

TUGAS AKHIR

STUDI EXPERIMENTAL PENGARUH VOLUME TANGKI TERHADAP KINERJA AC PADA APLIKASI ACWH

*Diajukan Untuk Memenuhi Syarat Memperoleh
Gelar Sarjana Teknik Mesin Pada Fakultas Teknik
Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara*

Disusun Oleh:

MORANELO MAICHINO
1807230090



UMSU

Unggul | Cerdas | Terpercaya

**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
MEDAN
2021**

LEMBAR PENGESAHAN

Penelitian Tugas Akhir ini diajukan oleh:

Nama : Moranelo Maichino
NPM : 1807230090
Program Studi : Teknik Mesin
Judul Tugas Akhir : Studi Experimental Pengaruh Volume Tangki Terhadap Kinerja AC Pada Aplikasi ACWH
Bidang ilmu : Konversi Energi

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Tim Penguji dan diterima sebagai salah satu syarat yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Medan, 14 September 2022

Mengetahui dan menyetujui:

Dosen Penguji-I



Ahmad Marabdi Siregar, S.T., M.T

Dosen Penguji-II



Riadini Wanty Lubis, S.T., M.T

Dosen Penguji-III



(Chandra A Siregar, S.T., M.T)

Program Studi Teknik Mesin
Ketua,



(Chandra A Siregar, S.T., M.T)

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama Lengkap : Moranelo Maichino
Tempat /Tanggal Lahir: Medan , 21 January 2022
NPM : 1807230090
Fakultas : Teknik
Program Studi : Teknik Mesin

Menyatakan dengan sesungguhnya dan sejujurnya, bahwa laporan Tugas Akhir saya yang berjudul:

“Studi Experimental Pengaruh Volume Tangki Terhadap Kinerja AC pada Aplikasi ACWH”,

Bukan merupakan plagiarisme, pencurian hasil karya milik orang lain, hasil kerja orang lain untuk kepentingan saya karena hubungan material dan non-material, ataupun segala kemungkinan lain, yang pada hakekatnya bukan merupakan karya tulis Tugas Akhir saya secara orisinal dan otentik.

Bila kemudian hari diduga kuat ada ketidaksesuaian antara fakta dengan kenyataan ini, saya bersedia diproses oleh Tim Fakultas yang dibentuk untuk melakukan verifikasi, dengan sanksi terberat berupa pembatalan kelulusan/kesarjanaan saya.

Demikian Surat Pernyataan ini saya buat dengan kesadaran sendiri dan tidak atas tekanan ataupun paksaan dari pihak manapun demi menegakkan integritas akademik di Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Medan, 5 February 2022

Saya yang menyatakan



Moranelo Maichino

ABSTRAK

Pemakaian *Air Conditioner* (AC) sudah menjadi kebutuhan sehari-hari. AC biasanya digunakan sebagai penyejuk ruangan, dengan adanya perekayasa ACWH fungsi AC bertambah menjadi penyejuk ruangan dan penyedia air panas untuk keperluan mandi. ACWH juga dapat menghemat biaya pemakaian listrik. Sistem kerja ACWH adalah memanfaatkan kalor buang dari kompresor AC dengan bantuan Alat Penukar Kalor (APK). Penelitian ini bertujuan untuk mencari dan membandingkan nilai kinerja AC (COP) dengan tambahan PCM. Pengumpulan data bertujuan untuk menghitung kinerja AC (COP) tersebut. Pengujian dilakukan sampai PCM mencair dengan pencatatan data setiap 1 jam dengan 3 variasi volume air berbeda yaitu : 20L, 40L, dan 60L pada suhu evaporator 16°C. Dari hasil pengujian diperoleh nilai kinerja AC (COP) tanpa PCM dengan 3 variasi volume air berbeda yaitu : 5,4115, 5,6141 dan 6,0094. Sedangkan pada AC dengan penambahan PCM yaitu : 5,1289, 5,2482 dan 5,2305. Dapat disimpulkan bahwa kinerja AC (COP) pada variasi volume air 20L, 40L, dan 60L tanpa PCM adalah : 5,4115, 5,6141, dan 6,0094. Sedangkan kinerja AC (COP) dengan tambahan PCM adalah : 5,1289, 5,2482, dan 5,2305. Maka diperoleh data nilai unjuk kerja (COP) tertinggi tanpa PCM pada variasi volume air 60 liter yaitu sebesar 6,0094. Sedangkan dengan tambahan PCM pada 40 liter yaitu sebesar 5,2482.

Kata kunci : ACWH, Kinerja AC (COP), Phase Change Material (PCM)

ABSTRACT

The use of Air Conditioner (AC) has become a daily necessity. AC is usually used as air conditioning, with ACWH engineering, the function of the air conditioner is increased to air conditioning and a provider of hot water for bathing purposes. ACWH can also save electricity consumption costs. ACWH's working system is to utilize exhaust heat from the AC compressor with the help of a Heat Exchanger (APK). This study aims to find and compare the value of AC performance (COP) with additional PCM. Data collection aims to calculate the performance of the AC (COP). The test was carried out until the PCM melted by recording data every 1 hour with 3 different water volume variations, namely: 20L, 40L, and 60L at an evaporator temperature of 16°C. From the test results obtained AC performance values (COP) without PCM with 3 different water volume variations, namely: 5.4115, 5.6141 and 6.0094. While the AC with the addition of PCM are: 5.1289, 5.2482 and 5.2305. It can be concluded that the performance of AC (COP) on variations in water volume of 20L, 40L, and 60L without PCM are : 5.4115, 5.6141, and 6.0094. While the performance of AC (COP) with the addition of PCM are: 5.1289, 5.2482, and 5.2305. Then the data obtained the highest performance value (COP) without PCM at a water volume variation of 60 liters, which is 6.0094. Meanwhile, with the addition of PCM at 40 liters, it is 5.2482.

Keywords : ACWH, Coefficient of Performance (COP), Phase Change Material (PCM)

KATA PENGANTAR

Dengan nama Allah Yang Maha Pengasih lagi Maha Penyayang. Segala puji dan syukur penulis ucapkan kehadiran Allah SWT yang telah memberikan karunia dan nikmat yang tiada terkira. Salah satu dari nikmat tersebut adalah keberhasilan penulis dalam menyelesaikan laporan Tugas Akhir ini yang berjudul “Pengaruh panjang pipa kapiler terhadap efektivitas alat penukar kalor tipe *shellhelical coil*” sebagai syarat untuk meraih gelar akademik Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara (UMSU), Medan.

Banyak pihak telah membantu dalam menyelesaikan laporan Tugas Akhir ini, untuk itu penulis menghaturkan rasa terimakasih yang tulus dan dalam kepada:

1. Bapak Chandra A Siregar, S.T., M.T selaku Dosen Pembimbing I sekaligus sebagai Ketua Program Studi Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara yang telah banyak membimbing dan mengarahkan penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
2. Bapak Ahmad Marabdi Siregar , S.T, M.T Sekretaris Program Studi Teknik Mesin, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
3. Bapak Munawar Alfansury Siregar, S.T, MT selaku Dekan Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
4. Seluruh Bapak/Ibu Dosen di Program Studi Teknik Mesin, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara yang telah banyak memberikan ilmu keteknikmesinan kepada penulis.
5. Orang tua penulis: Sri dan Hadi, yang telah bersusah payah membesarkan dan membiayai studi penulis.
6. Bapak/Ibu Staf Administrasi di Biro Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
7. Sahabat-sahabat penulis: Irham Rosyadi, Fahri Fadillah Nasution dan lainnya yang tidak mungkin namanya disebut satu per satu.

Laporan Tugas Akhir ini tentunya masih jauh dari kesempurnaan, untuk itu penulis berharap kritik dan masukan yang konstruktif untuk menjadi bahan pembelajaran berkesinambungan penulis di masa depan. Semoga laporan Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi dunia teknik Mesin.

Medan, 21 January 2022



Moranelo Maichino

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	i
SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR	ii
ABSTRAK	iii
ABSTRACT	iv
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR TABEL	ix
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR NOTASI	xiii
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	1
1.3. Ruang Lingkup	1
1.4. Tujuan	2
1.5. Manfaat	2
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	3
2.1. Penelitian Terdahulu	3
2.2. Refrigerant (AC)	6
2.2.1. Siklus Refrigerant Sistem AC	7
2.2.2. Siklus Kompresi Uap	8
2.2.3. Kinerja Sistem Pendingin (Performansi)	10
2.3. Aplikasi ACWH	10
2.3.1. Siklus Water Heater Air Conditioner	11
2.4. Perpindahan Panas	12
2.4.1. Perpindahan Panas Konduksi (<i>Conduction</i>)	12
2.4.2. Perpindahan Panas Konveksi (<i>Convection</i>)	12
2.4.3. Perpindahan Panas Radiasi (<i>Radiation</i>)	13
2.5. Alat Penukar Kalor	14
2.6. <i>Shell Helical Coil</i>	14
2.7. <i>Phase Change Material (PCM)</i>	15
2.8. <i>Road Map</i> Penelitian	16
BAB 3 METODE PENELITIAN	17
3.1. Tempat dan Waktu Penelitian	17
3.1.1. Tempat	17
3.1.2. Waktu	17
3.2. Bahan dan Alat	17
3.2.1. Bahan	18
3.2.2. Alat	21
3.3. Bagan Alir	29
3.3.1. Penjelasan Diagram Alir	30
3.4. Variabel yang dicari	30
3.5. Desain Alat Penelitian	31

3.5.1	Tangki Horizontal	31
3.5.2	Perancangan <i>Helical Coil</i>	32
3.6	Perakitan Alat Penelitian	32
3.6.1	Pembuatan dan Pelapisan Tangki Horizontal	32
3.6.2	Perakitan <i>Helical Coil</i>	32
3.7	Prosedur Pengujian dan Pengambilan Data	33
BAB 4	HASIL DAN PEMBAHASAN	38
4.1	Hasil	38
4.1.1	Pengujian AC Pada Variasi Volume Air 20L Suhu Evaporator 16°C tanpa PCM	38
4.1.2	Pengujian AC Pada Variasi Volume Air 40L Suhu Evaporator 16°C tanpa PCM	44
4.1.3	Pengujian AC Pada Variasi Volume Air 60L Suhu Evaporator 16°C tanpa PCM	50
4.1.4	Pengujian AC Pada Variasi Volume Air 20L Suhu Evaporator 16°C Dengan PCM	56
4.1.5	Pengujian AC Pada Variasi Volume Air 40L Suhu Evaporator 16°C Dengan PCM	61
4.1.6	Pengujian AC Pada Variasi Volume Air 60L Suhu Evaporator 16°C Dengan PCM	66
4.2	Pembahasan	71
4.2.1	Perbandingan Unjuk Kerja (COP)	72
BAB 5	KESIMPULA DAN SARAN	73
5.1	Kesimpulan	73
5.2	Saran	73
	DAFTAR PUSTAKA	74
	LAMPIRAN	
	LEMBAR ASISTENSI	
	SK PEMBIMBINGAN	
	BERITA ACARA SEMINAR HASIL	
	DAFTAR RIWAYAT HIDUP	

DAFTAR TABEL

Tabel2.1	Sifat termal dan fisik parafin wax	15
Tabel2.2	<i>Road Map</i> Penelitian	16
Tabel3.1	Jadwal dan Kegiatan Saat Melakukan Penelitian	17
Tabel4.1	Data Hasil Pengujian AC Pada Variasi Volume Air 20L Suhu Evaporator 16°C Tanpa PCM	38
Tabel4.2	Freon TM 410A	40
Tabel4.3	Freon TM 410A Superheated	40
Tabel4.4	h ₂ pada tekanan 950 kPa dan 1000 kPa	41
Tabel4.5	Freon TM 410A	41
Tabel4.6	Enthalpy AC Dengan Variasi Volume Air 20L Suhu Evaporator 16°C Tanpa PCM	42
Tabel4.7	Data Hasil Pengujian AC Pada Variasi Volume Air 40L Suhu Evaporator 16°C Tanpa PCM	44
Tabel4.8	Freon TM 410A	45
Tabel4.9	Freon TM 410A Superheated	46
Tabel4.10	h ₂ pada tekanan 950 kPa dan 1000 kPa	47
Tabel4.11	Freon TM 410A	47
Tabel4.12	Enthalpy AC Dengan Variasi Volume Air 40L Suhu Evaporator 16°C Tanpa PCM	48
Tabel4.13	Data Hasil Pengujian AC Pada Variasi Volume Air 60L Suhu Evaporator 16°C	50
Tabel4.14	Freon TM 410A	51
Tabel4.15	Freon TM 410A Superheated	52
Tabel4.16	h ₂ pada tekanan 1000 kPa dan 1100 kPa	52
Tabel4.17	Freon TM 410A	53
Tabel4.18	Enthalpy AC Dengan Variasi Volume Air 60L Suhu Evaporator 16°C Tanpa PCM	53
Tabel4.19	Data Hasil Pengujian AC Pada Variasi Volume Air 20L Suhu Evaporator 16°C Dengan PCM	56
Tabel4.20	Freon TM 410A	57
Tabel4.21	Freon TM 410A Superheated	58
Tabel4.22	h ₂ pada tekanan 1000 kPa dan 1100 kPa	58
Tabel4.23	Freon TM 410A	59
Tabel4.24	Enthalpy AC Dengan Variasi Volume Air 20L Suhu Evaporator 16°C Dengan PCM	59
Tabel4.25	Data Hasil Pengujian AC Pada Variasi Volume Air 40L Suhu Evaporator 16°C Dengan PCM	61
Tabel4.26	Freon TM 410A	62
Tabel4.27	Freon TM 410A Superheated	63
Tabel4.28	h ₂ pada tekanan 1000 kPa dan 1100 kPa	63
Tabel4.29	Freon TM 410A	64
Tabel4.30	Enthalpy AC Dengan Variasi Volume Air 40L Suhu Evaporator Air 16°C Dengan PCM	64
Tabel4.31	Data Hasil Pengujian AC Pada Variasi Volume Air 60L Suhu Evaporator 16°C Dengan PCM	66

Tabel4.32	Freon TM 410A	67
Tabel4.33	Freon TM 410A Superheated	68
Tabel4.34	h ₂ pada tekanan 1000 kPa dan 1100 kPa	68
Tabel4.35	Freon TM 410A	69
Tabel4.36	Enthalpy AC Dengan Variasi Volume Air 60L Suhu Evaporator 16°C Dengan PCM	69
Tabel4.37	Perbandingan Hasil Perhitungan Dengan PCM	71
Tabel4.38	Perbandingan Hasil Perhitungan Tanpa PCM	71

DAFTAR GAMBAR

2.1 Siklus Refrigerant Sistem AC	7
2.2 Diagram P-h Siklus Kompresi Uap Ideal	9
2.3 Siklus Water Heater Air Conditioner	11
2.4 <i>Shell Helical Coil</i>	14
3.1 Plat <i>Stainless Steel</i>	18
3.2 Pipa Tembaga	18
3.3 Kawat Las Perak	19
3.4 Kawat Las Kuningan	19
3.5 <i>Insuflex</i>	20
3.6 Plat Aluminium	20
3.7 Freon	21
3.8 <i>Unit Indoor AC Split</i>	21
3.9 <i>Unit Outdoor AC Split</i>	22
3.10 Lem <i>Dextone Plastic Steel Epoxy</i>	22
3.11 <i>Portable Gas</i>	23
3.12 <i>Pipe Cutter</i> (Pemotong Pipa)	23
3.13 <i>Flaring Tool</i>	24
3.14 <i>Manifold Gauge</i>	24
3.15 Meteran	24
3.16 Gerinda	25
3.17 Gunting Seng	25
3.18 Sensor Suhu	25
3.19 Arduino	26
3.20 Kunci Pas	26
3.21 Kunci L	26
3.22 Nepel	27
3.23 <i>Clampmeter</i>	27
3.24 <i>Double Side Foam Tape</i>	28
3.25 <i>Parafin Wax</i>	28
3.26 Bagan Alir	29
3.27 Tangki Horizontal	31
3.28 Perakitan <i>Helical Coil</i>	33
3.29 Memasang APK ke Dalam Tangki Air	33
3.30 Mengisi Air Ke Dalam Tangki	34
3.31 Rangkaian Sensor Suhu ke Arduino Uno	34
3.32 Bahasa Pemograman Sensor Suhu	35
3.33 Mengisi Freon	35
3.34 Pengambilan Data Arus Listrik	36
3.35 Pengambilan Data Tekanan Refrigerant	36
3.36 Record Data Dengan PLX-DAQ	37
3.37 Proses Pengisian <i>Parafin Wax</i> ke Tangki	37
4.1 Grafik Data Pengujian AC Pada Variasi Volume Air 20L Suhu Evaporator 16°C tanpa PCM	39
4.2 Grafik Data Pengujian AC Pada Variasi Volume Air 40L Suhu Evaporator 16°C tanpa PCM	44

4.3 Grafik Data Pengujian AC Pada Variasi Volume Air 60L Suhu Evaporator 16°C tanpa PCM	50
4.4 Grafik Data Pengujian AC Pada Variasi Volume Air 20L Suhu Evaporator 16°C Dengan PCM	56
4.5 Grafik Data Pengujian AC Pada Variasi Volume Air 40L Suhu Evaporator 16°C Dengan PCM	61
4.6 Grafik Data Pengujian AC Pada Variasi Volume Air 60L Suhu Evaporator 16°C Dengan PCM	66
4.7 Grafik Perbandingan Unjuk Kerja (COP) Dengan Tambahan PCM dan Tanpa PCM	72

DAFTAR NOTASI

Notasi		Satuan
W_{in}	= Kerja Kompresi	Watt
\dot{m}	= laju aliran massa	kg/s
h	= Entalphi	J/kg
Q_L	= Besarnya Panas Dilepas Di Kondensor	Watt
Q_H	= Besarnya Panas Dilepas Diserap Evaporator	Watt
COP_{carnot}	= <i>Coefficient Of Performance</i> Ideal	-
COP_{actual}	= <i>Coefficient Of Performance</i> Sebenarnya	-
η_{ref}	= Perbandingan COP_{carnot} dan COP_{actual}	-
q_k	= Laju Perpindahan Panas Dengan Cara Konduksi	Watt
A	= Luas Perpindahan Panas	m^2
ΔT	= Gradien Suhu Pada Penampang	K
x	= Jarak Dalam Arah Aliran Panas	m
k	= Konduktivitas Thermal Bahan	W/m.K
q	= Laju Perpindahan Panas Dengan Cara Konveksi	Watt
T_w	= Temperatur Dinding	K
T_f	= Temperatur Fluida	K
h	= Koefisien Perpindahan Panas Konveksi	W/ m^2 .K
q_r	= Laju Perpindahan Panas Dengan Cara Radiasi	Watt
e	= Emitansi Permukaan Kelabu	-
σ	= Konstanta Dimensional	BTU/h ft ² °C
T_1	= Temperatur Benda Kelabu	K
T_2	= Temperatur Benda Hitam Yang Mengelilinginya	K
V	= Volume	m^3
d	= Diameter	m
t	= Tinggi	m
P	= Tekanan	kPa
COP	= <i>Coefficien of Performance</i>	-
T	= Temperatur	°C
V	= Tegangan Listrik	Volt
I	= Arus Listrik	Ampere
ER	= Efek Refrigerasi	kJ/kg
W_c	= Kerja Kompresi	kJ/kg
\dot{W}_c	= Daya Kompresor	kW
Q_{out}	= Kalor Buang Kondensor	kJ/s
Q_{in}	= Kalor Serap Evaporator	kJ/s
h_1	= Enthalpy Pada Titik 1	kJ/kg
h_2	= Enthalpy Pada Titik 2	kJ/kg
h_3	= Enthalpy Pada Titik 3	kJ/kg
h_4	= Enthalpy Pada Titik 4	kJ/kg

BAB 1 PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Pada zaman yang modern ini pemakaian *Air Conditioner*(AC) sudah menjadi kebutuhan sehari-hari, baik pada perumahan, perkantoran maupun pusat perbelanjaan. AC biasanya digunakan sebagai penyejuk ruangan agar ruangan terasa lebih nyaman. Akan tetapi, pada saat ini tidak sedikitnya perekayasa teknologi yang dikerjakan oleh ilmuwan. Salah satunya yaitu *Air Conditioner Water Heater (ACWH)*. Perekayasa ini dilakukan agar AC tidak hanya sebagai penyejuk ruangan akan tetapi berfungsi juga sebagai pemanas air. Hal ini dipercaya dapat menghemat pengeluaran biaya untuk pemanas air.

Sistem kerja dari ACWH adalah memanfaatkan kalor yang tidak terpakai dari kompresor AC dengan menambah Alat Penukar Kalor (APK) di sepanjang dinding tangki horizontal. APK yang digunakan adalah *shell helical coil*. Bahan yang digunakan adalah tembaga (*copper*) yang dikarenakan tembaga adalah bahan penghantar panas yang paling baik, sehingga panas yang diserap lebih maksimal daripada logam lainnya. Pada penelitian ini menggunakan APK tipe helix dengan jumlah 15 lilitan dengan dimensi diameter 15 cm dan panjang 53,3 cm dengan panjang total 800 cm.

1.2. Rumusan Masalah

Rumusan masalah pada tugas akhir ini adalah apakah ada perbedaan unjuk kerja (COP) yang dihasilkan AC dengan perbedaan volume air dan penambahan PCM?

1.3. Ruang Lingkup

Ruang lingkup tugas akhir ini adalah menggunakan panas yang terbuang dari kompresor AC dengan menggunakan APK *shell helical coil* sepanjang dinding tangki horizontal

Spesifikasi dari penelitian ini adalah:

1. Unit *air conditioning* (AC) yang digunakan adalah jenis AC split ½ pk.
2. Pipa tembaga ¼ inchi sebagai alat penukar kalor tipe *helical coil* dan tangki air berkapasitas 60 liter.
3. Media pemanasan adalah keluaran *refrigerant* kompresor AC.

4. Arduino uno berfungsi sebagai sistem pembaca sensor suhu yang digunakan sebagai alat pengukur temperatur.
5. PCM yang digunakan adalah Paraffin Wax.
6. Volume air pada tangki yang diuji adalah 20L, 40L, dan 60L.
7. Suhu evaporator yang diuji adalah 16°C.

1.4. Tujuan

Melalui rancang bangun ini diharapkan dapat dicapai berbagai tujuan yaitu sebagai berikut:

1. Untuk menghitung kinerja AC yang menggunakan PCM dan tanpa PCM bersuhu evaporator 16°C dengan variasi volume air 20L, 40L, dan 60L.
2. Untuk membandingkan hasil dari perhitungan kinerja AC yang menggunakan PCM dan tanpa PCM.

1.5. Manfaat

Penulisan ini diharapkan memberikan manfaat sebagai berikut:

1. Memberikan informasi tentang pengaruh dari variasi volume air terhadap kinerja AC (COP).
2. Memberikan informasi tentang pengaruh dari penambahan PCM terhadap kinerja AC (COP).
3. Memberikan informasi kepada pembaca volume air yang paling optimal untuk menghasilkan air panas.
4. Hasil penelitian ini dapat digunakan untuk menambah referensi tentang ACWH.

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Terdahulu

Berikut merupakan beberapa hasil dari penelitian yang berkaitan dengan ACWH :

Chandra Amirsyah Putra Siregar, dkk (2020) melakukan penelitian yang berjudul “Studi Eksperimental Pengaruh Efektifitas ACWH Terhadap Panjang Pipa Kapiler Sebagai Penghantar Panas. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh panjang pipa kapiler terhadap kinerja ACWH. Penelitian yang telah dilakukan yakni ACWH menggunakan APK tipe helix dengan jumlah 3 lilitan dimasukkan dalam tabung dengan dimensi diameter 34cm, dan tinggi 37cm volume air yang bisa ditampung 30liter dengan temperatur dengan suhu air mencapai 60 °C. Dari hasil yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa

1. Semakin panjang pipa kapiler pada ACWH semakin memaksimalkan penyerapan panas pada air, namun tidak memiliki selisih temperatur yang signifikan.

2. Hasil akhir temperatur pemanasan air menggunakan APK dengan panjang pipa 16m pada temperatur evaporator AC 16°C sebesar 53.81°C, pada temperatur evaporator AC 18°C sebesar 51°C, dan pada temperatur evaporator AC 20°C sebesar 46.81°C.

3. Hasil akhir temperatur pemanasan air menggunakan APK dengan panjang pipa 8m pada temperatur evaporator AC 16°C sebesar 53.69°C, pada temperatur evaporator AC 18°C sebesar 49.94°C, dan pada temperatur evaporator AC 20°C sebesar 49.06°C.

4. Untuk memanaskan air dalam tanki sampai 44 0C (temperature air untuk mandi) hanya 30 menit.

Ulil Amri, dkk (2020) melakukan penelitian yang berjudul “Rancang Bangun Acwh Berkapasitas 60 Liter Memanfaatkan Pipa Kapiler Bersirip Sebagai Penghantar Panas”. Penelitian ini bertujuan untuk meneliti efektivitas dari penukar panas untuk memanaskan air dengan volume tangki 60L dan temperatur yang diinginkan adalah 40°C - 45°C. Dari hasil penelitian yang telah dilakukan

dapat disimpulkan bahwa Alat ACWH yang dirancang dan dibangun dapat beroperasi dengan baik. Temperatur air maksimal pada tangki diperoleh dari pengujian dengan temperatur evaporator AC 18°C sebesar 55°C. Sedangkan temperatur air terendah diperoleh dari pengujian temperatur evaporator.

Hendradinata, dkk (2018), melakukan penelitian yang berjudul “Rancang Bangun Water Heater Dengan Memanfaatkan Panas Air Conditioning”. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh kinerja mesin AC sebelum dan sesudah modifikasi ditinjau dari COP actual sebelum dan sesudah dimodifikasi. Setelah melakukan rancang bangun Water Heater, dapat diambil kesimpulan adalah AC dapat dirancang dan diaplikasikan sebagai water heater dengan memanfaatkan panas pada system tersebut. Pemakaian bahan bakar minyak bumi dan gas dapat diminimalisir, karena air conditioner tidak menggunakan bahan bakar minyak bumi dan gas sebagai bahan utama untuk menghidupkan sistem pada AC.

Azridjal Aziz, dkk (2020) melakukan penelitian yang berjudul “Analisa Kinerja Air Conditioning Sekaligus Sebagai Water Heater (ACWH)”. Penelitian ini bertujuan untuk kinerja AC yang sekaligus sebagai pemanas air (ACWH). Dari hasil perhitungan yang dilakukan maka didapatkan data Temperatur air panas yang dihasilkan ACWH di kondensor dummy saat penggunaan secara kontinu adalah 35,22°C - 34,86°C yang merupakan 1,21 kW panas bermanfaat untuk pemanasan air sebesar 30% dibandingkan terhadap daya pendinginan, dimana temperatur ruangan rata-rata 21,5°C. Kerja kompresor pada berbagai kondisi adalah 0,67 kW - 0,68 kW dengan perbedaan sekitar 1,47%, dengan daya pendinginan di evaporator 3,76 kW - 4,08 kW (perbedaan sekitar 5,64% - 7,84%) dan panas buang di kondensor 4,37 kW - 4,76 kW (perbedaan sekitar 4,83% - 8,19%). Coefficient of Performance (COP) ACWH naik dari 5,5 menjadi 7,3. Dengan ACWH COP sistem AC naik sebesar 32%, dengan kerja kompresor yang cenderung tetap, dan daya pendinginan di ruangan turun sekitar 5,64%- 7,8%. Penggunaan ACWH untuk mendapatkan kenyamanan termal, dapat menghemat penggunaan listrik untuk kebutuhan air panas sebesar 1,21 kW untuk memanaskan 50L air. Penggunaan ACWH tidak mempengaruhi kinerja dari sistem AC secara keseluruhan dan memberikan manfaat tambahan sebagai pemanas air.

Siregar, Chandra A, dkk (2021) melakukan penelitian yang berjudul “Efek Penambahan APK Pipa Kapiler Bersirip Sebagai Penghantar Panas Terhadap Performance AC Pada Aplikasi ACWH”. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisa kinerja dari AC dengan penambahan water heater. Jenis APK yang digunakan adalah pipa kapiler bersirip. Kapasitas air didalam tanki sebesar 60 liter. Pada penelitian yang dilakukan ditemukan bahwa perkeyasaan AC dapat dilakukan sehingga mampu menambah fungsi AC menjadi dua bagian utama yakni pengkondisian udara dan pemanas air untuk kebutuhan mandi. Dalam durasi pengujian 60 menit, temperatur air tertinggi dalam tangki sebesar 55,5 °C dari pengujian temperatur evaporator 18 °C. Namun, perkeyasaan teknologi ini juga menyebabkan penurunan performance AC. Dari analisa yang dilakukan ditemukan bahwa nilai COP AC lebih tinggi daripada ACWH. Nilai COP tertinggi tertetak pada pengujian temperature evaporator 20 °C sebesar 3,071 pada AC, sedangkan pada ACWH sebesar 2,964 untuk temperature pengujian evaporator 18 °C.

A.P. Dermawan, dkk (2020) melakukan penelitian yang berjudul “Analisa Tahapan Thermal Tangki Pada Kondensor AC Sebagai Water Heater”. Penelitian in bertujuan untuk menganalisa tahapan-tahapan panas tangki pada kondensor ACWH. Dari penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa :

1. Dari Pengujian dan analisa tangki kondensor sebagai water heater tanpa lapisan yaitu pada suhu air 41,2 °C, stainless steel 44,6 °C, sedangkan pada tangki kondensor dengan lapisan yaitu pada suhu air 43,6 °C, stainless steel 46 °C, lapisan gasbul 43,5 °C, dan lapisan polyurethane 43,7 °C.

2. Dari hasil penelitian didapatkan panas dari kondensor tanpa lapisan yang dipindahkan ke air sebagai water heater adalah 41,2 °C, dan pada tangki kondensor dengan lapisan adalah sebesar 43,6 °C dari perbandingan ke 2 suhu tersebut pada suhu tertinggi dari masing-masing kondensor, adalah sesuai dan dapat digunakan sebagai water heater guna memanfaatkan energi panas buang dan bisa menghemat energi listrik. Pada penelitian ini didapatkan hasil energy losses pada tabung dengan penggunaan lapisan adalah sebesar 44,494 °C/W. Serta dalam penelitian ini untuk penggunaan lapisan pada tangki yaitu lebih efisien dikarenakan panas buang kondenssor suhu air bisa mencapai 43,6 °C yang mana

pada suhu tersebut bisa diaplikasikan untuk pemanas air. Serta suhu dalam tangki kondensor dengan lapisan bisa bertahan lama pada titik tertinggi yaitu 43,6 °C dan membutuhkan waktu 18 jam 10 menit untuk mencapai suhu ruang yaitu 25,6 °C. Serta suhu stabil yaitu 37 °C pada pukul 15:50 - 17:40 WIB atau selama 1 jam 50 menit.

Afdhal Kurniawan Mainil, dkk (2018) melakukan penelitian yang berjudul “Pengaruh Beban Pendingin Pada Mesin Penkondisian Udara Hibrida Dengan Kondesnor Dummy Tipe Multi Helical Coil Sebagai Water Heater”. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh penambahan beban pendingin terhadap temperature, kerja kompresor dan COP sistem pendingin siklus kompresi uap dengan penambahan kondensor dummy . kesimpulan dari penelitian ini adalah Penelitian pengaruh beban pendingin pada mesin penkondisian udara hibrida dengan penambahan kondensor dummy tipe multi helical coil sebagai water heater telah dilakukan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa semakin meningkatnya beban pendinginan di ruang uji maka kerja kompresor semakin meningkat pula. Pebandingan antara temperatur kondensor dengan temperatur ruang uji, semakin tinggi pembebanan pada ruang uji maka temperatur kondensor juga semakin naik. Hal ini disebabkan bahwa kerja kompresor meningkat akibat dari pembebanan yang ada di ruang uji. Pada temperatur air bahwa semakin tinggi nilai beban yang diberikan pada ruang uji maka semakin tinggi juga temperatur air yang dihasilkan. Berdasarkan hasil pengujian selama pengoperasian 120 menit diperoleh temperatur air panas pada kondisi tanpa beban (0W), beban 1000W, 2000W dan 3000W berturut-turut adalah 52,83oC, 56,58oC, 57,93oC dan 64,73oC.

2.2 Refrigerant (AC)

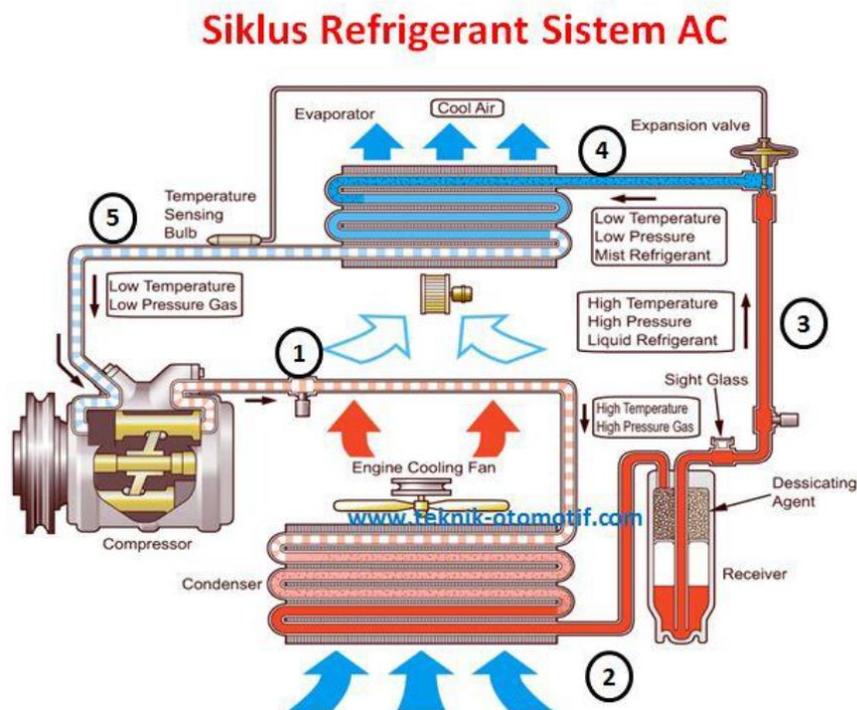
Mesin pendingin adalah suatu rangkaian yang mampu bekerja untuk menghasilkan suhu atau temperature dingin. Mesin pendingin bisanya berupa kulkas, freezer atau AC. Namun AC fungsinya adalah sebagai penyejuk atau pendingin suhu udara dalam ruangan. Adapun proses kerjanya adalah “Penguapan”. Untuk mendapatkan penguapan diperlukan gas (udara) yang mencapai temperature tertentu (panas). Setelah udara tersebut panas diubah agar

kehilangan panas, sehingga terjadi penguapan. Disaat adanya penguapan, maka timbulah suhu di dalam temperature rendah (dingin).

Secara umum pengertian dari AC split yaitu sebuah alat yang berfungsi untuk mengkondisikan udara atau dikatakan sebagai alat yang berfungsi sebagai penyejuk udara. Penggunaan AC dimaksudkan untuk memperoleh temperature yang segar dan sejuk serta temperature yang diinginkan dan nyaman bagi tubuh.

Prinsip kerja AC split pada bagian kompresor sebagai pusat sirkulasi bahan pendingin refrigerant. Dari kompresor, refrigerant akan dipompa dan dialirkan menuju komponen utama AC yaitu kondensor, pipa kapiler dan evaporator. Refrigerant secara terus menerus melewati ke empat komponen utama AC split.

2.2.1 Siklus Refrigerant Sistem AC



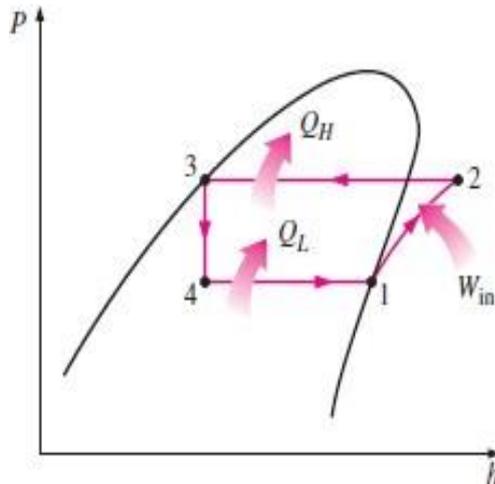
Gambar 2.1 Siklus Refrigerant Sistem AC (Azhar Rizalul Ayyubi, 2020)

1. Pertama, refrigerant dapat mengalir karena adanya kompresor pada sistem AC. Refrigerant yang keluar dari kompresor AC ini akan memiliki tekanan yang tinggi karena refrigerant pada kompresor tersebut dikompresikan. Selain itu, refrigerant juga akan bertemperatur tinggi dan akan berubah wujud menjadi gas. Dengan kata lain, refrigerant yang keluar dari kompresor akan berwujud gas (gas refrigerant), bertemperatur tinggi (high temperature) dan bertekanan tinggi (high pressure).

2. Kedua, setelah refrigerant keluar dari kompresor maka akan disalurkan ke kondenser. Kondenser merupakan komponen yang berfungsi untuk menyerap panas pada refrigerant sehingga refrigerant yang keluar dari kondenser akan mengalami penurunan temperature. Penurunan temperature pada kondenser ini digunakan untuk merubah wujud refrigerant yang pada awalnya berbentuk gas menjadi cair. Refrigerant yang keluar dari kondenser ini akan berwujud cair (liquid refrigerant), memiliki tekanan tinggi (high pressure) dan memiliki temperatur tinggi (high temperature).
3. Ketiga, setelah melewati kondenser selanjutnya refrigerant akan disalurkan ke receiver dryer. Pada receiver dryer refrigerant akan disaring dari kotoran dan akan dipisahkan dari air. Refrigerant yang keluar dari receiver dryer berwujud cair (liquid refrigerant), memiliki tekanan tinggi (high pressure) dan bertemperatur tinggi (high temperature).
4. Keempat, setelah refrigerant melewati receiver dryer selanjutnya akan disalurkan ke katup ekspansi. Pada katup ekspansi inilah refrigerant akan dirubah wujudnya dari cair menjadi kabut. Refrigerant yang keluar dari katup ekspansi ini akan berwujud kabut (mist refrigerant), bertekanan rendah (low pressure) dan bertemperatur rendah (low temperature).
5. Kelima, setelah refrigerant melewati katup ekspansi selanjutnya akan disalurkan ke evaporator. Evaporator ini berfungsi untuk menyerap panas dari udara luar melalui refrigerant. Refrigerant yang semula berwujud kabut, dan ketika di evaporator refrigerant akan menyerap panas sehingga karena menyerap panas dari udara luar maka refrigerant akan berubah wujud menjadi gas. (Azhar Rizalul Ayyubi, 2020)

2.2.2 Siklus Kompresi Uap

Komponen utama sistem kompresi uap dengan sebuah siklus kompresi uap adalah kompresor, evaporator, kondensor dan katup ekspansi. Gambar 2.1. Siklus refrigerasi kompresor uap. Pada diagram P-h, siklus refrigerasi kompresi uap dapat digambarkan sebagai berikut :



Gambar 2.2 Diagram P-h siklus kompresi uap ideal (Pardamean Rio, 2020)

Dalam proses termodinamika yang terjadi pada sistem kompresi uap ini dapat dibagi atas 4 proses ideal, yaitu:

- 1-2s: adalah proses kompresi isentropik dari tekanan evaporator ketekanan kondensor. Pada titik 1, idealnya refrigeran berada pada fasa cair jenuh setelah menyerap panas pada suhu rendah dari evaporator. Kerja kompresor (W_{in}) dapat dirumuskan dengan persamaan berikut:

$$W_{in} = \dot{m} (h_2 - h_1) \dots\dots\dots (2.1)$$

- 2s-3: adalah perpindahan panas yang diikuti kondensasi dari kondensor pada tekanan konstan. Pada bagian awal sisi masuk kondensor refrigeran masih dalam kondisi *superheat* dan akibat pendinginan akan turun suhunya hingga mencapai temperatur kondensasi, dan akhirnya menjadi cair jenuh pada sisi keluar kondensor. Kalor yang dilepas pada kompresor dapat dirumuskan dengan persamaan berikut:

$$Q_H = \dot{m} (h_2 - h_3) \dots\dots\dots (2.2)$$

- 3-4: adalah ekspansi adiabatik dari tekanan kondensor ketekanan evaporator. Akibat penurunan tekanan, temperatur akan turun. Pada sisi masuk evaporator sebagian fluida berada pada fasa cair dan sebagian lagi menjadi uap.
- 4-1: adalah penguapan pada tekanan konstan. Disini fluida menyerap panas dari medium agar dapat menguap. Refrigeran akan seluruhnya menguap disisi keluar evaporator dan siklus akan berulang kelangkah

1. Kalor yang diserap pada evaporator dapat dirumuskan dengan persamaan berikut:

$$Q_L = \dot{m} (h_1 - h_4) \dots\dots\dots (2.3)$$

(Pardamean Rio, 2020)

2.2.3 Kinerja Sistem Pendingin (Performansi)

Performansi suatu sistem pendingin disebut dengan *Coefficient Of Performance* (COP). Besaran ini menyatakan kemampuan sistem untuk menarik kalor dari ruangan (di evaporator) per satuan daya kompresor.

COP_{carnot} atau COP_{ideal} merupakan COP maksimum yang dapat dimiliki oleh suatu sistem. COP_{carnot} dapat diperoleh dengan menggunakan persamaan:

$$COP_{carnot} = \frac{T_{Evaporasi}}{T_{kondensasi} - T_{Evaporasi}} \dots\dots\dots (2.4)$$

COP_{aktual} , merupakan COP sebenarnya yang dimiliki oleh suatu sistem. COP_{aktual} ini dapat diperoleh dengan persamaan :

$$COP_{aktual} = \frac{q_e}{q_w} \dots\dots\dots (2.5)$$

Perbandingan besaran COP_{aktual} dan COP_{carnot} menunjukkan efisiensi sistim refrergerasi dengan persamaan sebagai berikut:

$$\eta_{ref} = \frac{COP_{aktual}}{COP_{carnot}} \dots\dots\dots (2.6)$$

(Ade Suryatman Margana, dkk, 2019)

2.3 Aplikasi ACWH

Water Heater Air Conditioner (WHAC) adalah sistim yang memanfaatkan panas buang dari sistim pendinginan untuk memanaskan air. Sebagian kalor dari refrigeran yang sudah dikompresi oleh kompresor digunakan untuk memanaskan air dengan bantuan alat penukar kalor. Penukaran kalor inilah yang sangat menentukan kinerja dari Water Heater Air Conditioner (WHAC). Dibutuhkan penukar kalor yang dapat memindahkan kalor semaksimal mungkin dari refrigeran tanpa menyebabkan pressure drop berlebihan yang dapat mempengaruhi kinerja sistem pendingin. (Iskandar Husin, dkk, 2018)

2.4 Perpindahan Panas

Perpindahan panas merupakan proses peristiwa mengalirnya energi berupa panas akibat adanya perbedaan suhu diantara benda dan material. Terdapat beberapa jenis dari perpindahan panas yaitu konduksi (*conduction*) atau hantaran, konveksi (*convection*) atau rambatan, radiasi (*raditation*) atau pancaran. (Rahmad Husein, 2021).

2.4.1 Perpindahan Panas Konduksi (*Conduction*)

Konduksi adalah proses dimana panas mengalir dari daerah yang bersuhu tinggi kedaerah yang bersuhu lebih rendah di dalam satu medium (padat, cair atau gas) atau antara medium-medium yang berlainan yang bersinggungan secara langsung (Ambarita, 2012). Dalam aliran panas konduksi, perpindahan energi terjadi karena hubungan molekul secara langsung tanpa adanya perpindahan molekul yang cukup besar. Konduksi adalah satu-satunya mekanisme dimana panas dapat mengalir dalam zat padat yang tidak tembus cahaya. Konduksi penting pula dalam fluida, tetapi di dalam medium yang bukan padat biasanya tergabung dengan konveksi, dan dalam beberapa hal juga dengan radiasi. Persamaan dasar untuk konduksi satu dimensi dalam keadaan studi dapat ditulis:

$$q_k = -kA \frac{\Delta t}{x} \dots\dots\dots (2.7)$$

2.4.2 Perpindahan Panas Konveksi (*Convection*)

Konveksi adalah proses transport energi dengan kerja gabungan dari konduksi panas, penyimpanan dan gerakan mencampur. Konveksi sangat penting sebagai mekanisme perpindahan energi antara permukaan benda padat dan cairan atau gas. Perpindahan energi dengan cara konveksi dari suatu permukaan yang suhunya di atas suhu fluida sekitarnya berlangsung dalam beberapa tahap. Pertama, panas akan mengalir dengan cara konduksi dari permukaan ke partikel-partikel fluida yang berbatasan. Energi yang berpindah dengan cara demikian akan menaikkan suhu dan energi dalam partikel-partikel fluida ini. Kemudian partikel-partikel fluida tersebut akan bergerak ke daerah yang bersuhu rendah didalam fluida di mana mereka akan bercampur dengan, dan memindahkan sebagian energinya pada partikel-partikel fluida lainnya. Dalam hal ini alirannya adalah aliran fluida maupun energi (Ambarita, 2011).

Energi sebenarnya disimpan di dalam partikel-partikel fluida dan diangkut sebagai akibat gerakan massa partikel-partikel tersebut. Mekanisme ini untuk operasinya tidak tergantung hanya pada beda suhu dan oleh karena itu tidak secara tepat memenuhi definisi perpindahan panas. Tetapi hasil bersihnya adalah angkutan energi, dan karena terjadinya dalam arah gradien suhu, maka juga digolongkan dalam suatu cara perpindahan panas dan ditunjuk dengan sebutan aliran panas dengan cara konveksi (Ambarita, 2011). Perpindahan panas secara konveksi antara batas benda padat dan fluida terjadi dengan adanya suatu gabungan dari konduksi dan angkutan (transport) massa. Jika batas tersebut bertemperatur lebih tinggi dari fluida, maka panas terlebih dahulu mengalir secara konduksi dari benda padat ke partikel-partikel fluida di dekat dinding. Energi yang di pindahkan secara konduksi ini meningkatkan energi di dalam fluida dan terangkut oleh gerakan fluida. Bila partikel-partikel fluida yang terpanaskan itu mencapai daerah yang temperaturnya lebih rendah, maka panas berpindah lagi secara konduksi dari fluida yang lebih panas ke fluida yang lebih dingin (Buchori, 2011).

Laju perpindahan panas dengan cara konveksi antara suatu permukaan dan suatu fluida dapat dihitung dengan hubungan:

$$q = h A (T_w - T_f) \dots\dots\dots (2.8)$$

2.4.3 Perpindahan Panas Radiasi (Radiation)

Radiasi adalah proses dengan mana panas mengalir dari benda yang bersuhu tinggi ke benda yang bersuhu rendah bila benda-benda itu terpisah di lama ruang, bahkan bila terdapat ruang hampa di antara benda-benda tersebut. Semua benda memancarkan panas radiasi secara terus-menerus. Intensitas pancaran tergantung pada suhu dan sifat permukaan. Energi radiasi bergerak dengan kecepatan cahaya (3 x 10⁸ m/s) dan gejala-gejalanya menyerupai radiasi cahaya. Memang menurut teori elektromagnetik, radiasi cahaya dan radiasi thermal hanya berbeda dalam panjang gelombang masing-masing (Holman, 2002). Untuk mengitung besarnya panas yang dipancarkan dapat digunakan rumus sebagai berikut:

$$q_r = e A \sigma (T_1^4 - T_2^4) \dots\dots\dots (2.9)$$

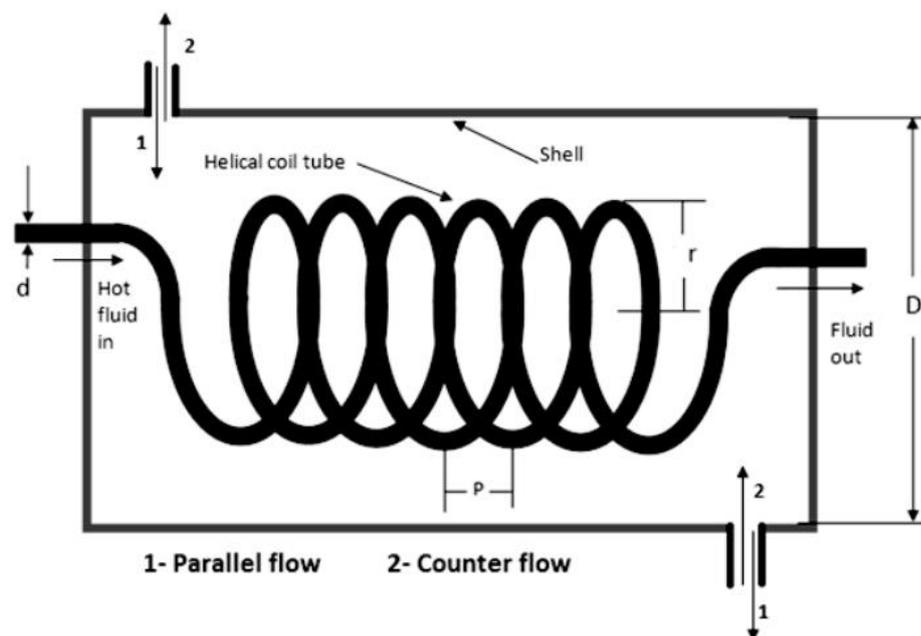
(Idawati Supu, dkk, 2016)

2.5 Alat Penukar Kalor

Alat penukar kalor adalah suatu alat yang memungkinkan perpindahan panas dan bisa berfungsi sebagai pemanas maupun sebagai pendingin. Biasanya, medium pemanas dipakai uap lewat panas (*super-heated system*) dan air biasa sebagai air pendingin (*cooling water*). Penukar panas dirancang sebisa mungkin agar perpindahan panas antar fluida dapat berlangsung secara efisien. Pertukaran panas terjadi karena adanya kontak, baik antara fluida terdapat dinding yang memisahkannya maupun keduanya bercampur langsung begitu saja. (M. Zainu Azkiy, dkk, 2020)

2.6 Shell Helical Coil

Penukar panas koil heliks adalah desain shell dan pipa kompak yang terdiri dari beberapa lapisan pipa kapiler melingkar dalam shell tertutup.



Gambar 2.4 Shell helical coil (Asif Afzal, 2019)

Cairan yang mengalir mengalami gaya sentrifugal karena bentuk tabung yang melengkung. Kecepatan aksial lokal dari partikel fluida dan jari-jari kelengkungan kumparan menentukan besarnya gaya sentrifugal yang dialami. Kecepatan partikel cairan yang mengalir di inti tabung lebih tinggi daripada yang mengalir di dekat dinding tabung. Dengan demikian, gaya sentrifugal yang lebih sedikit akan dialami oleh partikel fluida yang mengalir dekat ke dinding tabung daripada di inti tabung. Ini mendorong cairan dari daerah inti ke arah dinding luar

(menjauh dari sumbu koil). Aliran ini bercabang dua di dinding dan mendorong cairan menuju dinding bagian dalam pada tabung terikat, menimbulkan generasi vortisitas berputar balik yang disebut sebagai aliran sekunder. Ini mengarah untuk menghasilkan transportasi ekstra cairan di atas penampang tabung. Pengangkutan ekstra konvektif ini akan meningkatkan perpindahan panas dan oleh karena itu tekanan turun jika dibandingkan dengan tabung lurus. Telah ditemukan bahwa dampak kelengkungan kumparan adalah untuk menekan fluktuasi turbulen yang timbul dalam fluida yang mengalir dan menghaluskan munculnya turbulensi. Dengan demikian itu akan meningkatkan nilai bilangan Reynolds (Re) yang diperlukan untuk mencapai aliran turbulen penuh, dibandingkan dengan pipa lurus. Dampak dari penindasan fluktuasi turbulen meningkat ketika rasio kelengkungan kumparan meningkat. (Ayare, 2017)

2.7 Phase Change Material (PCM)

Phase Change Material (PCM) adalah yang paling banyak *Thermal Energy Storage* (TES) yang efektif. PCM dapat menjalani proses reversibel dari proses peleburan atau pembekuan (solidifikasi) yang dapat digunakan untuk mempertahankan suhu yang konstan selama jangka waktu tertentu. (H. Ambarita, dkk, 2017). PCM merupakan suatu zat dengan kapasitas penyimpanan panas laten yang tinggi, melebur dan padat pada suhu tertentu. Kriteria konduksi dan konveksi perpindahan panas memungkinkan PCM untuk menyimpan panas ini sebagai panas laten. (S.A Khot, dkk, 2011).

Lilin (*paraffin wax*) merupakan salah satu jenis PCM yang berfungsi sebagai penyimpanan panas laten pada pemanas. (Mettawe, dkk, 2006).

Tabel 2.1 Sifat termal dan fisik parafin wax

Sifat thermal dan fisik	Nilai
Temperatur leleh ($^{\circ}\text{C}$)	59,1
Panas laten/fusi (kJ/kg)	173,6
Massa jenis (kg/m^3)	
Padat	910
Cair	790
Panas spesifik (kJ/kg. $^{\circ}\text{C}$)	
Padat	2
Cair	2,15
Konduktivitas termal (W/m.K)	
Padat	0,346
Cair	0,22

(Napitupulu, 2014)

2.8 Road Map Penelitian

Tabel 2.2 *Road Map* Penelitian ACWH di Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara

No	Nama	NPM	Judul Penelitian
1	Setiawan Hadi	1507230197	Rancang Bangun ACWH (<i>Air Conditioner Water Heater</i>) Dengan Alat Penukar Kalor Tipe <i>Shell and Helical Coil</i>
2	Arifin Handrianto	1507230156	Analisa <i>Performance Air Conditioner</i> (AC) Dengan Penambahan APK <i>Shell Helical Coil</i>
3	Andri Kurniawan	1507230193	Pengaruh Panjang Pipa Kapiler Terhadap Efektivitas Alat Penukar Kaor Tipe <i>Shell Helical Coil</i>
4	Ulil Amri	1507230164	Upaya Peningkatan <i>Performance</i> ACWH Dengan Penambahan Sirip Pada APK <i>Shell Helical Coil</i>
5	Yogi Pranata	1507230218	Peningkatan Kerja ACWH Dengan Memanfaatkan <i>Honeycomb Surface</i> Berbahan Tembaga Sebagai Penukar Kalor
6	Fadli Umri Pratama	1507230224	Pengaruh Diameter <i>Honeycomb Surface</i> Berbahan Alumunium Terhadap Kinerja ACWH
7	Febry Andrean	1507230159	Penerapan <i>Honeycomb Surface</i> Berbahan Kuningan Sebagai Penukar Kalor pada ACWH
8	Dana Setiawan	1507230178	Analisis Unjuk Kerja (COP)Mesin Pengkondisian Udara (AC) Dengan Penambahan Alat Penukar kalor Tipe <i>Shell Helical Coil</i> Bersirip Sebagai Pemanas Air
9	Aldi Trisna Irawan	1607230062	Analisa Numerik Laju Perpindahan Panas Pada ACWH Dengan Pipa Kapiler Sebagai Penghantar Panas
10	M.Kamaludin Wahdani	1607230075	Analisa Numerik Perpindahan Panas Pada ACWH Dengan <i>Honeycomb</i> Sebagai Penghantar Panas
11	Irham Rosyadi	1807230019	Rancang Bangun ACWH Dengan Model Tangki Horizontal dan APK <i>Helical Coil</i> Bersirip
12	Fahri Fadillah Nasution	1807230023	Analisa COP Pada Aplikasi ACWH Dengan Tangki Horizontal
13	Moranelo Maichino	1807230090	Studi Experimental Pengaruh Volume Tangki Terhadap Kinerja AC Pada Aplikasi ACWH

BAB 3 METODE PENELITIAN

3.1 Tempat dan Waktu Penelitian

3.1.1 Tempat

Tempat pelaksanaan dalam pengerjaan Studi Experimental Pengaruh Volume Tangki Terhadap Kinerja AC Pada Aplikasi ACWH ini adalah di Laboraturium Prestasi Mesin Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara. Jalan Kapten Mukhtar Basri No.3 Medan.

3.1.2 Waktu

Pengerjaan Studi Experimental ini dilaksanakan setelah mendapat persetujuan dari dosen pembimbing, dapat dilihat pada tabel 3.1 dibawah ini.

Tabel 3.1 jadwal dan kegiatan saat melakukan penelitian.

No	Kegiatan	Waktu (Bulan)					
		1	2	3	4	5	6
1	Studi literature						
2	Rancang bangun alat penelitian						
3	Pengujian dan pengambilan data						
4	Analisa data						
5	Penulisan laporan akhir						
6	Seminar hasil dan sidang sarjana						

3.2 Bahan dan Alat

Bahan merupakan sesuatu yang diperlukan dan bagian dari sesuatu yang akan dibuat dan diambil datanya. Sedangkan alat merupakan sesuatu yang digunakan dalam penelitian untuk membuat atau mengukur sesuatu berupa benda. Bahan dan alat yang digunakan dalam proses penelitian ini adalah sebagai berikut:

3.2.1 Bahan

1. Plat *Stainless Steel*

Plat *stainless steel* digunakan untuk pembuatan tangki dari ACWH. Adapun plat *stainless steel* yang digunakan dalam penelitian ini bisa dilihat pada gambar 3.1.



Gambar 3.1 Plat *stainless steel*

Dimensi : 1,2m x 2,4m x 0,8mm

2. Pipa Tembaga

Pipa tembaga digunakan untuk pembuatan alat penukar kalor *helical coil* dari ACWH. Pipa tembaga yang digunakan pada penelitian ini bisa dilihat pada gambar 3.2.



Gambar 3.2 Pipa Tembaga

Merk : NSC

Diameter luar : 6,35 mm

Diameter dalam : 5,53 mm

Panjang : 8 m

3. Kawat Las Perak

Kawat las perak berfungsi sebagai bahan tambah untuk pengelasan tembaga dengan tembaga. Kawat las tembaga yang digunakan dalam penelitian ini dapat dilihat pada gambar 3.3.



Gambar 3.3 Kawat Las Perak

4. Kawat Las Kuningan

Kawat las perak berfungsi sebagai bahan tambah untuk pengelasan tembaga dengan besi atau penyambungan *helical coil* dengan tangki. Kawat las perak yang digunakan dalam penelitian ini dapat dilihat pada gambar 3.4



Gambar 3.4 Kawat Las Kuningan

5. *Insulflex*

Insulflex berfungsi sebagai pelapis atau isolasi thermal bagi tangki ACWH. *Insulflex* yang digunakan dalam penelitian ini bisa dilihat pada gambar 3.5.



Gambar 3.5 *Insulflex*

Dimensi : 1,2cm x 90cm x 120cm

6. Plat Aluminium

Plat aluminium berfungsi sebagai pelapis dari insulflex untuk mencegah dari goresan. Plat aluminium yang digunakan pada penelitian ini dapat dilihat pada gambar 3.6.



Gambar 3.6 Plat Aluminium

Dimensi : 0,2mm x 1m x 2m

7. Freon

Freon berfungsi sebagai bahan pendingin pada AC sekaligus pemanas yang di alirkan melalui APK *Helical coil*. Adapun freon yang digunakan pada penelitian ini bisa dilihat pada gambar 3.7.



Gambar 3.7 Freon

Tipe : *Refrigerant R-410*

3.2.2 Alat

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

1. *Unit Indoor AC split*

Unit indor AC yang digunakan dalam penelitian ini menggunakan unit indoor seperti pada gambar 3.8



Gambar 3.8 *Unit Indoor AC Split*

Kapasitas AC : 1/2 PK

Input daya : 400 W

2. *Unit Outdoor AC Split*

Unit outdoor yang digunakan dalam penelitian ini dapat dilihat dalam gambar 3.9



Gambar 3.9 *Unit Outdoor AC Split*

Arus kompresor : 11 A

Tegangan : 220 V

Daya : 1/2-fase a.c

3. *Lem Dextone Plastic Steel Epoxy*

Lem *dextone plastic steel epoxy* digunakan untuk merekatkan plat aluminium terhadap insuflex. lem *dextone plastic steel epoxy* 3.10



Gambar 3.10 *Lem dextone plastic steel epoxy*

4. *Portable Gas*

Portable gas berfungsi untuk menyambung pipa tembaga dalam rangkaian ACWH. *Portable gas* yang digunakan dalam penelitian ini bisa dilihat pada gambar 3.11.



Gambar 3.11 *Portable Gas*

5. *Pipe Cutter* (Pemotong Pipa)

Pipe cutter (pemotong pipa) berfungsi untuk memotong pipa tembaga. Adapun *pipe cutter* yang digunakan dalam penelitian ini bisa dilihat pada gambar 3.12



Gambar 3.12 *Pipe Cutter*

6. Flaring Tool

Flaring tool berfungsi untuk mengembangkan ujung pipa tembaga agar dapat disambungkan dengan pipa tembaga lainnya. Flaring tool yang digunakan dalam penelitian ini dapat dilihat pada gambar 3.13.



Gambar 3.13 Flaring Tool

7. Manifold Gauge

Manifold gauge berfungsi untuk mengetahui tekanan freon pada AC, alat ini bisa juga digunakan untuk mengisi freon AC. Adapun manifold gauge yang digunakan pada penelitian ini bisa dilihat pada gambar 3.14.



Gambar 3.14 Manifold Gauge

8. Meteran

Meteran berfungsi untuk mengukur besi siku atau pipa tembaga yang diinginkan untuk dipotong sesuai ukuran. Meteran yang digunakan dalam penelitian ini bisa dilihat pada gambar 3.15.



Gambar 3.15 Meteran

Lebar : 25 mm

Panjang max : 7,5 m

9. Gerinda

Gerinda berfungsi untuk memotong dan menghaluskan besi. Gerinda yang digunakan pada penelitian ini bisa dilihat pada gambar 3.16.



Gambar 3.16 Gerinda

10. Gunting seng

Gunting seng berfungsi untuk memotong aluminium yang digunakan pada penelitian ini bisa dilihat pada gambar 3.17



Gambar 3.17 Gunting seng

11. Sensor Suhu

Sensor suhu berfungsi untuk mengetahui suhu kompresor, kondensor dan air. Sensor suhu yang digunakan pada penelitian ini bisa dilihat pada gambar 3.18.



Gambar 3.18 Sensor Suhu

Tipe	: DS18B20
Suhu max	: 135 °C
Suhu min	: -35 °C

12. Arduino

Arduino berfungsi untuk membuat bahasa program dari sensor suhu yang digunakan. Arduino yang digunakan pada penelitian ini bisa dilihat pada gambar 3.19.



Gambar 3.19 Arduino

Tipe : Arduino UNO

Operating voltage : 5 V

Input voltage : 6 – 20 V

13. Kunci pas

Kunci pas berfungsi untuk mengencangkan dan membuka baut yang ada dalam rangkaian ACWH. Adapun kunci pas yang digunakan pada penelitian ini bisa dilihat pada gambar 3.20



Gambar 3.20 Kunci Pas

14. Kunci L

Kunci L berfungsi untuk membuka dan menutup tube yang ada pada tabung penyimpanan freon. Kunci L yang digunakan dalam penelitian ini bisa dilihat pada gambar 3.21.



Gambar 3.21 Kunci L

15. Nepel

Nepel berfungsi untuk menyambung pipa tembaga dan menahan kebocoran pada pipa tembaga. Adapun nepel yang digunakan pada penelitian ini dapat dilihat pada gambar 3.22.



Gambar 3.22 Nepel

16 *Clampmeter*

Clampmeter digunakan untuk mengukur besarnya arus listrik pada sistem AC. *Clampmeter* dapat dilihat pada gambar 3.23



Gambar 3.23 *Clampmeter*

Model : Digital Fluke 266

Pengukuran arus AC : A 999 A

Rentang Resistansi : 4 Ω

17. *Double Side Foam Tape*

Double side foam tape digunakan untuk merekatkan insuflex pada tangki. 3m *Double Tape* dapat dilihat pada gambar 3.24



Gambar 3.24 *Double side foam tape*

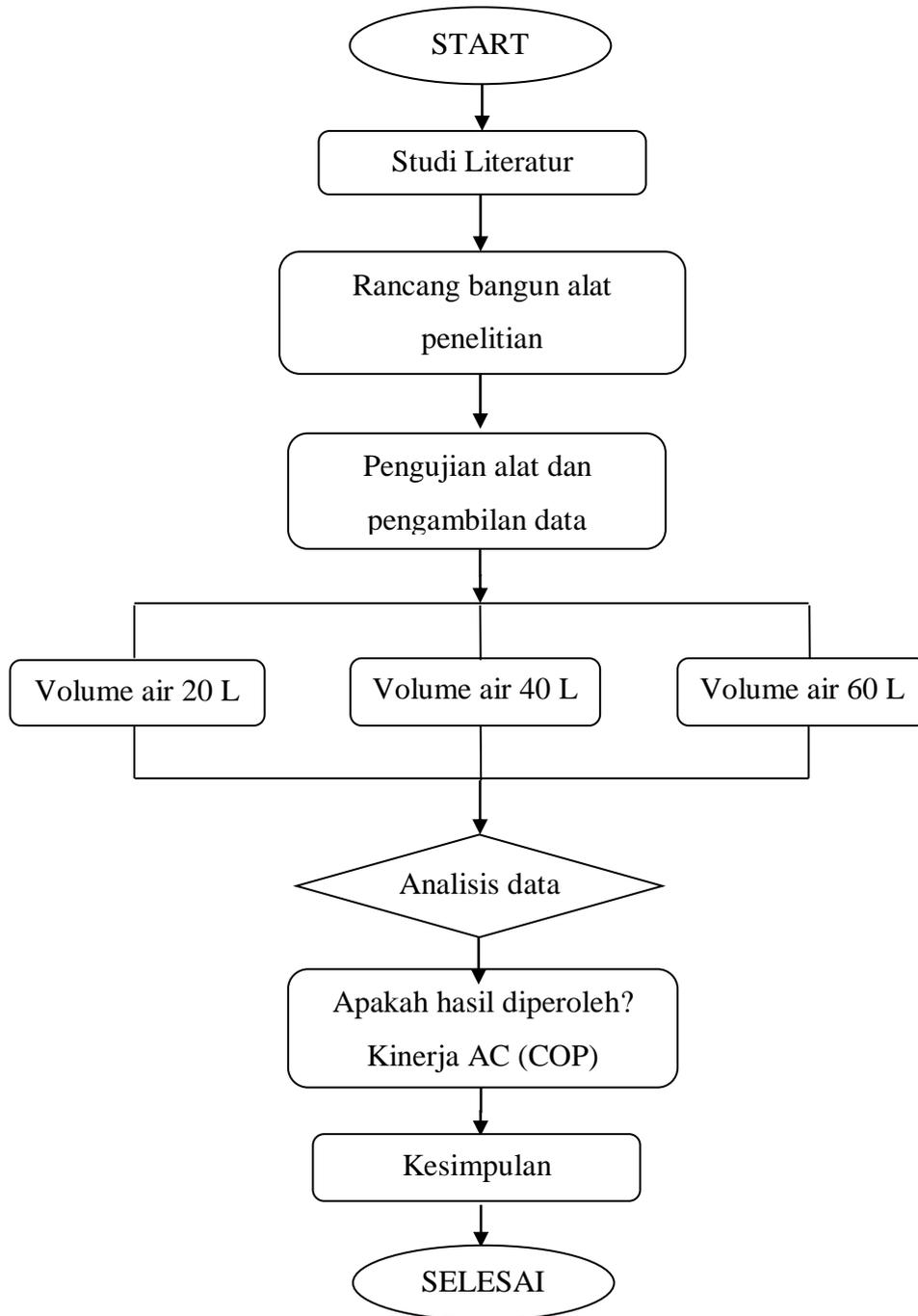
18. *Parafin Wax*

Parafin Wax digunakan sebagai isolator tambahan pada tangki air. *Parafin Wax* dapat dilihat pada gambar 3.25



Gambar 3.25 *Parafin Wax*

3.3 Bagan Alir



Gambar 3.26 Bagan Alir

3.3.1 Penjelasan Diagram Alir

1. Study Literature, merupakan bagian sangat penting dari sebuah proposal atau laporan penelitian, teori-teori yang melandasi dilakukannya penelitian. Studi literature dapat diartikan sebagai kegiatan yang meliputi mencari, membaca dan menelaah laporan-laporan penelitian dan bahan pustaka yang memuat teori-teori yang relevan dengan penelitian yang akan dilakukan.
2. Rancang bangun adalah proses perancangan dilakukan sebagai gambaran alat yang diteliti agar sesuai dengan yg direncanakan.
3. Pengujian adalah proses pengujian mesin yang sudah dirancang dan dibuat untuk mengetahui apakah alat berkerja sesuai dengan yang diinginkan.
4. Variasi volume air 20 L, 40 L dan 60 L.
5. Analisis data adalah untuk menghitung kinerja AC pada variasi volume air tangki horizontal.
6. Kesimpulan adalah data-data yang didapat dari hasil analisis diantaranya: kerja kompresi, efek refrigerasi, daya kompresor, laju aliran massa refrigeran, kalor yang dibuang kondensor, kalor yang diserap evaporator, dan unjuk kerja (COP).

3.4 Variabel yang dicari

Adapun variabel yang dicari pada penelitian ini antara lain :

1. Kerja kompresor (W_c)
 - a. h_1 (entalphi refrigerant saat masuk kompresor)
 - b. h_2 (entalphi refrigerant saat keluar kompresor)
2. q lepas (q_c)
 - a. h_2 (entalphi refrigerant saat masuk kodensor)
 - b. h_3 (entalphi refrigerant saat keluar kondensor)
3. q evaporasi (q_e)
 - a. h_1 (entalphi refrigerant saat keluar evaporator)
 - b. h_4 (entalphi refrigerant saat masuk evaporator)
4. *Coefficient Of Performance* (COP)

3.5. Desain Alat Penelitian

3.5.1 Tangki Horizontal

Dibawah ini merupakan gambar tangki horizontal. Tangki menggunakan material seperti plat *stainless steel* yang memiliki ketebalan 0,8mm dan dimensi 1,2m x 2,4m dipilih plat *stainless steel* tahan korosi/karat dan pengerjaannya yang lebih mudah. Tangki berfungsi sebagai wadah penampung air dan sebagai tempat untuk memanaskan air. Pada perancangan ini volume tangki yang diinginkan adalah 60 liter, diameter 35 cm. Seperti terlihat pada gambar 3.27.

$$\text{Volume (V)} : 60 \text{ L} = 0,06 \text{ m}^3$$

$$\text{Diameter (d)} : 35 \text{ cm} = 0,35 \text{ m}$$

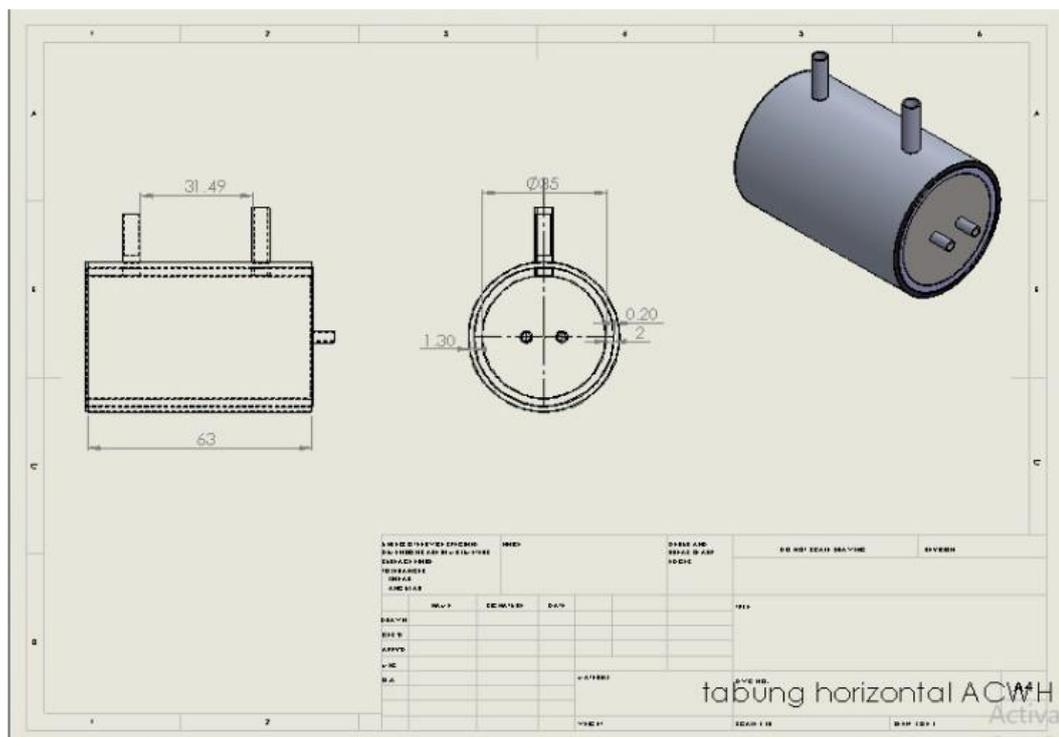
Dimana :

$$V = \pi r^2 t$$

$$0,06 = \pi \cdot 0,175^2 t$$

$$t = \frac{0,06}{\pi \cdot 0,175^2}$$

$$t = 0,623\text{m} \approx 63 \text{ cm}$$



Gambar 3.27 Tangki Horizontal

3.5.2. Perancangan *Helical Coil*

Adapun langkah-langkahnya sebagai berikut :

- Menyediakan laptop.
- Membuka software solidwork 2014 pada laptop.
- Material yang digunakan untuk membuat helical coil yaitu pipa kapiler berbahan tembaga.
- Kemudian merancang helical coil sesuai dengan ukuran yang digunakan pada perancangan *helical coil* dengan jumlah 15 yaitu : Diameter dalam pipa kapiler 0,553 cm, Diameter luar 0,635 cm, Panjang pipa kapiler 8 meter, Diameter *helical coil* 150 mm, Tinggi helical coil 600 mm..
- Selesai.

3.6 Perkaitan Alat Penelitian

3.6.1. Pembuatan dan Pelapisan Tangki Horizontal

Tangki dikerjakan sesuai rancangan yang telah dibuat. Tangki dibuat menggunakan plat *stainless steel* dengan dimensi 1,2m x 2,4m dan tebal 0,8 mm. Tangki mempunyai panjang 62 cm dan diameter 35 cm. Kemudian tangki di lapisi dengan PCM (*Phase Change Material*) dengan tebal 2cm dan dilapisi menggunakan plat aluminium dengan tebal 0,2mm. Setelah itu tangki dilapisi lagi dengan insuflex dan plat aluminium. Pelapisan menggunakan PCM, insuflex dan plat aluminium bertujuan untuk menahan panas yang ada didalam tangki. Fungsi dari tangki adalah sebagai tempat untuk menampung air yg akan dipanaskan.

3.6.2 Perakitan *Helical Coil*

Perakitan *Helical Coil* dilakukan secara manual dengan menggunakan tangan dan sambungan pipa berdiameter 15cm, digunakannya sambungan pipa bertujuan untuk diameter lilitan *helical coil* sesuai dengan ukuran yang direncanakan. Proses ini dapat dilihat pada gambar 3.29.



Gambar 3.29 Perakitan *Helical Coil*

3.7 Prosedur Pengujian dan Pengambilan Data

Adapun prosedur pengujian dan pengambilan data ACWH dengan menggunakan PCM dan tanpa PCM yaitu dengan langkah-langkah sebagai berikut:

1. Menyiapkan alat dan bahan uji ACWH.
2. Memasang APK tipe *helical coil* ke tangki air.



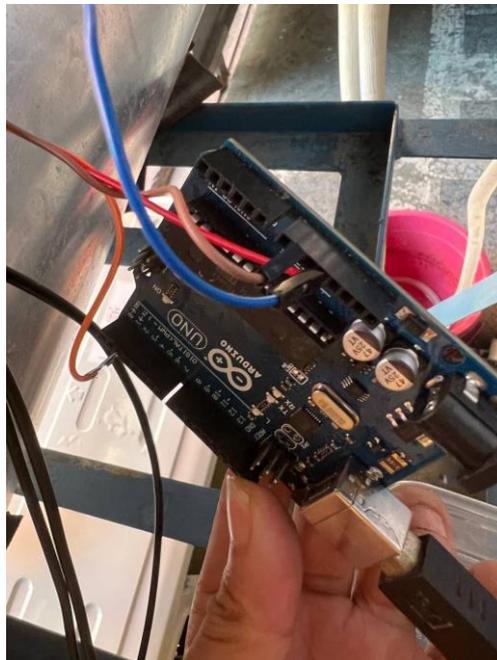
Gambar 3.30 Memasang APK ke Dalam Tangki Air

3. Mengisi tangki dengan air sesuai dengan pengujian yang sedang diuji (20 liter, 40 liter, dan 60 liter).



Gambar 3.31 Mengisi Air Ke Dalam Tangki

4. Menghubungkan sensor suhu ke arduino uno



Gambar 3.32 Rangkaian Sensor Suhu ke Arduino Uno

5. Menghidupkan laptop dan membuka bahasa program sensor suhu pada arduino uno. Kemudian hubungkan USB arduino uno ke laptop.

```
SENSOR_SUHU_DS_18 | Arduino 1.8.19 (Windows Store 1.8.57.0)
File Edit Sketch Tools Help
SENSOR_SUHU_DS_18
#include <OneWire.h>
#include <DallasTemperature.h>
#define ONE_WIRE_BUS 2
OneWire oneWire(ONE_WIRE_BUS);
DallasTemperature sensor(oneWire);

float suhuD18B20_0;
float suhuD18B20_1;
float suhuD18B20_2;
float suhuD18B20_3;
float suhuD18B20_4;

void setup(void)
{
  Serial.begin(9600);
  Serial.println("CLEAR DATA");
  sensor.begin();
}

void loop(void)
{
  sensor.requestTemperatures();
  suhuD18B20_0 = sensor.getTempCByIndex(0);
  suhuD18B20_1 = sensor.getTempCByIndex(1);
  suhuD18B20_2 = sensor.getTempCByIndex(2);
  suhuD18B20_3 = sensor.getTempCByIndex(3);
  // suhuD18B20_4 = sensor.getTempCByIndex(4);
}
```

Gambar 3.33 Bahasa Pemrograman Sensor Suhu

6. Menghidupkan alat uji AC, kemudian pasang *manifold gauge* untuk mengetahui tekanan *refrigerant* dan mengisi freon AC sesuai kebutuhan penelitian pada setiap pengujian.



Gambar 3.34 Mengisi Freon

7. Catat hasil pengujian dalam rentang waktu 1 jam.
8. Pengambilan data pada pengujian meliputi : tekanan refrigerant, temperatur evaporator, temperatur keluaran kompresor, temperatur masuk kondensor, temperatur air dalam tangki dan temperatur PCM.
9. Selanjutnya setelah selesai dilakukan pengujian tanpa menggunakan PCM, Cairkan PCM dengan cara dipanaskan hingga mencair, lalu di masukkan ke dalam tangka untuk PCM.
10. Lalu lanjutkan pengujian dan pengambilan data dengan cara yang sama sebelumnya.

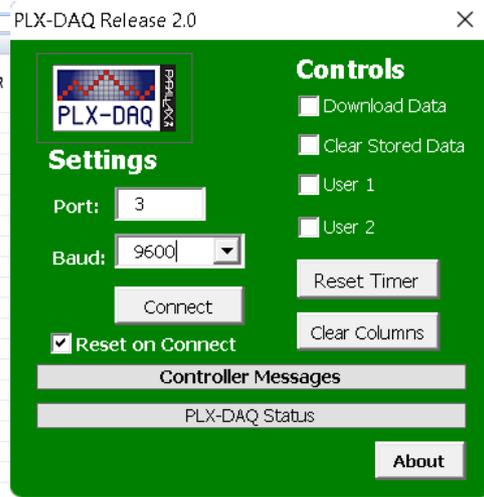


Gambar 3.35 Pengambilan Data Arus Listrik AC



Gambar 3.36 Pengambilan Data Tekanan Refrigerant

	A	B	C	D	E
1	WAKTU	TEMPERATUR CONDENSOR	TEMPERATUR KOMPRESOR	TEMPERATUR AIR	TEMPERATUR PCM
2	13:17:23	33.50	47.56	30.44	34.63
3	13:21:53	34.63	56	31.69	33.5
4	13:26:24	35.19	58.81	32.88	33.13
5	13:30:54	35.75	60.94	34.06	32.88
6	13:35:25	36.00	61.88	35.19	32.81
7	13:39:56	36.25	62.88	36.31	32.88
8	13:44:26	36.50	61.75	37.31	33.38
9	13:48:57	36.88	62.94	38.19	33.25
10	13:53:27	37.19	63	39.06	33.5
11	13:57:58	37.44	63.25	39.81	33.81
12	14:02:29	37.25	62.13	40.5	34.06
13	14:06:59	37.50	62.44	41.19	34.19
14	14:11:30	37.75	62.13	41.75	34.44
15	14:16:00	38.06	62	42.38	34.63
16	14:20:31	38.69	61.94	42.94	34.81
17					
18					
19					
20					



Gambar 3.37 Record Data Dengan PLX-DAQ



Gambar 3.38 Proses Pengisian *Parafin Wax* ke Tangki

11. Setelah pengujian selesai, matikan alat pengujian dan lepas kabel sensor suhu dari arduino uno dan lepas manifold gauge dari AC, kemudian melepas USB arduino uno dari laptop, keluarkan air yang ada di dalam tangki dan bersihkan seluruh perlengkapan yang telah digunakan selama pengujian agar kondisi alat tidak rusak ketika ingin digunakan kembali.

BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil

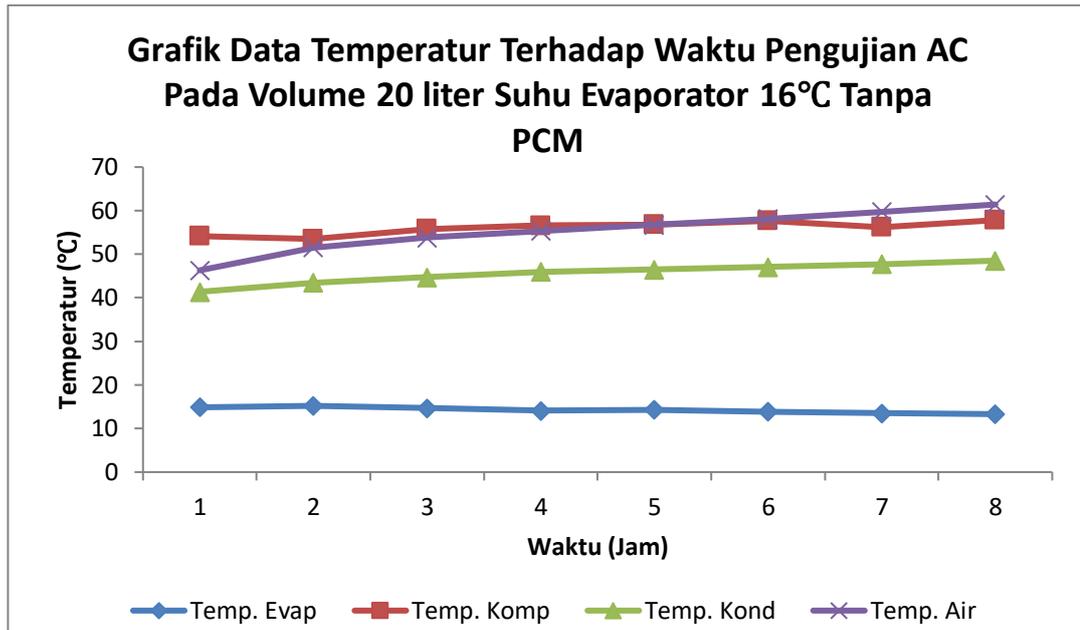
Berdasarkan pengujian yang dilakukan pada sistem AC dengan menggunakan PCM akan dijabarkan dalam bentuk tabel dan grafik. Dibawah ini adalah hasil penelitian yang dilakukan oleh penulis.

4.1.1 Pengujian AC Pada Variasi Volume Air 20L Suhu Evaporator 16°C tanpa PCM

Dibawah ini merupakan tabel dan grafik data hasil pengujian berdasarkan pengamatan selama 8 jam dengan interval waktu 60 menit.

Tabel 4.1 Data Hasil Pengujian AC Pada Variasi Volume Air 20L Suhu 16°C Tanpa PCM

Waktu (Jam)	Temperatur Evaporator	Temperatur Kompresor	Temperatur Kondensor	Temperatur Air
1	14.9	54.19	41.38	46.31
2	15.2	53.5	43.44	51.5
3	14.7	55.75	44.69	53.81
4	14.1	56.62	45.94	55.38
5	14.3	56.83	46.50	56.72
6	13.9	57.69	47.10	58.12
7	13.5	56.26	47.69	59.71
8	13.3	57.82	48.52	61.41



Gambar 4.1 Grafik Data Pengujian AC Pada Variasi Volume Air 20L Suhu Evaporator 16°C tanpa PCM

Pada gambar 4.1 diatas, dapat dilihat bahwa dalam waktu pengujian selama 8 jam, temperatur evaporator pada jam ke-1 sebesar 14,9°C mengalami penurunan temperatur menjadi 13,3°C pada jam ke-8. Temperatur yang dicapai kompresor pada jam ke-1 sebesar 54,19°C mengalami kenaikan temperatur menjadi 57,82°C pada jam ke-8. Temperatur kondensor pada jam ke-1 sebesar 41,38°C mengalami kenaikan temperatur menjadi 48,52°C pada jam ke-8. Temperatur air pada tangki pada jam ke-1 sebesar 46,31°C mengalami kenaikan temperatur menjadi 61,41°C pada jam ke-8.

Sebelum melakukan pengolahan data, terlebih dahulu dilakukan interpolasi untuk mendapatkan nilai enthalpy dengan melihat tabel R-410 dari masing-masing titik yang diukur.

Diketahui : data pengujian pada menit ke-60

Tekanan (P) = 144 psi

Temperatur Evaporator (T_1) = 13,3°C

Temperatur Kompresor (T_2) = 57,82°C

Temperatur Kondensor (T_3) = 48,52°C

Temperatur Air = 61,41°C

Tegangan = 226 V

Arus = 1,85 A

Dicari : Enthalpy h_1 , h_2 , h_3

Penyelesaian :

Titik 1 (Saturation Vapour)

$$T_1 = 13,3^\circ\text{C}$$

$$h_1 = H_g @ 13,3^\circ\text{C} = \dots\dots \text{kJ/kg}$$

Tabel 4.2 Freon™ 410A

Temperatur [$^\circ\text{C}$]	Enthalpy [kJ/kg]
	Vapour [H_g]
13	425,7
13,3	....
14	425,9

Interpolasi h_1 pada temperatur $14,9^\circ\text{C}$

$$h_1 = 425,7 + (425,9 - 425,7) \cdot \left(\frac{13,3 - 13}{14 - 13}\right)$$

$$h_1 = 425,7 + (0,2) \cdot (0,3)$$

$$h_1 = 425,7 + 0,06$$

$$h_1 = 425,76 \text{ kJ/kg}$$

Titik 2 (Superheated)

$$P = 144 \text{ Psi} \rightarrow \times 6,895 = 992,88 \text{ kPa}$$

$$T_2 = 57,82^\circ\text{C}$$

$$h_2 = H @ 57,82^\circ\text{C} = \dots \text{ kJ/kg}$$

Tabel 4.3 Freon™ 410A Superheated

Temperatur [$^\circ\text{C}$]	Pressure [kPa]	
	950	1000
	Enthalpy [kJ/kg] Vapour [H]	Enthalpy [kJ/kg] Vapour [H]
55	476,1	475,4
57,82	....	....
60	481,1	480,4

Interpolasi h_2 pada tekanan 950 kPa

$$h_2 = 476,1 + (481,1 - 476,1) \cdot \left(\frac{57,82 - 55}{60 - 55}\right)$$

$$h_2 = 476,1 + (5) \cdot (0,564)$$

$$h_2 = 476,1 + 2,82$$

$$h_2 = 478,92 \text{ kJ/kg}$$

Interpolasi h_2 pada tekanan 1000 kPa

$$h_2 = 475,4 + (480,4 - 475,4) \cdot \left(\frac{57,82 - 55}{60 - 55}\right)$$

$$h_2 = 475,4 + (5) \cdot (0,564)$$

$$h_2 = 475,4 + 2,82$$

$$h_2 = 478,22 \text{ kJ/kg}$$

Tabel 4.4 h_2 pada tekanan 950 kPa dan 1000 kPa

Pressure [kPa]	Enthalpy [kJ/kg]
	Vapour [H]
950	478,92
992,88	....
1000	478,22

Interpolasi h_1 pada tekanan 992,88 kPa

$$h_2 = 478,92 + (478,22 - 478,92) \cdot \left(\frac{992,88 - 950}{1000 - 950}\right)$$

$$h_2 = 478,92 + (-0,7) \cdot (0,8576)$$

$$h_2 = 478,92 + (-0,6)$$

$$h_2 = 478,32 \text{ kJ/kg}$$

Titik 3 (Saturation Liquid)

$$T_3 = 48,52^\circ\text{C}$$

$$h_3 = h_f @ 48,52^\circ\text{C} = \dots \text{ kJ/kg}$$

Tabel 4.5 Freon™ 410A

Temperatur [°C]	Enthalpy [kJ/kg]
	Vapour [H _g]
48	142,5
48,52	....
49	140,1

Interpolasi h_3 pada temperatur 42,32°C

$$h_3 = 142,5 + (140,1 - 142,5) \cdot \left(\frac{48,52 - 48}{49 - 48}\right)$$

$$h_3 = 142,5 + (-2,4) \cdot (0,52)$$

$$h_3 = 142,5 + (-1,248)$$

$$h_3 = 141,25 \text{ kJ/kg}$$

Setelah melakukan interpolasi pada data jam ke-8, dengan didapatkan nilai enthalpy pada titik-titik pengukuran, maka dapat dilanjutkan dengan pengolahan data untuk menghitung nilai unjuk kerja (COP) disebut juga dengan koefisien prestasi yang dipergunakan untuk menyatakan performansi dari siklus refrigerasi pada mesin pengkondisian udara (AC).

Didapat:

Tabel 4.6 Enthalpy AC Dengan Variasi Volume Air 20L Suhu Evaporator 16°C Tanpa PCM

Titik Pengukuran	Temperatur (T)	Enthalpy (h)
Titik 1	13,3	425,76 kJ/kg
Titik 2	57,82	478,32 kJ/kg
Titik 3	48,52	141,25 kJ/kg

Dicari:

Menghitung besarnya nilai kerja kompresi, efek refrigerasi, daya kompresor, laju aliran massa refrigeran, kalor yang dibuang kondensor, kalor yang diserap evaporator dan unjuk kerja (COP).

Kerja Kompresi

$$W_c = h_2 - h_1$$

$$W_c = (478,32 - 425,76) \text{ kJ/kg}$$

$$W_c = 52,56 \text{ kJ/kg}$$

Efek Refrigerasi

$$ER = h_1 - h_4$$

$$ER = (425,76 - 141,25) \text{ kJ/kg}$$

$$ER = 284,51 \text{ kJ/kg}$$

Daya Kompresor

$$\dot{W}_c = V \cdot I$$

$$\dot{W}_c = 226 \cdot 1,85$$

$$\dot{W}_c = 418,1 \text{ watt}$$

$$\dot{W}_c = 0,418 \text{ kW}$$

$$\dot{W}_c = 0,418 \text{ kJ/s}$$

Laju Aliran Massa Refrigeran

$$\dot{m} = \frac{W_c}{h_2 - h_1}$$

$$\dot{m} = \frac{0,418 \text{ kJ/s}}{52,56 \text{ kJ/kg}}$$

$$\dot{m} = 0,00795 \text{ kg/s}$$

Kalor buang Kondensor

$$Q_{\text{out}} = \dot{m} \cdot (h_2 - h_3)$$

$$Q_{\text{out}} = 0,00795 \text{ kg/s} \cdot (478,32 - 141,25) \text{ kJ/kg}$$

$$Q_{\text{out}} = 0,00795 \text{ kg/s} \cdot (337,07) \text{ kJ/kg}$$

$$Q_{\text{out}} = 2,68 \text{ kJ/s}$$

Kalor yang diserap Evaporator

$$Q_{\text{in}} = \dot{m} \cdot (h_1 - h_4)$$

$$Q_{\text{in}} = 0,00795 \text{ kg/s} \cdot (284,51) \text{ kJ/s}$$

$$Q_{\text{in}} = 2,262 \text{ kJ/s}$$

Ujuk Kerja (COP)

$$\text{COP} = \frac{Q_{\text{in}}}{W_c}$$

$$\text{COP} = \frac{2,262}{0,418}$$

$$\text{COP} = 5,4115$$

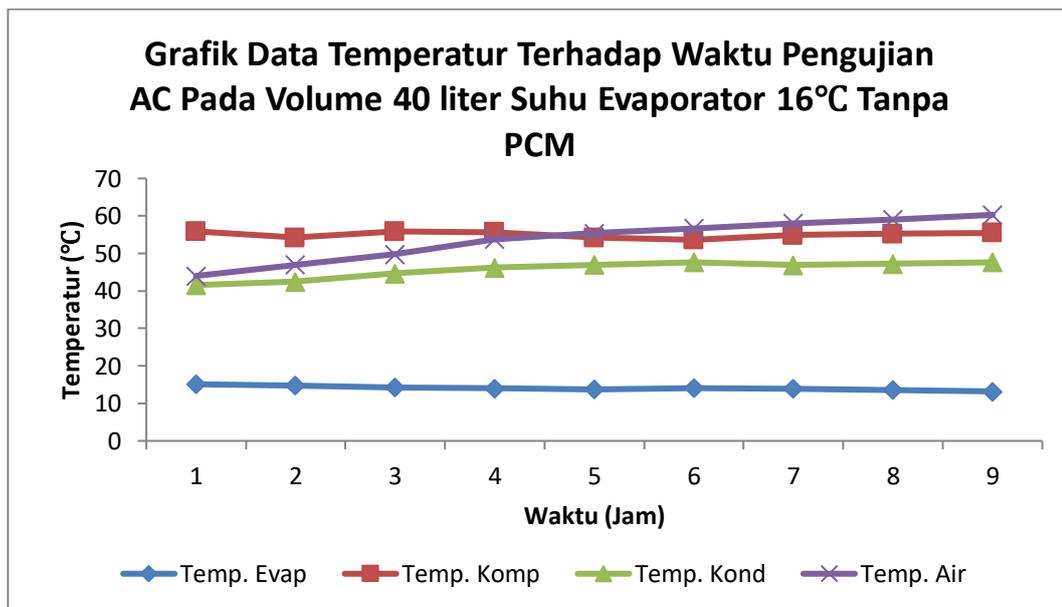
Dari perhitungan diatas didapat nilai unjuk kerja (COP) mesin pengkondisian udara (AC) dengan pemanas air adalah sebesar 5,4115 dan dengan daya kompresor sebesar 0,418 kW.

4.1.2 Pengujian AC Pada Variasi Volume Air 40L Suhu Evaporator 16°C Tanpa PCM

Dibawah ini merupakan tabel dan grafik data hasil pengujian berdasarkan pengamatan 9 jam dengan interval waktu 1 jam.

Tabel 4.7 Data Hasil Pengujian AC Pada Variasi Volume Air 40L Suhu Evaporator 16°C Tanpa PCM

Waktu (Jam)	Temperatur Evaporator	Temperatur Kompresor	Temperatur Kondensor	Temperatur Air
1	15.1	55.88	41.56	44
2	14.8	54.19	42.44	46.94
3	14.3	55.88	44.71	49.76
4	14	55.63	46.24	53.82
5	13.8	54.25	47.00	55.44
6	14.1	53.63	47.63	56.69
7	13.9	54.88	46.88	58.07
8	13.6	55.25	47.21	59.11
9	13.2	55.52	47.63	60.29



Gambar 4.2 Grafik Data Pengujian AC Variasi Volume Air 40L Suhu Evaporator 16°C Tanpa PCM

Pada gambar 4.2 diatas, dapat dilihat bahwa dalam waktu pengujian selama 9 jam, temperatur evaporator pada jam ke-1 sebesar 15,1°C mengalami penurunan temperatur menjadi 13,2°C pada jam ke-9. Temperatur yang dicapai kompresor pada jam ke-1 sebesar 55,88°C mengalami penurunan temperatur menjadi 55,52°C pada jam ke-9. Temperatur kondensor pada jam ke-1 sebesar 41,56°C mengalami kenaikan temperatur menjadi 47,63°C pada jam ke-9. Temperatur air pada tangki pada jam ke-1 sebesar 44°C mengalami kenaikan temperatur menjadi 60,29°C pada jam ke-9.

Sebelum melakukan pengolahan data, terlebih dahulu dilakukan interpolasi untuk mendapatkan nilai enthalphy dengan melihat tabel R-410 dari masing-masing titik yang diukur.

Diketahui : data pengujian pada menit ke-60

Tekanan (P) = 144 psi

Temperatur Evaporator (T_1) = 13,2°C

Temperatur Kompresor (T_2) = 55,52°C

Temperatur Kondensor (T_3) = 47,63°C

Temperatur Air = 60,29°C

Tegangan = 226 V

Arus = 1,88 A

Dicari : Enthalpy h_1 , h_2 , h_3

Penyelesaian :

Titik 1 (Saturation Vapour)

$T_1 = 13,2^\circ\text{C}$

$h_1 = H_g @ 13,2^\circ\text{C} = \dots\dots\dots \text{kJ/kg}$

Tabel 4.8 Freon™ 410A

Temperatur [°C]	Enthalpy [kJ/kg]
	Vapour [H_g]
13	425,7
13.2	....
14	425,9

Interpolasi h_1 pada temperatur 13,2°C

$$h_1 = 425,7 + (425,9 - 425,7) \cdot \left(\frac{13,2 - 13}{14 - 13}\right)$$

$$h_1 = 425,7 + (0,2) \cdot (0,2)$$

$$h_1 = 425,7 + 0,04$$

$$h_1 = 425,74 \text{ kJ/kg}$$

Titik 2 (Superheated)

$$P = 144 \text{ Psi} \rightarrow \times 6,895 = 992,88 \text{ kPa}$$

$$T_2 = 55,52^\circ\text{C}$$

$$h_2 = H @ 55,52^\circ\text{C} = \dots \text{ kJ/kg}$$

Tabel 4.9 Freon™ 410A Superheated

Temperatur [°C]	Pressure [kPa]	
	950	1000
	Enthalpy [kJ/kg] Vapour [H]	Enthalpy [kJ/kg] Vapour [H]
55	476,1	475,4
55,52	....	....
60	481,1	480,4

Interpolasi h_2 pada tekanan 950 kPa

$$h_2 = 476,1 + (481,1 - 476,1) \cdot \left(\frac{55,52 - 55}{60 - 55}\right)$$

$$h_2 = 476,1 + (5) \cdot (0,104)$$

$$h_2 = 476,1 + 0,52$$

$$h_2 = 476,62 \text{ kJ/kg}$$

Interpolasi h_2 pada tekanan 1000 kPa

$$h_2 = 475,4 + (480,4 - 475,4) \cdot \left(\frac{55,52 - 55}{60 - 55}\right)$$

$$h_2 = 475,4 + (5) \cdot (0,104)$$

$$h_2 = 475,4 + 0,52$$

$$h_2 = 475,92 \text{ kJ/kg}$$

Tabel 4.10 h_2 pada tekanan 950 kPa dan 1000 kPa

Pressure [kPa]	Enthalpy [kJ/kg]
	Vapour [H]
950	476,62
992,88	....
1000	475,92

Interpolasi h_1 pada tekanan 992,88 kPa

$$h_2 = 476,62 + (475,92 - 476,62) \cdot \left(\frac{992,88 - 950}{1000 - 950}\right)$$

$$h_2 = 476,62 + (-0,7) \cdot (0,8576)$$

$$h_2 = 476,02 + (-0,6)$$

$$h_2 = 476,02 \text{ kJ/kg}$$

Titik 3 (Saturation Liquid)

$$T_3 = 47,63^\circ\text{C}$$

$$h_3 = h_f @ 47,63^\circ\text{C} = \dots \text{ kJ/kg}$$

Tabel 4.11 Freon™ 410A

Temperatur [°C]	Enthalpy [kJ/kg]
	Vapour [H _g]
47	144,8
47,63	....
48	142,5

Interpolasi h_3 pada temperatur 47,63°C

$$h_3 = 144,8 + (142,5 - 144,8) \cdot \left(\frac{47,63 - 47}{48 - 47}\right)$$

$$h_3 = 144,8 + (-2,3) \cdot (0,63)$$

$$h_3 = 144,8 + (-1,449)$$

$$h_3 = 143,35 \text{ kJ/kg}$$

Setelah melakukan interpolasi pada data jam ke-9, dengan didapatkan nilai enthalpy pada titik-titik pengukuran, maka dapat dilanjutkan dengan pengolahan data untuk menghitung nilai unjuk kerja (COP) disebut juga dengan koefisien prestasi yang dipergunakan untuk menyatakan performansi dari siklus refrigerasi pada mesin pengkondisian udara (AC).

Didapat:

Tabel 4.12 Enthalpy AC Dengan Variasi Volume Air 40L Suhu Evaporator 16°C Tanpa PCM

Titik Pengukuran	Temperatur (T)	Enthalpy (h)
Titik 1	13,2	425,74 kJ/kg
Titik 2	55,52	476,02 kJ/kg
Titik 3	47,63	143,35 kJ/kg

Dicari:

Menghitung besarnya nilai kerja kompresi, efek refrigerasi, daya kompresor, laju aliran massa refrigeran, kalor yang dibuang kondensor, kalor yang diserap evaporator dan unjuk kerja (COP).

Kerja Kompresi

$$W_c = h_2 - h_1$$

$$W_c = (476,02 - 425,74) \text{ kJ/kg}$$

$$W_c = 50,28 \text{ kJ/kg}$$

Efek Refrigerasi

$$ER = h_1 - h_4$$

$$ER = (425,74 - 143,35) \text{ kJ/kg}$$

$$ER = 282,39 \text{ kJ/kg}$$

Daya Kompresor

$$\dot{W}_c = V \cdot I$$

$$\dot{W}_c = 226 \cdot 1,88$$

$$\dot{W}_c = 428,88 \text{ watt}$$

$$\dot{W}_c = 0,425 \text{ kW}$$

$$\dot{W}_c = 0,425 \text{ kJ/s}$$

Laju Aliran Massa Refrigeran

$$\dot{m} = \frac{W_c}{h_2 - h_1}$$

$$\dot{m} = \frac{0,425 \text{ kJ/s}}{50,28 \text{ kJ/kg}}$$

$$\dot{m} = 0,00845 \text{ kg/s}$$

Kalor buang Kondensor

$$Q_{\text{out}} = \dot{m} \cdot (h_2 - h_3)$$

$$Q_{\text{out}} = 0,00845 \text{ kg/s} \cdot (476,02 - 143,35) \text{ kJ/kg}$$

$$Q_{\text{out}} = 0,00845 \text{ kg/s} \cdot (332,67) \text{ kJ/kg}$$

$$Q_{\text{out}} = 2,811 \text{ kJ/s}$$

Kalor yang diserap Evaporator

$$Q_{\text{in}} = \dot{m} \cdot (h_1 - h_4)$$

$$Q_{\text{in}} = 0,00845 \text{ kg/s} \cdot (282,39) \text{ kJ/s}$$

$$Q_{\text{in}} = 2,386 \text{ kJ/s}$$

Ujuk Kerja (COP)

$$\text{COP} = \frac{Q_{\text{in}}}{W_c}$$

$$\text{COP} = \frac{2,386}{0,425}$$

$$\text{COP} = 5,6141$$

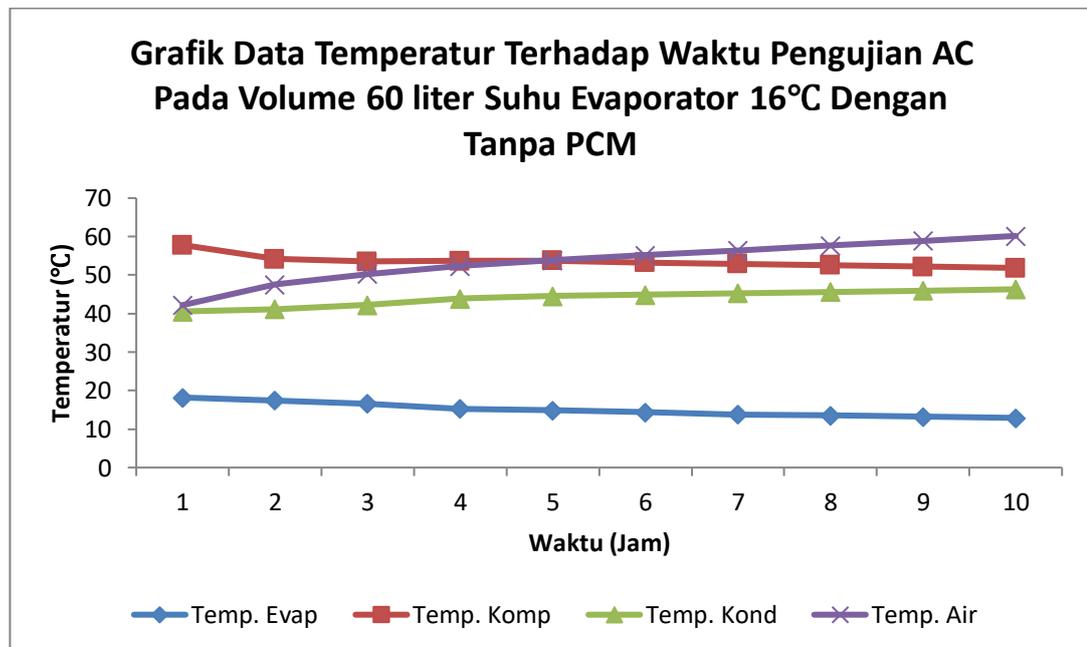
Dari perhitungan diatas didapat nilai unjuk kerja (COP) mesin pengkondisian udara (AC) dengan pemanas air adalah sebesar 5,6141 dan dengan daya kompresor sebesar 0,425 kW.

4.1.3 Pengujian AC Pada Variasi Volume Air 60L Suhu Evaporator 16°C Tanpa PCM

Dibawah ini merupakan tabel dan grafik data hasil pengujian berdasarkan pengamatan selama 10 Jam dengan interval waktu 1 Jam.

Tabel 4.13 Data Hasil Pengujian AC Pada Variasi Volume Air 60L Suhu Evaporator 16°C Tanpa PCM

Waktu (Jam)	Temperatur Evaporator	Temperatur Kompresor	Temperatur Kondensor	Temperatur Air
1	18.2	57.81	40.56	42.19
2	17.4	54.19	41.19	47.5
3	16.6	53.5	42.25	50.25
4	15.3	53.69	43.88	52.31
5	14.9	53.75	44.56	53.88
6	14.4	53.25	44.92	55.19
7	13.8	52.9	45.27	56.43
8	13.5	52.56	45.61	57.68
9	13.2	52.21	45.96	58.93
10	12.9	51.86	46.31	60.17



Gambar 4.3 Grafik Data Pengujian AC Variasi Volume Air 60L Suhu Evaporator 16°C Tanpa PCM

Pada gambar 4.3 diatas, dapat dilihat bahwa dalam waktu pengujian selama 10 jam, temperatur evaporator pada jam ke-1 sebesar 18,2°C mengalami penurunan temperatur menjadi 12,9°C pada jam ke-10. Temperatur yang dicapai kompresor pada jam ke-1 sebesar 57,81°C mengalami penurunan temperatur menjadi 51,86°C pada jam ke-10. Temperatur kondensor pada jam ke-1 sebesar 40,56°C mengalami kenaikan temperatur menjadi 46,31°C pada jam ke-10. Temperatur air pada tangki pada jam ke-1 sebesar 42,19°C mengalami kenaikan temperatur menjadi 60,17°C pada jam ke-10..

Sebelum melakukan pengolahan data, terlebih dahulu dilakukan interpolasi untuk mendapatkan nilai enthalphy dengan melihat tabel R-410 dari masing-masing titik yang diukur.

Diketahui : data pengujian pada menit ke-60

$$\text{Tekanan (P)} = 146 \text{ psi}$$

$$\text{Temperatur Evaporator (T}_1\text{)} = 12,9^\circ\text{C}$$

$$\text{Temperatur Kompresor (T}_2\text{)} = 51,86^\circ\text{C}$$

$$\text{Temperatur Kondensor (T}_3\text{)} = 46,31^\circ\text{C}$$

$$\text{Temperatur Air} = 60,17^\circ\text{C}$$

$$\text{Tegangan} = 226 \text{ V}$$

$$\text{Arus} = 1,97 \text{ A}$$

Dicari : Enthalpy h_1, h_2, h_3

Penyelesaian :

Titik 1 (Saturation Vapour)

$$T_1 = 12,9^\circ\text{C}$$

$$h_1 = H_g @ 12,9^\circ\text{C} = \dots\dots \text{ kJ/kg}$$

Tabel 4.14 Freon™ 410A

Temperatur [°C]	Enthalpy [kJ/kg]
	Vapour [H _g]
12	425,5
12,9	....
13	425,7

Interpolasi h_1 pada temperatur $12,9^\circ\text{C}$

$$h_1 = 425,5 + (425,7 - 425,5) \cdot \left(\frac{12,9 - 12}{13 - 12}\right)$$

$$h_1 = 425,5 + (0,2) \cdot (0,9)$$

$$h_1 = 425,5 + 0,18$$

$$h_1 = 425,68 \text{ kJ/kg}$$

Titik 2 (Superheated)

$$P = 146 \text{ Psi} \rightarrow \times 6,895 = 1006,7 \text{ kPa}$$

$$T_2 = 60,17^\circ\text{C}$$

$$h_2 = H @ 60,17^\circ\text{C} = \dots \text{ kJ/kg}$$

Tabel 4.15 FreonTM 410A Superheated

Temperatur [$^\circ\text{C}$]	Pressure [kPa]	
	1000	1100
	Enthalpy [kJ/kg] Vapour [H]	Enthalpy [kJ/kg] Vapour [H]
50	470,4	468,8
51,86	....	....
55	475,4	473,9

Interpolasi h_2 pada tekanan 1000 kPa

$$h_2 = 470,4 + (475,4 - 470,4) \cdot \left(\frac{51,86 - 50}{55 - 50}\right)$$

$$h_2 = 470,4 + (5) \cdot (0,372)$$

$$h_2 = 470,4 + 1,86$$

$$h_2 = 472,26 \text{ kJ/kg}$$

Interpolasi h_2 pada tekanan 1100 kPa

$$h_2 = 468,8 + (473,9 - 468,8) \cdot \left(\frac{51,86 - 50}{55 - 50}\right)$$

$$h_2 = 468,8 + (5,1) \cdot (0,372)$$

$$h_2 = 468,8 + 1,8972$$

$$h_2 = 470,7 \text{ kJ/kg}$$

Tabel 4.16 h_2 pada tekanan 1000 kPa dan 1100 kPa

Pressure [kPa]	Enthalpy [kJ/kg] Vapour [H]
1000	472,26
1006,7	....
1100	470,7

Interpolasi h_1 pada tekanan 1006,7 kPa

$$h_2 = 472,26 + (470,7 - 472,26) \cdot \left(\frac{1006,7 - 1000}{1100 - 1000}\right)$$

$$h_2 = 472,26 + (-1,56) \cdot (0,067)$$

$$h_2 = 472,26 + (-0,10452)$$

$$h_2 = 472,16 \text{ kJ/kg}$$

Titik 3 (Saturation Liquid)

$$T_3 = 46,31^\circ\text{C}$$

$$h_3 = h_f @ 46,31^\circ\text{C} = \dots \text{ kJ/kg}$$

Tabel 4.17 Freon™ 410A

Temperatur [$^\circ\text{C}$]	Enthalpy [kJ/kg] Vapour [H_g]
46	147,1
46,31	...
47	144,8

Interpolasi h_3 pada temperatur 46,31 $^\circ\text{C}$

$$h_3 = 147,1 + (144,8 - 147,1) \cdot \left(\frac{46,31 - 46}{47 - 46}\right)$$

$$h_3 = 147,1 + (-2,3) \cdot (0,31)$$

$$h_3 = 147,1 + (-0,713)$$

$$h_3 = 146,39 \text{ kJ/kg}$$

Setelah melakukan interpolasi pada data jam ke- 10, dengan didapatkan nilai enthalpy pada titik-titik pengukuran, maka dapat dilanjutkan dengan pengolahan data untuk menghitung nilai unjuk kerja (COP) disebut juga dengan koefisien prestasi yang dipergunakan untuk menyatakan performansi dari siklus refrigerasi pada mesin pengkondisian udara (AC).

Didapat:

Tabel 4.18 Enthalpy AC Dengan Variasi Volume Air 60L Suhu Evaporator 16 $^\circ\text{C}$ Tanpa PCM

Titik Pengukuran	Temperatur (T)	Enthalpy (h)
Titik 1	12,9	425,68 kJ/kg
Titik 2	51,86	472,16 kJ/kg
Titik 3	46,31	146,39 kJ/kg

Dicari:

Menghitung besarnya nilai kerja kompresi, efek refrigerasi, daya kompresor, laju aliran massa refrigeran, kalor yang dibuang kondensor, kalor yang diserap evaporator dan unjuk kerja (COP).

Kerja Kompresi

$$W_c = h_2 - h_1$$

$$W_c = (472,16 - 425,68) \text{ kJ/kg}$$

$$W_c = 46,48 \text{ kJ/kg}$$

Efek Refrigerasi

$$ER = h_1 - h_4$$

$$ER = (425,68 - 146,39) \text{ kJ/kg}$$

$$ER = 279,29 \text{ kJ/kg}$$

Daya Kompresor

$$\dot{W}_c = V \cdot I$$

$$\dot{W}_c = 226 \cdot 1,97$$

$$\dot{W}_c = 445,22 \text{ watt}$$

$$\dot{W}_c = 0,445 \text{ kW}$$

$$\dot{W}_c = 0,445 \text{ kJ/s}$$

Laju Aliran Massa Refrigeran

$$\dot{m} = \frac{\dot{W}_c}{h_2 - h_1}$$

$$\dot{m} = \frac{0,445 \text{ kJ/s}}{46,48 \text{ kJ/kg}}$$

$$\dot{m} = 0,00958 \text{ kg/s}$$

Kalor buang Kondensor

$$Q_{\text{out}} = \dot{m} \cdot (h_2 - h_3)$$

$$Q_{\text{out}} = 0,00958 \text{ kg/s} \cdot (472,16 - 146,39) \text{ kJ/kg}$$

$$Q_{\text{out}} = 0,00958 \text{ kg/s} \cdot (325,77) \text{ kJ/kg}$$

$$Q_{\text{out}} = 3,121 \text{ kJ/s}$$

Kalor yang diserap Evaporator

$$Q_{\text{in}} = \dot{m} \cdot (h_1 - h_4)$$

$$Q_{\text{in}} = 0,00958 \text{ kg/s} \cdot (279,29) \text{ kJ/s}$$

$$Q_{\text{in}} = 2,676 \text{ kJ/s}$$

Ujuk Kerja (COP)

$$\text{COP} = \frac{Q_{in}}{W_c}$$

$$\text{COP} = \frac{2,676}{0,445}$$

$$\text{COP} = 6,0094$$

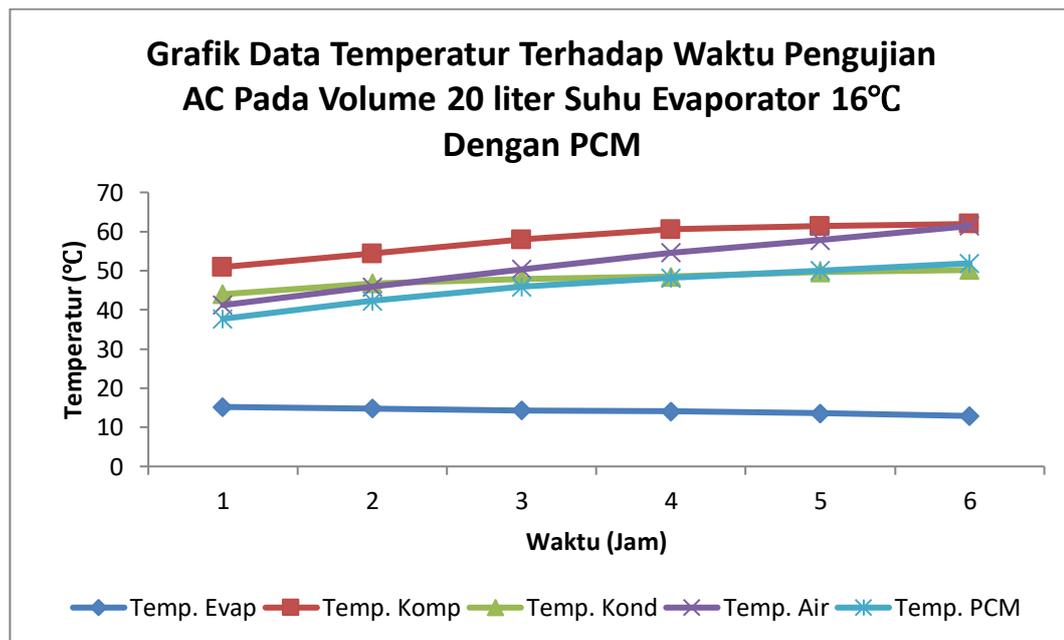
Dari perhitungan diatas didapat nilai unjuk kerja (COP) mesin pengkondisian udara (AC) dengan pemanas air adalah sebesar 6,0094 dan dengan daya kompresor sebesar 0,445 kW.

4.1.4 Pengujian AC Pada Variasi Volume Air 20L Suhu Evaporator 16°C Dengan PCM

Dibawah ini merupakan tabel dan grafik data hasil pengujian berdasarkan pengamatan sampai PCM mencair selama 6 jam dengan interval waktu 1 jam.

Tabel 4.19 Data Hasil Pengujian AC Pada Variasi Volume Air 40L Suhu Evaporator 16°C Dengan PCM

Waktu (Jam)	Temperatur Evaporator	Temperatur Kompresor	Temperatur Kondensor	Temperatur Air	Temperatur PCM
1	15.2	50.94	44.00	41.21	37.72
2	14.8	54.38	46.75	45.9	42.27
3	14.3	57.95	47.94	50.36	45.92
4	14.1	60.54	48.50	54.64	48.19
5	13.6	61.38	49.67	57.82	50.05
6	12.9	61.93	50.18	61.42	51.9



Gambar 4.4 Grafik Data Pengujian AC Variasi Volume Air 20L Suhu Evaporator 16°C Dengan PCM

Pada gambar 4.4 diatas, dapat dilihat bahwa dalam waktu pengujian selama 6 Jam, temperatur evaporator pada jam ke-1 sebesar 15,2°C mengalami penurunan temperatur menjadi 12,9°C pada jam ke- 6. Temperatur yang dicapai kompresor pada jam ke-1 sebesar 50,94°C mengalami kenaikan temperatur menjadi 61,93°C pada jam ke-6. Temperatur kondensor pada jam ke-1 sebesar 44°C mengalami

kenaikan temperatur menjadi 50,18°C pada jam ke-6. Temperatur air pada tangki pada jam ke-1 sebesar 41,21°C mengalami kenaikan temperatur menjadi 61,42°C pada jam ke-6. Temperatur PCM pada jam ke-1 sebesar 37,72°C mengalami kenaikan temperatur menjadi 51,9 °C pada jam ke-6.

Sebelum melakukan pengolahan data, terlebih dahulu dilakukan interpolasi untuk mendapatkan nilai enthalpy dengan melihat tabel R-410 dari masing-masing titik yang diukur.

Diketahui : data pengujian pada menit ke-60

$$\text{Tekanan (P)} = 150 \text{ psi}$$

$$\text{Temperatur Evaporator (T}_1\text{)} = 12,9^\circ\text{C}$$

$$\text{Temperatur Kompresor (T}_2\text{)} = 61,93^\circ\text{C}$$

$$\text{Temperatur Kondensor (T}_3\text{)} = 50,18^\circ\text{C}$$

$$\text{Temperatur Air} = 61,42^\circ\text{C}$$

$$\text{Temperatur PCM} = 51,9^\circ\text{C}$$

$$\text{Tegangan} = 226 \text{ V}$$

$$\text{Arus} = 1,68 \text{ A}$$

Dicari : Enthalpy h_1, h_2, h_3

Penyelesaian :

Titik 1 (Saturation Vapour)

$$T_1 = 12,9^\circ\text{C}$$

$$h_1 = H_g @ 12,9^\circ\text{C} = \dots\dots \text{ kJ/kg}$$

Tabel 4.20 Freon™ 410A

Temperatur [°C]	Enthalpy [kJ/kg] Vapour [H _g]
12	425,5
12,9	....
13	425,7

Interpolasi h_1 pada temperatur 12,9°C

$$h_1 = 425,5 + (425,7 - 425,5) \cdot \left(\frac{12,9 - 12}{13 - 12}\right)$$

$$h_1 = 425,5 + (0,2) \cdot (0,9)$$

$$h_1 = 425,5 + 0,18$$

$$h_1 = 425,68 \text{ kJ/kg}$$

Titik 2 (Superheated)

$$P = 150 \text{ Psi} \rightarrow \times 6,895 = 1034,3 \text{ kPa}$$

$$T_2 = 61,93^\circ\text{C}$$

$$h_2 = H @ 61,93^\circ\text{C} = \dots \text{ kJ/kg}$$

Tabel 4.21 Freon™ 410A Superheated

Temperatur [°C]	Pressure [kPa]	
	1000	1100
	Enthalpy [kJ/kg] Vapour [H]	Enthalpy [kJ/kg] Vapour [H]
60	480,4	479
61,93	....	....
65	485,4	484,1

Interpolasi h_2 pada tekanan 1000 kPa

$$h_2 = 480,4 + (485,4 - 480,4) \cdot \left(\frac{61,93 - 60}{65 - 60}\right)$$

$$h_2 = 480,4 + (5) \cdot (0,386)$$

$$h_2 = 480,4 + 1,93$$

$$h_2 = 482,33 \text{ kJ/kg}$$

Interpolasi h_2 pada tekanan 1100 kPa

$$h_2 = 479 + (484,1 - 479) \cdot \left(\frac{61,93 - 60}{65 - 60}\right)$$

$$h_2 = 479 + (5,1) \cdot (0,386)$$

$$h_2 = 479 + 1,9686$$

$$h_2 = 480,97 \text{ kJ/kg}$$

Tabel 4.22 h_2 pada tekanan 1000 kPa dan 1100 kPa

Pressure [kPa]	Enthalpy [kJ/kg] Vapour [H]
1000	482,33
1034,3	....
1100	480,97

Interpolasi h_1 pada tekanan 1034,3 kPa

$$h_2 = 482,3 + (480,97 - 482,33) \cdot \left(\frac{1034,3 - 1000}{1100 - 1000}\right)$$

$$h_2 = 482,3 + (-1,36) \cdot (0,343)$$

$$h_2 = 482,3 + (-0,4566)$$

$$h_2 = 481,84 \text{ kJ/kg}$$

Titik 3 (Saturation Liquid)

$$T_3 = 50,18^\circ\text{C}$$

$$h_3 = h_f @ 50,18^\circ\text{C} = \dots \text{ kJ/kg}$$

Tabel 4.23 Freon™ 410A

Temperatur [$^\circ\text{C}$]	Enthalpy [kJ/kg] Vapour [H_g]
50	137,7
50,18	....
51	135,2

Interpolasi h_3 pada temperatur 50,18 $^\circ\text{C}$

$$h_3 = 137,7 + (135,2 - 137,7) \cdot \left(\frac{50,18 - 50}{51 - 50}\right)$$

$$h_3 = 137,7 + (-2,5) \cdot (0,18)$$

$$h_3 = 137,7 + (-0,45)$$

$$h_3 = 137,25 \text{ kJ/kg}$$

Setelah melakukan interpolasi pada data jam ke-6, dengan didapatkan nilai enthalpy pada titik-titik pengukuran, maka dapat dilanjutkan dengan pengolahan data untuk menghitung nilai unjuk kerja (COP) disebut juga dengan koefisien prestasi yang dipergunakan untuk menyatakan performansi dari siklus refrigerasi pada mesin pengkondisian udara (AC).

Didapat:

Tabel 4.24 Enthalpy AC Dengan Variasi Volume Air 20L Suhu Evaporator 16 $^\circ\text{C}$ Dengan PCM

Titik Pengukuran	Temperatur (T)	Enthalpy (h)
Titik 1	12,9	425,68 kJ/kg
Titik 2	61,93	481,86 kJ/kg
Titik 3	50,18	137,25 kJ/kg

Dicari:

Menghitung besarnya nilai kerja kompresi, efek refrigerasi, daya kompresor, laju aliran massa refrigeran, kalor yang dibuang kondensor, kalor yang diserap evaporator dan unjuk kerja (COP).

Kerja Kompresi

$$W_c = h_2 - h_1$$

$$W_c = (481,86 - 425,68) \text{ kJ/kg}$$

$$W_c = 56,18 \text{ kJ/kg}$$

Efek Refrigerasi

$$ER = h_1 - h_4$$

$$ER = (425,68 - 137,25) \text{ kJ/kg}$$

$$ER = 288,43 \text{ kJ/kg}$$

Daya Kompresor

$$\dot{W}_c = V \cdot I$$

$$\dot{W}_c = 226 \cdot 1,68$$

$$\dot{W}_c = 379,68 \text{ watt}$$

$$\dot{W}_c = 0,37968 \text{ kW}$$

$$\dot{W}_c = 0,38 \text{ kJ/s}$$

Laju Aliran Massa Refrigeran

$$\dot{m} = \frac{\dot{W}_c}{h_2 - h_1}$$

$$\dot{m} = \frac{0,38 \text{ kJ/s}}{56,18 \text{ kJ/kg}}$$

$$\dot{m} = 0,00676 \text{ kg/s}$$

Kalor buang Kondensor

$$Q_{\text{out}} = \dot{m} \cdot (h_2 - h_3)$$

$$Q_{\text{out}} = 0,00676 \text{ kg/s} \cdot (481,86 - 137,28) \text{ kJ/kg}$$

$$Q_{\text{out}} = 0,00676 \text{ kg/s} \cdot (320,55) \text{ kJ/kg}$$

$$Q_{\text{out}} = 2,33 \text{ kJ/s}$$

Kalor yang diserap Evaporator

$$Q_{\text{in}} = \dot{m} \cdot (h_1 - h_4)$$

$$Q_{\text{in}} = 0,00676 \text{ kg/s} \cdot (288,43) \text{ kJ/s}$$

$$Q_{\text{in}} = 1,95 \text{ kJ/s}$$

Ujuk Kerja (COP)

$$COP = \frac{Q_{\text{in}}}{\dot{W}_c}$$

$$COP = \frac{1,95}{0,38}$$

$$COP = 5,1289$$

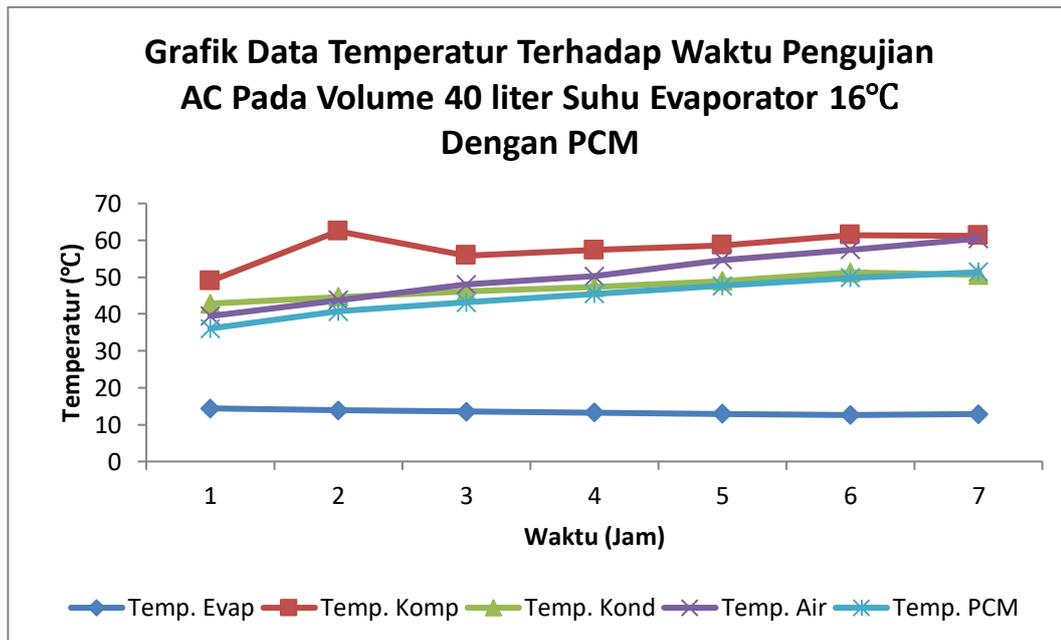
Dari perhitungan diatas didapat nilai unjuk kerja (COP) mesin pengkondisian udara (AC) dengan pemanas air adalah sebesar 5,1289 dan dengan daya kompresor sebesar 0,38 kW.

4.1.5 Pengujian AC Pada Variasi Volume Air 40L Suhu Evaporator 16°C Dengan PCM

Dibawah ini merupakan tabel dan grafik data hasil pengujian berdasarkan pengamatan sampai PCM mencari selama 7 jam dengan interval waktu 1 jam.

Tabel 4.25 Data Hasil Pengujian AC Pada Variasi Volume Air 40L Suhu Evaporator 16°C Dengan PCM

Waktu (Jam)	Temperatur Evaporator	Temperatur Kompresor	Temperatur Kondensor	Temperatur Air	Temperatur PCM
1	14.4	48.92	42.82	39.44	36.06
2	13.9	62.44	44.62	43.75	40.69
3	13.5	55.85	46.08	47.94	43.12
4	13.3	57.35	47.27	50.25	45.44
5	12.9	58.61	48.92	54.63	47.63
6	12.6	61.43	51.28	57.46	49.81
7	12.8	61.19	50.61	60.46	51.33



Gambar 4.5 Grafik Data Pengujian AC Variasi Volume Air 40L Suhu Evaporator 16°C Dengan PCM

Pada gambar 4.5 diatas, dapat dilihat bahwa dalam waktu pengujian selama 7 Jam, temperatur evaporator pada jam ke-1 sebesar 14,4°C mengalami penurunan temperatur menjadi 12,8°C pada jam ke- 7. Temperatur yang dicapai kompresor pada jam ke-1 sebesar 48,92°C mengalami kenaikan temperatur menjadi 61,19°C

pada jam ke-7. Temperatur kondensor pada jam ke-1 sebesar 42,82°C mengalami kenaikan temperatur menjadi 50,62°C pada jam ke-7. Temperatur air pada tangki pada jam ke-1 sebesar 39,44°C mengalami kenaikan temperatur menjadi 60,46°C pada jam ke-7. Temperatur PCM pada jam ke-1 sebesar 36,06°C mengalami kenaikan temperatur menjadi 51,33 °C pada jam ke-7.

Sebelum melakukan pengolahan data, terlebih dahulu dilakukan interpolasi untuk mendapatkan nilai enthalpy dengan melihat tabel R-410 dari masing-masing titik yang diukur.

Diketahui : data pengujian pada menit ke-60

$$\text{Tekanan (P)} = 153 \text{ psi}$$

$$\text{Temperatur Evaporator (T}_1\text{)} = 12,8^\circ\text{C}$$

$$\text{Temperatur Kompresor (T}_2\text{)} = 61,19^\circ\text{C}$$

$$\text{Temperatur Kondensor (T}_3\text{)} = 50,61^\circ\text{C}$$

$$\text{Temperatur Air} = 60,46^\circ\text{C}$$

$$\text{Temperatur PCM} = 51,33^\circ\text{C}$$

$$\text{Tegangan} = 226 \text{ V}$$

$$\text{Arus} = 1,8 \text{ A}$$

Dicari : Enthalpy h_1 , h_2 , h_3

Penyelesaian :

Titik 1 (Saturation Vapour)

$$T_1 = 12,8^\circ\text{C}$$

$$h_1 = H_g @ 12,8^\circ\text{C} = \dots\dots \text{ kJ/kg}$$

Tabel 4.26 Freon™ 410A

Temperatur [°C]	Enthalpy [kJ/kg] Vapour [H _g]
12	425,5
12,8	....
13	425,7

Interpolasi h_1 pada temperatur 12,8°C

$$h_1 = 425,5 + (425,7 - 425,5) \cdot \left(\frac{12,8 - 12}{13 - 12}\right)$$

$$h_1 = 425,5 + (0,2) \cdot (0,8)$$

$$h_1 = 425,5 + 0,16$$

$$h_1 = 425,66 \text{ kJ/kg}$$

Titik 2 (Superheated)

$$P = 153 \text{ Psi} \rightarrow \times 6,895 = 1054,9 \text{ kPa}$$

$$T_2 = 61,19^\circ\text{C}$$

$$h_2 = H @ 61,19^\circ\text{C} = \dots \text{ kJ/kg}$$

Tabel 4.27 Freon™ 410A Superheated

Temperatur [°C]	Pressure [kPa]	
	1000	1100
	Enthalpy [kJ/kg] Vapour [H]	Enthalpy [kJ/kg] Vapour [H]
60	480,4	479
61,19	....	....
65	485,4	484,1

Interpolasi h_2 pada tekanan 1000 kPa

$$h_2 = 480,4 + (485,4 - 480,4) \cdot \left(\frac{61,19 - 60}{65 - 60}\right)$$

$$h_2 = 480,4 + (5) \cdot (0,238)$$

$$h_2 = 480,4 + 1,19$$

$$h_2 = 481,59 \text{ kJ/kg}$$

Interpolasi h_2 pada tekanan 1100 kPa

$$h_2 = 479 + (484,1 - 479) \cdot \left(\frac{61,19 - 60}{65 - 60}\right)$$

$$h_2 = 479 + (5,1) \cdot (0,238)$$

$$h_2 = 479 + 1,2138$$

$$h_2 = 480,21 \text{ kJ/kg}$$

Tabel 4.28 h_2 pada tekanan 1000 kPa dan 1100 kPa

Pressure [kPa]	Enthalpy [kJ/kg] Vapour [H]
1000	481,59

1100	480,21

Interpolasi h_1 pada tekanan 1054,9 kPa

$$h_2 = 481,59 + (481,59 - 480,21) \cdot \left(\frac{1054,9 - 1000}{1100 - 1000}\right)$$

$$h_2 = 481,59 + (-1,38) \cdot (0,549)$$

$$h_2 = 481,59 + (-0,75762)$$

$$h_2 = 480,83 \text{ kJ/kg}$$

Titik 3 (Saturation Liquid)

$$T_3 = 50,61^\circ\text{C}$$

$$h_3 = h_f @ 50,61^\circ\text{C} = \dots \text{ kJ/kg}$$

Tabel 4.29 Freon™ 410A

Temperatur [$^\circ\text{C}$]	Enthalpy [kJ/kg] Vapour [H_g]
50	137,7
50,61	....
51	135,2

Interpolasi h_3 pada temperatur $50,61^\circ\text{C}$

$$h_3 = 137,7 + (135,2 - 137,7) \cdot \left(\frac{50,61 - 50}{51 - 50}\right)$$

$$h_3 = 137,7 + (-2,5) \cdot (0,61)$$

$$h_3 = 137,7 + (-1,525)$$

$$h_3 = 136,18 \text{ kJ/kg}$$

Setelah melakukan interpolasi pada data jam ke-7, dengan didapatkan nilai enthalpy pada titik-titik pengukuran, maka dapat dilanjutkan dengan pengolahan data untuk menghitung nilai unjuk kerja (COP) disebut juga dengan koefisien prestasi yang dipergunakan untuk menyatakan performansi dari siklus refrigerasi pada mesin pengkondisian udara (AC).

Didapat:

Tabel 4.30 Enthalpy AC Dengan Variasi Volume Air 40L Suhu Evaporator 16°C Dengan PCM

Titik Pengukuran	Temperatur (T)	Enthalpy (h)
Titik 1	12,8	425,66 kJ/kg
Titik 2	61,19	480,83 kJ/kg
Titik 3	50,61	136,18 kJ/kg

Dicari:

Menghitung besarnya nilai kerja kompresi, efek refrigerasi, daya kompresor, laju aliran massa refrigeran, kalor yang dibuang kondensor, kalor yang diserap evaporator dan unjuk kerja (COP).

Kerja Kompresi

$$W_c = h_2 - h_1$$

$$W_c = (480,83 - 425,66) \text{ kJ/kg}$$

$$W_c = 55,17 \text{ kJ/kg}$$

Efek Refrigerasi

$$ER = h_1 - h_4$$

$$ER = (425,66 - 136,18) \text{ kJ/kg}$$

$$ER = 289,49 \text{ kJ/kg}$$

Daya Kompresor

$$\dot{W}_c = V \cdot I$$

$$\dot{W}_c = 226 \cdot 1,8$$

$$\dot{W}_c = 406,8 \text{ watt}$$

$$\dot{W}_c = 0,4068 \text{ kW}$$

$$\dot{W}_c = 0,407 \text{ kJ/s}$$

Laju Aliran Massa Refrigeran

$$\dot{m} = \frac{\dot{W}_c}{h_2 - h_1}$$

$$\dot{m} = \frac{0,407 \text{ kJ/s}}{56,49 \text{ kJ/kg}}$$

$$\dot{m} = 0,00737 \text{ kg/s}$$

Kalor buang Kondensor

$$Q_{\text{out}} = \dot{m} \cdot (h_2 - h_3)$$

$$Q_{\text{out}} = 0,00737 \text{ kg/s} \cdot (480,83 - 136,18) \text{ kJ/kg}$$

$$Q_{\text{out}} = 0,00737 \text{ kg/s} \cdot (344,65) \text{ kJ/kg}$$

$$Q_{\text{out}} = 2,54 \text{ kJ/s}$$

Kalor yang diserap Evaporator

$$Q_{\text{in}} = \dot{m} \cdot (h_1 - h_4)$$

$$Q_{\text{in}} = 0,00737 \text{ kg/s} \cdot (289,49) \text{ kJ/s}$$

$$Q_{\text{in}} = 2,134 \text{ kJ/s}$$

Ujuk Kerja (COP)

$$COP = \frac{Q_{\text{in}}}{\dot{W}_c}$$

$$COP = \frac{2,134}{0,407}$$

$$COP = 5,2482$$

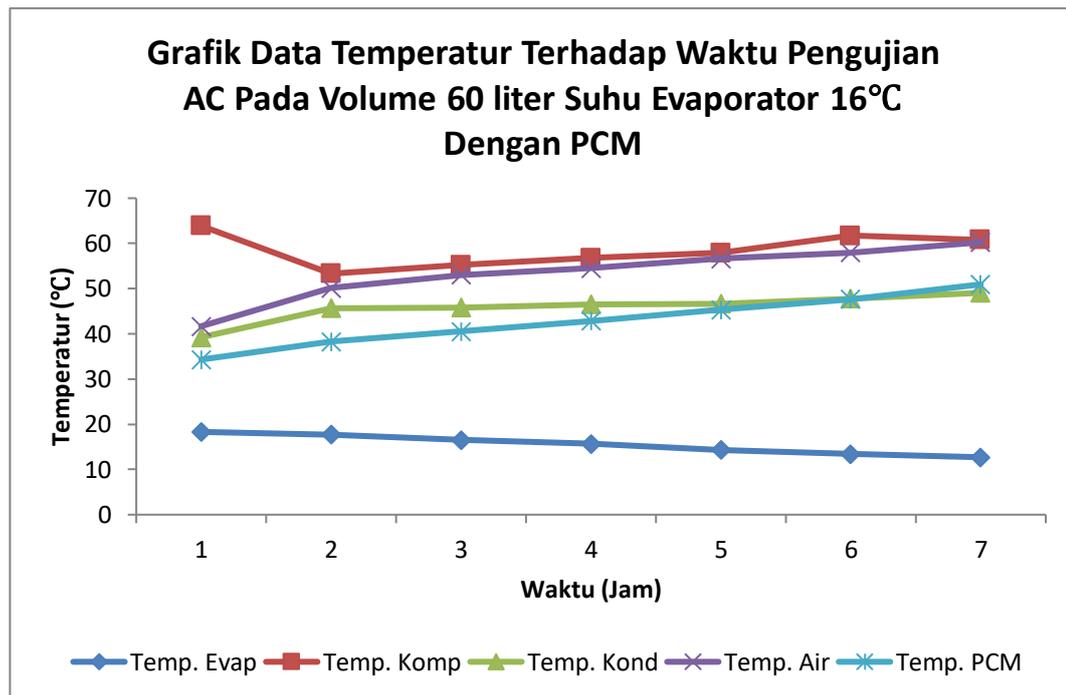
Dari perhitungan diatas didapat nilai unjuk kerja (COP) mesin pengkondisian udara (AC) dengan pemanas air adalah sebesar 5,2482 dan dengan daya kompresor sebesar 0,407 kW.

4.1.6 Pengujian AC Pada Variasi Volume Air 60L Suhu Evaporator 16°C Dengan PCM

Dibawah ini merupakan tabel dan grafik data hasil pengujian berdasarkan pengamatan sampai PCM mencair selama 7 jam dengan interval waktu 1 jam.

Tabel 4.31 Data Hasil Pengujian AC Pada Variasi Volume Air 60L Suhu Evaporator 16°C Dengan PCM

Waktu (Jam)	Temperatur Evaporator	Temperatur Kompresor	Temperatur Kondensor	Temperatur Air	Temperatur PCM
1	18.3	63.88	39.25	41.69	34.31
2	17.7	53.31	45.69	50.13	38.25
3	16.5	55.19	45.81	53	40.5
4	15.7	56.75	46.50	54.5	42.88
5	14.3	57.9	46.69	56.63	45.31
6	13.4	61.69	47.81	58	47.63
7	12.7	60.81	49.06	60.25	50.94



Gambar 4.6 Grafik Data Pengujian AC Variasi Volume Air 60L Suhu Evaporator 16°C Dengan PCM

Pada gambar 4.6 diatas, dapat dilihat bahwa dalam waktu pengujian selama 7 Jam, temperatur evaporator pada jam ke-1 sebesar 18,3°C mengalami penurunan temperatur menjadi 12,7°C pada jam ke- 7. Temperatur yang dicapai kompresor

pada jam ke-1 sebesar 63,88°C mengalami penurunan temperatur menjadi 60,81°C pada jam ke-7. Temperatur kondensor pada jam ke-1 sebesar 39,26°C mengalami kenaikan temperatur menjadi 49,06°C pada jam ke-7. Temperatur air pada tangki pada jam ke-1 sebesar 41,69°C mengalami kenaikan temperatur menjadi 60,25°C pada jam ke-7. Temperatur PCM pada jam ke-1 sebesar 34,31°C mengalami kenaikan temperatur menjadi 50,94 °C pada jam ke-7.

Sebelum melakukan pengolahan data, terlebih dahulu dilakukan interpolasi untuk mendapatkan nilai enthalpy dengan melihat tabel R-410 dari masing-masing titik yang diukur.

Diketahui : data pengujian pada menit ke-60

Tekanan (P) = 143 psi

Temperatur Evaporator (T_1) = 12,7°C

Temperatur Kompresor (T_2) = 60,81°C

Temperatur Kondensor (T_3) = 49,06°C

Temperatur Air = 60,25°C

Temperatur PCM = 50,94°C

Tegangan = 226 V

Arus = 1,88 A

Dicari : Enthalpy h_1 , h_2 , h_3

Penyelesaian :

Titik 1 (Saturation Vapour)

$T_1 = 12,7^\circ\text{C}$

$h_1 = H_g @ 12,7^\circ\text{C} = \dots\dots \text{kJ/kg}$

Tabel 4.32 Freon™ 410A

Temperatur [°C]	Enthalpy [kJ/kg] Vapour [H_g]
12	425,5
12,7	...
13	425,7

Interpolasi h_1 pada temperatur 12,7°C

$$h_1 = 425,5 + (425,7 - 425,5) \cdot \left(\frac{12,7 - 12}{13 - 12}\right)$$

$$h_1 = 425,5 + (0,2) \cdot (0,7)$$

$$h_1 = 425,5 + 0,14$$

$$h_1 = 425,64 \text{ kJ/kg}$$

Titik 2 (Superheated)

$$P = 155 \text{ Psi} \rightarrow \times 6,895 = 1068,7 \text{ kPa}$$

$$T_2 = 60,81^\circ\text{C}$$

$$h_2 = H @ 60,81^\circ\text{C} = \dots \text{ kJ/kg}$$

Tabel 4.33 Freon™ 410A Superheated

Temperatur [°C]	Pressure [kPa]	
	1000	1100
	Enthalpy [kJ/kg] Vapour [H]	Enthalpy [kJ/kg] Vapour [H]
60	480,4	479
60,81	....	....
65	485,4	484,1

Interpolasi h_2 pada tekanan 1000 kPa

$$h_2 = 480,4 + (485,4 - 480,4) \cdot \left(\frac{60,81 - 60}{65 - 60}\right)$$

$$h_2 = 480,4 + (5) \cdot (0,362)$$

$$h_2 = 480,4 + 0,81$$

$$h_2 = 481,21 \text{ kJ/kg}$$

Interpolasi h_2 pada tekanan 1100 kPa

$$h_2 = 479 + (484,1 - 479) \cdot \left(\frac{60,81 - 60}{65 - 60}\right)$$

$$h_2 = 479 + (5,1) \cdot (0,362)$$

$$h_2 = 479 + 0,8262$$

$$h_2 = 479,83 \text{ kJ/kg}$$

Tabel 4.34 h_2 pada tekanan 1000 kPa dan 1100 kPa

Pressure [kPa]	Enthalpy [kJ/kg] Vapour [H]
1000	481,21

1100	479,83

Interpolasi h_1 pada tekanan 1068,7 kPa

$$h_2 = 481,21 + (479,83 - 481,21) \cdot \left(\frac{1068,7 - 1000}{1100 - 1000}\right)$$

$$h_2 = 481,21 + (-1,38) \cdot (0,687)$$

$$h_2 = 481,21 + (-0,948)$$

$$h_2 = 480,26 \text{ kJ/kg}$$

Titik 3 (Saturation Liquid)

$$T_3 = 49,06^\circ\text{C}$$

$$h_3 = h_f @ 49,06^\circ\text{C} = \dots \text{ kJ/kg}$$

Tabel 4.35 Freon™ 410A

Temperatur [$^\circ\text{C}$]	Enthalpy [kJ/kg]
	Vapour [H_g]
49	140,1
49,06	....
50	137,7

Interpolasi h_3 pada temperatur $49,06^\circ\text{C}$

$$h_3 = 140,1 + (137,7 - 140,1) \cdot \left(\frac{49,06 - 49}{50 - 49}\right)$$

$$h_3 = 140,1 + (-2,4) \cdot (0,06)$$

$$h_3 = 140,1 + (-0,144)$$

$$h_3 = 139,96 \text{ kJ/kg}$$

Setelah melakukan interpolasi pada data jam ke-7, dengan didapatkan nilai enthalpy pada titik-titik pengukuran, maka dapat dilanjutkan dengan pengolahan data untuk menghitung nilai unjuk kerja (COP) disebut juga dengan koefisien prestasi yang dipergunakan untuk menyatakan performansi dari siklus refrigerasi pada mesin pengkondisian udara (AC).

Didapat:

Tabel 4.36 Enthalpy AC Dengan Variasi Volume Air 60L Suhu Evaporator 16°C Dengan PCM

Titik Pengukuran	Temperatur (T)	Enthalpy (h)
Titik 1	12,7	425,64 kJ/kg
Titik 2	60,81	480,26 kJ/kg
Titik 3	49,06	139,96 kJ/kg

Dicari:

Menghitung besarnya nilai kerja kompresi, efek refrigerasi, daya kompresor, laju aliran massa refrigeran, kalor yang dibuang kondensor, kalor yang diserap evaporator dan unjuk kerja (COP).

Kerja Kompresi

$$W_c = h_2 - h_1$$

$$W_c = (480,26 - 425,64) \text{ kJ/kg}$$

$$W_c = 54,62 \text{ kJ/kg}$$

Efek Refrigerasi

$$ER = h_1 - h_4$$

$$ER = (425,64 - 139,96) \text{ kJ/kg}$$

$$ER = 258,68 \text{ kJ/kg}$$

Daya Kompresor

$$\dot{W}_c = V \cdot I$$

$$\dot{W}_c = 226 \cdot 1,88$$

$$\dot{W}_c = 424,88 \text{ watt}$$

$$\dot{W}_c = 0,425 \text{ kW}$$

$$\dot{W}_c = 0,425 \text{ kJ/s}$$

Laju Aliran Massa Refrigeran

$$\dot{m} = \frac{\dot{W}_c}{h_2 - h_1}$$

$$\dot{m} = \frac{0,425 \text{ kJ/s}}{54,62 \text{ kJ/kg}}$$

$$\dot{m} = 0,00778 \text{ kg/s}$$

Kalor buang Kondensor

$$Q_{\text{out}} = \dot{m} \cdot (h_2 - h_3)$$

$$Q_{\text{out}} = 0,00778 \text{ kg/s} \cdot (485,64 - 139,96) \text{ kJ/kg}$$

$$Q_{\text{out}} = 0,00778 \text{ kg/s} \cdot (345,68) \text{ kJ/kg}$$

$$Q_{\text{out}} = 2,647 \text{ kJ/s}$$

Kalor yang diserap Evaporator

$$Q_{\text{in}} = \dot{m} \cdot (h_1 - h_4)$$

$$Q_{\text{in}} = 0,00778 \text{ kg/s} \cdot (285,68) \text{ kJ/s}$$

$$Q_{\text{in}} = 2,222 \text{ kJ/s}$$

Ujuk Kerja (COP)

$$\text{COP} = \frac{Q_{\text{in}}}{\dot{W}_c}$$

$$\text{COP} = \frac{2,222}{0,425}$$

$$\text{COP} = 5,2305$$

Dari perhitungan diatas didapat nilai unjuk kerja (COP) mesin pengkondisian udara (AC) dengan pemanas air adalah sebesar 5,2305 dan dengan daya kompresor sebesar 0,425 kW.

4.2 Pembahasan

Dari perhitungan diatas dapat dibandingkan hasil sebelum dan sesudah menggunakan PCM, maka dapat diambil sebuah data perbandingan dari hasil perhitungan dalam waktu pengujian hingga PCM mencair pada 3 variasi volume air berbeda yaitu: 20 L, 40 L, 60 L.

Tabel 4.37 Perbandingan Hasil Perhitungan Dengan PCM

No	Perhitungan	Hasil Perhitungan		
		20L	40L	60L
1	Kerja Kompresi (W_c)	56,18	55,17	54,62
2	Efek Refrigerasi (ER)	288,43	289,49	285,68
3	Kalor Buang Kondensor (Q_{out})	2,329	2,54	2,647
4	Unjuk Kerja (COP)	5,1289	5,2482	5,2305
5	Daya Kompresos (\dot{W}_c)	0,380	0,407	0,425

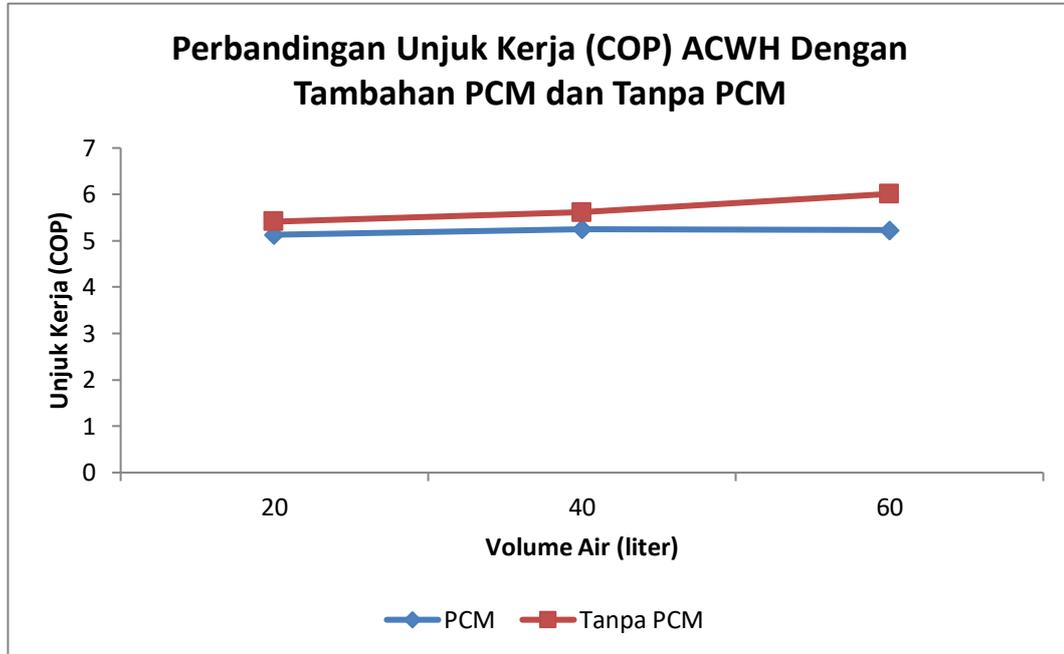
Tabel 4.38 Perbandingan Hasil Perhitungan Tanpa PCM

No	Perhitungan	Hasil Perhitungan		
		20L	40L	60L
1	Kerja Kompresi (W_c)	52,56	50,28	46,48
2	Efek Refrigerasi (ER)	284,51	282,39	279,29
3	Kalor Buang Kondensor (Q_{out})	2,68	2,811	3,121
4	Unjuk Kerja (COP)	5,4115	5,6141	6,0094
5	Daya Kompresos (\dot{W}_c)	0.418	0,425	0,445

Dari tabel 4.37 dan 4.38 diatas menunjukkan perubahan, maka dapat diuraikan hasil perhitungan AC dengan PCM dan tanpa PCM. Adapun pembahasan pada tugas akhir ini adalah pengujian dengan 3 variasi air yaitu 20L, 40L, dan 60L.

4.2.1 Perbandingan Unjuk Kerja (COP)

Dibawah ini gambar grafik perbandingan unjuk kerja (COP) dari ACWH dengan tambahan PCM dan tanpa PCM pada variasi volume air 20L, 40L, dan 60L.



Gambar 4.7 Grafik Perbandingan Unjuk Kerja (COP) Dengan Tambahan PCM dan Tanpa PCM

Pada gambar 4.7 dapat dilihat dengan penambahan PCM, unjuk kerja (COP) menurun secara signifikan. Unjuk kerja (COP) pada AC tanpa PCM tertinggi pada volume air 60 liter, sedangkan pada AC dengan penambahan PCM pada volume 40 liter.

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari hasil pengujian, pengelolaan data, grafik dan pembahasan diperoleh kesimpulan dari variasi 3 volume air berbeda, yaitu sebagai berikut :

1. Kinerja AC (COP) pada variasi volume air 20L, 40L, dan 60L tanpa PCM adalah : 5,4115, 5,6141, dan 6,0094. Sedangkan kinerja AC (COP) dengan tambahan PCM adalah : 5,1289, 5,2482, dan 5,2305.
2. Pada pengujian ini nilai unjuk kerja (COP) tertinggi tanpa PCM pada variasi volume air 60 liter yaitu sebesar 6,0094. Sedangkan dengan tambahan PCM pada 40 liter yaitu sebesar 5,2482.

5.2 Saran

Adapun saran yang dapat penulis sampaikan adalah untuk pengembangan penelitian berikutnya menggunakan sistem otomatis yaitu ketika panas air dalam tangki sudah mencapai batas suhu yang diinginkan kompresi refrigerant tidak melewati APK.

DAFTAR PUSTAKA

- A, A. Ayare., S, D. Anjarlekar., M, N. T., & S, S. Wamane. (2017). Eksperimental Study On Helical Coil Heat Exchanger. *International Journal Of Scientific and Research Publications*, Vol.7.ISSN 2250-3153, 56-59.
- Afzal, A., AD, M. S., & RK, A. R. (2019). *Experimental investigation of thermal performance of engine coolant oil and water in helical coil heat exchanger. Journal of Engineering Research*, 7(2).
- Ali, M., Husin, Iskandar., Husin., dan Anto, Surati. (2018). KAJI ULANG KEBUTUHAN DAYA WATER HEATER AIR CONDITIONER SPLIT DENGAN WATER HEATER LISTRIK. Laporan Tugas Akhir :Fakultas Teknik, Universitas Tridinanti Palembang.
- Ambarita, H., Abdullah, I., Siregar, C. A., Siregar, R. E. T., & Ronowikarto, A. D. (2017, March). *Experimental study on melting and solidification of phase change material thermal storage. In IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* (Vol. 180, No. 1, p. 012030). *IOP Publishing*.
- Ambarita, Himsar. (2017). Termodinamika Teknik Fundamental dan Aplikasi.Malang: Inteligensia Media.
- Ayyubi, A. R. (2020). ANALISIS KINERJA EVAPORATOR PADA AC SPLIT 1/2 PK DENGAN REFRIGERAN R-22 dan R-290 (Doctoral dissertation, Pancasakty University).
- Aziz, A., Ginting, H., Hatorangan, N., & Rahman, W. (2014). Analisis kinerja air conditioning sekaligus sebagai water heater (ACWH). *Jurnal Sains dan Teknologi*, 15 (2), 43-50
- Azkiya, M. Z., & Maulana, E. (2020). PERANCANGAN ALAT PENUKAR KALOR UNTUK PEMBANGKIT SISTEM ORC. *Jurnal Penelitian dan Karya Ilmiah Lembaga Penelitian Universitas Trisakti*, 5(2), 99-108.
- Dermawan, A. P., Ariskyawan, F., Rahino, G. L., Utama, P. W., Allo, R. K., Habibi, F. M., ... & Sujana, W. (2020). Analisa Tahapan Thermal Tangki Pada Kondensor AC Sebagai Water Heater. *Jurnal Mesin Material Manufaktur dan Energi*, 1(1), 36-41.
- Hendradinata, H., Irawan, F., & Kesuma, A. P. (2018). RANCANG BANGUN WATER HEATER DENGAN MEMANFAATKAN PANAS AIR CONDITIONING. *PETRA: Jurnal Teknologi Pendingin dan Tata Udara*, 5(2), 43-49.
- King, M. L., & Husin, I. (2018). EKSPERIMENTAL KINERJA SISTIM REFRIGERASI AIR CONDITIONER SPLIT TERHADAP PARAMETER PENGUJIAN DENGAN KOMBINASI PEMANFAATAN DAN PEMASANGAN WATER HEATER LISTRIK. *TURBULEN Jurnal Teknik Mesin*, 1(2).
- Khot S.A., Sane N.K., and Gawali B.S. (2011). *Experimental Investigation of Phase Change Phenomena of Paraffin Wax inside a Capsule. International Journal of Engineering Trends and Technology- Volume 2 Issue 2 (2011) ISSN 2231-5381*.

- Mainil, A. K., Fikri, S., & Aziz, A. (2018). PENGARUH BEBAN PENDINGIN PADA MESIN PENKONDISIAN UDARA HIBRIDA DENGAN KONDENSOR DUMMY TIPE MULTI HELICAL COIL SEBAGAI WATER HEATER. *Jurnal Sains dan Teknologi*, 17(2), 69-75.
- Margana, A. S., Sunardi, S., & Mulyani, R. I. (2019). *EXPERIMENT TEST ON CONDENSER SPLIT AIR CONDITIONING (AC) CAPACITY OF 1PK USING CONDITIONED WATER AS COOLING CONDENSER. EDUSAINTEK*, 3.
- Mettawee, Eman Bellah S., Assassa, Ghazy M.R. (2006). *Experimental study of a compact PCM solarcollector. Energi (elsevier)* 31 (2006) 2958–2968.
- Mochammad, S., Muslimin, M., & Fadillah, M. R. (2021). Optimalisasi Proses Manufaktur Pipa Koil Menggunakan Mesin Bubut Konvensional. *Jurnal Mekanik Terapan*, 2(2).
- Napitupulu, J.F.H, H. Ambarita. (2014). Studi Eksperimental Performansi Solar Water Heater Jenis Kolektor Plat Datar dengan Penambahan Thermal Energy Storage. *Jurnal Ilmiah Teknik Mesin*, Vol. 1, No. 2, hal. 27-36.
- Rio, P. (2018). Rancang Bangun Water Heater Tipe Serpentine dengan Memanfaatkan Panas Buang Kondensor AC Split 1 PK dengan Kapasitas 120 L. Medan : Departemen Teknik Mesin, Universitas Sumatera Utara.
- Siregar, Chandra, A. (2018). Kajian Peleburan Dan Pembukuan Material Berubah Fasa Pada Thermal Sotrage. *Talenta Conference Series: Energy and Engineering (EE) Volume 1 issue 1* (2018). ISSN 2654-7031.
- Siregar, C. A., Siregar, A. M., & Setiawan, D. (2021). Efek Penambahan APK Pipa Kapiler Bersirip Sebagai Penghantar Panas Terhadap Performance AC Pada Aplikasi ACWH. *Jurnal Rekayasa Material, Manufaktur dan Energi*, 4(1), 1-7.
- Siregar, C, A., Siregar, A, M., Affandi., dan Amri Ulil. (2020). Rancang Bangun ACWH Berkapasitas 60 Liter Memanfaatkan Pipa Kapiler Bersirip Sebagai Penghantar Panas. *Jurnal Mesil (Mesin, Elektro, Sipil)*, 1(1), 56-62.
- Siregar, C, A, P., Siregar, A, M., dan Affandi. (2020). Studi Eksperimental Pengaruh Efektifitas ACWH Terhadap Panjang Pipa Kapiler Sebagai Penghantar Panas. *Jurnal SIMETRIS*, 11(2) E-ISSN: 2549-3108.
- Supu, I., Usman, B., Basri, S., & Sunarmi, S. (2017). Pengaruh suhu terhadap perpindahan panas pada material yang berbeda. *Dinamika*, 7(1), 62-73.

LAMPIRAN

Table 1. Freon™ 410A Saturation Properties—Temperature Table (continued)

Temp [°C]	Pressure [kPa]		Volume [m³/kg]		Density [kg/m³]		Enthalpy [kJ/kg]			Entropy [kJ/(kg)(K)]		Temp [°C]
	Liquid p	Vapor p	Liquid v	Vapor v	Liquid 1/v	Vapor 1/v	Liquid H	Latent H	Vapor H	Liquid S	Vapor S	
-40	176.2	175.8	0.0008	0.1419	1325.7	7.045	141.1	265.9	407.1	0.7666	1.9072	-40
-39	184.3	183.8	0.0008	0.1360	1322.3	7.352	142.5	265.0	407.8	0.7727	1.9045	-39
-38	192.7	192.2	0.0008	0.1304	1318.9	7.669	144.0	264.1	408.0	0.7787	1.9017	-38
-37	201.3	200.8	0.0008	0.1251	1315.5	7.996	145.4	263.1	408.5	0.7847	1.8990	-37
-36	210.3	209.8	0.0008	0.1200	1312.1	8.335	146.8	262.2	408.9	0.7908	1.8963	-36
-35	219.6	219.0	0.0008	0.1151	1308.6	8.685	148.2	261.2	409.4	0.7968	1.8936	-35
-34	229.2	228.6	0.0008	0.1105	1305.2	9.046	149.6	260.2	409.8	0.8028	1.8910	-34
-33	239.1	238.4	0.0008	0.1062	1301.7	9.419	151.0	259.3	410.3	0.8088	1.8884	-33
-32	249.3	248.6	0.0008	0.1020	1298.2	9.805	152.4	258.3	410.7	0.8148	1.8858	-32
-31	259.9	259.2	0.0008	0.0980	1294.7	10.202	153.9	257.3	411.2	0.8207	1.8832	-31
-30	270.8	270.1	0.0008	0.0942	1291.2	10.613	155.3	256.3	411.6	0.8267	1.8807	-30
-29	282.1	281.3	0.0008	0.0906	1287.6	11.036	156.7	255.3	412.0	0.8326	1.8782	-29
-28	293.7	292.9	0.0008	0.0872	1284.1	11.473	158.2	254.3	412.5	0.8385	1.8757	-28
-27	305.7	304.9	0.0008	0.0839	1280.5	11.923	159.6	253.3	412.9	0.8445	1.8733	-27
-26	318.1	317.2	0.0008	0.0807	1276.9	12.388	161.1	252.2	413.3	0.8504	1.8709	-26
-25	330.9	329.9	0.0008	0.0777	1273.3	12.866	162.5	251.2	413.7	0.8562	1.8685	-25
-24	344.0	343.0	0.0008	0.0749	1269.7	13.360	164.0	250.1	414.1	0.8621	1.8661	-24
-23	357.6	356.6	0.0008	0.0721	1266.0	13.868	165.4	249.1	414.5	0.8680	1.8638	-23
-22	371.5	370.5	0.0008	0.0695	1262.3	14.391	166.9	248.0	414.9	0.8738	1.8614	-22
-21	385.9	384.8	0.0008	0.0670	1258.7	14.931	168.4	247.0	415.3	0.8797	1.8591	-21
-20	400.7	399.5	0.0008	0.0646	1255.0	15.488	169.8	245.9	415.7	0.8855	1.8569	-20
-19	415.9	414.7	0.0008	0.0623	1251.3	16.058	171.3	244.8	416.1	0.8913	1.8546	-19
-18	431.6	430.3	0.0008	0.0601	1247.5	16.647	172.8	243.7	416.5	0.8971	1.8523	-18
-17	447.7	446.4	0.0008	0.0580	1243.8	17.253	174.3	242.6	416.9	0.9029	1.8501	-17
-16	464.3	462.9	0.0008	0.0559	1240.0	17.877	175.7	241.5	417.2	0.9087	1.8479	-16
-15	481.3	479.9	0.0008	0.0540	1236.2	18.519	177.2	240.4	417.6	0.9145	1.8457	-15
-14	498.9	497.4	0.0008	0.0521	1232.4	19.179	178.7	239.3	418.0	0.9203	1.8436	-14
-13	518.9	515.3	0.0008	0.0504	1228.6	19.859	180.2	238.1	418.3	0.9260	1.8414	-13
-12	535.4	533.7	0.0008	0.0486	1224.7	20.558	181.7	237.0	418.7	0.9318	1.8393	-12
-11	554.4	552.7	0.0008	0.0470	1220.8	21.276	183.2	235.8	419.1	0.9375	1.8372	-11
-10	573.9	572.1	0.0008	0.0454	1216.9	22.016	184.7	234.7	419.4	0.9432	1.8351	-10
-9	593.9	592.1	0.0008	0.0439	1213.0	22.776	186.2	233.5	419.7	0.9489	1.8330	-9
-8	614.4	612.6	0.0008	0.0425	1209.1	23.558	187.7	232.3	420.1	0.9547	1.8309	-8
-7	635.5	633.6	0.0008	0.0411	1205.1	24.361	189.3	231.1	420.4	0.9604	1.8288	-7
-6	657.2	655.1	0.0008	0.0397	1201.1	25.187	190.8	229.9	420.7	0.9660	1.8268	-6
-5	679.3	677.3	0.0008	0.0384	1197.1	26.036	192.3	228.7	421.0	0.9717	1.8247	-5
-4	702.1	699.9	0.0008	0.0372	1193.1	26.909	193.8	227.5	421.4	0.9774	1.8227	-4
-3	725.4	723.2	0.0008	0.0360	1189.0	27.806	195.4	226.3	421.7	0.9830	1.8207	-3
-2	749.3	747.0	0.0008	0.0348	1184.9	28.728	196.9	225.1	422.0	0.9887	1.8187	-2
-1	773.9	771.4	0.0009	0.0337	1180.8	29.675	198.5	223.8	422.3	0.9943	1.8167	-1
0	799.0	796.5	0.0009	0.0326	1176.7	30.649	200.0	222.5	422.5	1.0000	1.8147	0
1	824.7	822.1	0.0009	0.0316	1172.5	31.649	201.6	221.3	422.8	1.0056	1.8128	1
2	851.0	848.4	0.0009	0.0306	1168.3	32.676	203.1	220.0	423.1	1.0112	1.8108	2
3	878.0	875.3	0.0009	0.0297	1164.1	33.732	204.7	218.7	423.4	1.0168	1.8088	3
4	905.6	902.8	0.0009	0.0287	1159.8	34.817	206.2	217.4	423.6	1.0225	1.8069	4
5	933.9	931.0	0.0009	0.0278	1155.5	35.931	207.8	216.1	423.9	1.0281	1.8049	5
6	962.9	959.8	0.0009	0.0270	1151.2	37.076	209.4	214.8	424.1	1.0337	1.8030	6
7	992.5	989.3	0.0009	0.0261	1146.9	38.252	211.0	213.4	424.4	1.0392	1.8011	7
8	1022.8	1019.5	0.0009	0.0253	1142.5	39.461	212.6	212.1	424.6	1.0448	1.7991	8
9	1053.8	1050.4	0.0009	0.0248	1138.1	40.702	214.1	210.7	424.9	1.0504	1.7972	9
10	1085.5	1082.0	0.0009	0.0238	1133.7	41.977	215.7	209.3	425.1	1.0560	1.7953	10
11	1117.9	1114.3	0.0009	0.0231	1129.2	43.288	217.3	207.9	425.3	1.0616	1.7934	11
12	1151.0	1147.3	0.0009	0.0224	1124.7	44.634	219.0	206.5	425.5	1.0671	1.7914	12
13	1184.9	1181.1	0.0009	0.0217	1120.1	46.017	220.6	205.1	425.7	1.0727	1.7895	13
14	1219.5	1215.6	0.0009	0.0211	1115.6	47.437	222.2	203.7	425.9	1.0783	1.7876	14
15	1254.9	1250.8	0.0009	0.0205	1110.9	48.897	223.8	202.2	426.1	1.0838	1.7857	15
16	1291.0	1286.9	0.0009	0.0198	1106.3	50.398	225.4	200.8	426.2	1.0894	1.7838	16
17	1328.0	1323.7	0.0009	0.0193	1101.6	51.939	227.1	199.3	426.4	1.0949	1.7818	17
18	1365.7	1361.3	0.0009	0.0187	1096.9	53.523	228.7	197.8	426.5	1.1005	1.7799	18
19	1404.2	1399.6	0.0009	0.0181	1092.1	55.152	230.4	196.3	426.7	1.1060	1.7780	19

Table 1. Freon™ 410A Saturation Properties—Temperature Table (continued)

Temp [°C]	Pressure [kPa]		Volume [m³/kg]		Density [kg/m³]		Enthalpy [kJ/kg]			Entropy [kJ/(kg)(K)]		Temp [°C]
	Liquid p	Vapor p	Liquid v	Vapor v	Liquid 1/v	Vapor 1/v	Liquid H	Latent H	Vapor H	Liquid S	Vapor S	
20	1443.6	1438.8	0.0009	0.0176	1087.2	56.825	232.0	194.8	426.8	1.1116	1.1760	20
21	1483.7	1478.9	0.0009	0.0171	1082.4	58.545	233.7	193.2	426.9	1.1172	1.1741	21
22	1524.7	1519.7	0.0009	0.0166	1077.5	60.314	235.4	191.7	427.1	1.1227	1.1721	22
23	1566.6	1561.4	0.0009	0.0161	1072.5	62.132	237.1	190.1	427.2	1.1283	1.1702	23
24	1609.3	1604.0	0.0009	0.0156	1067.5	64.001	238.7	188.5	427.3	1.1338	1.1682	24
25	1652.9	1647.4	0.0009	0.0152	1062.4	65.824	240.4	186.9	427.3	1.1394	1.1662	25
26	1697.3	1691.7	0.0010	0.0147	1057.3	67.901	242.1	185.3	427.4	1.1450	1.1643	26
27	1742.7	1736.9	0.0010	0.0143	1052.1	69.935	243.9	183.6	427.5	1.1506	1.1623	27
28	1788.9	1783.0	0.0010	0.0139	1046.9	72.028	245.6	181.9	427.5	1.1562	1.1603	28
29	1836.1	1830.0	0.0010	0.0135	1041.6	74.181	247.3	180.2	427.5	1.1618	1.1582	29
30	1884.2	1877.9	0.0010	0.0131	1036.3	76.398	249.1	178.5	427.6	1.1674	1.1562	30
31	1933.3	1926.8	0.0010	0.0127	1030.9	78.679	250.8	176.8	427.6	1.1730	1.1541	31
32	1983.3	1976.6	0.0010	0.0123	1025.4	81.028	252.6	175.0	427.6	1.1786	1.1521	32
33	2034.3	2027.4	0.0010	0.0120	1019.9	83.447	254.3	173.2	427.5	1.1843	1.1500	33
34	2086.3	2079.2	0.0010	0.0116	1014.2	85.939	256.1	171.4	427.5	1.1899	1.1479	34
35	2139.2	2132.0	0.0010	0.0113	1008.6	88.506	257.9	169.5	427.5	1.1956	1.1458	35
36	2193.2	2185.7	0.0010	0.0110	1002.8	91.151	259.7	167.7	427.4	1.2013	1.1438	36
37	2248.1	2240.5	0.0010	0.0107	996.9	93.879	261.5	165.8	427.3	1.2070	1.1414	37
38	2304.2	2296.3	0.0010	0.0103	991.0	96.691	263.4	163.8	427.2	1.2127	1.1392	38
39	2361.2	2353.2	0.0010	0.0100	985.0	99.592	265.2	161.9	427.1	1.2185	1.1370	39
40	2419.3	2411.1	0.0010	0.0098	978.9	102.585	267.1	159.9	427.0	1.2243	1.1348	40
41	2478.5	2470.1	0.0010	0.0095	972.7	105.674	269.0	157.8	426.8	1.2301	1.1325	41
42	2538.8	2530.2	0.0010	0.0092	966.4	108.864	270.9	155.8	426.7	1.2359	1.1302	42
43	2600.1	2591.3	0.0010	0.0089	960.0	112.159	272.8	153.7	426.5	1.2418	1.1278	43
44	2662.6	2653.6	0.0011	0.0087	953.4	115.564	274.8	151.5	426.3	1.2477	1.1255	44
45	2726.1	2717.0	0.0011	0.0084	946.8	119.085	276.7	149.3	426.0	1.2537	1.1230	45
46	2790.9	2781.6	0.0011	0.0082	940.0	122.727	278.7	147.1	425.8	1.2597	1.1206	46
47	2856.7	2847.3	0.0011	0.0079	933.1	126.497	280.7	144.8	425.5	1.2658	1.1181	47
48	2923.8	2914.2	0.0011	0.0077	926.0	130.402	282.7	142.5	425.2	1.2719	1.1156	48
49	2991.9	2982.2	0.0011	0.0074	918.8	134.448	284.8	140.1	424.9	1.2781	1.1130	49
50	3061.3	3051.5	0.0011	0.0072	911.4	138.645	286.9	137.7	424.6	1.2843	1.1104	50
51	3131.9	3122.0	0.0011	0.0070	903.9	143.001	289.0	135.2	424.2	1.2906	1.1077	51
52	3203.7	3193.7	0.0011	0.0068	896.1	147.527	291.2	132.6	423.8	1.2971	1.1050	52
53	3276.7	3266.6	0.0011	0.0066	888.2	152.235	293.4	130.0	423.4	1.3036	1.1022	53
54	3351.0	3340.9	0.0011	0.0064	880.0	157.139	295.6	127.3	423.0	1.3102	1.0994	54
55	3426.5	3416.3	0.0012	0.0062	871.5	162.252	297.9	124.6	422.5	1.3169	1.0965	55
56	3503.3	3493.1	0.0012	0.0060	862.8	167.594	300.3	121.7	422.0	1.3238	1.0935	56
57	3581.3	3571.2	0.0012	0.0058	853.8	173.187	302.7	118.7	421.4	1.3308	1.0904	57
58	3660.7	3650.7	0.0012	0.0056	844.5	179.056	305.1	115.7	420.8	1.3380	1.0873	58
59	3741.3	3731.5	0.0012	0.0054	834.8	185.232	307.7	112.5	420.2	1.3453	1.0841	59
60	3823.3	3813.6	0.0012	0.0052	824.7	191.757	310.3	109.2	419.5	1.3529	1.0808	60
61	3906.6	3897.1	0.0012	0.0050	814.1	198.680	313.0	105.8	418.8	1.3608	1.0773	61
62	3991.2	3982.0	0.0013	0.0049	802.9	206.069	315.9	102.2	418.1	1.3689	1.0738	62
63	4077.2	4068.4	0.0013	0.0047	791.1	214.014	318.8	98.4	417.2	1.3774	1.0700	63
64	4164.5	4156.1	0.0013	0.0045	778.5	222.641	322.0	94.3	416.3	1.3863	1.0661	64
65	4253.2	4245.4	0.0013	0.0043	765.0	232.131	325.3	90.0	415.3	1.3958	1.0620	65
66	4343.3	4336.1	0.0013	0.0041	750.3	242.755	328.8	85.3	414.2	1.4059	1.0575	66
67	4434.7	4428.2	0.0014	0.0039	734.2	254.940	332.7	80.3	412.9	1.4168	1.0527	67
68	4527.6	4521.9	0.0014	0.0037	716.0	269.366	336.9	74.6	411.5	1.4289	1.0476	68
69	4621.8	4617.2	0.0014	0.0035	694.9	287.059	341.7	68.4	410.1	1.4425	1.0424	69
70	4717.5	4713.9	0.0015	0.0032	668.1	308.947	347.3	61.6	408.9	1.4586	1.0380	70

Table 2. Freon™ 410A Superheated Vapor—Constant Pressure Table (continued)

V = Volume in m³/kg H = Enthalpy in kJ/kg S = Entropy in kJ/(kg)(K) Saturation Properties in Light Blue

Temp [°C]	Absolute Pressure [kPa]												Temp [°C]
	850.0			900.0			950.0			1000.0			
	2.06 °C			3.90 °C			5.66 °C			7.39 °C			
	V	H	S	V	H	S	V	H	S	V	H	S	
	0.0305	423.1	1.8107	0.0288	423.6	1.8071	0.0273	424.1	1.8036	0.0259	424.5	1.8004	5
5	0.0312	426.4	1.8226	0.0291	424.9	1.8118							10
10	0.0323	431.9	1.8422	0.0301	430.5	1.8318	0.0282	429.1	1.8215	0.0264	427.6	1.8115	15
15	0.0333	437.3	1.8610	0.0311	436.0	1.8510	0.0291	434.7	1.8412	0.0274	433.4	1.8316	20
20	0.0343	442.6	1.8791	0.0321	441.4	1.8694	0.0301	440.2	1.8600	0.0283	438.9	1.8508	25
25	0.0353	447.7	1.8965	0.0330	446.6	1.8872	0.0310	445.5	1.8781	0.0292	444.4	1.8693	30
30	0.0362	452.8	1.9135	0.0339	451.8	1.9044	0.0319	450.8	1.8958	0.0300	449.7	1.8870	35
35	0.0372	457.8	1.9299	0.0348	456.9	1.9211	0.0327	455.9	1.9125	0.0309	455.0	1.9042	40
40	0.0380	462.8	1.9460	0.0357	461.9	1.9373	0.0336	461.1	1.9290	0.0317	460.2	1.9209	45
45	0.0389	467.8	1.9617	0.0365	467.0	1.9532	0.0344	466.1	1.9450	0.0324	465.3	1.9371	50
50	0.0398	472.7	1.9770	0.0374	471.9	1.9687	0.0352	471.1	1.9607	0.0332	470.4	1.9529	55
55	0.0406	477.6	1.9921	0.0382	476.9	1.9839	0.0360	476.1	1.9760	0.0340	475.4	1.9684	60
60	0.0415	482.5	2.0068	0.0390	481.8	1.9988	0.0367	481.1	1.9910	0.0347	480.4	1.9836	65
65	0.0423	487.4	2.0214	0.0397	486.7	2.0134	0.0375	486.1	2.0058	0.0354	485.4	1.9984	70
70	0.0431	492.2	2.0357	0.0405	491.6	2.0278	0.0382	491.0	2.0203	0.0361	490.4	2.0130	75
75	0.0439	497.1	2.0498	0.0413	496.5	2.0420	0.0389	495.9	2.0345	0.0368	495.3	2.0274	80
80	0.0447	502.0	2.0637	0.0420	501.4	2.0560	0.0397	500.9	2.0486	0.0375	500.3	2.0415	85
85	0.0455	506.8	2.0774	0.0428	506.3	2.0697	0.0404	505.8	2.0625	0.0382	505.3	2.0555	90
90	0.0463	511.7	2.0909	0.0435	511.2	2.0834	0.0411	510.7	2.0761	0.0389	510.2	2.0692	95
95	0.0470	516.6	2.1043	0.0443	516.1	2.0968	0.0418	515.7	2.0896	0.0396	515.2	2.0828	100
100	0.0478	521.5	2.1175	0.0450	521.1	2.1101	0.0425	520.6	2.1030	0.0402	520.1	2.0962	105
105	0.0486	526.5	2.1306	0.0457	526.0	2.1232	0.0432	525.6	2.1162	0.0409	525.1	2.1094	110
110	0.0493	531.4	2.1436	0.0464	531.0	2.1362	0.0439	530.5	2.1292	0.0416	530.1	2.1225	115
115	0.0501	536.3	2.1565	0.0472	535.9	2.1491	0.0446	535.5	2.1422	0.0422	535.1	2.1355	120
120	0.0508	541.3	2.1692	0.0479	540.9	2.1619	0.0452	540.5	2.1550	0.0429	540.1	2.1484	125
125	0.0516	546.3	2.1818	0.0486	545.9	2.1745	0.0459	545.5	2.1677	0.0435	545.2	2.1611	130
130	0.0523	551.3	2.1943	0.0493	550.9	2.1871	0.0466	550.6	2.1802	0.0441	550.2	2.1737	135
135	0.0530	556.3	2.2067	0.0500	556.0	2.1995	0.0472	555.6	2.1927	0.0448	555.3	2.1862	140
140	0.0538	561.4	2.2190	0.0507	561.1	2.2119	0.0479	560.7	2.2051	0.0454	560.4	2.1986	145
145	0.0545	566.5	2.2312	0.0514	566.1	2.2241	0.0486	565.8	2.2173	0.0461	565.5	2.2109	150
150	0.0552	571.6	2.2433	0.0521	571.3	2.2362	0.0492	570.9	2.2295	0.0467	570.6	2.2231	155
155	0.0560	576.7	2.2554	0.0528	576.4	2.2483	0.0499	576.1	2.2416	0.0473	575.8	2.2352	160

Table 2. Freon™ 410A Superheated Vapor—Constant Pressure Table (continued)

V = Volume in m³/kg H = Enthalpy in kJ/kg S = Entropy in kJ/(kg)(K) Saturation Properties in Light Blue

Temp [°C]	Absolute Pressure [kPa]												Temp [°C]
	1100.0			1200.0			1300.0			1400.0			
	V	H	S	V	H	S	V	H	S	V	H	S	
	0.0234	425.2	1.7942	0.0214	425.8	1.7885	0.0198	426.3	1.7831	0.0181	426.7	1.7780	
15	0.0243	430.6	1.8130	0.0216	427.6	1.7948							15
20	0.0251	436.4	1.8331	0.0225	433.8	1.8159	0.0203	431.0	1.7991	0.0183	428.0	1.7825	20
25	0.0260	442.1	1.8523	0.0233	439.7	1.8359	0.0211	437.2	1.8201	0.0191	434.5	1.8045	25
30	0.0268	447.6	1.8707	0.0241	445.4	1.8550	0.0218	443.1	1.8399	0.0198	440.7	1.8251	30
35	0.0276	453.0	1.8884	0.0249	451.0	1.8733	0.0226	448.9	1.8588	0.0206	446.7	1.8447	35
40	0.0284	458.3	1.9055	0.0256	456.5	1.8909	0.0233	454.5	1.8769	0.0212	452.5	1.8635	40
45	0.0291	463.6	1.9221	0.0263	461.8	1.9079	0.0239	460.0	1.8944	0.0219	458.2	1.8814	45
50	0.0298	468.8	1.9383	0.0270	467.1	1.9245	0.0246	465.5	1.9113	0.0225	463.8	1.8988	50
55	0.0305	473.9	1.9541	0.0276	472.4	1.9406	0.0252	470.8	1.9278	0.0231	469.2	1.9156	55
60	0.0312	479.0	1.9695	0.0283	477.6	1.9563	0.0258	476.1	1.9438	0.0237	474.6	1.9319	60
65	0.0319	484.1	1.9846	0.0289	482.7	1.9716	0.0264	481.3	1.9594	0.0243	480.0	1.9477	65
70	0.0325	489.1	1.9994	0.0296	487.8	1.9866	0.0270	486.5	1.9746	0.0248	485.2	1.9632	70
75	0.0332	494.1	2.0139	0.0302	492.9	2.0014	0.0276	491.7	1.9896	0.0254	490.5	1.9784	75
80	0.0338	499.2	2.0282	0.0308	498.0	2.0159	0.0282	496.9	2.0042	0.0259	495.7	1.9933	80
85	0.0345	504.2	2.0423	0.0314	503.1	2.0301	0.0287	502.0	2.0186	0.0265	500.9	2.0078	85
90	0.0351	509.2	2.0562	0.0320	508.1	2.0441	0.0293	507.1	2.0328	0.0270	506.0	2.0222	90
95	0.0357	514.2	2.0699	0.0325	513.2	2.0580	0.0298	512.2	2.0468	0.0275	511.2	2.0362	95
100	0.0363	519.2	2.0834	0.0331	518.2	2.0716	0.0304	517.3	2.0605	0.0280	516.3	2.0501	100
105	0.0370	524.2	2.0968	0.0337	523.3	2.0850	0.0309	522.4	2.0741	0.0285	521.5	2.0638	105
110	0.0376	529.2	2.1100	0.0342	528.4	2.0983	0.0314	527.5	2.0875	0.0290	526.6	2.0773	110
115	0.0382	534.3	2.1230	0.0348	533.4	2.1115	0.0319	532.6	2.1007	0.0295	531.7	2.0906	115
120	0.0388	539.3	2.1360	0.0354	538.5	2.1245	0.0325	537.7	2.1138	0.0300	536.9	2.1038	120
125	0.0394	544.4	2.1488	0.0359	543.6	2.1374	0.0330	542.8	2.1268	0.0305	542.0	2.1168	125
130	0.0399	549.5	2.1614	0.0364	548.7	2.1501	0.0335	548.0	2.1396	0.0309	547.2	2.1297	130
135	0.0405	554.6	2.1740	0.0370	553.8	2.1627	0.0340	553.1	2.1523	0.0314	552.4	2.1425	135
140	0.0411	559.7	2.1864	0.0375	559.0	2.1752	0.0345	558.3	2.1648	0.0319	557.6	2.1551	140
145	0.0417	564.8	2.1988	0.0381	564.1	2.1876	0.0350	563.4	2.1773	0.0324	562.8	2.1676	145
150	0.0423	569.9	2.2110	0.0386	569.3	2.1999	0.0355	568.6	2.1896	0.0328	568.0	2.1800	150
155	0.0429	575.1	2.2232	0.0391	574.5	2.2121	0.0360	573.8	2.2019	0.0333	573.2	2.1923	155
160	0.0434	580.3	2.2352	0.0397	579.7	2.2242	0.0365	579.1	2.2140	0.0338	578.5	2.2045	160
165	0.0440	585.5	2.2472	0.0402	584.9	2.2362	0.0370	584.3	2.2261	0.0342	583.7	2.2166	165
170	0.0375	589.6	2.2380	0.0347	589.0	2.2286							170

LEMBAR ASISTENSI TUGAS AKHIR

STUDI EXPERIMENTAL PENGARUH VOLUME TANGKI TERHADAP KINERJA AC PADA APLIKASI ACWH

Nama : Moranelo Maichino

NPM : 1807230090

Dosen Pembimbing 1 : Chandra A. Siregar, S.T., M.T

No	Hari / Tanggal	Kegiatan	Paraf
1.	20/12 - 2021	sesuaikan dengan format	q.
2.	30/12 - 2021	perbaiki tujuan penelitian	q.
3.	7/1 - 2022	lanjutkan bab III	q.
4	5/2 - 2022	Acc Simpro	q.
5	1/3 - 2022	perbaiki bab 3	q.
6	15/3 - 2022	lanjutkan bab 4	q.
7	13/8 - 2022	lanjutkan perbaiki hasil dan kesimpulan	q.
8	3/9 - 2022	Tambahkan literatur Acc seminar	q.



UMSU

Unggul | Cerdas | Terpercaya

Bila menjawab surat ini agar disebutkan nomor dan tanggalnya

MAJELIS PENDIDIKAN TINGGI PENELITIAN & PENGEMBANGAN PIMPINAN PUSAT MUHAMMADIYAH
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
FAKULTAS TEKNIK

UMSU Terakreditasi A Berdasarkan Keputusan Badan Akreditasi Nasional Perguruan Tinggi No. 89/SK/BAN-PT/Akred/PT/III/2019
Pusat Administrasi: Jalan Mukhtar Basri No. 3 Medan 20238 Telp. (061) 6622400 - 66224567 Fax. (061) 6625474 - 6631003
http://fatek.umsu.ac.id fatek@umsu.ac.id umsumedan umsumedan umsumedan umsumedan

**PENENTUAN TUGAS AKHIR DAN PENGHUJUKAN
DOSEN PEMBIMBING**

Nomor : 2234/II.3AU/UMSU-07/F/2021

Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara, berdasarkan rekomendasi Atas Nama Ketua Program Studi Teknik Mesin Pada Tanggal 15 Desember 2021 dengan ini Menetapkan :

Nama : MORANELO MAICHINO
Npm : 1807230090
Program Studi : TEKNIK MESIN
Semester : VII (TUJUH)
Judul Tugas Akhir : STUDI EXPERIMENTAL PENGARUH VOLUME TANGKI TERHADAP KINERJA AC PADA APLIKASI ACWH

Pembimbing : CHANDRA A SIREGAR, ST, MT

Dengan demikian diizinkan untuk menulis tugas akhir dengan ketentuan :

1. Bila judul Tugas Akhir kurang sesuai dapat diganti oleh Dosen Pembimbing setelah mendapat persetujuan dari Program Studi Teknik Mesin
2. Menulis Tugas Akhir dinyatakan batal setelah 1 (satu) Tahun dan tanggal yang telah ditetapkan.

Demikian surat penunjukan dosen Pembimbing dan menetapkan Judul Tugas Akhir ini dibuat untuk dapat dilaksanakan sebagaimana mestinya.

Ditetapkan di Medan pada Tanggal.

Medan, 11 Jumadil Awwal 1443 H

15 Desember 2021 M



Dekan

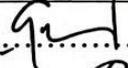
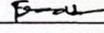
Munawar Alfansury Siregar, ST.,MT

NIDN: 0101017202



**DAFTAR HADIR SEMINAR
TUGAS AKHIR TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK – UMSU
TAHUN AKADEMIK 2021 – 2022**

Peserta seminar
 Nama : Moranelo Maichino
 NPM : 1807230090
 Judul Tugas Akhir : Studi Experimental Pengaruh Volume Tangki Terhadap Kinerja AC
 Pada Aplikasi ACWH

DAFTAR HADIR		TANDA TANGAN	
Pembimbing – I : Chandra A Siregar, ST, MT		:..... 	
Pembanding – I : Ahmad Marabdi Siregar, ST, MT		:..... 	
Pembanding – II : Riadini Wanty Lubis, ST, MT		:..... 	
No	NPM	Nama Mahasiswa	Tanda Tangan
1	1807230074	FAHRI FADILLAH WSI	
2	1807230013	IRHAM ROSYADI	
3	1807230086	FRANS FADILLAH PRASOJO	
4	1807230111	FAUZI SIDIQ W	
5			
6			
7			
8			
9			
10			

Medan, 15 Shafar 1444 H
 12 September 2022 M

Ketua Prodi. T. Mesin



Chandra A Siregar, ST, MT

**DAFTAR EVALUASI SEMINAR FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA**

Nama : Moranelo Maichino
NPM : 1807230090
Judul Tugas Akhir : Studi Experimental Pengaruh Volume Tangki Terhadap Kinerja AC
Pada Aplikasi ACWH

Dosen Pembanding – I : Ahmad Marabdi Siregar, ST, MT
Dosen Pembanding – II : Riadini Wanty Lubis, ST, MT
Dosen Pembimbing – I : Chandra A Siregar, ST, MT

KEPUTUSAN

1. Baik dapat diterima ke sidang sarjana (collogium)
2. Dapat mengikuti sidang sarjana (collogium) setelah selesai melaksanakan perbaikan antara lain :
 - Perbaiki tumpukan
 - Perbaiki kedakki. kesuapuan
 -
3. Harus mengikuti seminar kembali
Perbaikan :
.....
.....
.....
.....

Medan 15 Shafar 1444 H
12 September 2022 M

Diketahui :
Ketua Prodi. T. Mesin



Chandra A Siregar, ST, MT

Dosen Pembanding- II



Riadini Wanty Lubis, ST, MT

**DAFTAR EVALUASI SEMINAR FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA**

Nama : Moranelo Maichino
NPM : 1807230090
Judul Tugas Akhir : Studi Experimental Pengaruh Volume Tangki Terhadap Kinerja AC
Pada Aplikasi ACWH

Dosen Pembanding – I : Ahmad Marabdi Siregar, ST, MT
Dosen Pembanding – II : Riadini Wanty Lubis, ST, MT
Dosen Pembimbing – I : Chandra A Siregar, ST, MT

KEPUTUSAN

1. Baik dapat diterima ke sidang sarjana (collogium)
- ② Dapat mengikuti sidang sarjana (collogium) setelah selesai melaksanakan perbaikan antara lain :

.....
Lihat Laporan Tugas akhir
.....
.....

3. Harus mengikuti seminar kembali
Perbaikan :

.....
.....
.....
.....

Medan, 15 Shafar 1444 H
12 September 2022 M

Diketahui :
Ketua Prodi. T. Mesin

Dosen Pembanding- I



Chandra A Siregar, ST, MT



Ahmad Marabdi Siregar, ST, MT

DAFTAR RIWAYAT HIDUP



Nama : MoraneloMaichino
NPM : 1807230090
Tempat, Tanggal Lahir : Medan, 02 Oktober 2000
Jenis Kelamin : Laki-laki
Agama : Islam
Status : Belum Menikah
Alamat : Jl. Angrek No. 9
Kelurahan/Desa : Hamdan
Kecamatan : Medan Maimun
Kabupaten : Medan
Provinsi : Sumatera Utara
Kode Pos : 20151
No. HP/WA : +6282166550005
Email : moranelo90@gmail.com
Nama Orang Tua
Ayah : Hadi Wirawan Muslim
Ibu : Sri Suharni Lubis

PENDIDIKAN FORMAL

2006 – 2012 : SD SwastaSutomo 1 Medan
2012 – 2015 : SMP SwastaSutomo 1 Medan
2015 – 2018 : SMA SwastaSutomo 1 Medan
2018 – Sekarang : Mahasiswa S1 Program Studi Teknik MesinFakultas
Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara