

**ANALISIS KOMPARATIF PENGARUH *RETROFITTING* REFRIGERAN
HCFC:R22 KONVERSI HC:MC22 PADA MESIN REFRIGERASI
KOMPRESI UAP *SINGLE STAGE***



UNIVERSITAS
MERCU BUANA
UNIVERSITAS
MERCU BUANA
AJI TRIANA
41318120067

PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MERCU BUANA
JAKARTA 2020

LAPORAN TUGAS AKHIR

ANALISIS KOMPARATIF PENGARUH *RETROFITTING* REFRIGERAN
HCFC:R22 KONVERSI HC:MC22 PADA MESIN REFRIGERASI
KOMPRESI UAP *SINGLE STAGE*



Disusun oleh:

Nama : Aji Triana
NIM : 41318120067
Program Studi : Teknik Mesin

DIAJUKAN UNTUK MEMENUHI SYARAT KELULUSAN MATA KULIAH
TUGAS AKHIR PADA PROGRAM SARJANA STRATA SATU (S1)
OKTOBER 2020

HALAMAN PENGESAHAN

**ANALISIS KOMPARATIF PENGARUH *RETROFITTING* REFRIGERAN
HCFC:R22 KONVERSI HC:MC22 PADA MESIN REFRIGERASI
KOMPRESI UAP *SINGLE STAGE***



Disusun oleh:

Nama : Aji Triana

NIM : 41318120067

Program Studi : Teknik Mesin

Telah diperiksa dan disetujui oleh pembimbing

Pada tanggal: 20 Januari 2021

Mengetahui

Dosen Pembimbing

Agung Wahyudi Biantoro, ST., MT., MM

NIP. 0329106901

Koordinator Tugas Akhir



Alief Avicenna Luthfie, ST., M.Eng.

NIP. 216910097

HALAMAN PERNYATAAN

Yang bertanda tangan di bawah ini,

Nama : Aji Triana
NIM : 41318120067
Jurusan : Teknik Mesin
Fakultas : Teknik
Judul Tugas Akhir : Analisis Komparatif Pengaruh *Retrofitting* Refrigeran HCFC:
R22 Konversi HC: MC22 Pada Mesin Refrigerasi Kompresi
Uap *Single Stage*

Dengan ini menyatakan bahwa saya melakukan Tugas Akhir dengan sesungguhnya dan hasil penulisan Laporan Tugas Akhir yang telah saya buat ini merupakan hasil karya sendiri dan benar keasliannya. Apabila ternyata di kemudian hari penulisan Laporan Tugas Akhir ini merupakan hasil plagiat atau penjiplakan terhadap karya orang lain, maka saya bersedia bertanggung jawab sekaligus bersedia menerima sanksi berdasarkan aturan di Universitas Mercu Buana.

Demikian pernyataan ini saya buat dalam keadaan sadar dan tanpa paksaan.

UNIVERSITAS Jakarta, 20 Januari 2021
MERCU BUANA



Aji Triana

PENGHARGAAN

Alhamdulillah segala puji dan syukur senantiasa penulis panjatkan kehadirat **Allah Subhanahu Wa Ta'ala** yang senantiasa memberikan rahmat, taufiq dan hidayah-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan Tugas Akhir ini. Shalawat serta salam senantiasa tercurahkan kepada **Nabi Muhammad Shallallahu'Alaihi Wa Sallam** beserta keluarga, sahabat dan pengikutnya, dengan penuh harapan kelak kita mendapatkan syafaatnya di hari akhir nanti.

Selama penulisan laporan Tugas Akhir ini, penulis menyadari sepenuhnya bahwa tidak sedikit hambatan yang dialami. Namun penulis begitu banyak mendapatkan doa, dukungan, dan bimbingan dari berbagai pihak sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan Tugas Akhir ini. Oleh sebab itu, dalam kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Prof. Dr. Ngadino Surip, M.S. selaku Rektor Universitas Mercu Buana.
2. Bapak Dr. Ir. Mawardi, M.T. selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Mercu Buana.
3. Bapak Dr. Nanang Ruhyat, S.T., M.T. selaku Kepala Program Studi Teknik Mesin Universitas Mercu Buana sekaligus koordinator Tugas Akhir.
4. Bapak Alief Avicenna Luthfie, S.T., M.Eng. selaku Sekretaris Program Studi Teknik Mesin Universitas Mercu Buana sekaligus koordinator Tugas Akhir.
5. Bapak Agung Wahyudi Biantoro, S.T., M.T., M.M. selaku Dosen Pembimbing yang telah meluangkan waktu untuk mengarahkan dan memberi masukan disela-sela kesibukannya.
6. Seluruh Dosen serta Staff Program Studi Teknik Mesin Universitas Mercu Buana yang telah memberikan ilmu yang bermanfaat kepada penulis selama kuliah. Semoga ilmu yang bapak dan ibu telah berikan mendapat keberkahan dari Allah SWT.
7. Rekan mahasiswa Program Studi Teknik Mesin Universitas Mercu Buana yang telah memberikan semangat dan dukungan kepada penulis.
8. Teristimewa untuk kedua orang tua penulis, Bapak Daryadi dan Ibu Sumitah yang selalu memberikan doa serta dukungan moril maupun materil kepada penulis.

9. Terimakasih juga kepada para guru terdahulu penulis, yang telah sabar mendidik dan tak pernah lelah membagikan ilmu yang bermanfaat kepada penulis.
10. Bapak Iqbal selaku *Engineer* mesin refrigerasi yang telah membantu dan memberikan ilmunya serta kelancaran dalam penelitian ini.

Ucapan terima kasih juga ditujukan kepada semua pihak yang namanya tidak disebutkan satu per satu oleh penulis. Penulis mendoakan, semoga dibalas kebaikannya, diberikan kemudahan dan kelancaran segala urusannya, serta mendapatkan keberkahan dari Allah Subhanahu Wa Ta'ala.

Akhir kata, penulis menyadari bahwa dalam menyusun laporan Tugas Akhir secara sistematis adalah hal yang tidak mudah. Oleh karena itu penulis berharap pembaca dapat memberi kritik dan memberikan masukan yang membangun. Semoga Tugas Akhir ini dapat memberikan wawasan kepada para pembaca dan dapat dikembangkan untuk Tugas Akhir dimasa mendatang.

Jakarta, 20 Januari 2021

Penulis,

Aji Triana



UNIVERSITAS
MERCU BUANA

ABSTRAK

Setiap refrigeran dapat mempengaruhi efek refrigerasi dan koefisien prestasi yang berbeda, dari berbagai penelitian sebelumnya telah membuktikan. Hingga saat ini masih banyak pengguna dari refrigeran HCFC:R22 pada sistem pengkondisian udara, sehingga penelitian terus dilakukan untuk membuat media pendingin yang dapat menggantikan refrigeran HCFC:R22, refrigeran HC:MC-22 mampu menggantikan refrigeran sintetik HCFC:R22. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui perbandingan pengaruh pada penggunaan refrigeran tersebut melalui *retrofitting* pada mesin refrigerasi jenis unit AC-Split yang diharapkan dapat mengetahui perbandingan performansi, konsumsi energi dan laju pendinginan dari jenis refrigeran tersebut, serta dapat menentukan jenis refrigeran. Hasil penelitian menunjukkan dengan tekanan *discharge* kompresor yang sama terdapat pengaruh yang signifikan terhadap performansi/COP (*Coefficient of Performance*) dengan rata-rata yang diperoleh pada penggunaan refrigeran R22 sebesar 6,61 dan MC22 sebesar 7,54. Kemudian terdapat pengaruh yang signifikan terhadap konsumsi energi dengan rata-rata yang diperoleh pada penggunaan refrigeran R22 sebesar 131,1 W·h dan MC22 sebesar 115,7 W·h, sementara tidak terdapat pengaruh yang signifikan terhadap laju pendinginan indoor (temperatur *evaporator*) dengan rata-rata yang diperoleh pada penggunaan R22 sebesar 22,71 °C dan MC22 sebesar 21,77 °C. Pada menit ke 60, COP yang diperoleh refrigeran R22 sebesar 5,8 dan MC22 sebesar 7,1, kemudian konsumsi energi atau energi yang terpakai refrigeran R22 sebesar 264,0 W·h dan MC22 sebesar 231,0 W·h dan pengukuran temperatur pada *indoor (evaporator)* refrigeran R22 sebesar 20,20 °C dan MC22 sebesar 19,90 °C.

Kata kunci: refrigeran, refrigerasi, R22, MC22, COP

UNIVERSITAS
MERCU BUANA

**COMPARATIVE ANALYSIS OF THE EFFECT OF REFRIGERANT
RETROFITTING CONVERSION HCFC: R22 HC: MC22 ON SINGLE STAGE
VAPOR COMPRESSION REFRIGERATION MACHINE**

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.

Keywords: *refrigeran, refrigeration, R22, MC22, COP*

UNIVERSITAS
MERCU BUANA

DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN	i
HALAMAN PERNYATAAN	ii
PENGHARGAAN	iii
ABSTRAK	v
ABSTRACT	vi
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR SIMBOL	xiv
DAFTAR SINGKATAN	xvi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. LATAR BELAKANG	1
1.2. RUMUSAN MASALAH	3
1.3. TUJUAN PENELITIAN	4
1.4. RUANG LINGKUP DAN BATASAN MASALAH	4
1.5. SISTEMATIKA PENULISAN	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1. MESIN REFRIGERASI UNIT AC SPLIT	6
2.2. MESIN REFRIGERASI KOMPRESI UAP	7
2.2.1. Kompresor	8
2.2.2. Kondensor	8
2.2.3. Alat Ekspansi (<i>Metering Device</i>)	9
2.2.4. <i>Evaporator</i>	9
2.3. SIKLUS KOMPRESI UAP	10
2.3.1. Siklus Kompresi Uap Standar	10
2.3.2. Siklus Kompresi Uap Aktual	13
2.3.3. <i>Superheat</i> dan <i>Subcooling</i>	14

2.4.	PRESTASI MESIN REFRIGERASI KOMPRESI UAP	15
2.5.	KONSUMSI ENERGI LISTRIK	18
2.6.	REFRIGERAN	18
	2.6.1. Refrigeran HCFC:R22	19
	2.6.2. Refrigeran HC:MC22	20
2.7.	<i>RETROFITTING</i>	22
2.8.	KESELAMATAN DAN KESEHATAN KERJA (K3)	23
2.9.	PENELITIAN TERDAHULU	24
BAB III	METODOLOGI PENELITIAN	32
3.1.	OBJEK PENELITIAN	32
3.2.	METODE DAN PENDEKATAN PENELITIAN	32
3.4.	DESAIN PENELITIAN	32
3.5.	SISTEMATIKA PENELITIAN	34
	3.5.1. Identifikasi dan Perumusan Masalah	35
	3.5.2. Studi Literatur	35
	3.5.3. Perencanaan Eksperimen	35
	3.5.4. Pengambilan Data	36
	3.5.5. Pengolahan dan Penyajian Data	37
	3.5.6. Analisis Data dan Interpretasi	37
	3.5.7. Kesimpulan dan Saran	37
3.6.	ALUR PROSES PENGAMBILAN DATA	38
	3.6.1. Persiapan Pengujian	39
	3.6.2. Parameter Pengukuran	39
	3.6.3. Pengosongan dan Pengisian Refrigeran	40
	3.6.4. Pengambilan Data	42
	3.6.5. <i>Retrofitting</i> Refrigeran R22 ke MC22	42
3.7.	ALUR PROSES PENGOLAHAN DATA	43

3.7.1.	Data Hasil Pengukuran	44
3.7.2.	Identifikasi Nilai Entalpi	44
3.7.3.	Pengolahan dan Penyajian Data	46
3.8.	ALUR PROSES ANALISIS DATA	47
3.8.1.	Data Statistik Penelitian	49
3.8.2.	Uji Normalitas	49
3.8.3.	Uji <i>Paired Sample T-Test</i>	50
3.8.4.	Uji <i>Wilcoxon Sign Rank Test</i>	52
3.8.5.	Kesimpulan dan Interpretasi	53
3.9.	ALAT DAN BAHAN	53
BAB IV	HASIL DAN PEMBAHASAN	56
4.1.	HASIL PENELITIAN	56
4.1.1.	Hasil Pengukuran dan Pengolahan Data	56
4.1.2.	Analisis Data Performansi (COP)	61
4.1.3.	Analisis Data Konsumsi Energi	64
4.1.4.	Analisis Data Laju Pendinginan	67
4.2.	PEMBAHASAN	70
4.2.1.	Pembahasan Perbandingan Performansi (COP)	70
4.2.2.	Pembahasan Perbandingan Konsumsi Energi	71
4.2.3.	Pembahasan Perbandingan Laju Pendinginan	73
BAB V	KESIMPULAN DAN SARAN	75
5.1.	KESIMPULAN	75
5.2.	SARAN	76
	DAFTAR PUSTAKA	77
	LAMPIRAN	81
	LAMPIRAN A. TABEL PEMILIHAN HIPOTESIS	82
	LAMPIRAN B. <i>PROPERTY</i> REFRIGERAN R22	83

LAMPIRAN C. <i>PROPERTY</i> REFRIGERAN MC22(R290)	84
LAMPIRAN D. SIFAT FISIKA DAN TERMODINAMIKA R22 DAN MC22	85
LAMPIRAN E. FORM PENGAMBILAN DATA	86
LAMPIRAN F. <i>PLOTTING</i> R22 DENGAN <i>SOFTWARE COOLPACK</i>	87
LAMPIRAN G. <i>PLOTTING</i> MC22(R290) DENGAN <i>SOFTWARE COOLPACK</i>	88
LAMPIRAN H. DOKUMENTASI PENGAMBILAN DATA	89



DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1. Estimasi Distribusi Beban Listrik di Hotel BC Jakarta	2
Gambar 2.1. Unit AC-Split	6
Gambar 2.2. Konfigurasi Komponen AC-Split	7
Gambar 2.3. Skematik Sistem Refrigerasi Kompresi Uap	7
Gambar 2.4. Kompresor	8
Gambar 2.5. Kondensor	8
Gambar 2.6. Alat Ekspansi	9
Gambar 2.7. <i>Evaporator</i>	9
Gambar 2.8. Skematik Mesin Refrigerasi Secara	10
Gambar 2.9. (a) Diagram T-s; (b) Diagram P-h	10
Gambar 2.10. Perbandingan Siklus Kompresi Uap Standar dan Aktual	13
Gambar 2.11. Karakteristik Refrigeran R22	17
Gambar 2.12. Refrigeran R22	19
Gambar 2.13. Refrigeran MC22	21
Gambar 3.1. Desain Eksperimen <i>Pra-Eksperimental</i>	33
Gambar 3.2. <i>Flowchart</i> Penelitian	34
Gambar 3.3. <i>Flowchart</i> Pengambilan Data	38
Gambar 3.4. Parameter Pengukuran	39
Gambar 3.6. Tampilan <i>Coolpack</i>	44
Gambar 3.7. <i>Flowchart</i> Analisis Data dan Interpretasi.	48
Gambar 4.1. <i>Output</i> Data Signifikansi <i>Kolmogorov-Smirnov</i> (COP)	62
Gambar 4.2. <i>Output</i> Data Mean Wilcoxon Sign Rank Test (COP)	63
Gambar 4.3. <i>Output</i> Data Signifikansi <i>Wilcoxon Sign Rank Test</i> (COP)	63
Gambar 4.4. <i>Output</i> Data Signifikansi <i>Kolmogorov-Smirnov Test</i> (W)	65
Gambar 4.5. <i>Output</i> Data Mean <i>Paired Sample T-Test</i> (W)	66
Gambar 4.6. <i>Output</i> Data Signifikansi <i>Paired Sample T-Test</i> (W)	66
Gambar 4.7. <i>Output</i> Data Signifikansi <i>Kolmogorov-Smirnov Test</i> (T)	68
Gambar 4.8. <i>Output</i> Data Mean <i>Paired Sample T-Test</i> (T)	69
Gambar 4.9. <i>Output</i> Data Signifikansi <i>Paired Sample T-Test</i> (T)	69
Gambar 4.10. Grafik Statistik COP Terhadap Waktu	70

Gambar 4.11. Grafik Statistik Konsumsi Energi Terhadap Waktu

72

Gambar 4.12. Grafik Statistik Temperatur Terhadap Waktu

73



DAFTAR TABEL

Tabel 3.1. Pola Penelitian	33
Tabel 3.2. Persiapan Pengujian	39
Tabel 3.3. Alat dan Bahan	53
Tabel 4.1. Hasil Pengukuran Refrigeran R22	56
Tabel 4.2. Hasil Pengukuran Refrigeran M22	57
Tabel 4.3. Nilai Entalpi Refrigeran R22 dan MC22	57
Tabel 4.4. Rumus Perhitungan Performansi	58
Tabel 4.5. Nilai <i>Coefficient of Performance</i> Refrigeran R22	58
Tabel 4.6. Nilai <i>Coefficient of Performance</i> Refrigeran MC22	59
Tabel 4.7. Rumus Perhitungan Konsumsi Energi	59
Tabel 4.8. Nilai Konsumsi Energi Listrik Refrigeran R22	60
Tabel 4.9. Nilai Konsumsi Energi Listrik Refrigeran MC22	60
Tabel 4.10. Laju Pendinginan R22 dan MC22	61
Tabel 4.11. Data Performansi (COP) R22 dan MC22	61
Tabel 4.12. Data Konsumsi Energi R22 dan MC22	64
Tabel 4.13. Data Laju Pendinginan R22 dan MC22	67

DAFTAR SIMBOL

Simbol	Keterangan
α	Signifikansi
$^{\circ}\text{C}$	Satuan temperatur dalam skala Celsius
H_0	Hipotesis nol (kerja)
H_a	Hipotesis alternatif
h_1	Entalpi refrigeran <i>in</i> kompresor (kJ/kg)
h_2	Entalpi refrigeran <i>out</i> kompresor (kJ/kg)
h_3	Entalpi refrigeran <i>out</i> kompresor (kJ/kg)
h_4	Entalpi refrigeran <i>in evaporator</i> (kJ/kg)
I	Kuat Arus Listrik (A)
K	Satuan temperatur dalam skala Kelvin
MC22	Refrigeran HC:MC22
O_1	Variabel terikat (<i>dependent variable</i>) penggunaan R22
O_2	Variabel terikat (<i>dependent variable</i>) penggunaan M22
P	Daya listrik
P-h	<i>Pressure-Enthalphy</i>
P_1	Tekanan absolut <i>suction (high side)</i> (Mpa)
P_2	Tekanan absolut <i>discharge (low side)</i> (Mpa)
P_{abs}	Tekanan absolut
P_{atm}	Tekanan atmosfer
P_{gauge}	Tekanan gauge
Q_c	Besarnya panas dilepas di kondensor (kJ/kg)
Q_e	Besarnya panas yang diserap di <i>evaporator</i> (kJ/kg)
R	<i>Subject</i> (kelompok kontrol dan kelompok eksperimen)
R22	Refrigeran HCFC:R22
SC	<i>Supercooling</i>
SH	<i>Superheat</i>
T_c	Temperatur refrigeran evaporasi ($^{\circ}\text{C}$)
T_e	Temperatur refrigeran kondensasi ($^{\circ}\text{C}$)
T_1	Temperatur pipa akhir <i>evaporator (suction)</i> ($^{\circ}\text{C}$)
T_2	Temperatur pipa <i>inlet</i> kondensor (<i>discharge</i>) ($^{\circ}\text{C}$)

T_3	Temperatur pipa akhir kondensor ($^{\circ}\text{C}$)
T_4	Temperatur pipa <i>inlet evaporator</i> ($^{\circ}\text{C}$)
T_i	Temperatur <i>Indoor (evaporator)</i> ($^{\circ}\text{C}$)
t	Waktu pemakaian (s)
T-s	<i>Temperature-Entropy</i>
V	Tegangan listrik (V)
W	Energi listrik yang terpakai ($\text{W}\cdot\text{h}$) (<i>Watt-hour</i>)
W_c	Besarnya kerja kompresi yang dilakukan (kJ/kg)
X_1	Variabel bebas (<i>independent variable</i>) <i>retrofitting</i>



DAFTAR SINGKATAN

Singkatan	Keterangan
C	<i>Celsius</i>
AC	<i>Air Conditioning</i>
APD	Alat Pelindung Diri
BAU	<i>Business as Usual</i>
CFC	<i>Chloro Fluoro Carbon</i>
COP	<i>Coefficient of Performance</i>
GWP	<i>Global Warming Potential</i>
HC	<i>Hydrocarbons</i>
HCFC	<i>Hydro Chloro Fluoro Carbon</i>
HFO	<i>Hydro Fluoro Carbon</i>
HFO	<i>Hydro Fluoro Olefin</i>
HP	<i>Horsepower</i>
J	<i>Joule</i>
K	<i>Kelvin</i>
K3	Keselamatan dan Kesehatan Kerja
kg	<i>Kilogram</i>
kJ	<i>Kilojoule</i>
kW	<i>Kilowatt</i>
MPa	<i>Megapascal</i>
ODP	<i>Ozone Depleting Potential</i>
Psi	<i>Pound per Square Inch</i>
Psig	<i>Pound per Square Inch Gauge</i>
RAC	<i>Refrigeration and Air Conditioning</i>
SNI	Standar Nasional Indonesia
SPSS	<i>Statistical Product and Service Solutions</i>
TWh	<i>Terra Watt hour</i>
V	<i>Volt</i>
W	<i>Watt</i>
W·h	<i>Watt hour</i>