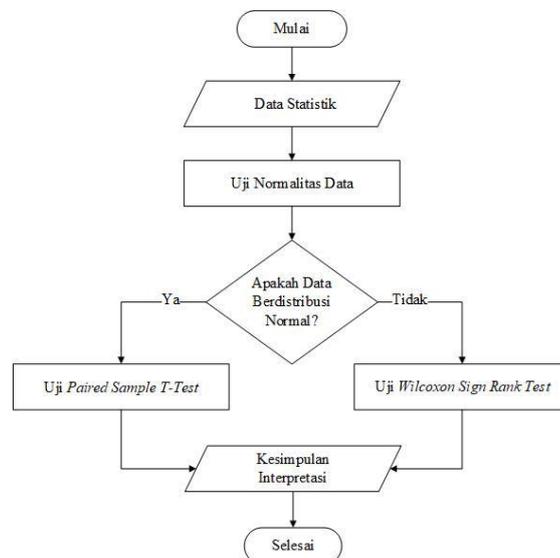
$$W = P \cdot t \text{ (W} \cdot \text{h)}, \text{ dimana } P = V \cdot I \text{ (Watt)} \quad (2.4)$$

## 3. Laju Pendinginan

Dari hasil pengukuran temperatur *indoor* (evaporator) di titik  $T_i$  (temperatur *indoor*) diinputkan ke dalam tabel dengan bantuan perangkat lunak Microsoft Office, dari tabel yang telah dibuat nantinya dapat mengetahui perubahan temperatur atau *trend* dari laju pendinginan yang terjadi.

### 2.7. Alur Proses Analisis Data

Proses ini merupakan penentuan atau proses yang paling penting dalam penelitian sebagai pemecahan masalah. Dengan berpedoman pada tabel uji hipotesis dan beberapa parameter pada penelitian ini yang meliputi: skala pengukuran interval (numerik), hipotesis komparatif, terdapat 2 kelompok (kelompok kontrol dan eksperimen) dan kedua kelompok perpasangan dapat disimpulkan alat uji dalam penelitian ini merujuk pada alat uji t-test berpasangan/*paired sample t-test* jika memenuhi kriteria (data numerik dan berdistribusi normal. Bila tidak memenuhi kriteria, maka digunakan uji alternatifnya yaitu uji *wilcoxon* [11]. Berikut merupakan langkah-langkah analisis pada penelitian ini yang di tunjukan pada Gambar 4.



Gambar 4: Titik Pengukuran

#### 2.7.1. Data Statistik Penelitian

Proses pengolahan data didapat data statistik dari masing masing refrigeran yang disajikan dalam bentuk tabel meliputi besaran performansi, konsumsi energi, dan laju pendinginan, data tersebut nantinya akan dibandingkan dengan menggunakan alat uji statistik

#### 2.7.2. Uji Normalitas

Uji normalitas adalah suatu prosedur untuk mengetahui apakah data berasal dari populasi yang terdistribusi normal atau berada dalam sebaran normal, jika analisis menggunakan metode parametrik, maka data berasal dari distribusi yang normal. Jika data tidak berdistribusi normal maka menggunakan metode statistik non parametrik [12].

Cara yang dapat dilakukan dalam uji normalitas data, salah satunya ialah menggunakan metode one sample kolmogorov-smirnov test, metode yang digunakan untuk menguji normalitas data yang berasal dari satu sample, yang artinya terdapat dua pada satu sampel [13].

Prosedure analisis statistik uji normalitas *One Kolmogorov-Smirnov Test* menggunakan SPSS yaitu dengan langkah analisis: *Analyze*⇒*Nonparametrics Test*⇒*1 Sample K-S* [14].

### 2.7.3. Uji Paired Sample T-Test

*Paired Sample T-Test* bertujuan untuk menguji dua sampel yang berpasangan, untuk menganalisis apakah kedua sampel yang berhubungan tersebut mempunyai rata-rata yang secara nyata berbeda atau tidak, sampel yang berpasangan diartikan sebagai sampel dengan subjek yang sama, tetapi mengalami dua perlakuan yang berbeda [15].

Prosedure analisis statistik Paired Sample T-Test menggunakan SPSS yaitu dengan langkah analisis: *Analyze*⇒*Compare Means*⇒*Paired Sample T-Test* [14].

### 2.7.4. Uji Wilcoxon Sign Rank Test

*Wilcoxon Sign Rank Test* bertujuan untuk menganalisis data pada dua kelompok sampel yang berkaitan, termasuk kasus sebelum dan sesudah, yang mana orang atau subjek diamati pada kondisi yang berbeda atau dari sebuah populasi diambil dua sampel yang berbeda namun mirip satu dengan yang lain dan diberi dua perlakuan yang berbeda [15].

Prosedure analisis statistik Wilcoxon Sign Rank Test menggunakan SPSS yaitu dengan langkah analisis: *Analyze*⇒*Nonparametrics Test*⇒*Legacy Dialogs*⇒*2 Related Samples*⇒*Wilcoxon* [14].

### 2.7.5. Kesimpulan dan Interpretasi

Dari proses analisis data statistik nantinya dapat disimpulkan berupa pernyataan yang merupakan suatu jawaban dari tujuan penelitian ini

## 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

### 3.1. Hasil Pengukuran dan Pengolahan Data

#### 3.1.1. Data Hasil Pengukuran

Dari proses pengambilan data yang telah dilakukan, didapat data berupa tekanan P1, (*low side*) dan P2 (*high side*), temperatur (Te, Tk, T1, T2, T3, T4, SH, SC, dan *Tindoor*), arus listrik (I) data tegangan listrik (V) pada masing-masing refrigeran yang ditunjukkan pada Tabel 3 dan Tabel 4 berikut.

**Tabel 3:** Hasil Pengukuran Refrigeran R22

Mnt Ke	Pressure (MPa)		Temperatur (°C)							Temperatur (K)		Arus (A)	Volt (V)
	P <sub>1</sub>	P <sub>2</sub>	T <sub>e</sub>	T <sub>k</sub>	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>	T <sub>4</sub>	T <sub>i</sub>	SH	SC	I	V
1	0,93	1,41	20,73	36,63	35,5	35,1	31,3	29,1	27,0	14,77	5,33	1,20	220
5	0,60	1,47	6,11	38,18	27,5	52,2	36,5	12,9	23,1	21,39	1,68	1,15	220
10	0,60	1,52	6,11	39,68	27,6	53,8	37,3	13,4	22,6	21,49	2,38	1,17	220
15	0,61	1,51	6,48	39,49	27,0	54,8	36,9	13,4	22,0	20,52	2,59	1,17	220
20	0,60	1,50	6,11	39,12	27,0	55,4	36,9	13,4	21,8	20,89	2,22	1,17	220
25	0,61	1,50	6,48	39,12	26,7	56,1	36,4	13,3	21,5	20,22	2,72	1,17	220
30	0,61	1,54	6,48	40,05	26,4	56,1	37,2	13,4	21,3	19,92	2,85	1,20	220
35	0,60	1,52	6,11	39,68	26,3	56,3	37,0	13,2	20,8	20,19	2,68	1,18	220
40	0,60	1,50	5,74	39,12	26,3	56,1	36,6	12,9	20,7	20,56	2,52	1,18	220
45	0,60	1,51	6,11	39,49	26,4	56,4	37,0	13,0	20,5	20,29	2,49	1,19	220
50	0,60	1,52	6,11	39,68	26,5	57,6	37,2	13,0	20,3	20,39	2,48	1,20	220
55	0,60	1,51	5,74	39,49	26,4	56,2	37,0	12,9	20,3	20,66	2,49	1,20	220
60	0,60	1,54	5,74	40,05	26,6	57,9	37,6	12,8	20,2	20,86	2,45	1,20	220

**Tabel 4:** Hasil Pengukuran Refrigeran M22

Mnt Ke	Pressure (MPa)		Temperatur (°C)				Temperatur (K)		Arus (A)	Volt (V)			
	P <sub>1</sub>	P <sub>2</sub>	T <sub>e</sub>	T <sub>k</sub>	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>	T <sub>4</sub>	T <sub>i</sub>	SH	SC	I	V
1	0,85	1,38	20,74	40,23	31,0	<b>38,2</b>	35,6	26,8	26,9	10,26	4,63	0,98	220
5	0,71	1,47	13,81	42,99	27,4	46,3	40,1	18,1	23,7	13,59	2,89	1,09	220
10	0,74	1,54	15,21	45,03	26,7	49,0	41,1	19,6	23,2	11,49	3,93	1,10	220
15	0,74	1,52	15,55	44,63	26,6	50,0	41,1	19,7	22,6	11,05	3,53	1,06	220
20	0,75	1,55	15,89	45,43	26,3	50,2	41,9	20,1	21,8	10,41	3,53	1,06	220
25	0,74	1,51	15,55	44,43	26,3	50,4	41,1	19,8	21,6	10,75	3,33	1,05	220
30	0,74	1,52	15,55	44,63	26,3	50,2	41,4	19,9	21,0	10,75	3,23	1,08	220
35	0,74	1,50	15,55	44,02	26,2	49,9	40,8	19,6	20,8	10,65	3,22	1,04	220
40	0,74	1,50	15,21	44,02	26,3	50,4	41,2	19,6	20,6	11,09	2,82	1,04	220
45	0,74	1,51	15,21	44,43	26,1	50,8	41,0	19,5	20,5	10,89	3,43	1,04	220
50	0,74	1,51	15,21	44,43	25,7	50,4	41,3	19,4	20,3	10,49	3,13	1,03	220
55	0,73	1,50	14,86	44,02	26,1	50,2	41,3	19,2	20,2	11,24	2,72	1,05	220
60	0,74	1,52	15,21	44,63	25,7	50,4	41,0	19,3	19,9	10,49	3,63	1,05	220

### 3.1.2. Data Nilai Entalpi

Proses *plotting* diagram P-h masing-masing refrigeran menggunakan *software Coolpack* dengan parameter temperatur evaporasi (T<sub>e</sub>) dan temperatur kondensasi (T<sub>k</sub>), serta temperatur *superheat* (SH) dan *subcooling* (SC) didapat nilai entalpi (h<sub>1</sub>, h<sub>2</sub>, h<sub>3</sub> dan h<sub>4</sub>) yang telah direkap dalam Tabel 5 berikut ini.

**Tabel 5:** Nilai Entalpi Refrigeran R22 dan MC22

Menit ke	Entalpi R22 (kJ/kg)			Entalpi MC22 (kJ/kg)		
	h <sub>1</sub>	h <sub>2</sub>	h <sub>3</sub> =h <sub>4</sub>	h <sub>1</sub>	h <sub>2</sub>	h <sub>3</sub> =h <sub>4</sub>
1	424,1	437,0	238,3	615,3	643,1	292,7
5	423,4	452,1	245,1	614,0	657,1	305,2
10	423,5	453,5	246,1	611,6	654,6	308,1
15	422,9	452,2	245,6	611,1	652,9	308,1
20	423,0	452,5	245,6	610,3	652,5	310,4
25	422,7	451,7	244,9	610,5	652,0	308,1
30	422,5	452,2	246,0	610,5	652,3	308,9
35	422,5	452,3	245,7	610,3	651,3	307,2
40	422,6	452,4	245,2	610,8	652,4	308,4
45	422,6	452,2	245,7	610,4	652,5	307,8
50	422,7	452,5	246,0	609,6	651,6	308,7
55	422,7	452,8	245,7	610,7	652,9	308,7
60	422,8	453,4	246,5	609,6	651,9	307,8

### 3.1.3. Data Performansi (*Coefficient of Performance*)

Dari proses pengolahan data didapat besaran-besaran kerja kompresi, efek refrigerasi dan performansi/COP<sub>ref</sub> pada masing-masing refrigeran yang ditunjukkan pada Tabel 6 dan Tabel 7 berikut.

**Tabel 6:** Nilai *Coefficient of Performance* Refrigeran R22

Menit ke	Entalpi (kJ/kg)			Efek Refrigerasi (Qe) (kJ/kg)	Kerja Kompresi (Wc)(kJ/kg)	Performansi (COP)
	h <sub>1</sub>	h <sub>2</sub>	h <sub>3</sub> =h <sub>4</sub>	(h <sub>1</sub> -h <sub>4</sub> )	(h <sub>2</sub> -h <sub>1</sub> )	(Qe/Wc)
1	424,1	437,0	238,3	185,7	12,9	14,38
5	423,4	452,1	245,1	178,3	28,7	6,21
10	423,5	453,5	246,1	177,4	30,0	5,91
15	422,9	452,2	245,6	177,3	29,3	6,05
20	423,0	452,5	245,6	177,4	29,4	6,03
25	422,7	451,7	244,9	177,8	29,0	6,14
30	422,5	452,2	246,0	176,5	29,7	5,94
35	422,5	452,3	245,7	176,8	29,8	5,93
40	422,6	452,4	245,2	177,4	29,8	5,96
45	422,6	452,2	245,7	176,9	29,7	5,96
50	422,7	452,5	246,0	176,7	29,8	5,92
55	422,7	452,8	245,7	177,0	30,1	5,88
60	422,8	453,4	246,5	176,3	30,6	5,77

Tabel 7: Nilai *Coefficient of Performance* Refrigeran M22

Menit ke	Entalpi (kJ/kg)			Efek Refrigerasi (Qe) (kJ/kg)	Kerja Kompresi (Wc)(kJ/kg)	Performansi (COP)
	h <sub>1</sub>	h <sub>2</sub>	h <sub>3</sub> =h <sub>4</sub>	(h <sub>1</sub> -h <sub>4</sub> )	(h <sub>2</sub> -h <sub>1</sub> )	(Qe/Wc)
1	615,3	643,1	292,7	322,6	27,7	11,63
5	614,0	657,1	305,2	308,8	43,1	7,17
10	611,6	654,6	308,1	303,5	43,0	7,06
15	611,1	652,9	308,1	303,0	41,8	7,24
20	610,3	652,5	310,4	299,9	42,2	7,11
25	610,5	652,0	308,1	302,4	41,5	7,29
30	610,5	652,3	308,9	301,6	41,8	7,22
35	610,3	651,3	307,2	303,1	40,9	7,40
40	610,8	652,4	308,4	302,4	41,6	7,27
45	610,4	652,5	307,8	302,6	42,1	7,19
50	609,6	651,6	308,7	301,0	42,0	7,17
55	610,7	652,9	308,7	302,0	42,2	7,16
60	609,6	651,9	307,8	301,8	42,2	7,15

### 3.1.4. Data Konsumsi Energi

Dari proses pengolahan data didapat besaran konsumsi energi atau energi listrik yang terpakai (W) pada mesin refrigerasi dengan masing-masing penggunaan refrigeran yang ditunjukkan pada Tabel 8 dan Tabel 9 berikut.

Tabel 8: Nilai Konsumsi Energi Listrik Refrigeran R22

Menit ke	Arus(A)	Volt (V)	Daya (Watt)	Pemakaian (s)	Konsumsi Energi (W·h)
	I	V	(V · I)	t	(V · I · (t/60/60))
1	1,20	220	264,0	60	4,40
5	1,15	220	253,0	300	21,08
10	1,17	220	257,4	600	42,90
15	1,17	220	257,4	900	64,35
20	1,17	220	257,4	1200	85,80
25	1,17	220	257,4	1500	107,25
30	1,20	220	264,0	1800	132,00
35	1,18	220	259,6	2100	151,43
40	1,18	220	259,6	2400	173,07
45	1,19	220	261,8	2700	196,35
50	1,20	220	264,0	3000	220,00
55	1,20	220	264,0	3300	242,00
60	1,20	220	264,0	3600	264,00

**Tabel 9:** Nilai Konsumsi Energi Listrik Refrigeran MC22

Menit ke	Arus(A)	Volt (V)	Daya (Watt)	Pemakaian (s)	Konsumsi Energi (W·h)
	I	V	(V · I)	t	(V · I · (t/60/60))
1	0,98	220	215,6	60	3,59
5	1,09	220	239,8	300	19,98
10	1,10	220	242,0	600	40,33
15	1,06	220	233,2	900	58,30
20	1,06	220	233,2	1200	77,73
25	1,05	220	231,0	1500	96,25
30	1,08	220	237,6	1800	118,80
35	1,04	220	228,8	2100	133,47
40	1,04	220	228,8	2400	152,53
45	1,04	220	228,8	2700	171,60
50	1,03	220	226,6	3000	188,83
55	1,05	220	231,0	3300	211,75
60	1,05	220	231,0	3600	231,00

### 3.1.5. Data Laju Pendinginan

Laju pendinginan merupakan perubahan temperatur pada *indoor (evaporator)*, dengan parameter hasil pengukuran ( $T_i$ ), efek laju pendinginan yang terjadi pada penggunaan masing-masing refrigeran yang direkap dalam Tabel 10 berikut.

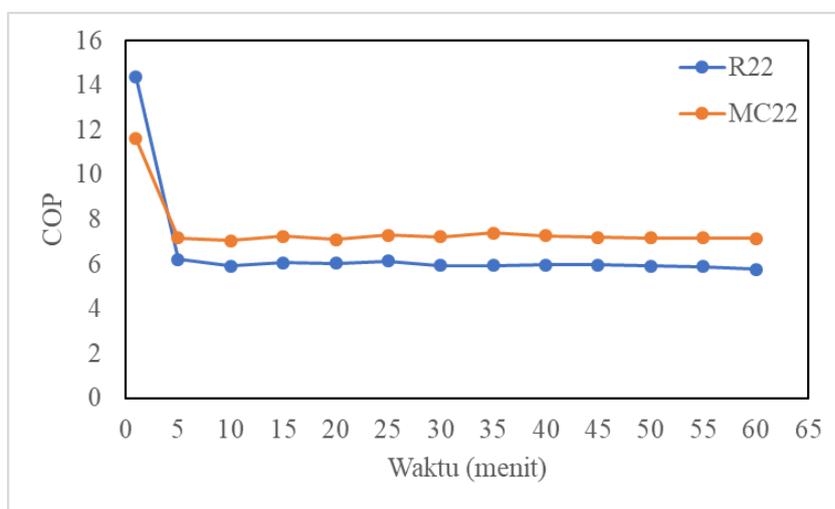
**Tabel 10:** Hasil Pengukuran Temperatur Laju Pendinginan R22 dan MC22

Menit ke	Laju Pendinginan Indoor (evaporator) ( $^{\circ}\text{C}/\text{mnt}$ )	
	(Ti) R22	(Ti) MC22
1	27,0	26,9
5	23,1	23,7
10	22,6	23,2
15	22,0	22,6
20	21,8	21,8
25	21,5	21,6
30	21,3	21,0
35	20,8	20,8
40	20,7	20,6
45	20,5	20,5
50	20,3	20,3
55	20,3	20,2
60	20,2	19,9

### 3.2. Pembahasan

#### 3.2.1. Pembahasan Perbandingan Performansi (COP)

COP (*Coefficient of Performance*) merupakan salah satu indikator untuk menentukan kerja dari sistem refrigerasi. Pada Gambar 5 menunjukkan grafik statistik hasil pencapaian nilai COP berdasarkan periode waktu dari penggunaan refrigeran R22 dan MC22 pada penelitian ini. Kemudian pada Gambar 6 menunjukkan hasil analisis *Wilcoxon Sign Rank Test* menggunakan SPSS.



**Gambar 5:** Grafik Statistik COP Terhadap Waktu

<b>Wilcoxon Sign Rank Test</b>	
<b>Test Statistics<sup>a</sup></b>	
COP MC22 - COP R22	
Z	-2.292 <sup>b</sup>
Asymp. Sig. (2-tailed)	.022
<p>a. Wilcoxon Signed Ranks Test</p> <p>b. Based on negative ranks.</p>	

**Gambar 6:** Output Data Signifikansi Wilcoxon Sign Rank Test (COP)

Pada Gambar 6, diketahui nilai signifikansi *Asymp. Sig (2-tailed)* dari kedua variabel nilai sebesar 0,022, nilai tersebut lebih besar dari  $(\alpha) = 0,05$ , maka sesuai dasar pengambilan keputusan (kriteria) dalam uji *One Wilcoxon Sign Rank Test* dapat disimpulkan bahwa  $H_0$  ditolak/  $H_a$  diterima (terdapat peningkatan COP setelah *retrofit* R22 ke MC22).

Jadi hasil analisis data statistik uji beda rata-rata nilai COP menunjukkan bahwa terdapat pengaruh performansi yang signifikan setelah *retrofitting* pada mesin refrigerasi. Perbedaan pengaruh yang signifikan terhadap performansi dari penggunaan refrigeran R22 dan penggunaan refrigeran MC22 pada mesin refrigerasi dikarenakan selisih yang dari nilai rata-rata COP yang didapat pada penelitian ini, pada penggunaan masing-masing refrigeran menunjukkan bahwa rata-rata COP penggunaan refrigeran R22 sebesar 6,61 sementara pada penggunaan refrigeran MC22 sebesar 7,54.

Pada menit ke 60, COP yang diperoleh pada penggunaan refrigeran R22 sebesar 5,8 sementara pada penggunaan refrigeran MC22 sebesar 7,1. Dari hasil tersebut menunjukkan bahwa penelitian ini relevan dengan pernyataan setiap refrigeran memiliki karakteristik yang berbeda yang dapat mempengaruhi efek pendinginan (refrigerasi) dan koefisien prestasi yang dihasilkan [4].

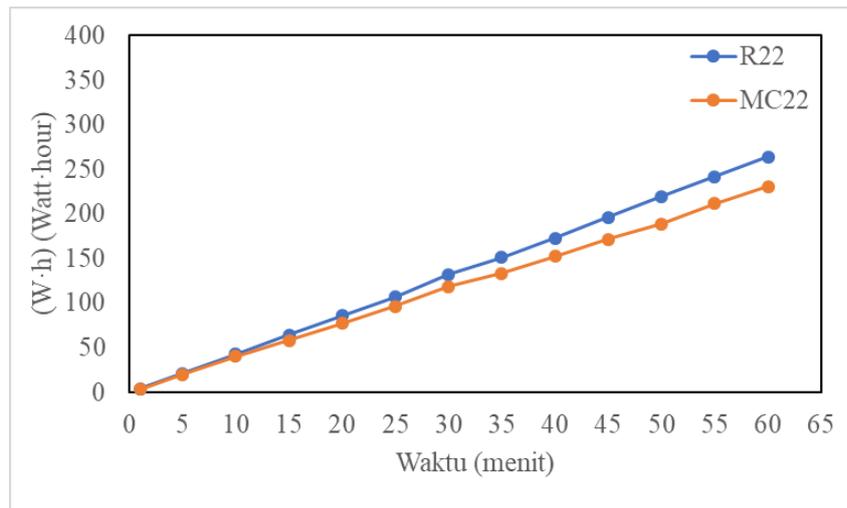
Hasil penelitian ini bertentangan dengan penelitian terdahulu yang menyatakan bahwa sistem yang menggunakan R22 menunjukkan nilai koefisien yang lebih besar bila dibandingkan dengan sistem yang menggunakan MC22 [16]. Demikian pula dengan penelitian lainnya, bahwa sistem yang menggunakan refrigeran R22 memiliki kinerja (COP) sistem yang lebih besar dibandingkan sistem yang menggunakan refrigeran R22 [17].

Namun hasil penelitian ini mendukung beberapa penelitian sebelumnya, bahwa COP aktual dan COP carnot pada sistem miniatur seluncur es menggunakan refrigeran hidrokarbon MC22 (R290) memiliki nilai lebih besar dibandingkan sistem menggunakan R22 [18] dan penelitian selanjutnya juga menyatakan bahwa nilai COP aktual dan COP carnot yang didapatkan dari sistem refrigerasi dengan refrigeran R22 memiliki nilai lebih kecil dibandingkan dengan refrigeran MC22 [19]. Demikian pula dengan penelitian lainnya bahwa nilai COP yang dihasilkan oleh penggunaan refrigeran MC22 lebih tinggi dari pada R22 [20]. Kemudian hasil penelitian juga menunjukkan R-290 menghasilkan perbedaan yang cukup jauh dengan baseline (R22) [21].

Dengan mengetahui tingkat performansi dari penggunaan refrigeran R22 dan penggunaan refrigeran MC22 dapat memberikan pengetahuan terhadap penulis dan pembaca laporan ini serta pengguna dari mesin refrigerasi untuk menggunakan diantara jenis refrigeran tersebut.

### 3.2.2. Pembahasan Perbandingan Konsumsi Energi

Konsumsi energi merupakan besarnya energi yang terpakai pada mesin refrigerasi. Pada Gambar 7 menunjukkan grafik statistik hasil pencapaian nilai konsumsi energi berdasarkan periode waktu dari penggunaan refrigeran R22 dan MC22 pada penelitian ini. Kemudian pada Gambar 8 menunjukkan hasil analisis *Paired Sample T-Test* menggunakan SPSS



**Gambar 7:** Grafik Statistik Konsumsi Energi Terhadap Waktu

		Paired Samples Test							
		Paired Differences			95% Confidence Interval of the Difference		t	df	Sig. (2-tailed)
		Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	Lower	Upper			
Pair 1	W R22 – W MC22	1542.0769	1171.4250	324.8948	834.1919	2249.9620	4.746	12	.000

**Gambar 8:** Output Data Signifikansi Paired Sample T-Test (W)

Pada Gambar 10, diketahui nilai signifikansi *Asymp. Sig. (2-tailed)* dari kedua variabel nilai sebesar 0,000, nilai tersebut lebih kecil dari  $(\alpha) = 0,05$ , maka sesuai dasar pengambilan keputusan (kriteria) dalam uji *Paired Sample T-Test* dapat disimpulkan bahwa  $H_0$  ditolak/ $H_a$  diterima (terdapat peningkatan konsumsi energi setelah *retrofit* R22 ke MC22)

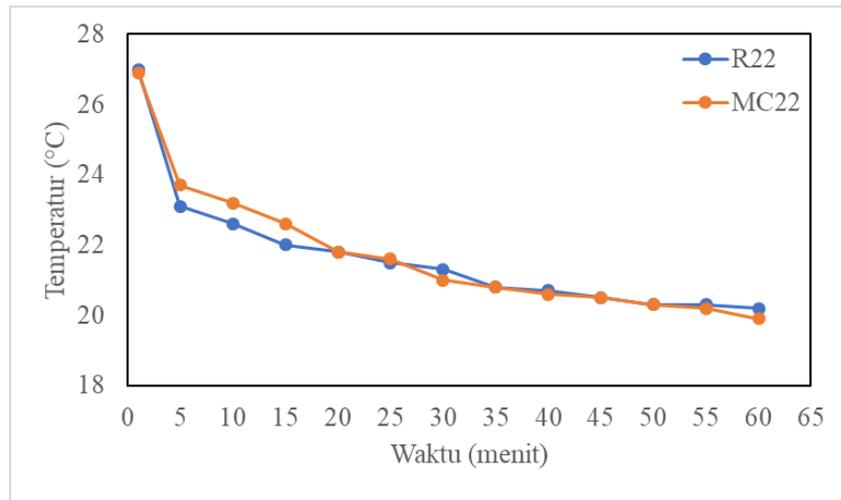
Dapat disimpulkan hasil analisis data statistik uji beda rata-rata nilai konsumsi energi listrik menunjukkan. Perbedaan pengaruh yang signifikan terhadap konsumsi energi dari penggunaan refrigeran R22 dan penggunaan refrigeran MC22 pada mesin refrigerasi dikarenakan selisih dari nilai rata-rata energi listrik yang terpakai pada mesin refrigerasi yang didapat dalam penelitian ini, pada penggunaan masing-masing refrigeran menunjukkan bahwa rata-rata konsumsi energi penggunaan refrigeran R22 sebesar 131,1 W·h sementara pada penggunaan refrigeran MC22 sebesar 115,7 W·h (lihat pada Gambar 10).

Pada menit ke 60, konsumsi energi atau energi yang terpakai pada penggunaan refrigeran R22 sebesar 264,0 W·h sementara pada penggunaan refrigeran MC22 sebesar 231,0 W·h. Dari hasil tersebut menunjukkan bahwa penelitian ini mendukung penelitian terdahulu yang menyatakan konsumsi energi dari sistem pada penggunaan refrigeran MC22 lebih hemat energi listrik daripada penggunaan refrigeran R22 [18]. Demikian pula pada penelitian berikutnya bahwa konsumsi daya pada penggunaan refrigeran R290 lebih hemat dari penggunaan refrigeran R22 [19].

Dengan mengetahui tingkat konsumsi energi yang terpakai dari penggunaan refrigeran R22 dan penggunaan refrigeran MC22 dapat memberikan pengetahuan terhadap penulis dan pembaca laporan ini serta pengguna dari mesin refrigerasi untuk menggunakan diantara jenis refrigeran tersebut.

### 3.2.3. Pembahasan Perbandingan Laju Pendinginan

Laju pendinginan merupakan perubahan temperatur yang terjadi pada *indoor (evaporator)* per satuan waktu. Pada Gambar 9 menunjukkan grafik statistik hasil pencapaian laju pendinginan yang terjadi berdasarkan periode waktu dari penggunaan refrigeran R22 dan MC22 pada penelitian ini. Kemudian pada Gambar 10 menunjukkan hasil analisis *Paired Sample T-Test* menggunakan SPSS.



**Gambar 9:** Grafik Statistik Laju Pendinginan Terhadap Waktu

Paired Samples Test									
		Paired Differences			95% Confidence Interval of the Difference				
		Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	Lower	Upper	t	df	Sig. (2-tailed)
Pair 1	T R22 – T MC22	-7.6923	31.9254	8.8545	-26.9846	11.6000	-.869	12	.402

**Gambar 10:** Output Data Signifikansi Paired Sample T-Test (T)

Pada Gambar 13, diketahui nilai signifikansi *Asymp. Sig (2-tailed)* dari kedua variabel nilai sebesar 0,402, nilai tersebut lebih kecil dari  $(\alpha) = 0,05$ , maka sesuai dasar pengambilan keputusan (kriteria) dalam uji *Paired Sample T-Test* dapat disimpulkan bahwa  $H_0$  diterima (tidak terdapat pengaruh laju pendinginan setelah retrofit R22 ke MC22)

Dapat disimpulkan hasil analisis data statistik uji beda rata-rata laju pendinginan menggunakan *Paired Sample T-test* menunjukkan bahwa terdapat pengaruh laju pendinginan yang signifikan setelah retrofitting pada mesin refrigerasi. Ketidaksignifikan pengaruh terhadap laju pendinginan dari penggunaan refrigeran R22 dan penggunaan refrigeran MC22 pada mesin refrigerasi dikarenakan selisih yang kecil dari nilai rata-rata temperatur yang didapat pada penelitian ini, pada penggunaan masing-masing refrigeran menunjukkan bahwa rata-rata laju pendinginan penggunaan refrigeran R22 sebesar 21,70 °C sementara penggunaan refrigeran MC22 sebesar 21,77 °C (lihat pada Gambar 4.9).

Pada menit ke 60, pengukuran temperatur pada *indoor (evaporator)* pada penggunaan refrigeran R22 sebesar 20,20 °C sementara pada penggunaan refrigeran MC22 sebesar 19,90 °C. Dari hasil tersebut menunjukkan bahwa penelitian ini mendukung penelitian terdahulu yang menyatakan bahwa perbandingan antara derajat pendinginan terhadap temperatur ruang yang diinginkan memperlihatkan bahwa penggunaan refrigeran MC22 pada alat menghasilkan derajat pendinginan yang lebih rendah dari R22 [20]. Demikian pula pada penelitian berikutnya yang menyatakan percepatan temperatur pendinginan antara penggunaan HCFC (R22) dengan Hidrokarbon (MC22) dengan perubahan temperatur yang lebih rendah [22].

Dengan mengetahui laju pendinginan yang terjadi di *indoor* dari penggunaan refrigeran R22 dan penggunaan refrigeran MC22 dapat memberikan pengetahuan terhadap penulis dan pembaca laporan ini serta pengguna dari mesin refrigerasi untuk menggunakan diantara jenis refrigeran tersebut.

#### 4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, maka dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Dari hasil perbandingan performansi (COP) dapat disimpulkan bahwa dengan tekanan *discharge* kompresor yang sama terdapat pengaruh yang signifikan terhadap performansi pada mesin refrigerasi setelah retrofitting. Dengan rata-rata COP yang diperoleh dalam periode waktu yang sama pada penggunaan refrigeran R22 sebesar 6,61 sementara penggunaan refrigeran MC22 sebesar

- 7,54. Pada menit ke 60, COP yang diperoleh pada penggunaan refrigeran R22 sebesar 5,8 sementara pada penggunaan refrigeran MC22 sebesar 7,1.
2. Dari hasil perbandingan konsumsi energi dapat disimpulkan bahwa dengan tekanan *discharge* kompresor yang sama terdapat pengaruh yang signifikan terhadap konsumsi energi pada mesin refrigerasi setelah *retrofitting*. Dengan rata-rata konsumsi energi atau energi yang terpakai yang diperoleh dalam periode waktu yang sama pada penggunaan refrigeran R22 sebesar 131,1 W·h sementara penggunaan refrigeran MC22 sebesar 115,7 W·h. Pada menit ke 60, konsumsi energi atau energi yang terpakai pada penggunaan refrigeran R22 sebesar 264,0 W·h sementara pada penggunaan refrigeran MC22 sebesar 231,0 W·h.
  3. Dari hasil perbandingan laju pendinginan dapat disimpulkan bahwa dengan tekanan *discharge* kompresor yang sama tidak terdapat pengaruh yang signifikan terhadap laju pendinginan pada *indoor (evaporator)* setelah *retrofitting*. Dengan rata-rata temperatur yang diperoleh dalam periode waktu yang sama pada penggunaan refrigeran R22 sebesar 21,70 °C sementara penggunaan refrigeran MC22 sebesar 21,77 °C. Pada menit ke 60, pengukuran temperatur pada *indoor (evaporator)* pada penggunaan refrigeran R22 sebesar 20,20 °C sementara pada penggunaan refrigeran MC22 sebesar 19,90 °C.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Najamudin, Mesin pendingin (Refrigerator), Lampung: Universitas Bandar Lampung, 2014.
- [2] R. Wardani, "Inventarisasi gas rumah kaca di sektor refrigerasi dan air conditioning (RAC) di Indonesia," 7 November 2017. [Online]. Available: <https://ebtke.esdm.go.id/post/2017/11/07/1812/inventarisasi.gas.rumah.kaca.di.sektor.refrigerasi.dan.air.conditioning.rac.di.indonesia>.
- [3] A. W. Biantoro, "Analysis of electrical audit and energy efficiency in building hotel BC, North Jakarta," *IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng.* 343 012033, pp. 1-8, 2018.
- [4] H. Ramadan and A. Cappenberg, "Uji prestasi refrigeran pada mesin pendingin kompresi uap dengan metode pengujian aktual dan simulasi," *Jurnal Konversi Energi Dan Manufactur UNJ*, pp. 74-81, 2018.
- [5] Tiyono, "Perbedaan konsumsi energi listrik antara media pendingin freon R22 dan Smart-trik pada sistem tata udara AC," *CITEE*, pp. 95-100, 2017.
- [6] S. A. and F. Irawan, "Analisis perbandingan kinerja menggunakan refrigeran R134 dan Refrigeran R404 pada mesin Bar Ice Cream Manual Maker," *Jurnal PETRA*, pp. 28-43, 2015.
- [7] Herman and M. A. Hamarung, "Analisis eksperimen penggunaan refrigeran R22,R32, dan campuran R505-R407C untuk mengetahui kinerja AC split," *Dinamika Jurnal Ilmiah Teknik Mesin*, pp. 1-5, 2017.
- [8] H. Fernansya, "Perencanaan mesin AC split menggunakan musicool MC-22 untuk ruangan technical area manager sumbagsel di Pertamina FRM region II Palembang," Universitas IBA, Palembang, 2013.
- [9] S. K. Wang, Handbook of air conditioning and refrigeration, New York: The McGraw-Hill Companies, 2001.
- [10] A. Rifais, Prediksi konsumsi energi listrik menggunakan metode jaringan syaraf tiruan recurrent di PLN APJ Salatiga, Semarang: Universitas Negeri Semarang, 2018.
- [11] R. Anwar, Teori sederhana prosedur pemilihan uji hipotesis, Bandung: Unpad, 2005.
- [12] N. T. D. Astuti, E. S. Utami and M. Budiarta, Dasar dasar statistik penelitian, Yogyakarta: Sibuku Media, 2017.
- [13] L. Herawati and A. H. Kadarusno, Uji normalitas data kesehatan menggunakan SPSS, Yogyakarta: Politeknik Kesehatan Kemenkes Yogyakarta, 2016.
- [14] A. W. Biantoro and M. Kholil, Statistika penelitian : Analisis manual dan IBM SPSS, Bengkulu: Elit Media Kreazi (Elmarkazi), 2020.
- [15] S. R. Setiawan, V. Carolina, N. Magdalena and A. Kurniawan, Aplikasi SPSS untuk smart riset, Bandung: Alfabeta, 2013.
- [16] A. C. Sabatiana and A. B. K. Putra, "Studi eksperimen pengaruh variasi perubahan refrigeran-22 dengan musicool-22 pada sistem pengkondisian udara dengan pre-cooling," *Jurnal Teknik ITS*, pp. 2301-9271, 2016.
- [17] A. Pambudi, "Studi eksperimen perbandingan sistem water chiller menggunakan refrigeran R-22 dan M-22," ITS, Surabaya, 2008.
- [18] I. Wellid, Y. P. Hikmat and D. Faridah, "Perbandingan kinerja sistem miniatur seluncur es perbandingan kinerja sistem miniatur seluncur es," *Journal STTNAS*, pp. 286-292, 2018.
- [19] S. Raharjo, Efisiensi penggunaan refrigeran pada mesin pengkondisian udara split, Semarang: Universitas Diponegoro Semarang, 2020.
- [20] A. Firdaus, "Analisa pengaruh penggunaan refrigeran hidrokarbon musicool-22 pengganti freon-22 terhadap kinerja alat air conditioning," *SNTTM*, pp. 467-574, 2010.
- [21] E. T. Berman, R. A. Hapidz, K. Sumardi and M. , "Uji performa wall mounted split air conditioner menggunakan refrigeran HC-R290 sebagai pengganti refrigeran HCFC-22," *Jurnal Teknik Mesin UNTIRTA*, pp. 94-97, 2019.
- [22] A. Hanafie, M. Fadli, A. Hasrullah and M. R. Hidayat, "Perbandingan refrigeran HCFC dan hidrokarbon dalam proses percepatan pendinginan dan penghematan energi pada refrigeran," *ILTEK*, pp. 1806-1809, 2017.

**BIODATA PENULIS**

	<p>Aji Triana dilahirkan di Cilacap pada tanggal 10 Juni 1994, merupakan anak ketiga dari empat bersaudara dari pasangan Daryadi dan Sumitah, penulis telah menempuh pendidikan formal di SD Negeri Tritih Lor 01 Jeruklegi pada tahun 2001-2007 dan melanjutkan pendidikan di SMP Yos Sudarso Jeruklegi pada tahun 2007-2010, kemudian penulis menempuh pendidikan di SMK Boedi Oetomo Cilacap pada tahun 2010-2013 dengan Jurusan Teknik Kendaraan Ringan, setelah lulus penulis melanjutkan pendidikan D3-Teknik Mesin di Politeknik Negeri Cilacap pada tahun 2013-2016, kemudian bekerja di salah satu perusahaan di Cikarang sebagai Drafter Mekanikal dan memutuskan melanjutkan pendidikan Strata 1 di Universitas Mercu Buana melalui program kelas karyawan pada bulan Maret 2019 dengan Program Sudi Teknik Mesin, mengambil bidang Konversi Energi dengan Tugas Akhir Mesin Refrigerasi Kompresi Uap. Penulis juga aktif mengikuti seminar dan pelatihan untuk meningkatkan <i>softskill</i> dan <i>hardskill</i>. Penulis sangat terbuka akan kritik dan saran yang membangun untuk laporan tugas akhir ini ataupun hal-hal lainnya. Untuk informasi serta masukan dapat menghubungi penulis melalui email: <a href="mailto:ajitriana.at@gmail.com">ajitriana.at@gmail.com</a>.</p>
	<p>Agung Wahyudi Biantoro, ST., MT., MM adalah putra pertama dari Beni Supono (Alm), dosen tetap di Universitas Mercu Buana, Jakarta Barat. Ia menyelesaikan pendidikan Sarjana di Institut Pertanian Bogor, Teknik Mesin di STT Yuppentek, dan Magister Teknik Mesin di Universitas Pancasila, Jakarta. Ia sebagai pengampu mata kuliah K3, HVAC, Audit Energi, Statistika, dan Kewirausahaan. Disamping sebagai dosen ia juga aktif sebagai peneliti, dan karya hasil penelitiannya dipublikasikan di berbagai jurnal nasional dan internasional. Aktif sebagai Asessor K3 dan pengelola perusahaan konsultan nasional bidang K3 Teknik, dan Audit Mekanikal Elektrikal. Suami dari Dewi Andajani Munir, SE ini telah dikarunia 2 putra dan 1 putri tersayang: Shamil Abdul Aziz Wahyudi, Khairunnisa Wahyudi, dan Ahmad Abdul Rasyid Wahyudi</p>