

TUGAS AKHIR

UPAYA PENINGKATAN *PERFORMANCE* ACWH DENGAN PENAMBAHAN SIRIP PADA APK *SHELL HELICAL COIL*

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

Disusun Oleh:

**ULIL AMRI
1507230164**



**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
MEDAN
2020**

HALAMAN PENGESAHAN

Tugas Akhir ini diajukan oleh:

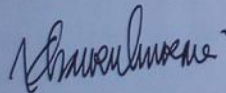
Nama : Ulil Amri
NPM : 1507230164
Program Studi : Teknik Mesin
Judul Skripsi : Upaya Peningkatan *Performance* ACWH Dengan
Penambahan Sirip Pada APK *Shell Helical Coil*
Bidang ilmu : Konversi Energi

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 Februari 2020

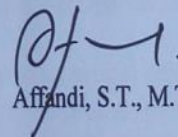
Mengetahui dan menyetujui:

Dosen Penguji I



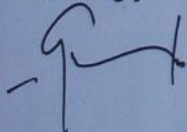
Khairul Umurani, S.T., M.T

Dosen Penguji II



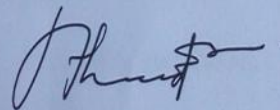
Affandi, S.T., M.T

Dosen Penguji III



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

Dosen Penguji IV



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

Program Studi Teknik Mesin
Ketua,



Affandi, S.T., M.T

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama Lengkap : Ulil Amri
Tempat /Tanggal Lahir :Medan /05 November 1997
NPM : 1507230164
Fakultas : Teknik
Program Studi : Teknik Mesin

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

“Upaya Peningkatan *Performance* ACWH Dengan Penambahan Sirip Pada Apk Shell Helical Coil”,

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, 11 Februari 2020

Saya yang menyatakan,



ABSTRAK

Pada era globalisasi sekarang ini *air conditioner* (AC) dan pemanas air sudah menjadi kebutuhan umum pada rumah tangga, gedung-gedung perkantoran maupun rumah sakit juga sering memakai sistem ini. Hal ini menunjukkan bahwa kebutuhan akan daya listrik semakin meningkat. Untuk mengurangi konsumsi listrik yang cukup tinggi, akibat penggunaan *air conditioner* (AC) sekaligus pemanas air elektrik, dapat digunakan sistem ACWH (*Air Conditioner Water Heater*). Cara kerja sistem ACWH ini adalah memanfaatkan panas yang terbuang dari sistem AC untuk memanaskan air dengan penambahan alat penukar kalor bersirip, dimana alat penukar kalor dirancang untuk memanfaatkan energi yang sudah ada didalam sistem. Dengan demikian, pada saat menggunakan sistem ACWH ini sangat menguntungkan bagi penggunaanya karena mendapatkan dua keuntungan sekaligus, yaitu pendinginan ruangan dan pemanasan air serta menghemat energi. Sementara rumusan masalah pada penelitian ini yaitu bagaimana mengupayakan peningkatan laju perpindahan panas dengan penambahan sirip pada alat penukar kalor dan juga untuk mengetahui efektivitas alat penukar kalor yang telah dipasang sirip untuk memanaskan air. Penelitian ini menggunakan metode penelitian eksperimental dengan melakukan pengujian pada temperature AC 16°C, 18°C, dan 20°C,. Tempat pelaksanaan penelitian ini dilakukan dilaboratorium proses produksi dan prestasi mesin Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara. Adapun sumber data yang digunakan yaitu data yang dihasilkan dan diambil saat pengujian mesin ACWH. Hasil pengujian menunjukan bahwa alat penukar kalor yang telah dipasang sirip mampu menghasilkan temperatur air yang lebih besar dibandingkan dengan alat penukar kalor tanpa sirip, dengan hasil pemanasan air pada temperatur AC16°C = 54,69°C , pada temperatur AC18°C = 55°C, dan pada temperatur AC20°C = 52,75°C. Dari hasil pengujian ini menunjukan bahwa sirip mempunyai peranan penting untuk peningkatan laju perpindahan panas pada alat penukar kalor.

Kata kunci : Alat Penukar Kalor, Sirip, Perpindahan Panas.

ABSTRACT

In the current era of globalization, air conditioners (AC) and water heaters have become a common need in households, office buildings and hospitals also often use this system. This shows that the demand for electric power is increasing. This shows that the demand for electric power is increasing. To reduce electricity consumption which is quite high, due to the use of air conditioners (AC) as well as electric water heaters, an ACWH (Air Conditioner Water Heater) system can be used. The workings of this ACWH system are to utilize the heat wasted from the AC system to heat water by adding finned heat exchangers, where the heat exchanger is designed to utilize the energy already present in the system. Thus, when using this ACWH system it is very beneficial for its users because it gets two benefits at once, namely cooling the room and heating water and saving energy. While the formulation of the problem in this study is how to strive to increase the rate of heat transfer by adding fins to the heat exchanger and also to find out the effectiveness of the heat exchanger that has been installed fins to heat water. This study uses an experimental research method by testing at temperatures of 16 °C, 18 °C, and 20 °C. The place of this research was carried out in the laboratory of the production process and machine achievements of the University of Muhammadiyah North Sumatra. The data source used is the data generated and retrieved when testing the ACWH engine. The test results show that the heat exchanger which has been installed with fins is able to produce a greater water temperature compared to the heat exchanger without fins, with the result of water heating at AC temperature 16 °C = 54.69 °C, at AC temperature 18 °C = 55 °C, and at AC temperature 20 °C = 52.75 °C. From the results of this test show that the fins have an important role to increase the rate of heat transfer in the heat exchanger.

Keywords: Heat Exchanger, Fins, Heat Transfer.

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 “Upaya Peningkatan *Performance* ACWH Dengan Penambahan Sirip Pada APK *Shell Helical Coil*” sebagai syarat untuk meraih gelar akademik Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara (UMSU), Medan.

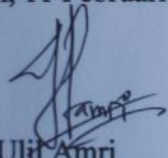
Banyak pihak telah membantu dalam menyelesaikan laporan Tugas Akhir ini, untuk itu penulis menghaturkan rasa terimakasih yang tulus dan dalam kepada:

1. Bapak Chandra A Siregar, S.T., M.T, selaku Dosen Pembimbing I dan Penguji yang telah banyak membimbing dan mengarahkan penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini. Sekaligus Sekertaris Program Studi Teknik Mesin, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
2. Bapak Ahmad Marabdi Siregar, S.T., M.T, selaku Dosen Pembimbing II dan Penguji yang telah banyak membimbing dan mengarahkan penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
3. Bapak Khairul Umurani, S.T., M.T, selaku Dosen Pembanding I dan Penguji yang telah banyak memberikan koreksi dan masukan kepada penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini..
4. Bapak Affandi, S.T., M.T, Selaku Dosen Pembanding II dan Penguji yang telah banyak memberikan koreksi dan masukan kepada penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini, sekaligus sebagai Ketua Program Studi Teknik Mesin, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
5. Bapak Munawar Alfansury Siregar, S.T., M.T, selaku Dekan Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
6. Seluruh Bapak/Ibu Dosen di Program Studi Teknik Mesin, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara yang telah banyak memberikan ilmu keteknikmesinan kepada penulis.

7. Orang tua penulis: Syamsul Anwar dan Ustina, yang telah bersusah payah membesarkan dan membiayai studi penulis.
8. Bapak/Ibu Staf Administrasi di Biro Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
9. Sahabat-sahabat penulis: Setiawan Hadi, Arifin Handrianto, Fadli Umri Pratama, Yogi Pranata, Febry Andrean, Andri Kurniawan, Dana Setiawan, Marwan Anggara, Muhammad Imam, Iqbal Fauzi, Indah Mustika, Putra Hamzah Gumay 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 konstruksi teknik Mesin.

Medan, 11 Februari 2020



Ulif Amri

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	ii
LEMBAR PERNYATAN KEASLIAN SKRIPSI	iii
ABSTRAK	iv
ABSTRACT	v
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR TABEL	x
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR NOTASI	xiv
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan masalah	2
1.3. Ruang lingkup	2
1.4. Tujuan	3
1.5. Manfaat	3
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1. Definisi Perpindahan Panas	4
2.2. Alat Penukar Kalor	6
2.3. Prosedur Perencanaan Alat Penukar Kalor	8
2.4. Konduktivitas Termal	9
2.5. Sirip (<i>Fin</i>)	9
BAB 3 METODOLOGI	15
3.1 Tempat dan Waktu	15
3.1.1. Tempat	15
3.1.2. Waktu Penelitian	15
3.2 Bahan dan Alat	15
3.2.1. Alat Yang Digunakan	15
3.2.2. Bahan Yang Digunakan	22
3.3 Bagan Diagram Alir Penelitian	24
3.4 Prosedur Penelitian <i>Shell Helical Coil</i> Bersirip	25
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN	27
4.1 Prosedur Penelitian	27
4.1.1. Perancangan <i>Shell Helical Coil</i> Bersirip	27
4.1.2. Proses Pembuatan <i>Shell Helical Coil</i> Bersirip	29
4.2 Proses Pengujian ACWH	33
4.3 Set Up Alat Uji ACWH <i>Shell Helical Coil</i> Bersirip	36
4.4 Hasil Pengujian	40
4.4.1 Data Hasil Pengujian Temperatur Air, Temperatur Keluar Kompresor, Dan Temperatur Masuk Kondensor	40
4.4.2 Hasil Pengujian Waktu Terhadap Temperatur Air	53

4.4.3	Hasil Pengujian Waktu Terhadap Temperatur Keluar Kompresor	54
4.4.4	Hasil Pengujian Waktu Terhadap Temperatur Masuk Kondensor	55
4.5	Pengolahan Dan Perhitungan Data	56
4.5.1	Perhitungan Perpindahan Panas Dari <i>Shell helical Coil</i> Bersirip Ke Air	56
BAB 5	KESIMPULAN DAN SARAN	80
5.1.	Kesimpulan	80
5.2.	Saran	80
	DAFTAR PUSTAKA	81
	LAMPIRAN	
	LEMBAR ASISTENSI	
	DAFTAR RIWAYAT HIDUP	

DAFATAR TABEL

Tabel 2.1 Konduktivitas Thermal (JP. Holman, 2010)	9
Tabel 2.4 <i>Road Map</i> Penelitian	14
Tabel 3.1 jadwal dan kegiatan saat melakukan penelitian	15
Tabel 4.1 Data Hasil Pengujian Temperatur Air	53
Tabel 4.2 Data Hasil Pengujian Temperatur Keluar Kompresor	54
Tabel 4.3 Data Hasil Pengujian Temperatur Masuk Kondensor	55
Tabel 4.4 propertis air	57
Tabel 4.5 propertis <i>refrigerant</i> R22	58
Tabel 4.6 propertis <i>refrigerant</i> R22	58
Tabel 4.7 propertis <i>refrigerant</i> R22	59
Tabel 4.8 propertis <i>refrigerant</i> R22	59
Tabel 4.9 propertis <i>refrigerant</i> R22	60
Tabel 4.10 propertis <i>refrigerant</i> R22	60
Tabel 4.11 propertis air	64
Tabel 4.12 propertis <i>refrigerant</i> R22	65
Tabel 4.13 propertis <i>refrigerant</i> R22	65
Tabel 4.14 propertis <i>refrigerant</i> R22	66
Tabel 4.15 propertis <i>refrigerant</i> R22	66
Tabel 4.16 propertis <i>refrigerant</i> R22	67
Tabel 4.17 propertis <i>refrigerant</i> R22	67
Tabel 4.18 propertis air	71
Tabel 4.19 propertis <i>refrigerant</i> R22	72
Tabel 4.20 propertis <i>refrigerant</i> R22	72
Tabel 4.21 propertis <i>refrigerant</i> R22	73
Tabel 4.22 propertis <i>refrigerant</i> R22	73
Tabel 4.23 propertis <i>refrigerant</i> R22	74
Tabel 4.24 propertis <i>refrigerant</i> R22	74
Tabel 4.25 Data Hasil Perhitungan APK <i>Shell Helical Coil</i> Bersirip.	77
Tabel 4.26 Data Hasil Perhitungan APK <i>Shell Helical Coil</i> Tanpa Sirip	77
Tabel 4.27 Perbandingan Temperatur Air <i>Shell Helical Coil</i> Bersirip Dengan <i>Shell Helical Coil</i> Tanpa Sirip.	79

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Laju Perpindahan Panas Konduksi (Kosim Abdurohman, 2014)	5
Gambar 2.2 Perpindahan Panas Konveksi (JP.Holman, 2010)	5
Gambar 2.3 Perpindahan Panas Radiasi (JP.Holman.2010)	6
Gambar 2.4 sirip (JP.Holman.2010)	11
Gambar 3.1 Gunting Potong	16
Gambar 3.2 Meteran	16
Gambar 3.3 Alat Las	16
Gambar 3.4 Tang	17
Gambar 3.5 Unit Indoor AC Split	17
Gambar 3.6 Unit Outdoor AC Split	17
Gambar 3.7 <i>Pipe Cutter</i>	18
Gambar 3.8 <i>Flaring Tool</i>	18
Gambar 3.9 Sensor Suhu	19
Gambar 3.10 Kunci Pas	19
Gambar 3.11 Nepel	19
Gambar 3.12 Kunci L	20
Gambar 3.13 Manifold Gauge	20
Gambar 3.14 Arduino	20
Gambar 3.15 Alat Uji ACWH	21
Gambar 3.16. Lembaran pelat	22
Gambar 3.17 Pipa Tembaga	22
Gambar 3.18 Kawat Las Tembaga	22
Gambar 3.19 Freon (R22)	23
Gambar 4.1. Laptop	27
Gambar 4.2 Software Solidork 2014	27
Gambar 4.3 plat tembaga dan pipa tembaga	28
Gambar 4.4 Rancangan APK <i>Shell Helical coil</i> Bersirip.	28
Gambar 4.5 Dimensi Rancangan APK <i>Shell Helical Coil</i> Bersirip.	29
Gambar 4.6 Pembuatan Lilitan	30
Gambar 4.7 Pengelasan <i>Helical Coil</i>	30

Gambar 4.8 Pemotongan Pelat Tembaga	30
Gambar 4.9 Pembentukan Sirip	31
Gambar 4.10 Proses Pemasangan Sirip Terhadap APK	31
Gambar 4.11 Proses Pengelasan	32
Gambar 4.12 Hasil Pengelasan	32
Gambar 4.13 Pemasangan <i>Helical Coil</i> ke Dalam Tangki	33
Gambar 4.14. Menyambung Alat Penukar Kalor ke Jalur <i>Refrigrant</i>	33
Gambar 4.15 Percobaan Pengujian ACWH	34
Gambar 4.16 Pengisian Freon	34
Gambar 4.17 Pengisian Air	35
Gambar 4.18 Pengambilan Data	35
Gambar 4.19. Bagian-Bagian Komponen Alat Uji ACWH (<i>Shell Helical Coil</i> Bersirip)	36
Gambar 4.20. Kabel Koneksi	36
Gambar 4.21. Bread Board	37
Gambar 4.22. Tangki	37
Gambar 4.23. Sensor Suhu Air	37
Gambar 4.24. Sensor Suhu Keluar Kompresor	37
Gambar 4.25. Sensor Suhu Masuk Kondensor	38
Gambar 4.26. Unit Indoor AC	38
Gambar 4.27. APK <i>Shell Helical Coil</i> Bersirip	38
Gambar 4.28. Pipa Freon	39
Gambar 4.29. Rangka	39
Gambar 4.30. Pipa Keluar Kompresor	39
Gambar 4.31. Pipa Masuk Kondensor	39
Gambar 4.32. Unit Outdoor AC	40
Gambar 4.33. Data Pengujian Temperatur Awal Suhu 16 °C	41
Gambar 4.34. Data Pada Waktu Memulai Pengujian, Suhu 16 °C	41
Gambar 4.35. Data Hasil Pengujian Pada Waktu 10 menit Di Suhu 16°C	42
Gambar 4.36. Data Hasil Pengujian Pada Waktu 20 menit Di Suhu 16°C	42
Gambar 4.37. Data Hasil Pengujian Pada Waktu 30 menit Di Suhu 16°C	43
Gambar 4.38. Data Hasil Pengujian Pada Waktu 40 menit Di Suhu 16°C	43

Gambar 4.39. Data Hasil pengujian Pada Waktu 50 menit Di Suhu 16°C	44
Gambar 4.40. Data Hasil Pengujian Pada Waktu 60 menit Di Suhu 16°C	44
Gambar 4.41. Data Hasil Pengujian Temperatur Awal Di Suhu 18°C	45
Gambar 4.42. Data Pada Waktu Memulai Pengujian Di Suhu 18°C	45
Gambar 4.43. Data Hasil Pengujian Pada Waktu 10 menit Di Suhu 18°C	46
Gambar 4.44. Data Hasil Pengujian Pada Waktu 20 menit Suhu 18°C	46
Gambar 4.45. Data Hasil Pengujian Pada Waktu 30 menit Suhu 18°C	47
Gambar 4.46. Data Hasil Pengujian Pada Waktu 40 menit Suhu 18°C	47
Gambar 4.47. Data Hasil Pengujian Pada Waktu 50 menit Suhu 18°C	48
Gambar 4.48. Data Hasil Pengujian Pada Waktu 60 menit Suhu 18°C	48
Gambar 4.49. Data Hasil Temperatur Awal Di Suhu 20°C	49
Gambar 4.50. Data Hasil Memulai Pengujian Di Suhu 20°C	49
Gambar 4.51. Data Hasil Pengujian Pada Waktu 10 menit Suhu 20°C	50
Gambar 4.52. Data Hasil Pengujian Pada Waktu 20 menit Suhu 20°C	50
Gambar 4.53. Data Hasil Pengujian Pada Waktu 30 menit Suhu 20°C	51
Gambar 4.54. Data Hasil Pengujian Pada Waktu 40 menit Suhu 20°C	51
Gambar 4.55. Data Hasil Pengujian Pada Waktu 50 menit Suhu 20°C	52
Gambar 4.56. Data Hasil Pengujian Pada Waktu 60 menit Suhu 20°C	52
Gambar 4.57 Grafik Perbandingan Waktu Terhadap Temperatur Air	53
Gambar 4.58 Grafik Perbandingan Waktu Terhadap Temperatur Keluar Kompresor	54
Gambar 4.59 Grafik Waktu Terhadap Temperatur Masuk Kondensor	55
Gambar 4.60 Grafik Perbandingan Laju Perpindahan Panas <i>Shell Helical Coil</i> Bersirip Dengan <i>Shell Helical Coil</i> Tanpa Sirip terhadap Temperatur AC.	
80Gambar 4.61 Grafik Perbandingan Temperatur Air <i>Shell Helical Coil</i> Bersirip Dengan <i>Shell Helical Coil</i> Tanpa Sirip terhadap Temperatur AC.	81

DAFTAR NOTASI

Q_{cond}	= Laju perpindahan panas konduksi (watt)
K	= Konduktivitas thermal bahan (W/m.K)
A	= Luar penampang tegak lurus terhadap arah aliran panas (m ²)
$\Delta t/\Delta x$	= Gradien suhu (perubahan suhu terhadap arah x) (K/m)
F	= Faktor yang bergantung pada geometri dan sifat permukaan
δ	= Konstanta stefan boltzmann $5,67 \times 10^{-8}$ (W/m ² k ⁴)
A	= Luas permukaan, (m ²)
T_1, T_2	= Temperatur, (K)
U_o	= Koefisien perpindahan panas keseluruhan yang didasarkan atas luas tube, (w.m ² .C)
h_o	= Koefisien perpindahan panas lapisan film pada bagian luar tube (w/m ² .C)
h_{od}	= Koefisien perpindahan panas kotoran yang berada pada bagian luar tube (<i>fouling factor</i>), (w/m ² .C)
h_{id}	= Koefisien perpindahan panas lapisan kotoran yang ada pada sebelah dalam tube, (w/m ² .C)
h_i	= Koefisien perpindahan panas lapisan kotoran yang ada pada sebelah dalam tube, (w/m ² .C)
d_o	= Diameter luar tube, (m)
d_i	= Diameter dalam tube, (m)
V	= Volume air (liter)
d_i	= Diameter dalam pipa (m)
d_o	= Diameter luar pipa (m)
L	= Panjang pipa (m)
T_{ai}	= Temperatur awal air (°C)
T_{ao}	= Temperatur akhir air (°C)
ΔT_{air}	= Selisih temperatur air (°C)
T_{ci}	= Temperatur masuk tangki (°C)
T_{co}	= Temperatur keluar tangki (°C)
ΔT_{coil}	= Selisih Temperatur <i>Refrigerant</i> (°C)

L	= Panjang Sirip (cm)
T	= Tebal Sirip (mm)
A	= Luas Permukaan Sirip (cm)
W	= Energi (MJ)
T_{ra}	= Temperatur Rata-rata air ($^{\circ}\text{C}$)
C_{air}	= panas jenis air ($\text{J/kg} \cdot ^{\circ}\text{C}$)
h_o	= koefisien perpindahan panas pada sisi luar coil ($\text{W/m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}$)
Q_{coil}	= kapasitas penukar pakar (W)
$\dot{m}$	= laju aliran massa Freon (kg/s)
H_o	= Entalpy keluar tangki (kJ/kg)
H_i	= Entalpy masuk tangki (kJ/kg)
T_{rc}	= Temperatur Rata-rata Coil ($^{\circ}\text{C}$)
v	= Laju <i>refrigerant</i> (m/s)
ρ	= Rapat massa (<i>density</i>) freon (kg/m^3)
Re	= Bilangan reynold
μ	= Viskositas Freon (kg/m.s)
Nu	= Bilangan nusselt
D	= Diameter apk (m)
Pr	= Bilangan prandalt
h_i	= Koefisien perpindahan panas sisi dalam coil
R_{th}	= Resistensi thermal ($^{\circ}\text{C/W}$)
U	= koefisien perpindahan panas menyeluruh ($\text{W/m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}$)
Q	= laju perpindahan panas dari helical coil ke air (W)

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Pada era globalisasi sekarang ini *air conditioner* (AC) dan *water heater* sudah menjadi kebutuhan umum pada rumah tangga, gedung-gedung perkantoran maupun rumah sakit. Hal ini menunjukkan bahwa kebutuhan akan daya listrik semakin meningkat. Untuk mengurangi konsumsi listrik yang cukup tinggi akibat penggunaan *air conditioner* (AC) sekaligus pemanas air elektrik maupun pemanas air tenaga surya dapat digunakan sistem ACWH (*Air Conditioner Water Heater*). ACWH memang bukan sistem yang baru, sistem ini telah lama dikembangkan sebelumnya. Cara kerja sistem ACWH ini adalah memanfaatkan panas yang terbuang dari sistem AC untuk memanaskan air dengan penambahan alat penukar kalor. Dimana alat penukar kalor yang digunakan tidak memerlukan energi tambahan, tetapi alat penukar kalor dirancang untuk memanfaatkan sebesar besarnya energi yang ada dalam sistem. Dengan demikian, pada saat menggunakan sistem ACWH ini sangat menguntungkan bagi penggunanya karena mendapatkan dua keuntungan sekaligus, yaitu pendinginan ruangan dan pemanasan air hemat energi sehingga dapat mengurangi konsumsi listrik yang tinggi sebelumnya.

Pada umumnya dalam penggunaan AC (*Air Conditioner*) dengan kapasitas pendinginan kecil sedang maupun besar kalor yang dibuang oleh panas yang dihasilkan dari *kompresor* AC yang bertemperatur tinggi, biasanya dibiarkan dibuang percuma. Kalor ini dapat dimanfaatkan sebagai pemanas air, sehingga didapat air panas tanpa perlu menggunakan elemen listrik untuk memanaskan air. pemanfaatan panas buang kompresor AC ini akan menghemat energi listrik untuk keperluan air panas.

Sirip sebagai salah satu bagian penting dalam perancangan alat penukar panas tipe *Shell Helical-Coil* bersirip. Permukaan bersirip biasanya digunakan untuk mempertinggi perpindahan panas, dan meningkatkan laju perpindahan panas dari sebuah permukaan yang terlipat. Kalor konduksi pada suatu benda kadang harus dibuang kelingkungan sekitar melalui proses konveksi. Dengan menggunakan proses konveksi yang mengharuskan aliran fluida berbenturan

dengan sirip maka akan meningkatkan suhu panasnya. Dan sedangkan alat penukar panas (*heat Exchanger*) memegang peranan penting dalam dunia industri, khususnya pada bidang konversi energi dimana alat penukar panas merupakan suatu alat yang mampu menukarkan energi dalam bentuk panas antara fluida melalui kontak langsung maupun tidak langsung.

Pada penelitian ini alat penukar panas tipe *Shell Helical-Coil* yang berbahan dasar tembaga (*copper*) yang berdiameter 15 centimeter dan total panjang lilitannya 16 meter dengan setiap lilitannya akan dilengkapi dengan sirip sirip yang disetiap siripnya berjarak 8 centimeter dengan bahan dasar tembaga (*copper*) juga. Dalam upaya penambahan sirip terhadap alat penukar panas tersebut hal yang diinginkan yaitu terjadinya peningkatan laju perpindahan panas ACWH.

Untuk mendapatkan efisiensi penukar panas yang dilengkapi dengan sirip tersebut dilakukan dengan cara melakukan perancangan yang disesuaikan dengan volume tangki dari *water heater*. Maka dalam perancangan ini bertujuan untuk meneliti efektivitas dari penukar panas untuk memanaskan air dengan volume tangki 60 liter dan temperatur yang diinginkan adalah $40^{\circ}\text{C} - 45^{\circ}\text{C}$. Adapun fluida panas yang digunakan dalam pengujian adalah keluaran *refrigerant* kompresor AC dan fluida yang ingin dipanaskan adalah air biasa

1.2. Rumusan Masalah

Bagaimakah mengetahui efektivitas dan laju perpindahan panas sirip dengan luas penampang segiempat terhadap APK *Shell helical Coil* ?

1.3. Ruang Lingkup

Lingkup dari perancangan ini adalah perhitungan alat penukar panas tipe *Shell Helical-Coil* bersirip dalam rangkaian ACWH. Spesifikasi dari perancangan adalah:

1. Unit *air conditioning* (AC) yang digunakan memiliki daya 1 pk;
2. Bahan spesimen penukar panas *copper* (tembaga);
3. Media pemanasan adalah keluaran *refrigerant* kompresor AC;
4. Bahan yang dipanaskan adalah air dengan volume 60 liter;
5. Pengukuran yang terdapat pada pengujian meliputi pengukuran temperatur air, temperatur keluar kompresor, temperatur masuk kondensor dalam sistem AC.

1.4. Tujuan

Adapun tujuan dari penelitian tugas akhir ini adalah:

1. Untuk meningkatkan laju perpindahan panas ACWH dengan penambahan sirip pada alat penukar kalor.
2. Untuk membandingkan alat penukar kalor bersirip dengan alat penukar kalor tanpa sirip terhadap temperatur air.

1.5. Manfaat

Manfaat dari penulisan ini yaitu sebagai berikut:

1. Hasil penelitian dapat dipergunakan sebagai referensi bagi penulis maupun pihak lain yang ingin meneliti dengan lebih dalam mengenai proses atau cara mengetahui efektivitas dan efisiensi pada suatu sirip dengan bentuk segiempat.
2. Hasil penelitian dapat dipergunakan untuk menambah referensi tentang APK berbentuk *Helical Coil* diperpustakaan.

BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

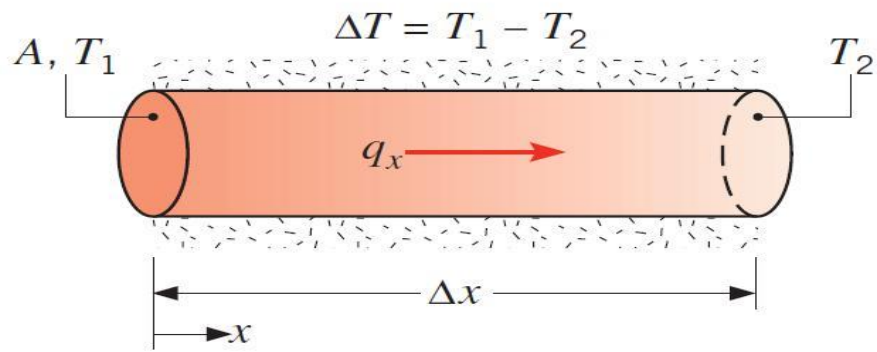
2.1 Definisi Perpindahan Panas

Panas merupakan salah satu bentuk energi yang dapat berpindah dari suatu sistem ke sistem yang lain karena adanya perbedaan temperatur. Perpindahan panas adalah suatu ilmu yang mempelajari tentang perpindahan energy yang terjadi karena adanya perbedaan suhu diantara sitem fisik atau material. Ilmu tentang perpindahan panas tidak hanya menjelaskan mengenai bagaimana energy panas dapat berpindah dari suatu material ke material lain, tetapi juga dapat memperkirakan laju perpindahan panas yang terjadi pada kondisi-kondisi tertentu. Ilmu perpindahan panas juga erat kaitannya dengan hukum termodinamika hanya saja yang membedakan antara ilmu perpindahan kalor dan ilmu termodinamika adalah masalah laju perpindahan. Termodinamika membalas sistem dalam kesetimbangan ilmu ini dapat digunakan untuk memprediksi energi yang dibutuhkan untuk mengubah sistem dari suatu keadaan setimbang ke keadaan setimbang yang lain, tetapi tidak dapat mengetahui seberapa cepat atau kecepatan perpindahan panas yang terjadi. Hal ini dikarenakan perpindahan panas yang terjadi berlangsung pada keadaan sistem yang tidak setimbang. Perpindahan panas dapat berlangsung dengan tiga cara, yaitu ;

➤ Perpindahan Panas Konduksi

Proses perpindahan panas secara konduksi adalah suatu proses perpindahan energi panas dimana energi panas tersebut mengalir dari daerah yang bersuhu lebih tinggi ke daerah yang bersuhu lebih rendah dalam suatu medium pada atau fluida diam. Persamaan umum konduksi untuk perpindahan panas dengan cara konduksi dikenal dengan hukum fourier yaitu sebagai berikut:

$$q_{cond} = KA \frac{T_1 - T_2}{\Delta_x} = -KA \frac{\Delta_t}{\Delta_x} \quad (2.1)$$



Gambar 2.1 Laju Perpindahan Panas Konduksi (Kosim Abdurohman, 2014)

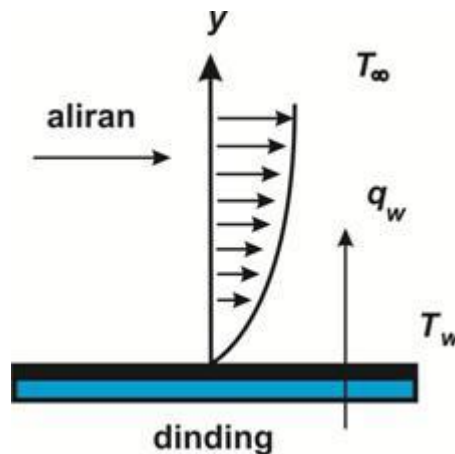
➤ Perpindahan Panas Konveksi

Perpindahan panas konveksi adalah mode perpindahan panas pada kondisi dimana energi sebagai panas dipindahkan ke fluida yang mengalir pada permukaan diatas aliran yang terjadi. Mode ini pada dasarnya adalah konduksi di lapisan cairan yang sangat tipis pada permukaan dan kemudian bercampur disebabkan oleh aliran tersebut. Perpindahan energinya adalah dengan memadukan difusi molekul dan aliran massa.

Konveksi bukan murni mode sebagai konduksi atau radiasi dan karenanya melibatkan beberapa parameter. Jika aliran ini disebabkan pengaruh eksterna kipas atau pompa, maka mode ini dikenal sebagai konveksi paksa. Namun apabila aliran ini disebabkan oleh perbedaan suhu pada aliran itu sendiri, maka mode ini dikenal sebagai konveksi alami.

Perpindahan panas konveksi dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$q = hA(T_w - T_\infty) \quad (2.2)$$



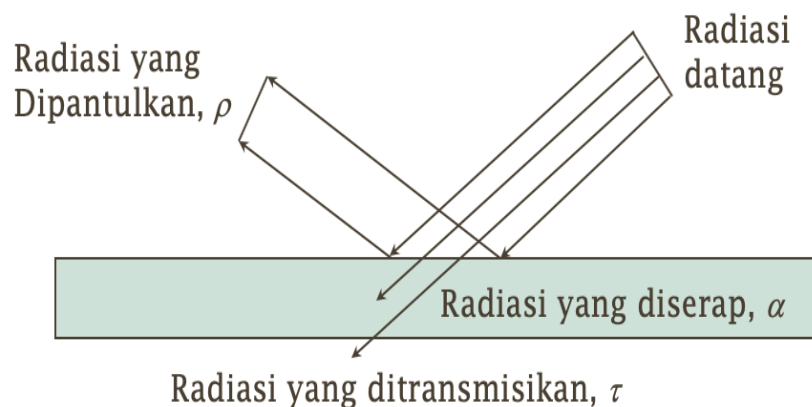
Gambar 2.2 Perpindahan Panas Konveksi (JP.Holman, 2010)

➤ Perpindahan Panas Radiasi

Perpindahan panas radiasi adalah bagian dari spektrum elektromagnetik dalam *range* panjang gelombang terbatas dari 0,1 sampai 10 μ m dan diemisikan pada semua permukaan yang diserap dan kemudian perpindahan panas radiasi terjadi antara permukaan-permukaan pada temperatur yang berbeda. Tidak ada medium yang dibutuhkan untuk perpindahan panas radiasi akan tetapi permukaan seharusnya dalam kontak visual untuk perpindahan panas langsung.

Persamaan lajunya ditentukan oleh hukum Stefan Boltzmann yang mana merupakan istilah dimana panas yang diradiasikan sebanding dengan pangkat empat temperatur absolut dari permukaan dan laju perpindahan panas antara permukaan yang diberikan pada persamaan sebagai berikut:

$$Q = F\delta A(T_1^4 - T_2^4) \quad (2.3)$$



Gambar 2.3 Perpindahan Panas Radiasi (JP.Holman.2010)

2.2 Alat Penukar Kalor

Alat penukar kalor merupakan suatu peralatan dimana terjadi perpindahan panas dari suatu fluida yang temperaturnya lebih tinggi kepada fluida lain yang temperaturnya lebih rendah. Proses perpindahan panas tersebut dapat dilakukan secara langsung ataupun tidak. Maksudnya ialah:

1. APK yang langsung, ialah dimana fluida yang panas akan bercampur secara langsung dengan fluida dingin (tanpa adanya pemisah) dalam suatu bejana tertentu atau ruangan tertentu.

2. APK yang tidak langsung, ialah dimana fluida panas tidak berhubungan langsung (*indirect contact*) dengan fluida dingin. Jadi proses perpindahan panasnya itu mempunyai media perantara, seperti pipa, plat atau peralatan sejenisnya.

Menurut Dean A Barlet (1996) bahwa alat penukar kalor memiliki tujuan untuk mengontrol suatu sistem (temperature) dengan menambahkan atau menghilangkan energy termal dari suatu fluida ke fluida lainnya. Walaupun ada banyak perbedaan ukuran , tingkat kesempurnaan, dan perbedaan jenis alat penukar kalor , semua alat penukar kalor menggunakan elemen-elemen konduksi termal yang umumnya berupa tabung “*tube*” atau plat untuk memisahkan dua fluida. Salah satu dari elemen tersebut memindahkan energy kalor ke elemen lainnya.

Pramod S, dkk (2012) melakukan penelitian untuk menganalisa aliran sekunder dari penukar kalor helical coil dengan berbagai parameter untuk kondisi tertentu. Hasil penelitian menunjukkan bahwa helical coil lebih efisien pada nilai Reynold Number (Re) yang rendah. Analisis juga menunjukkan bahwa, bertambahnya besarnya diameter tube (d) dengan diameter coil sekunder didalam aliran fluida. Peningkatan intensitas sekunder dikembangkan dalam aliran fluida untuk meningkatkan Nu. Oleh karena itu untuk mendapatkan intensitas aliran sekunder yang besar maka helical coil exchanger harus memiliki diameter coil (D) yang kecil dan diameter tube yang besar (d).

Nasser Ghorbani, dkk (2010) melakukan penelitian untuk menyelidiki perpindahan kalor konveksi campuran dalam alat penukar kalor tipe coil in shell dengan variasi Reynolds Number (Re) and Rayleigh Number, variasi rasio diameter tube to coil dan dimensi coil pitch. Tujuan penelitian ini adalah untuk menilai pengaruh tube diameter, coil pitch, shellside dan laju aliran massa tabung sisi atas koefisien kinerja dan efektivitas modifikasi dari vertikal helical coil tubes heat exchanger. Percobaan dilakukan untuk kedua aliran laminar dan aliran turbulen di dalam temperatur aksial heat exchanger. Hasil penelitian juga menunjukkan bahwa hubungan $-NTU$ dari campuran konveksi heat exchanger adalah sama dengan counter-flow heat exchanger.

2.3. Prosedur Perencanaan Alat Penukar Kalor

Pokok pembahasan pada perencanaan alat penukar kalor ialah masalah perpindahan panas. Anggapan mula-mula bahwa oleh fluida panas ke fluida dingin, terjadi dengan sempurna. Kalau panas yang dilepaskan besarnya = Q persatuan waktu, maka panas itu diterima oleh fluida yang dingin sebesar Q pula.

Kemampuan untuk menerima panas itu, dipengaruhi 3 hal yaitu:

1. Koefisien perpindahan panas keseluruhan (teh overall heat transver coefisient), dinyatakan dengan U .
2. Luas perpindahan panas dinyatakan A .
3. Selisih temperatur rata-rata (mean temprature difference, the driving temprature forced), dinyatakan dengan Δt_{lm} .

Hubungan antara besaran itu adalah:

$$Q = U \cdot A \cdot \Delta T_{lm} \quad (2.4)$$

Setelah mengetahui besarnya kalor yang akan dilepas fluida panas pada fluida dingin (Q) masalah berikutnya ialah menentukan besarnya luas permukaan alat permukaan kalor. Ini merupakan kunci persoalan, sebab dari sini dapat diketahui jumlah tubes yang akan digunakan, panjang dan diameter tube. Besarnya koefisien perpindahan panas keseluruhan (U) suatu alat penukar kalor merupakan kebalikan dari tahanan keseluruhan terhadap perpindahan panas itu adalah jumlah semua tahanan pada APK. Tahanan ini meliputi tahanan konveksi fluida panas, tahanan konveksi lapisan atau kotoran pada sebelah fluida panas, tahanan konduksi karena tebal tubes, tahanan panas pada lapisan kotoran disebelah fluida dingin serta tahanan fluida dingin itu sendiri.

Besarnya masing-masing koefisien perpindahan panas itu tergantung dari:

- Proses perpindahan panas yang terjadi, apakah dengan konduksi, konveksi, radiasi, kondensi atau mendidihkan.
- Keadaan fisik fluida.
- Penyusunan secara fisik permukaan panasnya.

Beberapa buku teks telah membuat tabel menentukan besarnya nilai U , berdasarkan jenis APK dan fluida dalam atau luar tube. (Tunggul M Sitompul, 1997)

2.4. Konduktivitas Termal

Konduktivitas termal adalah suatu besaran intensif bahan yang menunjukkan kemampuannya untuk menghantarkan panas. Konduktivitas termal adalah suatu fenomena transport dimana perbedaan temperatur menyebabkan transfer energi termal dari satu daerah benda panas ke daerah yang sama pada temperatur yang lebih rendah. Panas yang ditransfer dari satu titik ke titik lain melalui salah satu dari tiga metode yaitu konduksi, konveksi dan radiasi.

Tabel 2.1 Konduktivitas Termal (JP.Holman, 2010)

Material	Thermal Conductivity W/m.K
Copper	385
Aluminium	202
Carbon Steel 1% C	43
Chrome Steel 20% Cr	22,5
Chrome Nickel Steel	16,3
Concrete	1,13
Glass	0,78
Water	0,556
Asbertos	0,11
Air	0,024

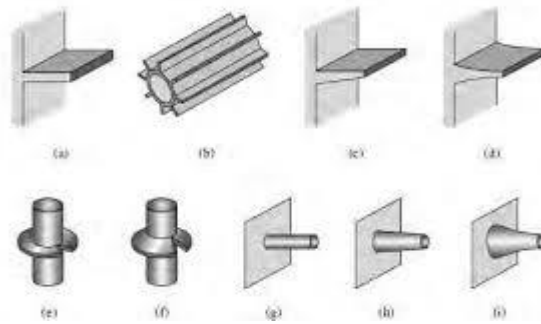
2.5 Sirip (*Fin*)

Sirip digunakan pada alat penukar kalor untuk meningkatkan luasan perpindahan panas antara permukaan utama dengan fluida di sekitarnya. Idealnya, material untuk membuat sirip harus memiliki konduktivitas termal yang tinggi untuk meminimalkan perbedaan temperatur antara permukaan utama dengan permukaan yang diperluas. Aplikasi sirip sering dijumpai pada sistem pendinginan ruangan, peralatan elektronik, motor bakar, *trailing edge* sudu turbin gas, alat penukar kalor kompak, dengan udara sebagai media perpindahan panasnya. Ada berbagai tipe sirip pada alat penukar kalor yang telah digunakan, mulai dari bentuk yang relatif sederhana seperti sirip segiempat, silindris, anular, tirus atau pin sampai dengan kombinasi dari berbagai geometri yang berbeda dengan jarak yang teratur dalam susunan segaris (*in-line*) ataupun selang-seling (*staggered*).

Salah satu tipe sirip pada peralatan penukar kalor yang mempunyai banyak pemakaian dalam berbagai aplikasi industri adalah sirip pin. Sirip pin adalah elemen berbentuk silinder atau bentuk lainnya yang dipasang secara tegak lurus terhadap dinding alat penukar kalor dengan fluida pendingin mengalir dalam arah aliran melintang terhadap dinding alat penukar kalor tersebut. Sirip-sirip pin dapat meningkatkan luas permukaan pelepas panas, dan menyebabkan aliran yang turbulen sehingga meningkatkan unjuk kerja disipasi panas yang berdampak pada meningkatnya ketahanan dan umur peralatan. Terdapat berbagai parameter yang menggolongkan sirip pin, seperti bentuk pin, tinggi pin, diameter pin, perbandingan tinggi dan diameter pin dan sebagainya yang dapat disusun secara segaris ataupun secara selang-seling terhadap arah aliran fluida pendinginnya.

Laju perpindahan panas dari suatu rakitan sirip pin ke lingkungan tergantung pada distribusi temperatur pada sirip pin dan plat dasar, geometri sirip pin, jarak antara ujung sirip pin dengan permukaan atas saluran udara (*shroud clearance*), sifat-sifat fluida, laju aliran udara, jarak antara titik pusat sirip (*inter-pin pitch*), susunan sirip pin dan orientasi dari alat penukar kalor. Laju perpindahan panas pada plat dasar dengan temperatur tertentu dapat ditingkatkan dengan menaikkan koefisien perpindahan panas rata-rata, menaikkan luas permukaan perpindahan panas atau kedua-duanya. Kenaikan perpindahan panas dapat dicapai dengan cara konveksi paksa atau mengubah konfigurasi geometri dari alat penukar panas. Dalam praktiknya, cara-cara ini dibatasi oleh penurunan tekanan maksimum yang diijinkan melalui susunan sirip pin tersebut karena kenaikan perpindahan panas akan disertai penurunan tekanan. Energi yang hilang karena penurunan tekanan dapat melebihi energi yang didapatkan dari usaha peningkatan perpindahan panas tersebut.

Sirip adalah piranti yang berfungsi untuk mempercepat laju perpindahan panas dengan cara memperluas luas permukaan benda. Ketika suatu benda mengalami perpindahan panas secara konveksi, maka laju perpindahan panas dari benda tersebut dapat dipercepat dengan cara memasang sirip sehingga luas permukaan benda semakin luas dan pendinginannya semakin cepat. Berbagai jenis muka sirip dapat dilihat pada Gambar 2.4 (J.P. Holman 2010)



Gambar. 2.4 sirip (JP.Holman.2010)

Sirip yang maksimum tidak didapatkan berdasarkan panjang sebuah sirip. Namun, efisiensi maksimum suatu sirip bisa didapatkan dari kuantitas material sirip (massa, volume, atau biaya), dan proses memaksimumkan ini jelas mempunyai arti ekonomi. Perlu dicatat pula bahwa sirip yang dipasang pada muka perpindahan kalor tidak selalu mengakibatkan peningkatan laju perpindahan kalor.. Hal ini disebabkan karena dibandingkan dengan tahanan konveksi, tahanan konduksi merupakan halangan yang lebih besar terhadap aliran kalor.(J.P. Holman 2010)

Untuk menunjukkan efektivitas sirip dalam memindahkan sejumlah kalor tertentu kita rumuskan suatu parameter baru, yang disebut efisiensi sirip(*fin efficiency*):

$$\eta_f = \frac{Q}{h_o PL \theta_0} = \frac{Q}{h_o 2L \theta_0} \quad (2.5)$$

Laju perpindahan panas akan meningkat dengan meningkatnya jumlah fin pada silinder, namun pada aliran udara rendah, pendinginan silinder akan berkurang dengan penyempitan jarak antar fin akibat penambahan jumlah fin. Hal tersebut disebabkan udara tidak mengalir dengan baik pada ruang antar fin (Yoshida dkk, 2006).

Haris Budiman dkk, (2005) melakukan penelitian bagaimana mempercepat laju perpindahan panas dari ruang pemanas *furnace* ke dalam minyak mentah di dalam pipa yaitu dengan cara memasang sirip (*fins*) penukar panas. Proses pemasangan *fins* penukar panas pada pipa sebagai logam dasar dilakukan dengan cara dilas. Proses pengelasan yang paling sesuai dengan fungsi dari *fins* penukar panas adalah Pengelasan Tembak atau *Stud Welding*, oleh karena itu dalam

praktek dan beberapa literatur penyebutan istilah *fins* dalam pipa tersebut adalah *stud fins*.

Firmansyah, B (2009) melakukan penelitian perpindahan panas pada perangkat elektronik, tepatnya dalam penggunaan *Water-block* pada pendingin CPU. Penelitian ini menggunakan data input yang berbeda pada sirip yang digunakan. Nilai distribusi temperatur yang diperoleh pun bebeda-beda baik pada tanpa sirip, panjang sirip yang kecil, sedang, maupun yang panjang disetiap node maupun elemennya. Penelitian tersebut memberikan hasil bahwa besar maupun kecilnya pendinginan temperatur disebabkan karena beda panjang sirip, walaupun memiliki koefisien konveksi yang sama disetiap analisa. Kesimpulan yang diperoleh pun *water-block* CPU yang menggunakan sirip lebih panjang memiliki nilai perpindahan kalor yang lebih baik dibanding yang menggunakan sirip lebih pendek.

Supriyono (2005) melakukan penelitian perpindahan energi dari bagian bersuhu tinggi kebagian bersuhu rendah. Proses perhitungan yang digunakan dalam perpindahan panas tidak hanya dilakukan melalui pengamatan langsung, namun juga melalui perhitungan numeris. Dalam menggunakan perhitungan numeris, para peneliti maupun praktisi saat ini banyak yang masih menggunakan metode beda hingga. Salah satu metode penyelesaian yang saat ini sedang dikembangkan adalah penggunaan metode elemen hingga. Dengan menggunakan metode elemen hingga, ada banyak domain yang mampu terselesaikan, tidak hanya segi empat, segi tiga, ataupun segi lima. Dari hasil penelitian menunjukkan bahwa dengan menggunakan metode elemen hingga perhitungan perubahan panas akan lebih sedikit dibandingkan dengan menggunakan metode beda hingga. Perangkat lunak yang dibangun juga dapat untuk menghitung perambatan panas untuk banyak elemen sebarang.

Miriam, Sarah (2011) melakukan penelitian dan membuat suatu program yang dapat melakukan komputasi distribusi suhu pada suatu sistem yang dalam keadaan tunak. Bentuk geometri sistem yang dipilih adalah penurunan persamaan perpindahan panas. Dari hasil pengamatan yang dilakukan penulis, program komputasi distribusi suhu yang dirancang menggunakan metode LSOR, melalui pendekatan beda hingga, dalam bahasa MATLAB, telah berhasil dirancang dan

dapat berfungsi dengan semestinya. Secara umum tingkat ketelitian dari program komputasi ini dapat dikatakan cukup tinggi. Hasil keluaran dari program ini divisualisasikan oleh MATLAB dalam grafik kontur dan grafik dua dimensi yang berwarna. Perbedaan derajat panas ditunjukkan oleh perbedaan warna pada grafik.

Novianarenti, Eky (2016) melakukan penelitian guna mengetahui karakteristik aliran dan perpindahan panas diluar pipa yang mengalir secara *crossflow*. Salah satunya adalah dengan melakukan modifikasi susunan pipa pada daerah *surface condenser* yaitu untuk mengembunkan *exhaust steam* menjadi air murni sehingga mungkin kembali ke generator uap sebagai *boiler feed water*. Dan didapatkan penggunaan *device* berupa *rectangular plate* yang ditambahkan didaerah kritis pada *tube banks condenser* yang tersusun *staggered* memiliki pengaruh terhadap karakteristik perpindahan panas. Hal tersebut dikarenakan adanya peningkatan kecepatan didaerah sekitar *tube* tersebut dan berkontribusi terhadap penurunan tekanan.

Istanto, Tri dan Juwana, Serta Wibawa Edra (2010) melakukan penelitian dan menguji karakteristik perpindahan panas dan penurunan tekanan dari susunan sirip-sirip pin silinder tirus dalam saluran udara segiempat. Sirip-sirip pin disusun secara segaris dan selang-seling. Temperatur rata-rata permukaan plat dasar dijaga konstan sebesar 60 . Sirip-sirip pin terbuat dari bahan duralumin dengan tinggi 75 mm, diameter dasar dan diameter ujung berturut-turut 12,7 mm dan 7 mm, dan jarak antar titik pusat sirip dalam arah melintang aliran udara. Perhitungan laju perpindahan panas menunjukkan bahwa susunan segaris dan selang-seling dari sirip pin silinder tirus menyebabkan peningkatan perpindahan panas relative terhadap permukaan halus (tanpa sirip).

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	Peningkatan Kerja ACWH Dengan Memanfaatkan <i>Honeycomb Surface</i> Berbahan Kuningan Sebagai Penukar Kalor
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 Perpindahan Panas Pada ACWH Dngan Pipa Kapiler Sebagai Penghantar Panas
10	M.Kamaludin Wahdani	1607230075	Analisa Numerik Perpindahan Panas Pada ACWH Dengan <i>Honeycomb</i> Sebagai Penghantar Panas

BAB 3

METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Tempat dan Waktu Penelitian

3.1.1 Tempat

Tempat pelaksanaan penelitian dan pengerjaan alat penukar kalor *Shell Helical Coil* bersirip dilakukan di Laboratorium Proses Produksi dan Prestasi Mesin Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara, Jl. Kapten Muchtar Basri No.3 Medan.

3.1.2 Waktu Penelitian

Waktu pelaksanaan penelitian dan kegiatan pengujian dilakukan sejak tanggal usulan oleh Program Studi Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara seperti yang tertera pada tabel 3.1.

Tabel 3.1 jadwal dan kegiatan saat melakukan penelitian

No	Kegiatan	Waktu (Bulan)						
		1	2	3	4	5	6	7
1	Study literature	■	■	■	■			
2	Pembuatan alat		■	■	■	■	■	
3	Pengujian dan pengambilan data			■	■	■	■	
4	Analisa data					■	■	
5	Penulisan laporan akhir					■	■	■
6	Seminar hasil dan sidang sarjana						■	■

3.2 Alat dan Bahan

3.2.1 Alat yang Digunakan

Adapun alat yang digunakan pada penelitian ini adalah;

1. Gunting potong

Kegunaan dari gunting potong adalah untuk untuk memotong pelat tembaga sesuai dengan ukuran yang telah ditentukan seperti pada gambar 3.1



Gambar 3.1 Gunting Potong

2. Meteran

Meteran ini digunakan untuk mengukur lebar pelat tembaga yang akan dipotong dan mengukur panjang sirip yang telah ditentukan sebelum dipotong seperti pada gambar 3.2



Gambar 3.2 Meteran

3. Alat Las

Alat las ini berfungsi untuk menyambungkan pelat sirip tembaga terhadap *Helical Coil* yang telah dibentuk. Alat las yang digunakan dapat dilihat pada gambar 3.3



Gambar 3.3 Alat Las

4. Tang

Alat ini berfungsi untuk pembentukan sirip dan untuk melakukan penyambungan sirip terhadap APK ketika waktu pengelasan. Tang yang digunakan dapat dilihat pada gambar 3.4



Gambar 3.4 Tang

5. Indoor AC Split

Unit indoor AC yang digunakan dalam penelitian tugas akhir ini adalah sebagai berikut :



Gambar 3.5 Unit Indoor AC Split

Kapasitas AC : 1 PK

Input Daya : 880 W

6. Unit Outdoor AC Split

Unit outdoor AC yang digunakan dalam penelitian tugas akhir ini adalah sebagai berikut :



Gambar 3.6 Unit Outdoor AC Split

Arus kompresor : 16,5 A

Tegangan : 220 V

Daya : 1-fase a.c

7. *Pipe Cutter* (Pemotong Pipa)

Pipe cutter (pemotong pipa) berfungsi untuk memotong pipa tembaga. Gambar dari *pipe cutter* (pemotong pipa) dapat dilihat pada gambar 3.7



Gambar 3.7 *Pipe Cutter*

8. *Flaring Tool*

Flaring tool digunakan untuk mengembangkan ujung pipa tembaga atau memperbesar lubang ujung pipa tembaga agar dapat disambungkan dengan pipa tembaga lainnya. Gambar dari *flaring tool* dapat dilihat pada gambar 3.8



Gambar 3.8 *Flaring Tool*

9. Sensor Suhu

Sensor suhu digunakan untuk mengukur suhu kompresor, kondensor dan air ketika pengujian berlangsung. Gambar dari sensor suhu dapat dilihat pada gambar 3.9



Gambar 3.9 Sensor Suhu

Tipe :DS18B20

Suhu maximal :135°C

Suhu minimal :-35°C

10. Kunci Pas

Kunci pas digunakan untuk mengencangkan dan mengunci baut yang digunakan dalam rangkaian ACWH. Gambar dari kunci pas dapat dilihat pada gambar 3.10



Gambar 3.10 Kunci Pas

11. Nepel

Nepel berfungsi untuk menyambung pipa tembaga dan untuk menahan kebocoran pada pipa tembaga. Gambar dari nepel dapat dilihat pada gambar 3.11



Gambar 3.11 Nepel

12. Kunci L

Kunci L digunakan untuk membuka dan menutup tube yang ada pada tabung penyimpanan Freon. Gambar kunci L dapat dilihat pada gambar 3.12



Gambar 3.12 Kunci L

13. Manifold Gauge

Manifold gauge digunakan untuk mengetahui tekanan freon pada AC, alat ini juga digunakan untuk mengisi Freon AC. Gambar dari manifold gauge dapat dilihat pada gambar 3.13



Gambar 3.13 Manifold Gauge

14. Arduino

Arduino berfungsi untuk membuat bahasa program dari sensor suhu yang digunakan. Arduino yang digunakan pada rancang bangun ini bisa dilihat pada gambar 3.14.



Gambar 3.14 Arduino

Tipe : Arduino UNO

Operating voltage : 5 V
Input voltage : 6 – 20 V

15. Alat Uji ACWH

ACWH berfungsi sebagai pemanas air yang memanfaatkan panas buang keluaran kompresor pada sistem AC. Rangkaian alat uji ACWH terdiri dari:

- AC *split* 1 PK
- Tangki Penyimpanan Air(*Water storage*) yang berbentuk kerucut dengan;
 - Tinggi tangki : 61 cm
 - Diameter atas tangki : 30 cm
 - Diameter bawah tangki : 40 cm
 - Volume air : 60 L
- Arduino Uno
 - Operating voltage : 5 V
 - Input voltage : 6 – 20 V
- Sensor Suhu
 - Tipe : DS18B20
 - Suhu max : 135 °C
 - Suhu min : -35 °C



Gambar 3.15 Alat Uji ACWH

3.2.2. Bahan yang Digunakan

1. Lembaran pelat tembaga

Lembaran pelat tembaga pada penelitian ini memiliki tebal 0.4 mm dan digunakan untuk membuat ssirip yang dipasang dengan *APK Shell Helical Coil*. Dapat dilihat pada gambar 3.16



Gambar 3.16. Lembaran pelat

2. Pipa Tembaga

Pipa tembaga digunakan untuk Menyatukan Honeycomb dan saling terhubung di antara kedua sisinya. Pipa tembaga dapat dilihat pada gambar 3.17



Gambar 3.17 Pipa Tembaga

3. Kawat Las Tembaga

Kawat las tembaga berfungsi sebagai bahan tambah untuk pengelasan tembaga dengan tembaga lainnya. Kawat las tembaga yang digunakan dapat dilihat pada gambar 3.18



Gambar 3.18 Kawat Las Tembaga

4. Freon

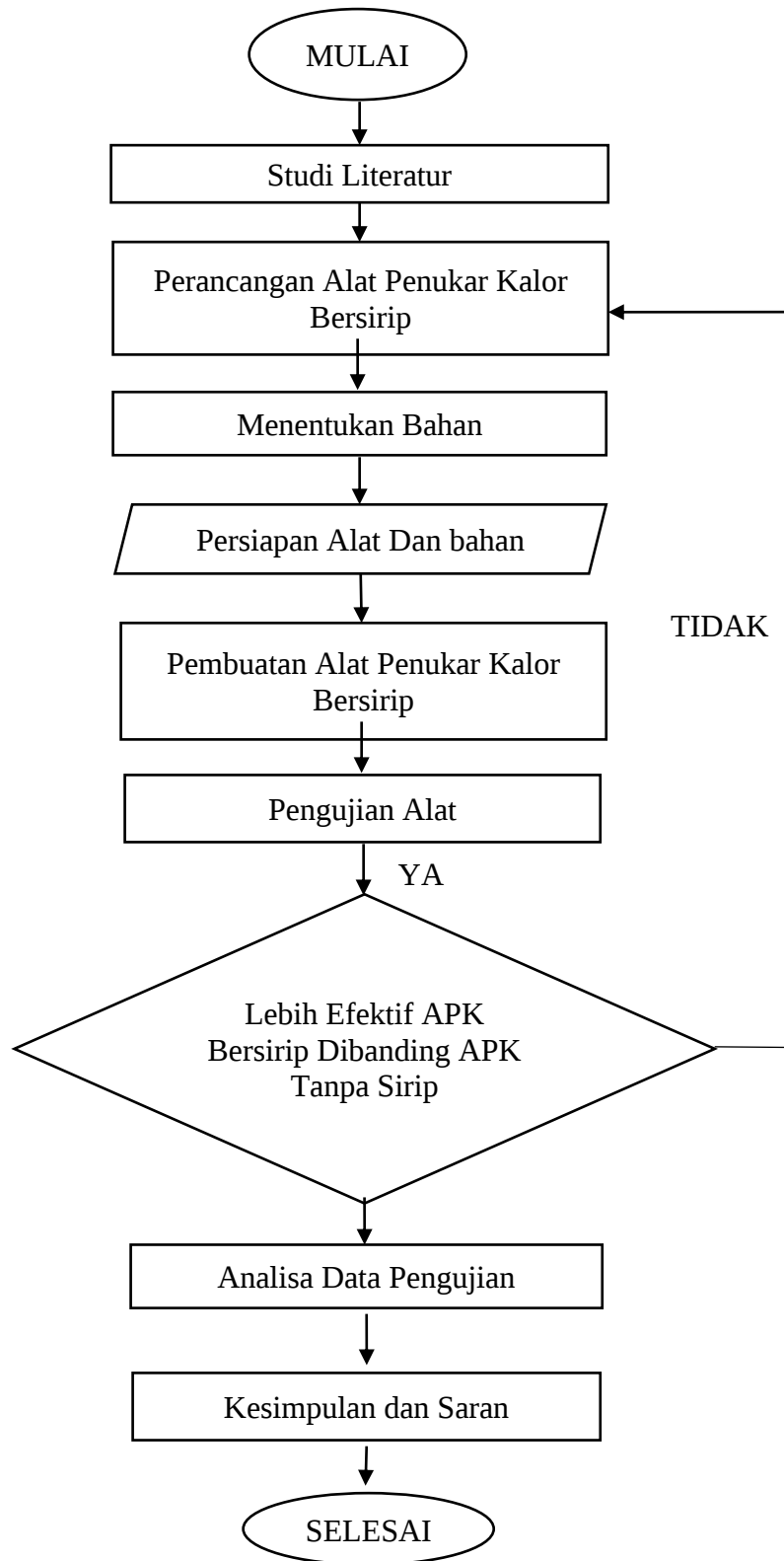
Freon berfungsi sebagai bahan pendingin sekaligus pemanas yang dialirkan melalui alat penukar panas *helical coil*. Gambar dari Freon dapat dilihat pada gambar 3.19



Gambar 3.19 Freon (R22)

Tipe :Refrigeran R-22

3.3 Diagram alir penelitian



Gambar 3.20 Diagram Alir Rancang Alat Penukar Kalor Bersirip.

Berikut adalah penjelasan dari gambar 3.20.

1. Study Literatur, 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. Perancangan adalah penggambaran, perencanaan dan pembuatan sketsa atau pengaturan dari beberapa elemen yang terpisah ke dalam satu kesatuan yang utuh dan berfungsi perancangan sistem dapat dirancang dalam bentuk bagan alir sistem.
3. Menentukan bahan adalah proses pemilihan bahan yang sesuai dengan rancangan alat. Meliputi : jenis material, kekuatan dan harga material yang digunakan.
4. Mempersiapkan bahan dan alat yang akan digunakan dalam penelitian.
5. Membuat APK Bersirip yang berbentuk segiempat disetiap lilitan *Shell helical coil* dengan panjang siripnya 4 cm dan lebar 2,5 cm.
6. Melakukan pengujian pada APK bersirip yang diuji pada alat ACWH.
7. Temperatur air yang diinginkan adalah 44 °C dalam jangka waktu kurang dari 60 menit.
8. Mencatat hasil pengujian dan Menganalisa hasil pengujian serta melakukan evaluasi.
9. Menyimpulkan hasil pengujian yang telah di evaluasi.
10. Selesai

3.4. Prosedur Penelitian *Shell Helical coil* Bersirip.

Adapun prosedur penelitian APK *Shell Helical Coil* Bersirip menggunakan alat uji ACWH yaitu sebagai berikut;

1. Perencanaan APK *Shell Helical Coil* Bersirip
 - Menyediakan Laptop
 - Membuka *software solidworks* 2014 pada laptop
 - Menentukan bahan material.
2. Melakukan proses Pembuatan *Shell Helical Coil* :

- Pembuatan lilitan
 - Pengelasan *Shell Helical Coil*
3. Melakukan proses Pembuatan Sirip :
 - Pemotongan plat tembaga
 - Pembentukan sirip
 - Pemasangan sirip terhadap *Shell Helical Coil*
 - Pengelasan sirip terhadap *Shell Helical Coil*
 4. Pemasangan APK *Shell Helical Coil* Bersirip ke dalam tangki air ACWH.
 5. Melakukan penyambungan APK ke jalur *Refrigerant*.
 6. Melakukan pemasangan sensor pada tangki.
 7. Melakukan proses pengujian :
 - Percobaan alat uji ACWH terlebih dahulu
 - Melakukan pengisian Freon
 - Melakukan pengisian air ke tangki ACWH sebanyak 60 L
 - Melakukan pengambilan data
 - Kemudian amati dan catat data pengujian. Pengambilan data pada pengujian meliputi; tekanan *refrigerant*, temperature keluar kompresor, temperature masuk kondensor dan suhu air di dalam tangki.
 - Pengujian dilakukan 3 kali yaitu pada temperature 16°C, 18°C, dan 20°C.
 8. Ketika pengujian telah selesai dilakukan kemudian matikan kembali alat uji ACWH, Lepaskan sensor suhu dari arduino, lepaskan *manifold gauge* dari alat ACWH, kemudian keluarkan air yang ada di dalam tangki. Dan terakhir bersihkan seluruh perlengkapan yang telah digunakan agar kondisi alat tidak rusak ketika ingin digunakan kembali.
 9. Selesai

BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN

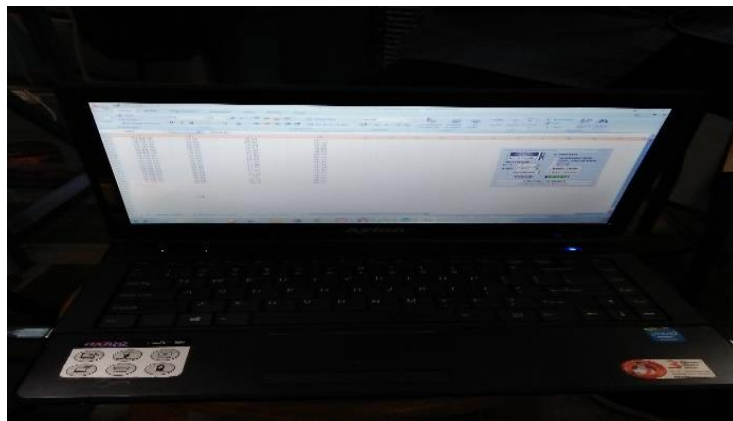
4.1 Prosedur Penelitian

Prosedur penelitian dari pengujian ini adalah sebagai berikut :

4.1.1 Perancangan *Shell Helical Coil* Bersirip

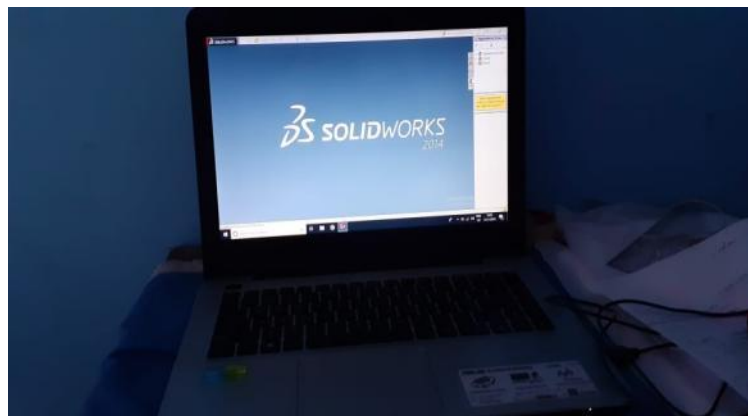
Langkah-langkah perancangan alat penukar kalor *Shell Helical Coil* Bersirip adalah sebagai berikut :

- Menyediakan laptop.



Gambar 4.1. Laptop

- Membuka *software solidworks* 2014 pada laptop.



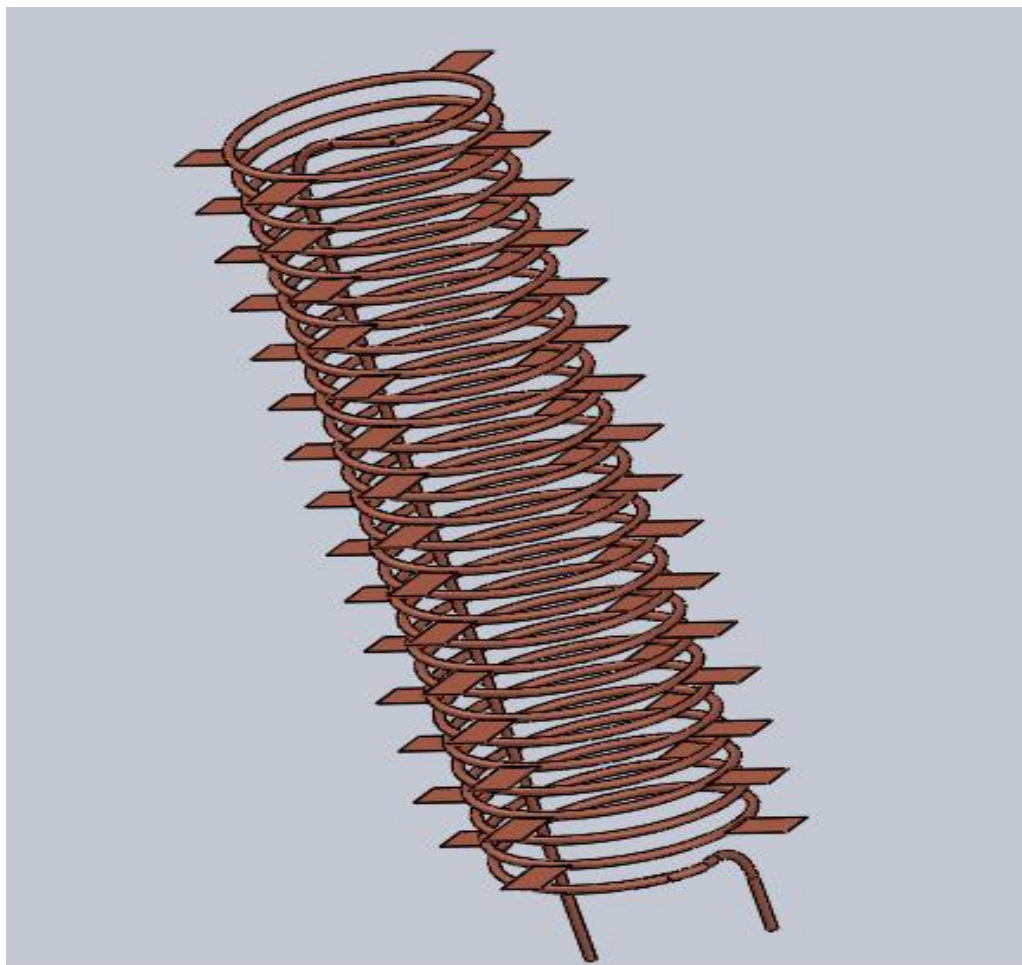
Gambar 4.2 Software Solidork 2014

- Material/bahan yang digunakan dalam pembuatan *Shell Helical Coil* Bersirip adalah pipa tembaga dan plat tembaga seperti gambar 4.3

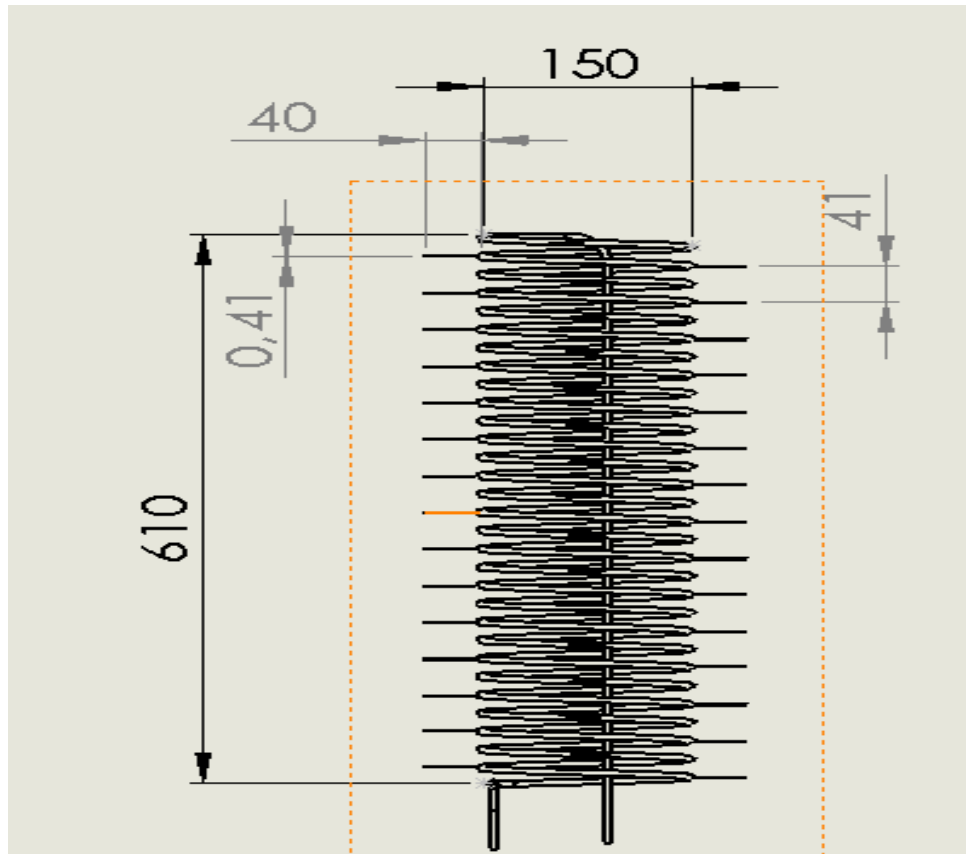


Gambar 4.3 plat tembaga dan pipa tembaga

- Kemudian merancang *Shell Helical Coil* Bersirip sesuai dengan ukuran yang digunakan pada perencanaan *Shell Helical Coil* Bersirip yaitu : tinggi *Helical coil* 610 mm dan berdiameter 150 mm dapat dilihat seperti gambar 4.4 dan gambar 4.5



Gambar 4.4 Rancangan APK *Shell Helical coil* Bersirip.



Gambar 4.5 Dimensi Rancangan APK *Shell Helical Coil* Bersirip.

4.1.2. Proses Pembuatan APK *Shell Helical Coil* Bersirip

Adapun proses pembuatan APK *Shell Helical Coil* Bersirip dapat dilihat seperti dibawah ini:

1. Pembuatan *Helical Coil*

Proses ini dikerjakan sesuai dengan rancangan yang telah dibuat. *Helical coil* dibuat menggunakan pipa tembaga dengan ukuran diameter luar 0,635 mm dan diameter dalam 0.41 mm. *Helical coil* ini sendiri mempunyai tinggi 610 mm dan diameter 150 mm. Adapun proses dari pembuatan *helical coil* adalah sebagai berikut:

- Pembuatan lilitan

Pembuatan lilitan dikerjakan manual dengan menggunakan tangan dengan diameter lekukan yang diinginkan adalah 15 cm, panjang pipa tembaga adalah 16 m dan akan dibuat menjadi 30 lilitan. Proses pembuatan lilitan dapat dilihat pada gambar 4.6.



Gambar 4.6 Pembuatan Lilitan

- Pengelasan *Helical Coil*

Setelah melakukan pembuatan lilitan, selanjutnya dilakukan pengelasan terhadap helical coil, fungsi dari pengelasan tersebut adalah untuk menyambungkan helical coil dengan pipa keluaran kompresor dan masuk kondensor. Proses pengelasan dapat dilihat pada gambar 4.7



Gambar 4.7 Pengelasan *Helical Coil*

2. Proses pembuatan sirip.

- Pemotongan pelat tembaga.

Proses ini dilakukan untuk memotong pelat tembaga sesuai dengan ukuran yang telah ditentukan yaitu dengan lebar 25 mm. Proses pemotongan pelat dapat dilihat pada gambar 4.8



Gambar 4.8 Pemotongan Pelat Tembaga

- Pembentukan Sirip.

Proses ini dilakukan dengan pemebentukan bidang atau luas permukaan sirip yaitu dengan panjang 40 mm dan lebar 25 mm sebanyak 60 keping. Proses ini dapat dilihat pada gambar 4.9



Gambar 4.9 Pembentukan Sirip

- Proses Pemasangan Sirip Terhadap APK.

Proses ini dilakukan untuk pemasangan sirip yang telah dibentuk sedemikian rupa dan di satukan terhadap APK yang sudah terbentuk. Proses ini dapat dilihat pada gambar 4.10



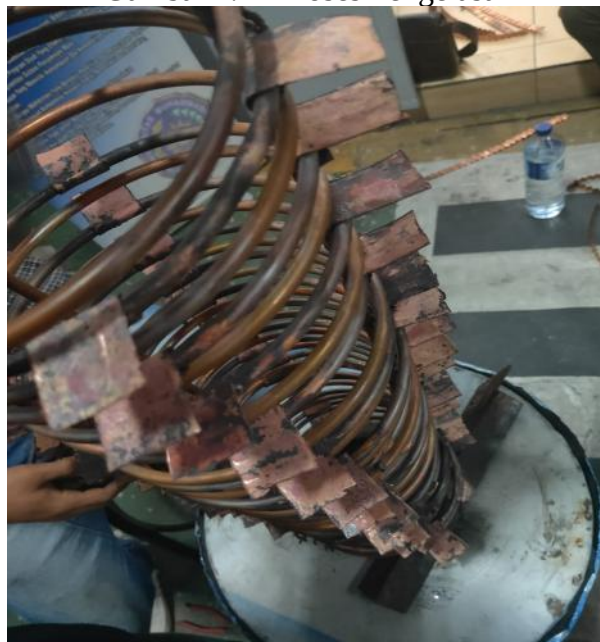
Gambar 4.10 Proses Pemasangan Sirip Terhadap APK

- Proses Pengelasan Sirip Terhadap APK

Proses ini dilakukan untuk menyatukan setiap sirip yang telah dibentuk dengan cara di las dengan menggunakan alat las dan menggunakan kawat tembaga sebagai media penyambung. Proses ini dapat dilihat pada gambar 4.11 dan gambar 4.12



Gambar 4.11 Proses Pengelasan



Gambar 4.12 Hasil Pengelasan

- Pemasangan *Shell Helical Coil* Bersisip ke Dalam Tangki

Proses terakhir adalah peletakan *helical coil* ke dalam tangki, dengan melubangi bagian tengah dari tangki untuk saluran masuk dan keluar aliran dari

helical coil tersebut. Proses peletakan *Shell Helical Coil* Bersirip kedalam tangki dapat dilihat pada gambar 4.13



Gambar 4.13 Pemasangan *Helical Coil* ke Dalam Tangki

- Melakukan penyambungan APK ke jalur *Refrigerant*

Setelah itu menyambung alat penukar kalor honeycomb ke jalur refrigerant masuk kondensor dan keluar kompresor ke kondensor menggunakan nepel dapat dilihat seperti gambar 4.14



Gambar 4.14. Menyambung Alat Penukar Kalor ke Jalur *Refrigerant*

4.2 Proses Pengujian ACWH

Sebelum melakukan penelitian ACWH terlebih dahulu dilakukan pengujian, hal ini dilakukan untuk mengetahui apakah mesin bekerja dengan baik atau tidak. Jika mesin belum beroperasi dengan baik mesin harus diperbaiki lagi sampai kondisi

mesin benar-benar siap untuk pengambilan data dan penelitian. Gambar proses pengujian ACWH dapat dilihat pada gambar 4.15



Gambar 4.15 Percobaan Pengujian ACWH

. Adapun tahap-tahap untuk melakukan pengujian adalah sebagai berikut:

- Pengisian Freon

Pengisian freon dilakukan dengan menggunakan pressure gauge, dan pengisian dilakukan sampai tekanan 80 psi. Setelah pengisian freon tunggu beberapa menit sampai tekanan stabil. Proses pengisian Freon dapat dilihat pada gambar 4.16



Gambar 4.16 Pengisian Freon

- Proses Pengisian Air

Proses pengisian air kedalam tangki ACWH. Adapun banyak air yang di masukkan adalah sebanyak 60 liter. Proses pengisian air dapat dilihat pada gambar 4.17



Gambar 4.17 Pengisian Air

- Pengambilan Data

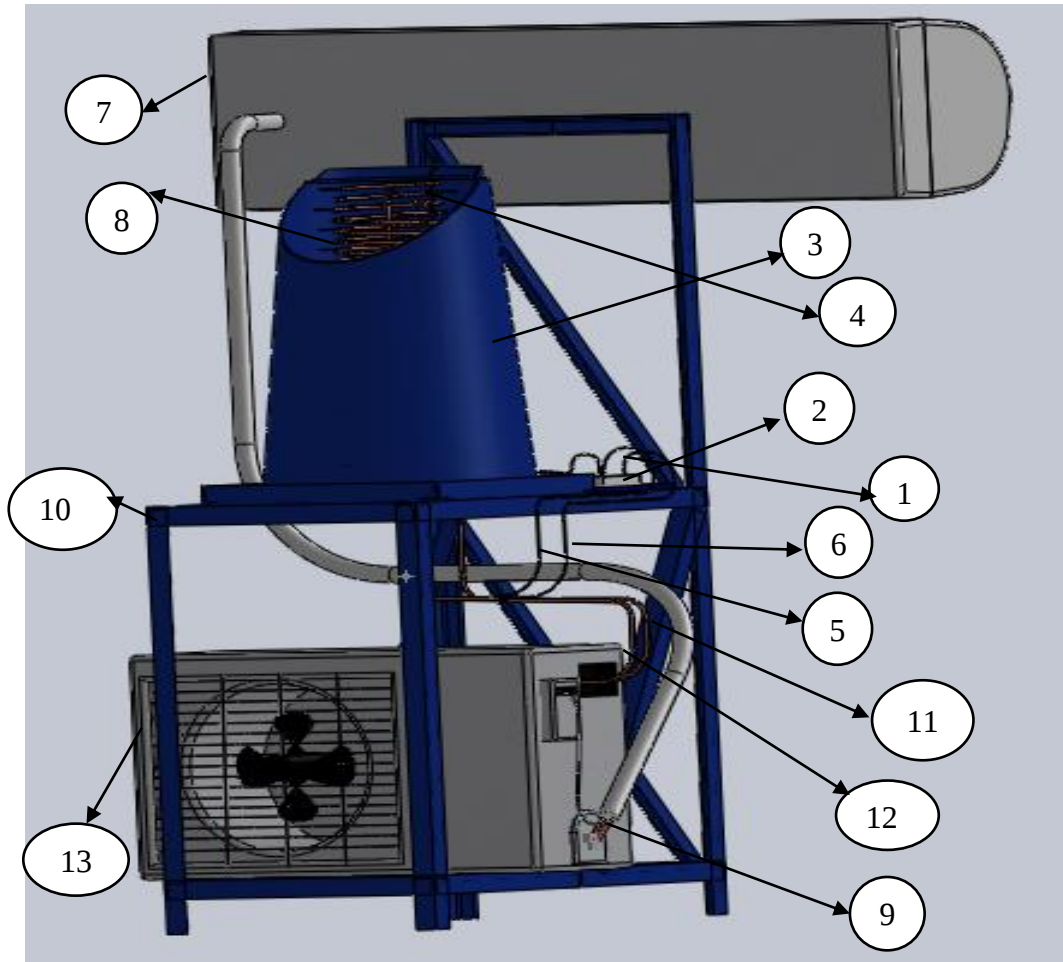
Proses Pengambilan data, Pada proses ini melakukan proses pengujian untuk pengumpulan dan pengambilan data dari mesin ACWH untuk penelitian masing-masing. Proses pengambilan data ini meliputi pengambilan data temperatur air, temperatur refrigerant masuk kondensor dan temperatur refrigerant keluar kompresor pada temperatur AC 16°C, 18°C dan 20 °C. Pengambilan data berlangsung selama 60 menit dapat dilihat seperti gambar 4.18.



Gambar 4.18 Pengambilan Data

4.3 Set Up Alat Uji ACWHShell Helical Coil Bersirip.

Bagian-bagian dan komponen dari ACWH dengan penambahan *Shell Helical Coil* Bersirip yang telah dirancang dan disusun dapat dilihat pada gambar 4.19:



Gambar 4.19. Bagian-Bagian Komponen Alat Uji ACWH (*Shell Helical Coil* Bersirip)

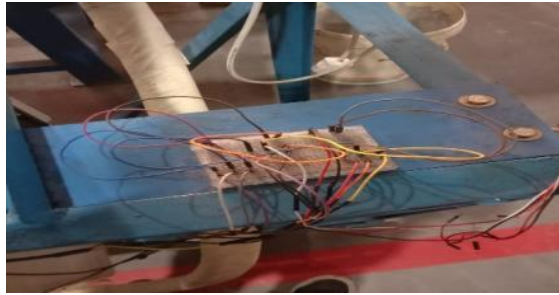
Keterangan :

1. Kabel koneksi arduino uno ke bread board



Gambar 4.20. Kabel Koneksi

2. Bread board



Gambar 4.21. Bread Board

3. Tangki



Gambar 4.22. Tangki

4. Sensor suhu air



Gambar 4.23. Sensor Suhu Air

5. Sensor suhu keluar kompresor



Sensor

Gambar 4.24. Sensor Suhu Keluar Kompresor

6. Sensor suhu masuk kondensor



Sensor

Gambar 4.25. Sensor Suhu Masuk Kondensor

7. Unit indoor AC



Gambar 4.26. Unit Indoor AC

8. APKShell Helical Coil Bersirip



Gambar 4.27. APK Shell Helical Coil Bersirip

9. Pipa Freon



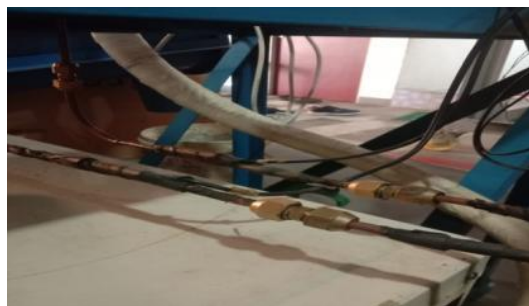
Gambar 4.28. Pipa Freon

10. Rangka



Gambar 4.29. Rangka

11. Pipa keluar compressor



Gambar 4.30. Pipa Keluar Kompresor

12. Pipa masuk kondensor



Gambar 4.31. Pipa Masuk Kondensor

13. Unit outdoor AC



Gambar 4.32. Unit Outdoor AC

4.4. Hasil Pengujian

Bersumber pada hasil pengujian yang telah dilaksanakan di Laboratorium Prestasi Mesin, Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara, tentang kinerja dari Air Conditioning Water Heater, diperoleh data dan variabel yang dapat menjawab persoalan-persoalan pada data tersebut, serta memberikan suatu gambaran dengan data dalam bentuk table dan juga dilengkapi dengan grafik.

Data-data dari hasil percobaan yang telah dilaksanakan dalam penelitian ini akan dijelaskan atau diuraikan dalam bab 4 ini dalam bentuk perhitungan guna memperoleh variabel yang diinginkan. Selanjutnya dibawah ini adalah bentuk data dari hasil percobaan dan pengujian yang dilaksanakan dalam penelitian yang dilakukan pada mesin *Air Conditioning Water Heater*, serta data dari perhitungan yang dilaksanakan untuk mengetahui perpindahan panas yang terjadi dari APK *Shell Helical Coil* Bersirip ke air.

4.4.1 Data Hasil Pengujian Temperatur Air, Temperatur Keluar Kompresor Dan Temperatur Masuk Kondensor.

Pada pelaksanaan pengujian, menggunakan arduino uno, didapat temperatur air yang dihasilkan oleh temperatur AC. Adapun pengujian dilakukan dengan 3 tahap yaitu pada suhu 16 °C, 18 °C, dan 20°C.

variabel yang diperoleh dapat dilihat pada gambar dibawah ini :

Hasil Pengujian data temperatur 16°C.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	Connect using "PLX-DAQ Simple Test"	TEMPERATUR AIR	TEMPERATU R KELUAR KOMPRESOR	TEMPERATU R MASUK KONDENSOR					
2	11:01:29	29.94	29.37	28.94					
3	11:01:37	29.81	29.37	29.06					
4	11:01:38	29.87	29.31	28.87					
5	11:01:40	29.87	29.37	28.87					
6	11:01:41	29.81	29.37	29					
7	11:01:43	29.87	29.37	28.94					
8	11:01:44	29.81	29.37	29					
9	11:01:46	29.94	29.37	29					
10	11:01:48	29.75	29.37	28.94					
11	11:01:49	29.75	29.37	28.94					
12	11:01:51	29.81	29.37	28.94					
13	11:01:52	29.87	29.31	28.87					
14	11:01:54	29.81	29.31	29					

Gambar 4.33. Data Pengujian Temperatur Awal Suhu 16°C

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
11	11:01:49	29.75	29.37	28.94					
12	11:01:51	29.81	29.37	28.94					
13	11:01:52	29.87	29.31	28.87					
14	11:01:54	29.81	29.31	29					
15	11:01:55	29.69	29.31	29					
16	11:01:57	29.87	29.31	28.94					
17	11:01:58	29.94	29.37	29.06					
18	11:02:00	29.81	29.37	29					
19	11:02:02	29.75	29.56	28.94					
20	11:02:03	29.87	30	29.06					
21	11:02:05	29.81	30.69	29					
22	11:02:06	29.81	31.56	29.12					
23	11:02:08	29.94	32.44	29.12					
24	11:02:09	29.87	33.38	29.31					
25	11:02:11	29.75	34.25	29.56					

Gambar 4.34. Data Pada Waktu Memulai Pengujian, Suhu 16°C

	A	B	C	D	E	F	G
397	11:11:51	33.38	78.94	33.69			
398	11:11:53	33.44	79.06	33.69			
399	11:11:55	33.44	79.12	33.69			
400	11:11:56	33.50	79.19	33.75			
401	11:11:58	33.44	79.25	33.63			
402	11:11:59	33.44	79.31	33.81			
403	11:12:01	33.50	79.37	33.69			
404	11:12:02	33.50	79.44	33.81			
405	11:12:04	33.44	79.5	33.81			
406	11:12:06	33.44	79.56	33.69			
407	11:12:07	33.44	79.62	33.81			
408	11:12:09	33.56	79.75	33.88			
409	11:12:10	33.50	79.81	33.94			
410	11:12:12	33.50	79.87	33.81			
411	11:12:13	33.56	79.94	33.88			

Gambar 4.35. Data Hasil Pengujian Pada Waktu 10 menit Di Suhu 16°C

	A	B	C	D	E	F	G
777	11:21:49	37.69	99.37	39.88			
778	11:21:51	37.69	99.44	40			
779	11:21:52	37.63	99.44	39.94			
780	11:21:54	37.50	99.5	40			
781	11:21:55	37.56	99.5	40			
782	11:21:57	37.63	99.56	40.06			
783	11:21:58	37.63	99.56	40			
784	11:22:00	37.63	99.62	40.06			
785	11:22:02	37.63	99.69	40.13			
786	11:22:03	37.63	99.69	40.13			
787	11:22:05	37.69	99.69	40.19			
788	11:22:06	37.56	99.75	40.19			
789	11:22:08	37.69	99.81	40.19			
790	11:22:09	37.75	99.81	40.19			
791	11:22:11	37.69	99.87	40.25			

Gambar 4.36. Data Hasil Pengujian Pada Waktu 20 menit Di Suhu 16°C

	A	B	C	D	E	F	G
1158	11:31:51	42.00	105.5	44.94			
1159	11:31:52	42.00	105.56	45			
1160	11:31:54	42.06	105.56	44.94			
1161	11:31:55	42.00	105.5	44.94			
1162	11:31:57	42.00	105.56	45.06			
1163	11:31:58	42.13	105.56	45			
1164	11:32:00	42.06	105.56	45.06			
1165	11:32:02	42.13	105.56	45.06			
1166	11:32:03	42.06	105.56	45.06			
1167	11:32:05	42.13	105.56	45.06			
1168	11:32:06	42.19	105.56	45.13			
1169	11:32:08	42.19	105.56	45.13			
1170	11:32:09	42.19	105.62	45.06			
1171	11:32:11	42.19	105.62	45.13			
1172	11:32:13	42.19	105.56	45.13			

Gambar 4.37. Data Hasil Pengujian Pada Waktu 30 menit Di Suhu 16°C

	A	B	C	D	E	F	G
1539	11:41:53	46.81	107	49.31			
1540	11:41:54	46.81	106.94	49.44			
1541	11:41:56	46.81	107	49.5			
1542	11:41:57	46.81	107	49.5			
1543	11:41:59	46.81	107	49.5			
1544	11:42:01	46.88	107	49.5			
1545	11:42:02	46.81	107	49.56			
1546	11:42:04	46.94	107.06	49.56			
1547	11:42:05	46.88	107.06	49.56			
1548	11:42:07	46.94	107	49.44			
1549	11:42:08	46.81	107	49.5			
1550	11:42:10	47.00	107.06	49.63			
1551	11:42:12	47.00	107.06	49.63			
1552	11:42:13	47.00	107.06	49.5			
1553	11:42:15	47.00	107.06	49.56			

Gambar 4.38. Data Hasil Pengujian Pada Waktu 40 menit Di Suhu 16°C

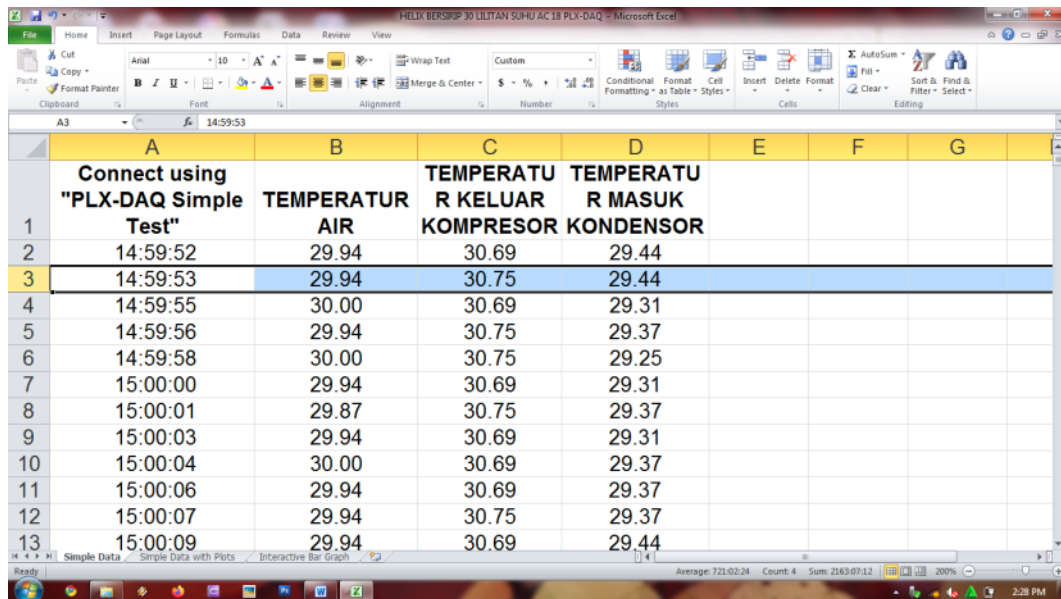
	A	B	C	D	E	F	G
1917	11:51:50	51.00	108.31	52.75			
1918	11:51:52	51.00	108.37	52.88			
1919	11:51:53	51.06	108.37	52.88			
1920	11:51:55	51.00	108.37	52.69			
1921	11:51:57	51.06	108.37	52.81			
1922	11:51:58	51.06	108.44	52.88			
1923	11:52:00	51.13	108.44	52.94			
1924	11:52:01	51.13	108.44	52.88			
1925	11:52:03	51.13	108.44	52.88			
1926	11:52:05	51.13	108.44	52.88			
1927	11:52:06	51.13	108.44	52.94			
1928	11:52:08	51.06	108.44	52.81			
1929	11:52:09	51.06	108.44	52.88			
1930	11:52:11	51.06	108.44	52.94			
1931	11:52:12	51.19	108.44	52.88			

Gambar 4.39. Data Hasil pengujian Pada Waktu 50 menit Di Suhu 16°C

	A	B	C	D	E	F	G
2297	12:01:51	54.63	109.31	55.5			
2298	12:01:53	54.69	109.31	55.56			
2299	12:01:55	54.69	109.31	55.5			
2300	12:01:56	54.69	109.31	55.5			
2301	12:01:58	54.69	109.31	55.44			
2302	12:01:59	54.63	109.31	55.44			
2303	12:02:01	54.69	109.31	55.56			
2304	12:02:02	54.69	109.31	55.56			
2305	12:02:04	54.63	109.31	55.56			
2306	12:02:06	54.63	109.31	55.5			
2307	12:02:07	54.75	109.31	55.56			
2308	12:02:09	54.69	109.31	55.56			
2309	12:02:10	54.69	109.31	55.56			
2310	12:02:12	54.75	109.31	55.56			
2311	12:02:13	54.75	109.31	55.69			

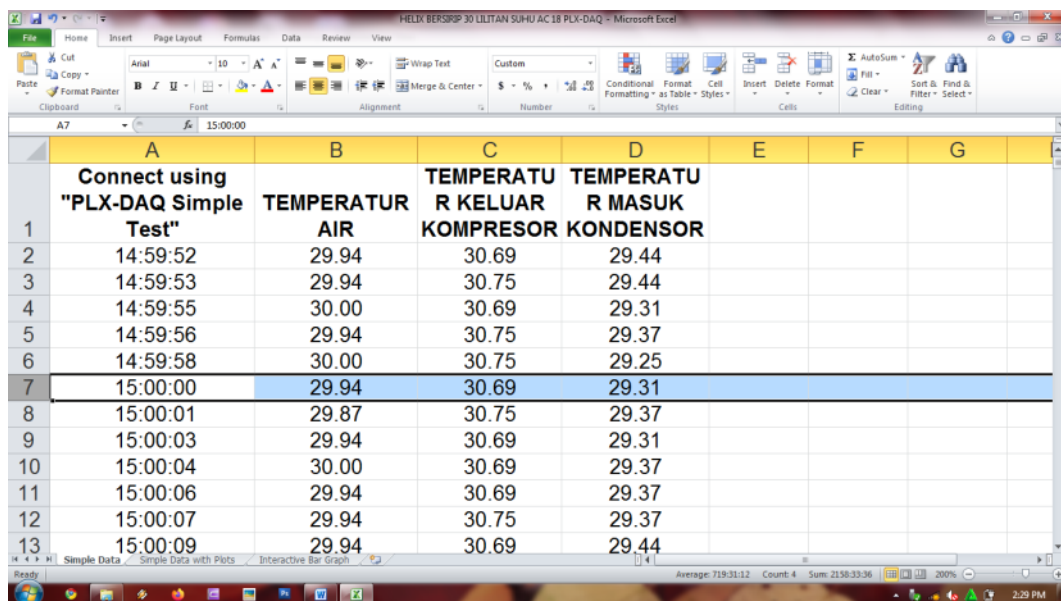
Gambar 4.40. Data Hasil Pengujian Pada Waktu 60 menit Di Suhu 16°C

Data Hasil Pengujian Temperatur 18°C



	A	B	C	D	E	F	G
	Connect using "PLX-DAQ Simple Test"	TEMPERATUR AIR	TEMPERATU R KELUAR KOMPRESOR	TEMPERATU R MASUK KONDENSOR			
1							
2	14:59:52	29.94	30.69	29.44			
3	14:59:53	29.94	30.75	29.44			
4	14:59:55	30.00	30.69	29.31			
5	14:59:56	29.94	30.75	29.37			
6	14:59:58	30.00	30.75	29.25			
7	15:00:00	29.94	30.69	29.31			
8	15:00:01	29.87	30.75	29.37			
9	15:00:03	29.94	30.69	29.31			
10	15:00:04	30.00	30.69	29.37			
11	15:00:06	29.94	30.69	29.37			
12	15:00:07	29.94	30.75	29.37			
13	15:00:09	29.94	30.69	29.44			

Gambar 4.41. Data Hasil Pengujian Temperatur Awal Di Suhu 18°C



	A	B	C	D	E	F	G
	Connect using "PLX-DAQ Simple Test"	TEMPERATUR AIR	TEMPERATU R KELUAR KOMPRESOR	TEMPERATU R MASUK KONDENSOR			
1							
2	14:59:52	29.94	30.69	29.44			
3	14:59:53	29.94	30.75	29.44			
4	14:59:55	30.00	30.69	29.31			
5	14:59:56	29.94	30.75	29.37			
6	14:59:58	30.00	30.75	29.25			
7	15:00:00	29.94	30.69	29.31			
8	15:00:01	29.87	30.75	29.37			
9	15:00:03	29.94	30.69	29.31			
10	15:00:04	30.00	30.69	29.37			
11	15:00:06	29.94	30.69	29.37			
12	15:00:07	29.94	30.75	29.37			
13	15:00:09	29.94	30.69	29.44			

Gambar 4.42. Data Pada Waktu Memulai Pengujian Di Suhu 18°C

	A	B	C	D	E	F	G
384	15:09:51	32.63	70.56	33			
385	15:09:53	32.75	70.62	33			
386	15:09:54	32.69	70.75	32.88			
387	15:09:56	32.69	70.87	33.06			
388	15:09:58	32.75	70.94	33.06			
389	15:09:59	32.88	71.06	33			
390	15:10:01	32.88	71.12	33			
391	15:10:02	32.88	71.19	33.06			
392	15:10:04	32.88	71.31	33			
393	15:10:05	32.88	71.44	33			
394	15:10:07	32.88	71.56	33.06			
395	15:10:09	32.88	71.62	33.06			
396	15:10:10	32.88	71.69	33.06			
397	15:10:12	32.88	71.81	33.06			
398	15:10:13	32.88	71.94	33.06			

Gambar 4.43. Data Hasil Pengujian Pada Waktu 10 menit Di Suhu 18°C

	A	B	C	D	E	F	G
766	15:19:51	37.31	97.5	39.06			
767	15:19:53	37.31	97.62	39.06			
768	15:19:54	37.31	97.62	39.06			
769	15:19:56	37.25	97.62	39.19			
770	15:19:57	37.38	97.69	39.13			
771	15:19:59	37.31	97.75	39.13			
772	15:20:01	37.38	97.81	39.25			
773	15:20:02	37.31	97.81	39.25			
774	15:20:04	37.38	97.87	39.19			
775	15:20:05	37.38	97.87	39.19			
776	15:20:07	37.44	97.94	39.25			
777	15:20:08	37.31	98	39.38			
778	15:20:10	37.31	98	39.44			
779	15:20:12	37.31	98.06	39.38			
780	15:20:13	37.31	98.06	39.44			

Gambar 4.44. Data Hasil Pengujian Pada Waktu 20 menit Suhu 18°C

	A	B	C	D	E	F	G
1145	15:29:50	42.06	107.25	45.19			
1146	15:29:51	42.13	107.25	45.19			
1147	15:29:53	42.13	107.25	45.19			
1148	15:29:54	42.13	107.25	45.31			
1149	15:29:56	42.19	107.25	45.25			
1150	15:29:57	42.19	107.31	45.19			
1151	15:29:59	42.19	107.31	45.31			
1152	15:30:01	42.25	107.31	45.25			
1153	15:30:02	42.25	107.31	45.25			
1154	15:30:04	42.31	107.31	45.25			
1155	15:30:05	42.19	107.31	45.38			
1156	15:30:07	42.19	107.37	45.31			
1157	15:30:08	42.25	107.37	45.38			
1158	15:30:10	42.31	107.37	45.44			
1159	15:30:12	42.31	107.37	45.44			

Gambar 4.45. Data Hasil Pengujian Pada Waktu 30 menit Suhu 18°C

	A	B	C	D	E	F	G
1524	15:39:49	46.88	109.19	49.56			
1525	15:39:50	46.75	109.19	49.5			
1526	15:39:52	46.88	109.31	49.56			
1527	15:39:54	47.00	109.25	49.5			
1528	15:39:55	46.94	109.19	49.63			
1529	15:39:57	46.81	109.31	49.63			
1530	15:39:58	46.88	109.19	49.56			
1531	15:40:00	46.94	109.25	49.56			
1532	15:40:02	46.88	109.19	49.63			
1533	15:40:03	47.00	109.19	49.69			
1534	15:40:05	47.06	109.25	49.63			
1535	15:40:06	46.94	109.19	49.69			
1536	15:40:08	47.06	109.19	49.63			
1537	15:40:09	47.06	109.12	49.69			
1538	15:40:11	47.00	109.19	49.75			

Gambar 4.46. Data Hasil Pengujian Pada Waktu 40 menit Suhu 18°C

	A	B	C	D	E	F	G
1903	15:49:48	51.25	109.37	52.75			
1904	15:49:50	51.25	109.25	52.88			
1905	15:49:52	51.31	109.25	52.81			
1906	15:49:53	51.31	109.25	52.81			
1907	15:49:55	51.25	109.25	52.88			
1908	15:49:56	51.31	109.31	52.75			
1909	15:49:58	51.25	109.31	52.88			
1910	15:50:00	51.25	109.31	52.94			
1911	15:50:01	51.38	109.31	52.94			
1912	15:50:03	51.31	109.31	52.88			
1913	15:50:04	51.31	109.31	52.94			
1914	15:50:06	51.31	109.31	52.88			
1915	15:50:07	51.38	109.31	52.81			
1916	15:50:09	51.31	109.25	52.94			
1917	15:50:11	51.31	109.25	52.94			

Gambar 4.47. Data Hasil Pengujian Pada Waktu 50 menit Suhu 18°C

	A	B	C	D	E	F	G
2284	15:59:51	54.94	109.56	55.38			
2285	15:59:53	54.94	109.62	55.38			
2286	15:59:54	55.00	109.62	55.5			
2287	15:59:56	55.00	109.62	55.44			
2288	15:59:58	54.94	109.56	55.5			
2289	15:59:59	54.94	109.56	55.44			
2290	16:00:01	55.00	109.62	55.44			
2291	16:00:02	55.06	109.62	55.44			
2292	16:00:04	55.00	109.62	55.5			
2293	16:00:06	54.94	109.62	55.44			
2294	16:00:07	54.94	109.62	55.5			
2295	16:00:09	55.00	109.62	55.5			
2296	16:00:10	55.00	109.62	55.5			
2297	16:00:12	54.94	109.56	55.5			
2298	16:00:13	55.00	109.62	55.44			

Gambar 4.48. Data Hasil Pengujian Pada Waktu 60 menit Suhu 18°C

Hasil Data Pengujian Temperatur 20°C

	A	B	C	D	E	F	G
	Connect using "PLX-DAQ Simple Test"	TEMPERATUR AIR	TEMPERATUR KELUAR KOMPRESOR	TEMPERATUR MASUK KONDENSOR			
1	17:29:25	28.81	32.19	29.56			
2	17:29:26	28.81	32.19	29.56			
3	17:29:28	28.87	32.19	29.44			
4	17:29:29	28.81	32.13	29.5			
5	17:29:31	28.75	32.19	29.44			
6	17:29:33	28.81	32.13	29.44			
7	17:29:34	28.87	32.13	29.5			
8	17:29:36	28.87	32.13	29.44			
9	17:29:37	28.81	32.38	29.5			
10	17:29:39	28.69	33.06	29.44			
11	17:29:40	28.81	34.19	29.56			
12	17:29:42	28.81	35.69	29.5			

Gambar 4.49. Data Hasil Temperatur Awal Di Suhu 20°C

	A	B	C	D	E	F	G
19	17:29:51	28.87	46.06	29.69			
20	17:29:53	28.94	47.5	29.81			
21	17:29:54	28.81	48.88	29.81			
22	17:29:56	28.81	50.19	29.87			
23	17:29:57	28.81	51.44	29.87			
24	17:29:59	28.94	52.56	30			
25	17:30:01	28.94	53.69	30.12			
26	17:30:02	28.87	54.69	30.19			
27	17:30:04	28.75	55.69	30.06			
28	17:30:05	28.87	56.56	30.06			
29	17:30:07	28.94	57.38	30.06			
30	17:30:08	28.87	58.19	30.06			
31	17:30:10	28.94	58.94	30.06			
32	17:30:11	29.00	59.56	30			
33	17:30:13	28.94	60.25	29.94			

Gambar 4.50. Data Hasil Memulai Pengujian Di Suhu 20°C

	A	B	C	D	E	F	G
401	17:39:51	32.88	96	33.75			
402	17:39:52	32.88	96.06	33.69			
403	17:39:54	32.88	96.06	33.81			
404	17:39:56	32.88	96.12	33.81			
405	17:39:57	32.88	96.12	33.81			
406	17:39:59	32.88	96.19	33.81			
407	17:40:00	32.88	96.19	33.81			
408	17:40:02	32.88	96.25	33.88			
409	17:40:03	32.88	96.31	33.88			
410	17:40:05	32.88	96.31	33.88			
411	17:40:07	33.00	96.37	34			
412	17:40:08	33.00	96.37	34.06			
413	17:40:10	33.06	96.44	34.06			
414	17:40:11	33.13	96.44	34			
415	17:40:13	33.06	96.5	33.88			

Gambar 4.51. Data Hasil Pengujian Pada Waktu 10 menit Suhu 20°C

	A	B	C	D	E	F	G
781	17:49:50	37.44	104.37	40.19			
782	17:49:52	37.56	104.37	40.19			
783	17:49:53	37.56	104.37	40.25			
784	17:49:55	37.56	104.37	40.25			
785	17:49:57	37.56	104.37	40.25			
786	17:49:58	37.56	104.37	40.19			
787	17:50:00	37.56	104.44	40.19			
788	17:50:01	37.44	104.44	40.19			
789	17:50:03	37.63	104.44	40.25			
790	17:50:04	37.56	104.44	40.31			
791	17:50:06	37.63	104.5	40.25			
792	17:50:08	37.50	104.5	40.31			
793	17:50:09	37.44	104.5	40.31			
794	17:50:11	37.56	104.5	40.25			
795	17:50:12	37.69	104.5	40.38			

Gambar 4.52. Data Hasil Pengujian Pada Waktu 20 menit Suhu 20°C

	A	B	C	D	E	F	G
1162	17:59:52	41.88	104.19	44.25			
1163	17:59:54	41.88	104.19	44.31			
1164	17:59:55	41.88	104.19	44.25			
1165	17:59:57	41.88	104.12	44.25			
1166	17:59:58	41.94	104.12	44.44			
1167	18:00:00	41.94	104.12	44.38			
1168	18:00:02	41.88	104.12	44.31			
1169	18:00:03	42.00	104.12	44.31			
1170	18:00:05	42.00	104.12	44.44			
1171	18:00:06	42.00	104.06	44.38			
1172	18:00:08	42.06	104.06	44.38			
1173	18:00:09	42.00	104.06	44.31			
1174	18:00:11	42.06	104.06	44.38			
1175	18:00:13	42.06	104.06	44.31			
1176	18:00:14	42.06	104	44.38			

Gambar 4.53. Data Hasil Pengujian Pada Waktu 30 menit Suhu 20°C

	A	B	C	D	E	F	G
1541	18:09:50	46.13	103.5	47.63			
1542	18:09:52	46.13	103.5	47.69			
1543	18:09:54	46.19	103.5	47.75			
1544	18:09:55	46.19	103.5	47.69			
1545	18:09:57	46.13	103.5	47.75			
1546	18:09:58	46.25	103.5	47.75			
1547	18:10:00	46.25	103.5	47.75			
1548	18:10:01	46.13	103.5	47.75			
1549	18:10:03	46.13	103.5	47.69			
1550	18:10:05	46.13	103.5	47.75			
1551	18:10:06	46.38	103.5	47.75			
1552	18:10:08	46.25	103.5	47.81			
1553	18:10:09	46.13	103.5	47.81			
1554	18:10:11	46.25	103.5	47.81			
1555	18:10:13	46.19	103.5	47.69			

Gambar 4.54. Data Hasil Pengujian Pada Waktu 40 menit Suhu 20°C

	A	B	C	D	E	F	G
1922	18:19:52	49.63	103.25	50.06			
1923	18:19:54	49.75	103.31	50			
1924	18:19:55	49.63	103.25	50			
1925	18:19:57	49.75	103.25	50.06			
1926	18:19:58	49.75	103.25	50.06			
1927	18:20:00	49.81	103.25	50.06			
1928	18:20:01	49.69	103.25	50.13			
1929	18:20:03	49.75	103.25	50.13			
1930	18:20:05	49.69	103.25	50.06			
1931	18:20:06	49.69	103.25	50.19			
1932	18:20:08	49.75	103.25	50.13			
1933	18:20:09	49.75	103.19	50.13			
1934	18:20:11	49.69	103.25	50.13			
1935	18:20:12	49.69	103.25	50.13			
1936	18:20:14	49.88	103.19	50.19			

Gambar 4.55. Data Hasil Pengujian Pada Waktu 50 menit Suhu 20°C

	A	B	C	D	E	F	G
2303	18:29:54	52.63	103.5	51.88			
2304	18:29:55	52.63	103.5	51.94			
2305	18:29:57	52.69	103.5	51.88			
2306	18:29:58	52.69	103.5	51.88			
2307	18:30:00	52.75	103.5	51.94			
2308	18:30:01	52.69	103.5	52			
2309	18:30:03	52.56	103.5	51.88			
2310	18:30:05	52.69	103.5	51.94			
2311	18:30:06	52.69	103.5	51.94			
2312	18:30:08	52.63	103.5	51.88			
2313	18:30:09	52.69	103.5	52			
2314	18:30:11	52.69	103.5	51.88			
2315	18:30:12	52.63	103.56	51.94			
2316	18:30:14	52.69	103.56	51.94			
2317	18:30:16	52.63	103.56	51.94			

Gambar 4.56. Data Hasil Pengujian Pada Waktu 60 menit Suhu 20°C

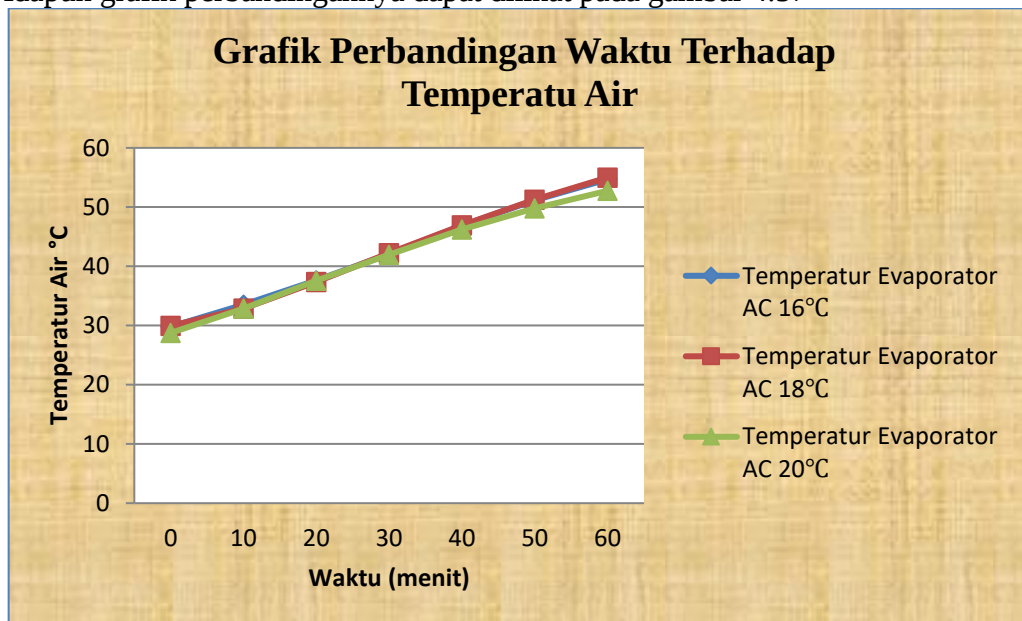
4.4.2 Hasil Pengujian Waktu Terhadap Temperatur Air

Pada pelaksanaan pengujian, didapat temperatur air yang dihasilkan oleh temperature evaporator AC. Adapun variabel yang diperoleh dapat dilihat pada tabel 4.1.

Tabel 4.1 Data Hasil Pengujian Temperatur Air

Waktu (menit)	Temperatur Evaporator AC 16°C (°C)	Temperatur Evaporator AC 18°C (°C)	Temperatur Evaporator AC 20°C (°C)
0	29,81	29,94	28,75
10	33,50	32,88	32,88
20	37,63	37,38	37,56
30	42,06	42,25	41,94
40	46,88	46,94	46,25
50	51,13	51,25	49,81
60	54,69	55	52,75

Adapun grafik perbandingannya dapat dilihat pada gambar 4.57



Gambar 4.57 Grafik Perbandingan Waktu Terhadap Temperatur Air

Pada grafik perbandingan waktu terhadap temperatur air diatas dapat kita simpulkan, dimana temperatur evaporator AC 20°C menghasilkan temperatur air terendah yaitu temperatur air yang dihasilkan sebesar 52,75°C dengan waktu pengujian selama 60 menit.

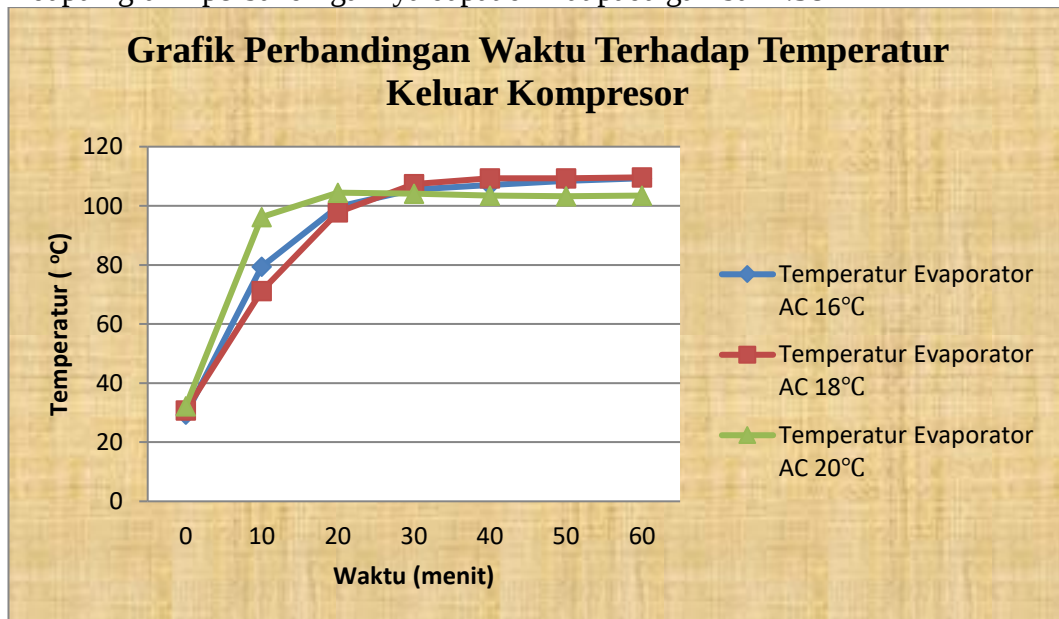
4.4.3. Hasil Pengujian Waktu Terhadap Temperatur Keluar Kompresor

Pada pelaksanaan pengujian, didapat temperatur *refrigeran* keluar kompresor yang dihasilkan oleh temperatur Evaporator AC. Adapun variabel yang diperoleh dapat dilihat pada tabel 4.2.

Tabel 4.2 Data Hasil Pengujian Temperatur Keluar Kompresor

Waktu (menit)	Temperatur Evaporator AC 16°C (°C)	Temperatur Evaporator AC 18°C (°C)	Temperatur Evaporator AC 20°C (°C)
0	29,31	30,75	32,19
10	79,37	71,12	96,19
20	99,62	97,81	104,44
30	105,56	107,31	104,12
40	107	109,25	103,5
50	108,44	109,31	103,25
60	109,31	109,62	103,5

Adapun grafik perbandingannya dapat dilihat pada gambar 4.58



Gambar 4.58 Grafik Perbandingan Waktu Terhadap Temperatur Keluar Kompresor

Pada grafik perbandingan waktu terhadap temperatur keluar kompresor diatas dapat kita simpulkan, dimana kenaikan temperatur tercepat dialami oleh temperatur evaporator AC 16°C, sebesar 109,31°C. Berbeda dengan temperatur evaporator AC 20°C yang menghasilkan temperatur terendah yaitu sebesar 103,5°C. Dengan pengujian selama 60 menit.

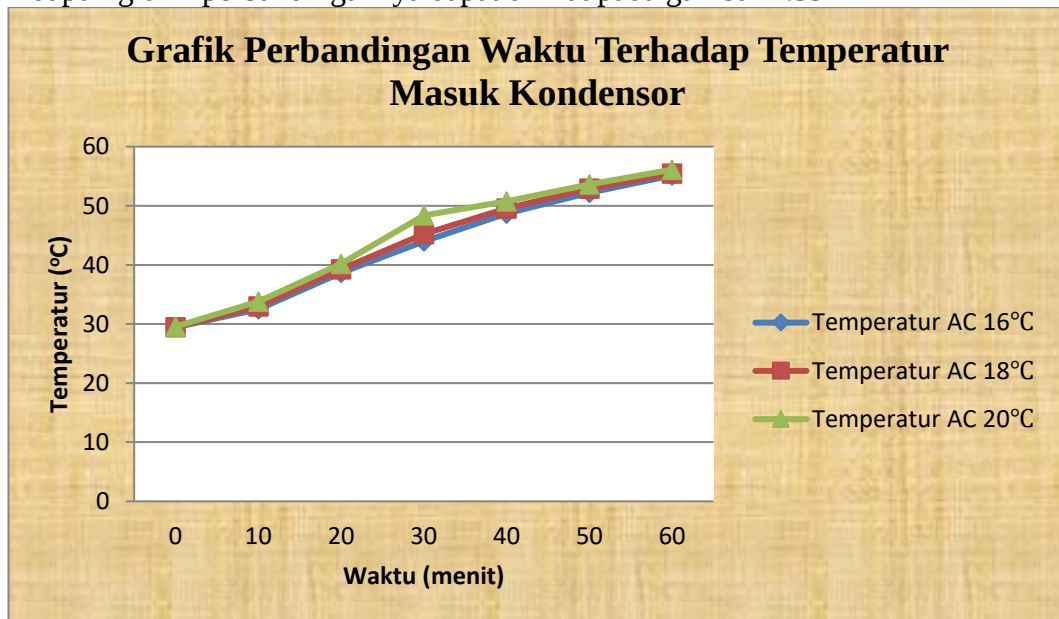
4.4.4 Data Hasil Pengujian Temperatur *Refrigeran* Masuk Kondensor

Pada pelaksanaan pengujian, didapat temperatur *refrigeran* keluar kompresor yang dihasilkan oleh temperatur evaporator AC. Adapun variabel yang diperoleh dapat dilihat pada tabel 4.3.

Tabel 4.3 Data Hasil Pengujian Temperatur Masuk Kondensor

Waktu (menit)	Temperatur Evaporator AC 16°C (°C)	Temperatur Evaporator AC 18°C (°C)	Temperatur Evaporator AC 20°C (°C)
0	29,45	29,44	29,56
10	32,50	33	33,81
20	38,69	39,25	40,19
30	44	45,25	48,38
40	48,69	49,56	50,75
50	52,19	52,94	53,6
60	55,13	55,44	56,13

Adapun grafik perbandingannya dapat dilihat pada gambar 4.59



Gambar 4.59 Grafik Waktu Terhadap Temperatur Masuk Kondensor

Pada grafik perbandingan waktu terhadap temperatur masuk kondensor diatas dapat kita simpulkan, dimana temperatur evaporator AC 16°C menghasilkan temperature masuk kondensor sebesar 55,13°C. Berbeda dengan temperature evaporator AC 20°C yang menghasilkan lebih besar temperatur masuk kondensor yaitu sebesar 56,13°C, dengan waktu pengujian selama 60 menit.

4.5 Pengolahan dan Perhitungan Data

4.5.1 Perhitungan Perpindahan Panas Dari *Shell Helical Coil* bersirip ke Air

Perhitungan ini dilakukan dengan cara menghitung perpindahan panas yang terjadi dari *Shell helical coil* bersirip ke air dengan menggunakan 3 temperatur AC yang berbeda dan volume air yang sama yaitu 60 liter. Adapun perhitungannya sebagai berikut:

1. Perhitungan pada temperatur Evaporator AC 16°C

Pada saat proses pengujian diketahui data sebagai berikut:

Dik:	Volume air (v)	= 60 liter = 60 kg
	Diameter dalam pipa (d_i)	= 5,53mm = 0,00553 m
	Diameter luar pipa (d_o)	= 6,35mm = 0,00635 m
	Panjang pipa (L)	= 16 m
	Temperatur awal air (T_{ai})	= 29,81°C
	Temperatur akhir air (T_{ao})	= 54,69°C
	ΔT_{air}	= 24,88°C
	Temperatur masuk tangki (T_{ci})	= 91,23°C
	Temperatur keluar tangki (T_{co})	= 42,95°C
	ΔT_{coil}	= 48,28°C
	Waktu pemanasan (Δt)	= 1 jam = 3600 detik

Daya kompresor ($\dot{W}_c$) = 880 W = 0,88Kw

Panjang Sirip (L)	= 4 cm = 0,04m
Tebal Sirip (t)	= 0,4mm = 0,0004 m

$\Delta T_{coil} - \Delta T_{air} (\theta_0)$	= 23,4°C
Kedalaman Sirip (A)	= 60 cm = 0,06 m
	= (0,06) × (0,04 × 10 ⁻³)
	= 0,24 × 10 ⁻³
Jumlah Sirip (N)	= 64

Untuk menghitung energi (W) digunakan rumus sebagai berikut:

$$W = m_{air} \times C_{air} \times \Delta T_{air}$$

Dimana: C_{air} = panas jenis air

$$T_{ra} = \frac{T_{ai} + T_{ao}}{2} = \frac{29,81 + 54,69}{2} = 42,25^{\circ}\text{C}$$

didapat dari tabel

Tabel 4.4 propertis air	
T	C_{air}
37,78	4,174
42,25	
43,33	4,174

Interpolasi:

$$C_{air} = 4,174 + \frac{(4,174 - 4174)}{(43,33 - 37,78)} \cdot (42,25 - 37,78)$$

$$C_{air} = 4,208 + (0) \cdot (4,47)$$

$$C_{air} = 4,174 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot ^{\circ}\text{C}} = 4174 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot ^{\circ}\text{C}}$$

Maka didapat:

$$W = 60\text{kg} \times 4174 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot ^{\circ}\text{C}} \times 24,88^{\circ}\text{C}$$

$$W = 6230947,2\text{J} = 6,23\text{MJ}$$

Untuk menghitung koefisien perpindahan panas pada sisi luar coil (h_o) digunakan rumus sebagai berikut:

$$h_o = \frac{W}{A_o \cdot \Delta T_{air} \cdot \Delta T} = \frac{W}{\pi \cdot d_o \cdot L \cdot \Delta T \cdot \Delta t}$$

$$h_o = \frac{6230947,2\text{J}}{\pi \times 0,00635\text{m} \times 16\text{m} \times 23,82^{\circ}\text{C} \times 3600\text{s}}$$

$$h_o = \frac{6230947,2}{28574,34} = 218,060 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}}$$

Untuk menghitung kapasitas penukar pakar (Q_{coil}) digunakan rumus berikut:

$$Q_{coil} = \dot{m} \cdot C_f \cdot (\Delta T_{coil})$$

Dimana: C_f = panas jenis freon

$\dot{m}$ = laju aliran massa freon

Terlebih dahulu mencari laju aliran massa dengan rumus sebagai berikut:

$$\dot{m} = \frac{W_c}{H_o - H_i}$$

Dimana : H_o = Entalpy keluar tangki

H_i = Entalpy masuk tangki

$$T_{co} = 42,95^\circ\text{C}$$

Didapat dari tabel:

Tabel 4.5 propertis <i>refrigerant</i> R22	
T	H_o
48	417,27
42,95	
50	417,44

Dari hasil interpolasi diperoleh H_o pada temperatur $42,95^\circ\text{C}$ sebesar

$$416,68 \text{ kJ/kg}$$

$$T_{ci} = 91,23^\circ\text{C}$$

Didapat dari tabel:

Tabel 4.6 propertis <i>refrigerant</i> R22	
T	H_i
90	401,87
91,23	
95	387,28

Dari hasil interpolasi diperoleh H_i pada temperatur $91,23^\circ\text{C}$ sebesar

$$398,28 \text{ kJ/kg}$$

Maka didapat:

$$\dot{m} = \frac{0,88}{416,68 - 398,28}$$

$$\dot{m} = 0,047 \text{ kg/s}$$

$$T_{rc} = \frac{T_{ci} + T_{co}}{2} = \frac{91,23 + 42,95}{2} = 67,09^\circ\text{C}$$

didapat dari tabel:

Tabel 4.7 propertis <i>refrigerant</i> R22	
T	C_{freon}
65	1,413
67,09	
70	1,584

Dari hasil interpolasi diperoleh C_{freon} pada Temperatur 71,32°C sebesar

$$1,484 \frac{kJ}{kg \cdot K} = 1484 \frac{J}{kg \cdot ^\circ C}$$

Maka didapat:

$$Q_{coil} = 0,047 \frac{kg}{s} \times 1484 \frac{J}{kg \cdot ^\circ C} \times 48,28^\circ C$$

$$Q_{coil} = 3295,78W$$

Untuk menghitung laju *refrigerant* (v) digunakan rumus sebagai berikut:

$$v = \frac{\dot{m}}{\rho(0,25 \cdot \pi \cdot d_i^2)}$$

Dimana: ρ = rapat massa (*density*) freon

Didapat dari tabel:

Tabel 4.8 propertis <i>refrigerant</i> R22	
T	ρ
65	1001,4
67,09	
70	967,7

Dari hasil interpolasi diperoleh ρ_{freon} pada Temperatur 67,09°C sebesar

$$988,1 \frac{kg}{m^3}$$

Maka didapat:

$$v = \frac{0,047 \frac{kg}{s}}{988,1 \frac{kg}{m^3} (0,25 \times \pi \times 0,00553^2 m)}$$

$$v = \frac{0,047}{0,023} = 2,04 \frac{m}{s}$$

Untuk menghitung bilangan reynold (R_e) digunakan rumus sebagai berikut:

$$R_e = \frac{\rho \cdot v \cdot d_i}{\mu}$$

Dimana: μ = viskositas freon

Didapat dari tabel:

Tabel 4.9 propertis <i>refrigerant</i> R22	
T	$\mu \cdot 10^{-5}$
65	15,46
67,09	
70	16,02

Dari hasil interpolasi diperoleh μ_{freon} pada Temperatur 67,09 °C sebesar

$$15,69 \times 10^{-5} \text{ kg/m} \cdot \text{s}$$

Maka didapat:

$$R_e = \frac{988,1 \text{ kg/m}^3 \times 2,04 \text{ m/s} \times 0,00553 \text{ m}}{15,69 \times 10^{-5} \text{ kg/m} \cdot \text{s}}$$

$$R_e = \frac{11,146}{15,69 \times 10^{-5}} = 710388,782 > 2300 \text{ Turbulen}$$

Untuk mencari bilangan nusselt (N_u) digunakan rumus sebagai berikut:

$$N_u = 0,023 \cdot \text{Re}^{4/5} \cdot \text{Pr}^{0,4} \cdot \left(\frac{d_i}{D} \right)^{0,1}$$

Dimana: D = diameter apk = 0,15

Pr = bilangan prandalt

Terlebih dahulu mencari bilangan prandalt, dengan rumus:

$$\text{Pr} = \frac{C_{\text{freon}} \cdot \mu}{K_{\text{freon}}}$$

Dimana: K_{freon} = konduktivitas termal freon

Didapat dari tabel:

Tabel 4.10 propertis <i>refrigerant</i> R22	
T	K
65	17,61
67,09	
70	19,16

Dari hasil interpolasi diperoleh K_{freon} pada Temperatur $67,09^\circ\text{C}$ sebesar $18,26 \text{ W/m} \cdot ^\circ\text{C}$

Maka didapat:

$$\text{Pr} = \frac{1482 \text{ J/kg} \cdot ^\circ\text{C} \cdot 15,69 \times 10^{-5} \text{ kg/m} \cdot \text{s}}{18,26 \text{ W/m} \cdot ^\circ\text{C}}$$

$$\text{Pr} = \frac{0,232}{18,26} = 0,012$$

Dan didapat bilangan nusselt

$$N_u = 0,023 \times 710388,782^{4/5} \times 0,012^{0,4} \times \left(\frac{0,00553 \text{ m}}{0,15 \text{ m}} \right)^{0,1}$$

$$N_u = 0,023 \times 47995,097 \times 0,170 \times 0,718 = 134,740$$

Untuk mencari koefisien perpindahan panas sisi dalam coil (h_i) digunakan rumus sebagai berikut:

$$h_i = \frac{N_u \cdot K_{\text{freon}}}{d_i}$$

$$h_i = \frac{134,740 \times 18,26 \text{ W/m} \cdot ^\circ\text{C}}{0,00553} = 444910,018 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$$

Untuk menghitung resistensi thermal (R_{th}) digunakan rumus sebagai berikut:

$$R_{th} = \frac{1}{A_i \cdot h_i} + \frac{1}{A_o \cdot h_o} + \frac{\ln\left(\frac{d_i}{D}\right)}{2 \cdot \pi \cdot K \cdot L}$$

Dimana: K = konduktivitas thermal tembaga = $385 \text{ W/m} \cdot ^\circ\text{C}$

$$R_{th} = \frac{1}{\pi \cdot 0,00553 \text{ m} \cdot 16 \text{ m} \cdot 444910,018 \text{ W/m} \cdot ^\circ\text{C}} + \frac{1}{\pi \cdot 0,00635 \text{ m} \cdot 16 \text{ m} \cdot 218,060 \text{ W/m} \cdot ^\circ\text{C}} + \frac{\ln\left(\frac{0,00553 \text{ m}}{0,15}\right)}{2 \cdot \pi \cdot 385 \text{ W/m} \cdot ^\circ\text{C} \cdot 16 \text{ m}}$$

$$R_{th} = \frac{1}{123608,104} + \frac{1}{69,566} + \frac{-3,3}{38684,8} = 0,014^\circ\text{C/W}$$

Untuk menghitung koefisien perpindahan panas menyeluruh (U) digunakan rumus sebagai berikut:

$$U = \frac{1}{\frac{1}{h_i} + \frac{1}{h_o}}$$

$$U = \frac{1}{\frac{1}{444910,018 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}} + \frac{1}{218,060 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}}}$$

$$U = \frac{1}{(2,24 \times 10^{-6}) + (0,00458)} = 218,233 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$$

Jadi laju perpindahan panas dari helical coil bersirip ke air (Q) digunakan rumus sebagai berikut:

$$Q = U \cdot A_o \cdot \Delta T_{air}$$

$$Q = 218,233 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C} \cdot \pi \cdot 0,00635 \text{ m} \cdot 16 \text{ m} \cdot 24,88^\circ\text{C}$$

$$Q = 1732,184 \text{ W}$$

Laju perpindahan panas dari sirip ke air (Q) digunakan rumus sebagai berikut :

$$L_c = L + \frac{t}{2}$$

$$= 0,04 \text{ m} + \frac{0,0004 \text{ m}}{2}$$

$$= 0,0402 \text{ m}$$

$$m = \sqrt{\frac{2 \cdot h_o}{K \cdot t}} = \left[\frac{2 \cdot 218,060}{385(0,4 \times 10^{-3})} \right]^{\frac{1}{2}} = \left[\frac{436,12}{0,154} \right]^{\frac{1}{2}} = 53,21$$

$$Q = m \cdot K \cdot A \cdot \theta_0 \cdot \tanh(m \cdot L_c)$$

$$Q = 53,21 \times 385 \times (0,24 \times 10^{-3}) \times 23,4 \times \tanh(53,21 \times 0,0402)$$

$$Q = 53,21 \times 385 \times 0,00024 \times 23,4 \times 0,97$$

$$Q = 111,60 \text{ W/m}$$

Efisiensi Sirip

$$\eta_f = \frac{Q}{h_o \cdot P \cdot L \cdot \theta_0} = \frac{Q}{h_o \cdot 2 \cdot L \cdot \theta_0} = \frac{111,60}{218,060 \times 2 \times 0,04 \times 23,4}$$

$$= \frac{111,60}{408,21} = 0,27$$

$$\eta_{total} = \eta_f \times N \times 100\% = 0,27 \times 64 \times 100\% = 17,2\%$$

2. Perhitungan pada temperatur Evaporator AC 18°C

Pada saat proses pengujian diketahui data sebagai berikut:

Dik:	Volume air (ν)	= 60 liter = 60 kg
	Diameter dalam pipa (d_i)	= 5,53mm = 0,00553 m
	Diameter luar pipa (d_o)	= 6,35mm = 0,00635 m
	Panjang pipa (L)	= 16 m
	Temperatur awal air (T_{ai})	= 29,94°C
	Temperatur akhir air (T_{ao})	= 55 °C
	ΔT_{air}	= 25,06°C
	Temperatur masuk tangki (T_{ci})	= 90,73°C
	Temperatur keluar tangki (T_{co})	= 43,55°C
	ΔT_{coil}	= 47,18°C
	Waktu pemanasan (Δt)	= 1 jam = 3600 detik
	Daya kompresor ($\dot{W}_c$)	= 880 W = 0,88Kw
	Panjang Sirip (L)	= 4 cm = 0,04m
	Tebal Sirip (t)	= 0,4mm = 0,0004 m
	$\Delta T_{coil} - \Delta T_{air} (\theta_0)$	= 23,4°C
	Kedalaman Sirip (A)	= 60 cm = 0,06 m
		= (0,06) × (0,04 × 10 ⁻³)
		= 0,24 × 10 ⁻³
	Jumlah Sirip (N)	= 64

Untuk menghitung energi (W) digunakan rumus sebagai berikut:

$$W = m_{air} \times C_{air} \times \Delta T_{air}$$

Dimana: C_{air} = panas jenis air

$$T_{ra} = \frac{T_{ai} + T_{ao}}{2} = \frac{29,94 + 55}{2} = 42,47^{\circ}\text{C}$$

didapat dari tabel

Tabel 4.4 propertis air	
T	C_{air}
37,78	4,174
42,47	
43,33	4,174

Interpolasi:

$$C_{air} = 4,174 + \frac{(4,174 - 4174)}{(43,33 - 37,78)} \cdot (42,47 - 37,78)$$

$$C_{air} = 4,174 + (0) \cdot (4,69)$$

$$C_{air} = 4,174 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot ^{\circ}\text{C}} = 4174 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot ^{\circ}\text{C}}$$

Maka didapat:

$$W = 60 \text{ kg} \times 4174 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot ^{\circ}\text{C}} \times 25,06^{\circ}\text{C}$$

$$W = 6276026,4 \text{ J} = 6,27 \text{ MJ}$$

Untuk menghitung koefisien perpindahan panas pada sisi luar coil (h_o) digunakan rumus sebagai berikut:

$$h_o = \frac{W}{A_o \cdot \Delta T_{air} \cdot \Delta T} = \frac{W}{\pi \cdot d_o \cdot L \cdot \Delta T \cdot \Delta t}$$

$$h_o = \frac{6276026,4 \text{ J}}{\pi \times 0,00635 \text{ m} \times 16 \text{ m} \times 25,06^{\circ}\text{C} \times 3600 \text{ s}}$$

$$h_o = \frac{6276026,4}{28781,069} = 218,060 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}}$$

Untuk menghitung kapasitas penukar pakar (Q_{coil}) digunakan rumus berikut:

$$Q_{coil} = \dot{m} \cdot C_f \cdot (\Delta T_{coil})$$

Dimana: C_f = panas jenis freon

$\dot{m}$ = laju aliran massa freon

Terlebih dahulu mencari laju aliran massa dengan rumus sebagai berikut:

$$\dot{m} = \frac{W_c}{H_o - H_i}$$

Dimana : H_o = Entalpy keluar tangki

H_i = Entalpy masuk tangki

$$T_{co} = 43,55^\circ\text{C}$$

Didapat dari tabel:

Tabel 4.5 propertis <i>refrigerant</i> R22	
T	H_o
48	417,27
43,55	
50	417,44

Dari hasil interpolasi diperoleh H_o pada temperatur $43,55^\circ\text{C}$ sebesar

$$417,02 \text{ kJ/kg}$$

$$T_{ci} = 90,73^\circ\text{C}$$

Didapat dari tabel:

Tabel 4.6 propertis <i>refrigerant</i> R22	
T	H_i
90	401,87
90,73	
95	387,28

Dari hasil interpolasi diperoleh H_i pada temperatur $90,73^\circ\text{C}$ sebesar

$$399,74 \text{ kJ/kg}$$

Maka didapat:

$$\dot{m} = \frac{0,88}{417,02 - 399,74}$$

$$\dot{m} = 0,050 \text{ kg/s}$$

$$T_{rc} = \frac{T_{ci} + T_{co}}{2} = \frac{90,73 + 43,55}{2} = 67,14^\circ\text{C}$$

didapat dari tabel:

Tabel 4.7 propertis <i>refrigerant</i> R22	
T	C_{freon}
65	1,413
67,14	
70	1,584

Dari hasil interpolasi diperoleh C_{freon} pada Temperatur 67,14°C sebesar

$$1,486 \frac{kJ}{kg \cdot K} = 1486 \frac{J}{kg \cdot ^\circ C}$$

Maka didapat:

$$Q_{coil} = 0,050 \frac{kg}{s} \times 1486 \frac{J}{kg \cdot ^\circ C} \times 47,18^\circ C$$

$$Q_{coil} = 3505,47W$$

Untuk menghitung laju *refrigerant* (v) digunakan rumus sebagai berikut:

$$v = \frac{\dot{m}}{\rho(0,25 \cdot \pi \cdot d_i^2)}$$

Dimana: ρ = rapat massa (*density*) freon

Didapat dari tabel:

Tabel 4.8 propertis <i>refrigerant</i> R22	
T	ρ
65	1001,4
67,14	
70	967,7

Dari hasil interpolasi diperoleh ρ_{freon} pada Temperatur 67,14°C sebesar

$$987,8 \frac{kg}{m^3}$$

Maka didapat:

$$v = \frac{0,050 \frac{kg}{s}}{987,8 \frac{kg}{m^3} (0,25 \times \pi \times 0,00553^2 m)}$$

$$v = \frac{0,050}{0,023} = 2,17 \frac{m}{s}$$

Untuk menghitung bilangan reynold (R_e) digunakan rumus sebagai berikut:

$$R_e = \frac{\rho \cdot v \cdot d_i}{\mu}$$

Dimana: μ = viskositas freon

Didapat dari tabel:

Tabel 4.9 propertis <i>refrigerant</i> R22	
T	$\mu \cdot 10^{-5}$
65	15,46
67,14	
70	16,02

Dari hasil interpolasi diperoleh μ_{freon} pada Temperatur 67,14 °C sebesar

$$15,70 \times 10^{-5} \text{ kg/m} \cdot \text{s}$$

Maka didapat:

$$R_e = \frac{987,8 \text{ kg/m}^3 \times 2,17 \text{ m/s} \times 0,00553 \text{ m}}{15,70 \times 10^{-5} \text{ kg/m} \cdot \text{s}}$$

$$R_e = \frac{11,853}{15,70 \times 10^{-5}} = 754968,152 > 2300 \text{ Turbulen}$$

Untuk mencari bilangan nusselt (N_u) digunakan rumus sebagai berikut:

$$N_u = 0,023 \cdot \text{Re}^{4/5} \cdot \text{Pr}^{0,4} \cdot \left(\frac{d_i}{D} \right)^{0,1}$$

Dimana: D = diameter apk = 0,15

Pr = bilangan prandalt

Terlebih dahulu mencari bilangan prandalt, dengan rumus:

$$\text{Pr} = \frac{C_{\text{freon}} \cdot \mu}{K_{\text{freon}}}$$

Dimana: K_{freon} = konduktivitas termal freon

Didapat dari tabel:

Tabel 4.10 propertis <i>refrigerant</i> R22	
T	K
65	17,61
67,14	
70	19,16

Dari hasil interpolasi diperoleh K_{freon} pada Temperatur $67,14^{\circ}\text{C}$ sebesar $18,27 \text{ W/m} \cdot ^{\circ}\text{C}$

Maka didapat:

$$\text{Pr} = \frac{1486 \text{ J/kg} \cdot ^{\circ}\text{C} \cdot 15,70 \times 10^{-5} \text{ kg/m} \cdot \text{s}}{18,27 \text{ W/m} \cdot ^{\circ}\text{C}}$$

$$\text{Pr} = \frac{0,239}{18,27} = 0,012$$

Dan didapat bilangan nusselt

$$N_u = 0,023 \times 754968,152^{4/5} \times 0,012^{0,4} \times \left(0,00553 \text{ m} / 0,15 \text{ m} \right)^{0,1}$$

$$N_u = 0,023 \times 50389,831 \times 0,170 \times 0,718 = 307,529$$

Untuk mencari koefisien perpindahan panas sisi dalam coil (h_i) digunakan rumus sebagai berikut:

$$h_i = \frac{N_u \cdot K_{\text{freon}}}{d_i}$$

$$h_i = \frac{307,529 \times 18,27 \text{ W/m} \cdot ^{\circ}\text{C}}{0,00553} = 1016013,531 \text{ W/m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}$$

Untuk menghitung resistensi thermal (R_{th}) digunakan rumus sebagai berikut:

$$R_{th} = \frac{1}{A_i \cdot h_i} + \frac{1}{A_o \cdot h_o} + \frac{\ln\left(\frac{d_i}{D}\right)}{2 \cdot \pi \cdot K \cdot L}$$

Dimana: K = konduktivitas thermal tembaga = $385 \text{ W/m} \cdot ^{\circ}\text{C}$

$$R_{th} = \frac{1}{\pi \cdot 0,00553 \text{ m} \cdot 16 \text{ m} \cdot 1016013,531 \text{ W/m} \cdot ^{\circ}\text{C}} + \frac{1}{\pi \cdot 0,00635 \text{ m} \cdot 16 \text{ m} \cdot 218,060 \text{ W/m} \cdot ^{\circ}\text{C}} + \frac{\ln\left(\frac{0,00553 \text{ m}}{0,15}\right)}{2 \cdot \pi \cdot 385 \text{ W/m} \cdot ^{\circ}\text{C} \cdot 16 \text{ m}}$$

$$R_{th} = \frac{1}{282276,194} + \frac{1}{69,566} + \frac{-3,3}{38684,8} = 0,014^{\circ}\text{C/W}$$

Untuk menghitung koefisien perpindahan panas menyeluruh (U) digunakan rumus sebagai berikut:

$$U = \frac{1}{\frac{1}{h_i} + \frac{1}{h_o}}$$

$$U = \frac{1}{\frac{1}{1016013,531 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}} + \frac{1}{218,060 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}}}$$

$$U = \frac{1}{(9,84 \times 10^{-7}) + (0,00458)} = 218,243 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$$

Jadi laju perpindahan panas dari helical coil bersirip ke air (Q) digunakan rumus sebagai berikut:

$$Q = U \cdot A_o \cdot \Delta T_{air}$$

$$Q = 218,293 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C} \cdot \pi \cdot 0,00635 \text{ m} \cdot 16 \text{ m} \cdot 25,06^\circ\text{C}$$

$$Q = 1732,146 \text{ W}$$

Laju perpindahan panas dari sirip ke air (Q) digunakan rumus sebagai berikut :

$$L_c = L + \frac{t}{2}$$

$$= 0,04 \text{ m} + \frac{0,0004 \text{ m}}{2}$$

$$= 0,0402 \text{ m}$$

$$m = \sqrt{\frac{2 \cdot h_o}{K \cdot t}} = \left[\frac{2 \cdot 218,060}{385(0,4 \times 10^{-3})} \right]^{\frac{1}{2}} = \left[\frac{436,12}{0,154} \right]^{\frac{1}{2}} = 53,21$$

$$Q = m \cdot K \cdot A \cdot \theta_0 \cdot \tanh(m \cdot L_c)$$

$$Q = 53,21 \times 385 \times (0,24 \times 10^{-3}) \times 22,49 \times \tanh(53,21 \times 0,0402)$$

$$Q = 53,21 \times 385 \times 0,00024 \times 22,49 \times 0,97$$

$$Q = 107,26 \text{ W/m}$$

Efisiensi Sirip

$$\eta_f = \frac{Q}{h_o \cdot P \cdot L \cdot \theta_0} = \frac{Q}{h_o \cdot 2 \cdot L \cdot \theta_0} = \frac{107,26}{218,060 \times 2 \times 0,04 \times 22,49}$$

$$= \frac{107,26}{392,33} = 0,27$$

$$\eta_{total} = \eta_f \times N \times 100\% = 0,27 \times 64 \times 100\% = 17,2\%$$

3. Perhitungan pada temperatur Evaporator AC 20°C

Pada saat proses pengujian diketahui data sebagai berikut:

Dik:	Volume air (v)	= 60 liter = 60 kg
	Diameter dalam pipa (d_i)	= 5,53mm = 0,00553 m
	Diameter luar pipa (d_o)	= 6,35mm = 0,00635 m
	Panjang pipa (L)	= 16 m
	Temperatur awal air (T_{ai})	= 28,75°C
	Temperatur akhir air (T_{ao})	= 52,75°C
	ΔT_{air}	= 24 °C
	Temperatur masuk tangki (T_{ci})	= 92,45°C
	Temperatur keluar tangki (T_{co})	= 44,63°C
	ΔT_{coil}	= 47,82°C
	Waktu pemanasan (Δt)	= 1 jam = 3600 detik
	Daya kompresor ($\dot{W}_c$)	= 880 W = 0,88Kw
	Panjang Sirip (L)	= 4 cm = 0,04m
	Tebal Sirip (t)	= 0,4mm = 0,0004 m
	$\Delta T_{coil} - \Delta T_{air} (\theta_0)$	= 23,4°C
	Kedalaman Sirip (A)	= 60 cm = 0,06 m
		= (0,06) × (0,04 × 10 ⁻³)
		= 0,24 × 10 ⁻³
	Jumlah Sirip (N)	= 64

Untuk menghitung energi (W) digunakan rumus sebagai berikut:

$$W = m_{air} \times C_{air} \times \Delta T_{air}$$

Dimana: C_{air} = panas jenis air

$$T_{ra} = \frac{T_{ai} + T_{ao}}{2} = \frac{28,75 + 52,75}{2} = 40,75^{\circ}\text{C}$$

didapat dari tabel

Tabel 4.4 propertis air	
T	C_{air}
37,78	4,174
40,75	
43,33	4,174

Interpolasi:

$$C_{air} = 4,174 + \frac{(4,174 - 4174)}{(43,33 - 37,78)} \cdot (40,75 - 37,78)$$

$$C_{air} = 4,174 + (0) \cdot (2,97)$$

$$C_{air} = 4,174 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot ^{\circ}\text{C}} = 4174 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot ^{\circ}\text{C}}$$

Maka didapat:

$$W = 60 \text{ kg} \times 4174 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot ^{\circ}\text{C}} \times 24^{\circ}\text{C}$$

$$W = 6010560 \text{ J} = 6,01 \text{ MJ}$$

Untuk menghitung koefisien perpindahan panas pada sisi luar coil (h_o)

digunakan rumus sebagai berikut:

$$h_o = \frac{W}{A_o \cdot \Delta T_{air} \cdot \Delta T} = \frac{W}{\pi \cdot d_o \cdot L \cdot \Delta T \cdot \Delta t}$$

$$h_o = \frac{6010560 \text{ J}}{\pi \times 0,00635 \text{ m} \times 16 \text{ m} \times 24^{\circ}\text{C} \times 3600 \text{ s}}$$

$$h_o = \frac{6010560}{27563,673} = 218,060 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}}$$

Untuk menghitung kapasitas penukar pakar (Q_{coil}) digunakan rumus berikut:

$$Q_{coil} = \dot{m} \cdot C_f \cdot (\Delta T_{coil})$$

Dimana: C_f = panas jenis freon

$$\dot{m} = \text{laju aliran massa freon}$$

Terlebih dahulu mencari laju aliran massa dengan rumus sebagai berikut:

$$\dot{m} = \frac{W_c}{H_o - H_i}$$

Dimana : H_o = Entalpy keluar tangki

H_i = Entalpy masuk tangki

$$T_{co} = 44,63^\circ\text{C}$$

Didapat dari tabel:

Tabel 4.5 propertis <i>refrigerant</i> R22	
T	H_o
48	417,27
44,63	
50	417,44

Dari hasil interpolasi diperoleh H_o pada temperatur $44,63^\circ\text{C}$ sebesar

$$416,91 \text{ kJ/kg}$$

$$T_{ci} = 92,45^\circ\text{C}$$

Didapat dari tabel:

Tabel 4.6 propertis <i>refrigerant</i> R22	
T	H_i
90	401,87
92,45	
95	387,28

Dari hasil interpolasi diperoleh H_i pada temperatur $92,45^\circ\text{C}$ sebesar

$$394,72 \text{ kJ/kg}$$

Maka didapat:

$$\dot{m} = \frac{0,88}{416,91 - 394,72}$$

$$\dot{m} = 0,04 \text{ kg/s}$$

$$T_{rc} = \frac{T_{ci} + T_{co}}{2} = \frac{92,45 + 44,63}{2} = 68,54^\circ\text{C}$$

didapat dari tabel:

Tabel 4.7 propertis <i>refrigerant</i> R22	
T	C_{freon}
65	1,413
68,54	
70	1,584

Dari hasil interpolasi diperoleh C_{freon} pada Temperatur 68,54°C sebesar

$$1,534 \frac{kJ}{kg \cdot K} = 1534 \frac{J}{kg \cdot ^\circ C}$$

Maka didapat:

$$Q_{coil} = 0,04 \frac{kg}{s} \times 1534 \frac{J}{kg \cdot ^\circ C} \times 47,82^\circ C$$

$$Q_{coil} = 2934,235W$$

Untuk menghitung laju *refrigerant* (v) digunakan rumus sebagai berikut:

$$v = \frac{\dot{m}}{\rho(0,25 \cdot \pi \cdot d_i^2)}$$

Dimana: ρ = rapat massa (*density*) freon

Didapat dari tabel:

Tabel 4.8 propertis <i>refrigerant</i> R22	
T	ρ
65	1001,4
68,54	
70	967,7

Dari hasil interpolasi diperoleh ρ_{freon} pada Temperatur 68,54°C sebesar

$$979 \frac{kg}{m^3}$$

Maka didapat:

$$v = \frac{0,04 \frac{kg}{s}}{979 \frac{kg}{m^3} (0,25 \times \pi \times 0,00553^2 m)}$$

$$v = \frac{0,04}{0,023} = 1,74 \frac{m}{s}$$

Untuk menghitung bilangan reynold (R_e) digunakan rumus sebagai berikut:

$$R_e = \frac{\rho \cdot v \cdot d_i}{\mu}$$

Dimana: μ = viskositas freon

Didapat dari tabel:

Tabel 4.9 propertis <i>refrigerant</i> R22	
T	$\mu \cdot 10^{-5}$
65	15,46
68,54	
70	16,02

Dari hasil interpolasi diperoleh μ_{freon} pada Temperatur 68,54 °C sebesar

$$15,86 \times 10^{-5} \text{ kg/m} \cdot \text{s}$$

Maka didapat:

$$R_e = \frac{979 \text{ kg/m}^3 \times 1.74 \text{ m/s} \times 0,00553 \text{ m}}{15,86 \times 10^{-5} \text{ kg/m} \cdot \text{s}}$$

$$R_e = \frac{9,420}{15,86 \times 10^{-5}} = 593947,036 > 2300 \text{ Turbulen}$$

Untuk mencari bilangan nusselt (N_u) digunakan rumus sebagai berikut:

$$N_u = 0,023 \cdot \text{Re}^{4/5} \cdot \text{Pr}^{0,4} \cdot \left(\frac{d_i}{D} \right)^{0,1}$$

Dimana: D = diameter apk = 0,15

Pr = bilangan prandalt

Terlebih dahulu mencari bilangan prandalt, dengan rumus:

$$\text{Pr} = \frac{C_{\text{freon}} \cdot \mu}{K_{\text{freon}}}$$

Dimana: K_{freon} = konduktivitas termal freon

Didapat dari tabel:

Tabel 4.10 propertis <i>refrigerant</i> R22	
T	K
65	17,61
68,54	
70	19,16

Dari hasil interpolasi diperoleh K_{freon} pada Temperatur $68,54^{\circ}\text{C}$ sebesar

$$18,71 \text{ W/m} \cdot ^{\circ}\text{C}$$

Maka didapat:

$$\text{Pr} = \frac{1534 \text{ J/kg} \cdot ^{\circ}\text{C} \cdot 15,86 \times 10^{-5} \text{ kg/m} \cdot \text{s}}{18,71 \text{ W/m} \cdot ^{\circ}\text{C}}$$

$$\text{Pr} = \frac{0,243}{18,71} = 0,014$$

Dan didapat bilangan nusselt

$$N_u = 0,023 \times 593947,036^{4/5} \times 0,014^{0,4} \times \left(\frac{0,00553 \text{ m}}{0,15 \text{ m}} \right)^{0,1}$$

$$N_u = 0,023 \times 41590,886 \times 0,181 \times 0,718 = 124,316$$

Untuk mencari koefisien perpindahan panas sisi dalam coil (h_i) digunakan rumus sebagai berikut:

$$h_i = \frac{N_u \cdot K_{\text{freon}}}{d_i}$$

$$h_i = \frac{124,316 \times 18,71 \text{ W/m} \cdot ^{\circ}\text{C}}{0,00553} = 420606,213 \text{ W/m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}$$

Untuk menghitung resistensi thermal (R_{th}) digunakan rumus sebagai berikut:

$$R_{th} = \frac{1}{A_i \cdot h_i} + \frac{1}{A_o \cdot h_o} + \frac{\ln\left(\frac{d_i}{D}\right)}{2 \cdot \pi \cdot K \cdot L}$$

Dimana: K = konduktivitas thermal tembaga = $385 \text{ W/m} \cdot ^{\circ}\text{C}$

$$R_{th} = \frac{1}{\pi \cdot 0,00553 \text{ m} \cdot 16 \text{ m} \cdot 420606,213 \text{ W/m} \cdot ^{\circ}\text{C}} + \frac{1}{\pi \cdot 0,00635 \text{ m} \cdot 16 \text{ m} \cdot 218,060 \text{ W/m} \cdot ^{\circ}\text{C}} + \frac{\ln\left(\frac{0,00553 \text{ m}}{0,15}\right)}{2 \cdot \pi \cdot 385 \text{ W/m} \cdot ^{\circ}\text{C} \cdot 16 \text{ m}}$$

$$R_{th} = \frac{1}{116855,846} + \frac{1}{69,566} + \frac{-3,3}{38684,8} = 0,014^{\circ}\text{C/W}$$

Untuk menghitung koefisien perpindahan panas menyeluruh (U) digunakan rumus sebagai berikut:

$$U = \frac{1}{\frac{1}{h_i} + \frac{1}{h_o}}$$

$$U = \frac{1}{\frac{1}{420606,213 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}} + \frac{1}{218,060 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}}}$$

$$U = \frac{1}{(12,37 \times 10^{-6}) + (0,00458)} = 218,277 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$$

Jadi laju perpindahan panas dari helical coil bersirip ke air (Q) digunakan rumus sebagai berikut:

$$Q = U \cdot A_o \cdot \Delta T_{air}$$

$$Q = 218,227 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C} \cdot \pi \cdot 0,00635 \text{ m} \cdot 16 \text{ m} \cdot 24^\circ\text{C}$$

$$Q = 1670,871 \text{ W}$$

Laju perpindahan panas dari sirip ke air (Q) digunakan rumus sebagai berikut :

$$L_c = L + \frac{t}{2}$$

$$= 0,04 \text{ m} + \frac{0,0004 \text{ m}}{2}$$

$$= 0,0402 \text{ m}$$

$$m = \sqrt{\frac{2 \cdot h_o}{K \cdot t}} = \left[\frac{2 \cdot 218,060}{385(0,4 \times 10^{-3})} \right]^{\frac{1}{2}} = \left[\frac{436,12}{0,154} \right]^{\frac{1}{2}} = 53,21$$

$$Q = m \cdot K \cdot A \cdot \theta_0 \cdot \tanh(m \cdot L_c)$$

$$Q = 53,21 \times 385 \times (0,24 \times 10^{-3}) \times 23,82 \times \tanh(53,21 \times 0,0402)$$

$$Q = 53,21 \times 385 \times 0,00024 \times 23,82 \times 0,97$$

$$Q = 113,60 \text{ W/m}$$

Efisiensi Sirip

$$\eta_f = \frac{Q}{h_o \cdot P \cdot L \cdot \theta_0} = \frac{Q}{h_o \cdot 2 \cdot L \cdot \theta_0} = \frac{113,60}{218,060 \times 2 \times 0,04 \times 23,82}$$

$$= \frac{113,60}{415,53} = 0,27$$

$$\eta_{total} = \eta_f \times N \times 100\% = 0,27 \times 64 \times 100\% = 17,2\%$$

Berdasarkan perhitungan perpindahan panas *APK Shell Helical Coil* bersirip diatas, dapat diketahui bahwa semakin kecil atau dingin suhu AC yang digunakan maka semakin kecil pula koefisien perpindahan panas (U). Berbeda dengan sebaliknya jika semakin besar suhu AC yang digunakan maka semakin kecil juga laju perpindahan panas (Q) yang terjadi. Dapat dilihat pada tabel 4.25

Tabel 4.25 Data Hasil Perhitungan *APK Shell Helical Coil* Bersirip.

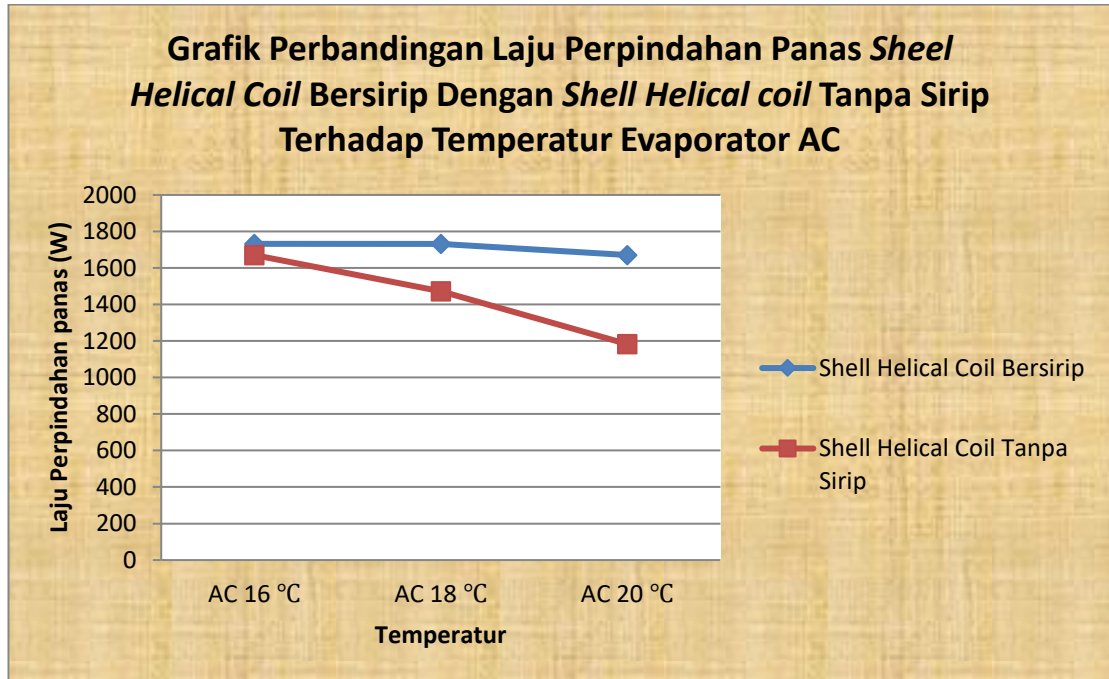
Temperatur Evaporator AC	Koefisien Perpindahan Panas (U)	Laju Perpindahan Panas (Q)
16 °C	218,233 $\frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$	1732,184W
18 °C	218,243 $\frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$	1732,146W
20 °C	218,277 $\frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$	1670,871W

Berdasarkan perhitungan perpindahan panas *APK Shell Helical Coil* tanpa sirip. Dapat dilihat pada tabel 4.26

Tabel 4.26 Data Hasil Perhitungan *APK Shell Helical Coil* Tanpa Sirip

Temperatur Evaporator AC	Koefisien Perpindahan Panas (U)	Laju Perpindahan Panas (Q)
16 °C	217,07 $\frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$	1670,32W
18 °C	217,72 $\frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$	1471,81W
20 °C	217,39 $\frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$	1183,15W

Adapun grafik perbandingan laju perpindahan panas *Shell Helical Coil* Bersirip dengan *Shell Helical Coil* Tanpa Sirip terhadap temperatur AC dapat dilihat pada gambar 4.60



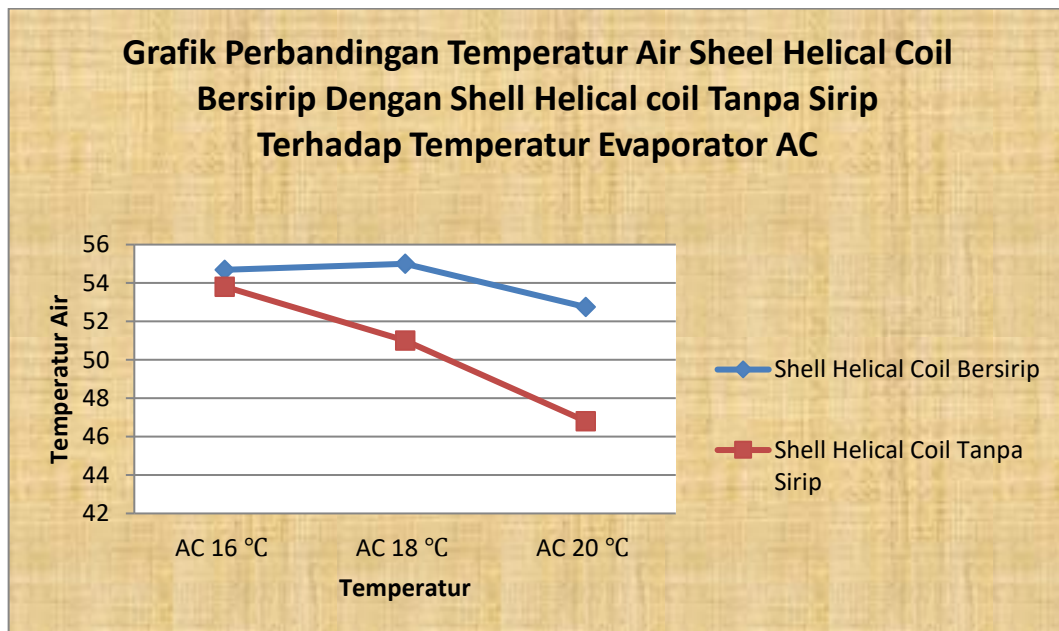
Gambar 4.60 Grafik Perbandingan Laju Perpindahan Panas *Shell Helical Coil* Bersirip Dengan *Shell Helical Coil* Tanpa Sirip terhadap Temperatur AC.

Dari grafik Perbandingan Laju Perpindahan Panas diatas *Helical Coil* Bersirip Dengan *Helical Coil* Tanpa Sirip terhadap Temperatur evaporator AC diatas. Dapat kita simpulkan bahwa nilai temperatur laju perpindahan panas yang dihasilkan pada *Helical coil* Bersirip pada temperature evaporator AC 20°C sebesar 1670,871 W. Sedangkan temperatur laju perpindahan panas yang dihasilkan pada *Helical coil* tanpa sirip pada temperatur evaporator AC 20°C sebesar 1183,15 W. Dimana jarak perbandingannya cukup jauh ,yaitu sebesar 487,721 W. Dengan waktu pengujian selama 60 menit.

Tabel 4.27. Perbandingan Temperatur Air *Shell Helical Coil* Bersirip Dengan *Shell Helical Coil* Tanpa Sirip.

Temperatur Evaporator AC	Temperatur Air <i>Shell Helical Coil</i> Bersirip	Temperatur Air <i>Shell Helical Coil</i> Tanpa Sirip
16 °C	54,69 °C	53,81 °C
18 °C	55 °C	51 °C
20 °C	52,75 °C	46,81 °C

Adapun grafik perbandingan temperatur air dapat dilihat pada gambar 4.61 dibawah ini



Gambar 4.61 Grafik Perbandingan Temperatur Air *Shell Helical Coil* Bersirip Dengan *Shell Helical Coil* Tanpa Sirip terhadap Temperatur AC.

Dari grafik Perbandingan temperatur air *Helical Coil* Bersirip Dengan *Helical Coil* Tanpa Sirip terhadap Temperatur evaporator AC diatas. Diamana dapa kita simpulkan bahwa nilai temperatur air yang dihasilkan pada *Helical coil* Bersirip pada temperatur evaporator AC 20°C sebesar 52,75°C. Sedangkan temperatur air yang dihasilkan pada *Helical coil* tanpa sirip pada temperature evaporator AC 20°C sebesar 46,81°C. Dimana jarak perbandingannya cukup jauh ,yaitu sebesar 6 °C. Dengan waktu pengujian selama 60 menit.

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan data dan analisa yang didapatkan selama pengujian, dapat diambil beberapa kesimpulan:

1. Dilihat dari hasil pengujian, dimana hasil menunjukkan dengan penambahan sirip terhadap Alat Penukar Kalor, menghasilkan laju perpindahan panas lebih besar dibandingkan Alat Penukar Kalor tanpa sirip. Perbedaan laju perpindahan panas ini dikarenakan luasan penyerapan panas pada alat penukar kalor. Sehingga semakin cepat untuk memanaskan air. Dapat dilihat pada tabel 4.25 dan 4.26.
2. Temperatur air yang dihasilkan lebih tinggi dibandingkan dengan Alat penukar Kalor tanpa sirip (*fin*). Perbedaan temperatur air ini dikarenakan laju perpindahan panas yang dihasilkan oleh Alat Penukar Kalor bersirip lebih cepat dibandingkan dengan Alat Penukar kalor tanpa sirip (*fin*). Dapat dilihat pada tabel 4.27.

5.2 Saran

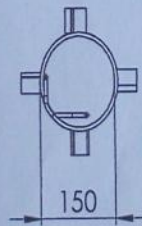
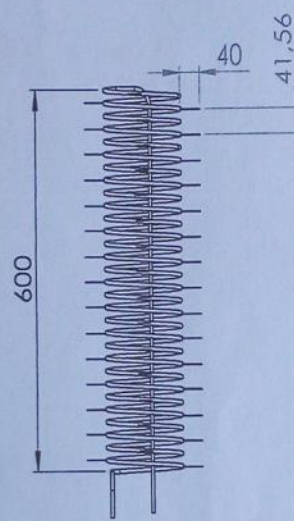
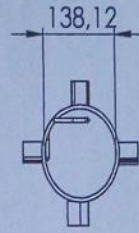
Dari proses pengujian yang telah dilakukan, ditemukan beberapa hambatan. Saran yang dapat diberikan :

- Untuk mendapatkan hasil pengujian yang lebih optimal lakukanlah percobaan alat terlebih dahulu, agar tidak terjadi hal hal yang tidak diinginkan.

DARTAR PUSTAKA

- Tunggul M Sitompul, (1997), "Alat Penukar Kalor (Heat Exchanger)", Jakarta Raja Grafindo Persada.
- Gartner, JR., and Harrison HL. (2010). "Dynamic Characteristic Of water Tto Air Crossflow Heat Exchanger:..ASHRAE. Transanction 72:212.
- Holman, Jp. (2010). "Heat Transfer". *Erlangga*
- Dean A Barlet (1996). "Jurnal, Penelitian Alat Penukar kalor
- Pramod S, dkk (2012), "Jurnal, Analisis Aliran Sekunder Dari Penukar Kalor Helical Coil Dengan Berbagai Parameter Untuk Kondisi Tertentu.
- Nasser Ghorbani, dkk (2010), "Jurnal, Analisis Perpindahan Kalor Konveksi Campuran Dalam Alat Penukar Kalor Tipe Coilin Shell Dengan Variasi Reynolds
- Yoshida dkk, (2006). "Jurnal Reaktom, Volume 02 Nomor 02 September 2017, 30-36.
- Haris Budiman dkk, (2005). "Jurnal Studi, Karakteristik Hasil Pengelasan Stud Welding A36 Terhadap SA 335 Grade P9 Pada Kontruksi *Fins* Penukar Kalor Pipa CPU.
- Firmansyah, B. (2009). "Jurnal, Perpindahan Panas Pada Perangkat Elektronik Dalam penggunaan *Water-Block* Pada Pendingin CPU.
- Supriyono, (2005). "Jurnal, Perpindahan Energi dari Bagian Bersuhu Tinggi Kebagian Bersuhu Rendah.
- Miriam, Sarah. (2011). "Jurnal, Program Komputasi Distribusi Suhu Pada Suatu Sistem Yang Dalam Keadaan Tunak.
- Novianarenti, Eky. (2016). "Jurnal, Karakteristik Aliran Perpindahan Panas Diluar Pipa Yang Mengalir Secara *Crossflow*.
- Istanto, Tri dkk, (2010). "Jurnal, Karakteristik Perpindahan Panas Dan Penurunan Tekanan Dari Susunan Sirip-Sirip Pin Silinder Tirus dalam Saluran Udara Segiempat.
- .

LAMPIRAN



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS SURFACE FINISH: TOLERANCES: LINEAR: ANGULAR:				FINISH:		DEBUR AND BREAK SHARP EDGES		DO NOT SCALE DRAWING		REVISION	
NAME		SIGNATURE		DATE		TITLE:					
DRAWN: UII Armi				30.1.2020		HELICAL COIL BERSIRIP					
CHKD: Ahmad Mardas Sug. S.T., M.T.				30.1.2020							
APPVD: Ahmad Mardas Sug. S.T., M.T.				30.1.2020							
MFG:											
Q.A.						MATERIAL:		DWG. NO.		A4	
						TEMBAGA		1			
				DIMENSION: MM		SCALE: 1:10		SHEET 1 OF 1			

APPENDIX A Tables

Table A-9 | Properties of water (saturated liquid).†

Note: $Gr_{xPr} = \left(\frac{g\beta\rho^2 c_p}{\mu k} \right) x^3 \Delta T$

°F	°C	c_p kJ/kg · °C	ρ kg/m ³	μ kg/m · s	k W/m · °C	Pr	$\frac{g\beta\rho^2 c_p}{\mu k}$ 1/m ³ · °C
32	0	4.225	999.8	1.79×10^{-3}	0.566	13.25	
40	4.44	4.208	999.8	1.55	0.575	11.35	1.91×10^9
50	10	4.195	999.2	1.31	0.585	9.40	6.34×10^9
60	15.56	4.186	998.6	1.12	0.595	7.88	1.08×10^{10}
70	21.11	4.179	997.4	9.8×10^{-4}	0.604	6.78	1.46×10^{10}
80	26.67	4.179	995.8	8.6	0.614	5.85	1.91×10^{10}
90	32.22	4.174	994.9	7.65	0.623	5.12	2.48×10^{10}
100	37.78	4.174	993.0	6.82	0.630	4.53	3.3×10^{10}
110	43.33	4.174	990.6	6.16	0.637	4.04	4.19×10^{10}
120	48.89	4.174	988.8	5.62	0.644	3.64	4.89×10^{10}
130	54.44	4.179	985.7	5.13	0.649	3.30	5.66×10^{10}
140	60	4.179	983.3	4.71	0.654	3.01	6.48×10^{10}
150	65.55	4.183	980.3	4.3	0.659	2.73	7.62×10^{10}
160	71.11	4.186	977.3	4.01	0.665	2.53	8.84×10^{10}
170	76.67	4.191	973.7	3.72	0.668	2.33	9.85×10^{10}
180	82.22	4.195	970.2	3.47	0.673	2.16	1.09×10^{11}
190	87.78	4.199	966.7	3.27	0.675	2.03	
200	93.33	4.204	963.2	3.06	0.678	1.90	
220	104.4	4.216	955.1	2.67	0.684	1.66	
240	115.6	4.229	946.7	2.44	0.685	1.51	
260	126.7	4.250	937.2	2.19	0.685	1.36	
280	137.8	4.271	928.1	1.98	0.685	1.24	
300	148.9	4.296	918.0	1.86	0.684	1.17	
350	176.7	4.371	890.4	1.57	0.677	1.02	
400	204.4	4.467	859.4	1.36	0.665	1.00	
450	232.2	4.585	825.7	1.20	0.646	0.85	
500	260	4.731	785.2	1.07	0.616	0.83	
550	287.7	5.024	735.5	9.51×10^{-5}			
600	315.6	5.703	678.7	8.68			

†Adapted to SI units from A. I. Brown and S. M. Marco, *Introduction to Heat Transfer*, 3rd ed. New York: McGraw-Hill, 1958.

Thermophysical Properties of Refrigerants

Tabel Temperatur Ac 16°C

20.5

Refrigerant 22 (Chlorodifluoromethane) Properties of Saturated Liquid and Saturated Vapor

Temp., °C	Pres- sure, MPa	Density, kg/m ³	Volume, m ³ /kg	Enthalpy, kJ/kg		Entropy, kJ/(kg·K)		Specific Heat c _p , kJ/(kg·K)		c _p /c _v	Velocity of Sound, m/s		Viscosity, μPa·s		Thermal Cond., mW/(m·K)		Surface Tension, mN/m	Temp., °C
				Liquid	Vapor	Liquid	Vapor	Liquid	Vapor		Liquid	Vapor	Liquid	Vapor	Liquid	Vapor		
-100.00	0.00201	1571.3	8.26600	90.71	358.97	0.5050	2.0543	1.061	0.497	1.243	1127	143.6	845.8	7.25	143.1	4.46	28.12	-100.00
-90.00	0.00481	1544.9	3.64480	101.32	363.85	0.5646	1.9980	1.061	0.512	1.237	1080	147.0	699.4	7.67	137.8	4.84	26.36	-90.00
-80.00	0.01037	1518.2	1.77820	111.94	368.77	0.6210	1.9508	1.062	0.528	1.233	1033	150.3	591.0	8.09	132.6	5.25	24.63	-80.00
-70.00	0.02047	1491.2	0.94342	122.58	373.70	0.6747	1.9108	1.065	0.545	1.231	986	153.3	507.6	8.52	127.6	5.68	22.92	-70.00
-60.00	0.03750	1463.7	0.53680	133.27	378.59	0.7260	1.8770	1.071	0.564	1.230	940	156.0	441.4	8.94	122.6	6.12	21.24	-60.00
-50.00	0.06453	1435.6	0.32385	144.03	383.42	0.7752	1.8480	1.079	0.585	1.232	893	158.3	387.5	9.36	117.8	6.59	19.58	-50.00
-48.00	0.07145	1429.9	0.29453	146.19	384.37	0.7849	1.8428	1.081	0.589	1.233	884	158.7	377.8	9.45	116.9	6.69	19.25	-48.00
-46.00	0.07894	1424.2	0.26837	148.36	385.32	0.7944	1.8376	1.083	0.594	1.234	875	159.1	368.6	9.53	115.9	6.79	18.92	-46.00
-44.00	0.08705	1418.4	0.24498	150.53	386.26	0.8039	1.8327	1.086	0.599	1.235	865	159.5	359.6	9.62	115.0	6.89	18.59	-44.00
-42.00	0.09580	1412.6	0.22402	152.70	387.20	0.8134	1.8278	1.088	0.603	1.236	856	159.9	351.0	9.70	114.0	6.99	18.27	-42.00
-40.81 ^b	0.10132	1409.2	0.21260	154.00	387.75	0.8189	1.8250	1.090	0.606	1.236	851	160.1	346.0	9.75	113.5	7.05	18.08	-40.81
-40.00	0.10523	1406.8	0.20521	154.89	388.13	0.8227	1.8231	1.091	0.608	1.237	847	160.3	342.6	9.79	113.1	7.09	17.94	-40.00
-38.00	0.11538	1401.0	0.18829	157.07	389.06	0.8320	1.8186	1.093	0.613	1.238	838	160.6	334.5	9.87	112.2	7.19	17.62	-38.00
-36.00	0.12628	1395.1	0.17304	159.27	389.97	0.8413	1.8141	1.096	0.619	1.239	828	160.9	326.7	9.96	111.2	7.29	17.30	-36.00
-34.00	0.13797	1389.1	0.15927	161.47	390.89	0.8505	1.8098	1.099	0.624	1.241	819	161.2	319.1	10.04	110.3	7.40	16.98	-34.00
-32.00	0.15050	1383.2	0.14682	163.67	391.79	0.8596	1.8056	1.102	0.629	1.242	810	161.5	311.7	10.12	109.4	7.51	16.66	-32.00
-30.00	0.16389	1377.2	0.13553	165.88	392.69	0.8687	1.8015	1.105	0.635	1.244	800	161.8	304.6	10.21	108.5	7.61	16.34	-30.00
-28.00	0.17819	1371.1	0.12528	168.10	393.58	0.8778	1.7975	1.108	0.641	1.246	791	162.0	297.7	10.29	107.5	7.72	16.02	-28.00
-26.00	0.19344	1365.0	0.11597	170.33	394.47	0.8868	1.7937	1.112	0.646	1.248	782	162.3	291.0	10.38	106.6	7.83	15.70	-26.00
-24.00	0.20968	1358.9	0.10749	172.56	395.34	0.8957	1.7899	1.115	0.653	1.250	772	162.5	284.4	10.46	105.7	7.94	15.39	-24.00
-22.00	0.22696	1352.7	0.09975	174.80	396.21	0.9046	1.7862	1.119	0.659	1.253	763	162.7	278.1	10.55	104.8	8.06	15.07	-22.00
-20.00	0.24531	1346.5	0.09268	177.04	397.06	0.9135	1.7826	1.123	0.665	1.255	754	162.8	271.9	10.63	103.9	8.17	14.76	-20.00
-18.00	0.26479	1340.3	0.08621	179.30	397.91	0.9223	1.7791	1.127	0.672	1.258	744	163.0	265.9	10.72	103.0	8.29	14.45	-18.00
-16.00	0.28543	1334.0	0.08029	181.56	398.75	0.9311	1.7757	1.131	0.678	1.261	735	163.1	260.1	10.80	102.1	8.40	14.14	-16.00
-14.00	0.30728	1327.6	0.07485	183.83	399.57	0.9398	1.7723	1.135	0.685	1.264	726	163.2	254.4	10.89	101.1	8.52	13.83	-14.00
-12.00	0.33038	1321.2	0.06986	186.11	400.39	0.9485	1.7690	1.139	0.692	1.267	716	163.3	248.8	10.98	100.2	8.65	13.52	-12.00
-10.00	0.35479	1314.7	0.06527	188.40	401.20	0.9572	1.7658	1.144	0.699	1.270	707	163.3	243.4	11.06	99.3	8.77	13.21	-10.00
-8.00	0.38054	1308.2	0.06103	190.70	401.99	0.9658	1.7627	1.149	0.707	1.274	697	163.4	238.1	11.15	98.4	8.89	12.91	-8.00
-6.00	0.40769	1301.6	0.05713	193.01	402.77	0.9744	1.7596	1.154	0.715	1.278	688	163.4	233.0	11.24	97.5	9.02	12.60	-6.00
-4.00	0.43628	1295.0	0.05352	195.33	403.55	0.9830	1.7566	1.159	0.722	1.282	679	163.4	227.9	11.32	96.6	9.15	12.30	-4.00
-2.00	0.46636	1288.3	0.05019	197.66	404.30	0.9915	1.7536	1.164	0.731	1.287	669	163.4	223.0	11.41	95.7	9.28	12.00	-2.00
0.00	0.49799	1281.5	0.04710	200.00	405.05	1.0000	1.7507	1.169	0.739	1.291	660	163.3	218.2	11.50	94.8	9.42	11.70	0.00
2.00	0.53120	1274.7	0.04424	202.35	405.78	1.0085	1.7478	1.175	0.748	1.296	650	163.2	213.5	11.59	93.9	9.56	11.40	2.00
4.00	0.56605	1267.8	0.04159	204.71	406.50	1.0169	1.7450	1.181	0.757	1.301	641	163.1	208.9	11.68	93.1	9.70	11.10	4.00
6.00	0.60259	1260.8	0.03913	207.09	407.20	1.0254	1.7422	1.187	0.766	1.307	632	163.0	204.4	11.77	92.2	9.84	10.81	6.00
8.00	0.64088	1253.8	0.03683	209.47	407.89	1.0338	1.7395	1.193	0.775	1.313	622	162.8	200.0	11.86	91.3	9.99	10.51	8.00
10.00	0.68095	1246.7	0.03470	211.87	408.56	1.0422	1.7368	1.199	0.785	1.319	613	162.6	195.7	11.96	90.4	10.14	10.22	10.00
12.00	0.72286	1239.5	0.03271	214.28	409.21	1.0505	1.7341	1.206	0.795	1.326	603	162.4	191.5	12.05	89.5	10.29	9.93	12.00
14.00	0.76668	1232.2	0.03086	216.70	409.85	1.0589	1.7315	1.213	0.806	1.333	594	162.2	187.3	12.14	88.6	10.45	9.64	14.00
16.00	0.81244	1224.9	0.02912	219.14	410.47	1.0672	1.7289	1.220	0.817	1.340	584	161.9	183.2	12.24	87.7	10.61	9.35	16.00
18.00	0.86020	1217.4	0.02750	221.59	411.07	1.0755	1.7263	1.228	0.828	1.348	575	161.6	179.2	12.33	86.8	10.77	9.06	18.00
20.00	0.91002	1209.9	0.02599	224.06	411.66	1.0838	1.7238	1.236	0.840	1.357	565	161.3	175.3	12.43	85.9	10.95	8.78	20.00
22.00	0.96195	1202.3	0.02457	226.54	412.22	1.0921	1.7212	1.244	0.853	1.366	555	161.0	171.5	12.53	85.0	11.12	8.50	22.00
24.00	1.01600	1194.6	0.02324	229.04	412.77	1.1004	1.7187	1.252	0.866	1.375	546	160.6	167.7	12.63	84.1	11.30	8.22	24.00
26.00	1.07240	1186.7	0.02199	231.55	413.29	1.1086	1.7162	1.261	0.879	1.385	536	160.2	163.9	12.74	83.2	11.49	7.94	26.00
28.00	1.13090	1178.8	0.02082	234.08	413.79	1.1169	1.7136	1.271	0.893	1.396	527	159.7	160.3	12.84	82.3	11.69	7.66	28.00
30.00	1.19190	1170.7	0.01972	236.62	414.26	1.1252	1.7111	1.281	0.908	1.408	517	159.2	156.7	12.95	81.4	11.89	7.38	30.00
32.00	1.25520	1162.6	0.01869	239.19	414.71	1.1334	1.7086	1.291	0.924	1.420	507	158.7	153.1	13.06	80.5	12.10	7.11	32.00
34.00	1.32100	1154.3	0.01771	241.77	415.14	1.1417	1.7061	1.302	0.940	1.434	497	158.2	149.6	13.17	79.6	12.31	6.84	34.00
36.00	1.38920	1145.8	0.01679	244.38	415.54	1.1499	1.7036	1.314	0.957	1.448	487	157.6	146.1	13.28	78.7	12.54	6.57	36.00
38.00	1.46010	1137.3	0.01593	247.00	415.91	1.1582	1.7010	1.326	0.976	1.463	478	157.0	142.7	13.40	77.8	12.77	6.30	38.00
40.00 ^a	1.53360	1128.5	0.01511	249.65	416.25	1.1665	1.6985	1.339	0.995	1.480	468	156.4	139.4	13.52	76.9	13.02	6.04	40.00
42.00	1.60980	1119.6	0.01433	252.32	416.55	1.1747	1.6959	1.353	1.015	1.498	458	155.7	136.1	13.64	76.0			

Refrigerant 22 (Chlorodifluoromethane) Properties of Saturated Liquid and Saturated Vapor

Temp., °C	Pressure, MPa	Density, kg/m ³	Volume, m ³ /kg	Enthalpy, kJ/kg		Entropy, kJ/(kg·K)		Specific Heat c _p , kJ/(kg·K)		c _p /c _v	Velocity of Sound, m/s		Viscosity, μPa·s		Thermal Cond., mW/(m·K)		Surface Tension, mN/m	Temp., °C
				Liquid	Vapor	Liquid	Vapor	Liquid	Vapor		Liquid	Vapor	Liquid	Vapor	Liquid	Vapor		
-100.00	0.00201	1571.3	8.26600	90.71	358.97	0.5050	2.0543	1.061	0.497	1.243	1127	143.6	845.8	7.25	143.1	4.46	28.12	-100.00
-90.00	0.00481	1544.9	3.64480	101.32	363.85	0.5646	1.9980	1.061	0.512	1.237	1080	147.0	699.4	7.67	137.8	4.84	26.36	-90.00
-80.00	0.01037	1518.2	1.77820	111.94	368.77	0.6210	1.9508	1.062	0.528	1.233	1033	150.3	591.0	8.09	132.6	5.25	24.63	-80.00
-70.00	0.02047	1491.2	0.94342	122.58	373.70	0.6747	1.9108	1.065	0.545	1.231	986	153.3	507.0	8.52	127.6	5.68	22.92	-70.00
-60.00	0.03750	1463.7	0.53680	133.27	378.59	0.7260	1.8770	1.071	0.564	1.230	940	156.0	414.4	8.94	122.6	6.12	21.24	-60.00
-50.00	0.06453	1435.6	0.32385	144.03	383.42	0.7752	1.8480	1.079	0.585	1.232	893	158.3	387.5	9.36	117.8	6.59	19.58	-50.00
-48.00	0.07145	1429.9	0.29453	146.19	384.37	0.7849	1.8428	1.081	0.589	1.233	884	158.7	377.8	9.45	116.9	6.69	19.25	-48.00
-46.00	0.07894	1424.2	0.26837	148.36	385.32	0.7944	1.8376	1.083	0.594	1.234	875	159.1	368.6	9.53	115.9	6.79	18.92	-46.00
-44.00	0.08705	1418.4	0.24498	150.53	386.26	0.8039	1.8327	1.086	0.599	1.235	865	159.5	359.6	9.62	115.0	6.89	18.59	-44.00
-42.00	0.09580	1412.6	0.22402	152.70	387.20	0.8134	1.8278	1.088	0.603	1.236	856	159.9	351.0	9.70	114.0	6.99	18.27	-42.00
-40.81 ^b	0.10132	1409.2	0.21260	154.00	387.75	0.8189	1.8250	1.090	0.606	1.236	851	160.1	346.0	9.75	113.5	7.05	18.08	-40.81
-40.00	0.10523	1406.8	0.20521	154.89	388.13	0.8227	1.8231	1.091	0.608	1.237	847	160.3	342.6	9.79	113.1	7.09	17.94	-40.00
-38.00	0.11538	1401.0	0.18829	157.07	389.06	0.8320	1.8186	1.093	0.613	1.238	838	160.6	334.5	9.87	112.2	7.19	17.62	-38.00
-36.00	0.12628	1395.1	0.17304	159.27	389.97	0.8413	1.8141	1.096	0.619	1.239	828	160.9	326.7	9.96	111.2	7.29	17.30	-36.00
-34.00	0.13797	1389.1	0.15927	161.47	390.89	0.8505	1.8098	1.099	0.624	1.241	819	161.2	319.1	10.04	110.3	7.40	16.98	-34.00
-32.00	0.15050	1383.2	0.14682	163.67	391.79	0.8596	1.8056	1.102	0.629	1.242	810	161.5	311.7	10.12	109.4	7.51	16.66	-32.00
-30.00	0.16389	1377.2	0.13553	165.88	392.69	0.8687	1.8015	1.105	0.635	1.244	800	161.8	304.6	10.21	108.5	7.61	16.34	-30.00
-28.00	0.17819	1371.1	0.12528	168.10	393.58	0.8778	1.7975	1.108	0.641	1.246	791	162.0	297.7	10.29	107.5	7.72	16.02	-28.00
-26.00	0.19344	1365.0	0.11597	170.33	394.47	0.8868	1.7937	1.112	0.646	1.248	782	162.3	291.0	10.38	106.6	7.83	15.70	-26.00
-24.00	0.20968	1358.9	0.10749	172.56	395.34	0.8957	1.7899	1.115	0.653	1.250	772	162.5	284.4	10.46	105.7	7.94	15.39	-24.00
-22.00	0.22696	1352.7	0.09975	174.80	396.21	0.9046	1.7862	1.119	0.659	1.253	763	162.7	278.1	10.55	104.8	8.06	15.07	-22.00
-20.00	0.24531	1346.5	0.09268	177.04	397.06	0.9135	1.7826	1.123	0.665	1.255	754	162.8	271.9	10.63	103.9	8.17	14.76	-20.00
-18.00	0.26479	1340.3	0.08621	179.30	397.91	0.9223	1.7791	1.127	0.672	1.258	744	163.0	265.9	10.72	103.0	8.29	14.45	-18.00
-16.00	0.28543	1334.0	0.08029	181.56	398.75	0.9311	1.7757	1.131	0.678	1.261	735	163.1	260.1	10.80	102.1	8.40	14.14	-16.00
-14.00	0.30728	1327.6	0.07485	183.83	399.57	0.9398	1.7723	1.135	0.685	1.264	726	163.2	254.4	10.89	101.1	8.52	13.83	-14.00
-12.00	0.33038	1321.2	0.06986	186.11	400.39	0.9485	1.7690	1.139	0.692	1.267	716	163.3	248.8	10.98	100.2	8.65	13.52	-12.00
-10.00	0.35479	1314.7	0.06527	188.40	401.20	0.9572	1.7658	1.144	0.699	1.270	707	163.3	243.4	11.06	99.3	8.77	13.21	-10.00
-8.00	0.38054	1308.2	0.06105	190.70	401.99	0.9658	1.7627	1.149	0.707	1.274	697	163.4	238.1	11.15	98.4	8.89	12.91	-8.00
-6.00	0.40769	1301.6	0.05713	193.01	402.77	0.9744	1.7596	1.154	0.715	1.278	688	163.4	233.0	11.24	97.5	9.02	12.60	-6.00
-4.00	0.43628	1295.0	0.05352	195.33	403.55	0.9830	1.7566	1.159	0.722	1.282	679	163.4	227.9	11.32	96.6	9.15	12.30	-4.00
-2.00	0.46636	1288.3	0.05019	197.66	404.30	0.9915	1.7536	1.164	0.731	1.287	669	163.4	223.0	11.41	95.7	9.28	12.00	-2.00
0.00	0.49799	1281.5	0.04710	200.00	405.05	1.0000	1.7507	1.169	0.739	1.291	660	163.3	218.2	11.50	94.8	9.42	11.70	0.00
2.00	0.53120	1274.7	0.04424	202.35	405.78	1.0085	1.7478	1.175	0.748	1.296	650	163.2	213.5	11.59	93.9	9.56	11.40	2.00
4.00	0.56605	1267.8	0.04159	204.71	406.50	1.0169	1.7450	1.181	0.757	1.301	641	163.1	208.9	11.68	93.1	9.70	11.10	4.00
6.00	0.60259	1260.8	0.03913	207.09	407.20	1.0254	1.7422	1.187	0.766	1.307	632	163.0	204.4	11.77	92.2	9.84	10.81	6.00
8.00	0.64088	1253.8	0.03683	209.47	407.89	1.0338	1.7395	1.193	0.775	1.313	622	162.8	200.0	11.86	91.3	9.99	10.51	8.00
10.00	0.68095	1246.7	0.03470	211.87	408.56	1.0422	1.7368	1.199	0.785	1.319	613	162.6	195.7	11.96	90.4	10.14	10.22	10.00
12.00	0.72286	1239.5	0.03271	214.28	409.21	1.0505	1.7341	1.206	0.795	1.326	603	162.4	191.5	12.05	89.5	10.29	9.93	12.00
14.00	0.76668	1232.2	0.03086	216.70	409.85	1.0589	1.7315	1.213	0.806	1.333	594	162.2	187.3	12.14	88.6	10.45	9.64	14.00
16.00	0.81244	1224.9	0.02912	219.14	410.47	1.0672	1.7289	1.220	0.817	1.340	584	161.9	183.2	12.24	87.7	10.61	9.35	16.00
18.00	0.86020	1217.4	0.02750	221.59	411.07	1.0755	1.7263	1.228	0.828	1.348	575	161.6	179.2	12.33	86.8	10.77	9.06	18.00
20.00	0.91002	1209.9	0.02599	224.06	411.66	1.0838	1.7238	1.236	0.840	1.357	565	161.3	175.3	12.43	85.9	10.95	8.78	20.00
22.00	0.96195	1202.3	0.02457	226.54	412.22	1.0921	1.7212	1.244	0.853	1.366	555	161.0	171.5	12.53	85.0	11.12	8.50	22.00
24.00	1.01600	1194.6	0.02324	229.04	412.77	1.1004	1.7187	1.252	0.866	1.375	546	160.6	167.7	12.63	84.1	11.30	8.22	24.00
26.00	1.07240	1186.7	0.02199	231.55	413.29	1.1086	1.7162	1.261	0.879	1.385	536	160.2	163.9	12.74	83.2	11.49	7.94	26.00
28.00	1.13090	1178.8	0.02082	234.08	413.79	1.1169	1.7136	1.271	0.893	1.396	527	159.7	160.3	12.84	82.3	11.69	7.66	28.00
30.00	1.19190	1170.7	0.01972	236.62	414.26	1.1252	1.7111	1.281	0.908	1.408	517	159.2	156.7	12.95	81.4	11.89	7.38	30.00
32.00	1.25520	1162.6	0.01869	239.19	414.71	1.1334	1.7086	1.291	0.924	1.420	507	158.7	153.1	13.06	80.5	12.10	7.11	32.00
34.00	1.32100	1154.3	0.01771	241.77	415.14	1.1417	1.7061	1.302	0.940	1.434	497	158.2	149.6	13.17	79.6	12.31	6.84	34.00
36.00	1.38920	1145.8	0.01679	244.38	415.54	1.1499	1.7036	1.314	0.957	1.448	487	157.6	146.1	13.28	78.7	12.54	6.57	36.00
38.00	1.46010	1137.3	0.01593	247.00	415.91	1.1582	1.7010	1.326	0.976	1.463	478	157.0	142.7	13.40	77.8	12.77	6.30	38.00
40.00	1.53360	1128.5	0.01511	249.65	416.25	1.1665	1.6985	1.339	0.995	1.480	468	156.4	139.4	13.52	76.9	13.02	6.04	40.00
42.00	1.60980	1119.6	0.01433	252.32	416.55	1.1747	1.6959	1.353	1.015	1.498	458	155.7	136.1	13.64	76.0	13.28		

Thermophysical Properties of Refrigerants

Tabel temperatur Ac 20°C. 20.5

Refrigerant 22 (Chlorodifluoromethane) Properties of Saturated Liquid and Saturated Vapor

Temp., °C	Pressure, MPa	Density, kg/m ³	Volume, m ³ /kg	Enthalpy, kJ/kg		Entropy, kJ/(kg·K)		Specific Heat c _p , kJ/(kg·K)		c _p /c _v	Velocity of Sound, m/s		Viscosity, μPa·s		Thermal Cond., mW/(m·K)		Surface Tension, mN/m	Temp., °C
				Liquid	Vapor	Liquid	Vapor	Liquid	Vapor		Liquid	Vapor	Liquid	Vapor	Liquid	Vapor		
-100.00	0.00201	1571.3	8.26600	90.71	358.97	0.5050	2.0543	1.061	0.497	1.243	1127	143.6	845.8	7.25	143.1	4.46	28.12	-100.00
-90.00	0.00481	1544.9	3.64480	101.32	363.85	0.5646	1.9980	1.061	0.512	1.237	1080	147.0	699.4	7.67	137.8	4.84	26.36	-90.00
-80.00	0.01037	1518.2	1.77820	111.94	368.77	0.6210	1.9508	1.062	0.528	1.233	1033	150.3	591.0	8.09	132.6	5.25	24.63	-80.00
-70.00	0.02047	1491.2	0.94342	122.58	373.70	0.6747	1.9108	1.065	0.545	1.231	986	153.3	507.6	8.52	127.6	5.68	22.92	-70.00
-60.00	0.03750	1463.7	0.53680	133.27	378.59	0.7260	1.8770	1.071	0.564	1.230	940	156.0	441.4	8.94	122.6	6.12	21.24	-60.00
-50.00	0.06453	1435.6	0.32385	144.03	383.42	0.7752	1.8480	1.079	0.585	1.232	893	158.3	387.5	9.36	117.8	6.59	19.58	-50.00
-48.00	0.07145	1429.9	0.29453	146.19	384.37	0.7849	1.8428	1.081	0.589	1.233	884	158.7	377.8	9.45	116.9	6.69	19.25	-48.00
-46.00	0.07894	1424.2	0.26837	148.36	385.32	0.7944	1.8376	1.083	0.594	1.234	875	159.1	368.6	9.53	115.9	6.79	18.92	-46.00
-44.00	0.08705	1418.4	0.24498	150.53	386.26	0.8039	1.8327	1.086	0.599	1.235	865	159.5	359.6	9.62	115.0	6.89	18.59	-44.00
-42.00	0.09580	1412.6	0.22402	152.70	387.20	0.8134	1.8278	1.088	0.603	1.236	856	159.9	351.0	9.70	114.0	6.99	18.27	-42.00
-40.81 ^b	0.10132	1409.2	0.21260	154.00	387.75	0.8189	1.8250	1.090	0.606	1.236	851	160.1	346.0	9.75	113.5	7.05	18.08	-40.81
-40.00	0.10523	1406.8	0.20521	154.89	388.13	0.8227	1.8231	1.091	0.608	1.237	847	160.3	342.6	9.79	113.1	7.09	17.94	-40.00
-38.00	0.11538	1401.0	0.18829	157.07	389.06	0.8320	1.8186	1.093	0.613	1.238	838	160.6	334.5	9.87	112.2	7.19	17.62	-38.00
-36.00	0.12628	1395.1	0.17304	159.27	389.97	0.8413	1.8141	1.096	0.619	1.239	828	160.9	326.7	9.96	111.2	7.29	17.30	-36.00
-34.00	0.13797	1389.1	0.15927	161.47	390.89	0.8505	1.8098	1.099	0.624	1.241	819	161.2	319.1	10.04	110.3	7.40	16.98	-34.00
-32.00	0.15050	1383.2	0.14682	163.67	391.79	0.8596	1.8056	1.102	0.629	1.242	810	161.5	311.7	10.12	109.4	7.51	16.66	-32.00
-30.00	0.16389	1377.2	0.13553	165.88	392.69	0.8687	1.8015	1.105	0.635	1.244	800	161.8	304.6	10.21	108.5	7.61	16.34	-30.00
-28.00	0.17819	1371.1	0.12528	168.10	393.58	0.8778	1.7975	1.108	0.641	1.246	791	162.0	297.7	10.29	107.5	7.72	16.02	-28.00
-26.00	0.19344	1365.0	0.11597	170.33	394.47	0.8868	1.7937	1.112	0.646	1.248	782	162.3	291.0	10.38	106.6	7.83	15.70	-26.00
-24.00	0.20968	1358.9	0.10749	172.56	395.34	0.8957	1.7899	1.115	0.653	1.250	772	162.5	284.4	10.46	105.7	7.94	15.39	-24.00
-22.00	0.22696	1352.7	0.09975	174.80	396.21	0.9046	1.7862	1.119	0.659	1.253	763	162.7	278.1	10.55	104.8	8.06	15.07	-22.00
-20.00	0.24531	1346.5	0.09268	177.04	397.06	0.9135	1.7826	1.123	0.665	1.255	754	162.8	271.9	10.63	103.9	8.17	14.76	-20.00
-18.00	0.26479	1340.3	0.08621	179.30	397.91	0.9223	1.7791	1.127	0.672	1.258	744	163.0	265.9	10.72	103.0	8.29	14.45	-18.00
-16.00	0.28543	1334.0	0.08029	181.56	398.75	0.9311	1.7757	1.131	0.678	1.261	735	163.1	260.1	10.80	102.1	8.40	14.14	-16.00
-14.00	0.30728	1327.6	0.07485	183.83	399.57	0.9398	1.7723	1.135	0.685	1.264	726	163.2	254.4	10.89	101.1	8.52	13.83	-14.00
-12.00	0.33038	1321.2	0.06986	186.11	400.39	0.9485	1.7690	1.139	0.692	1.267	716	163.3	248.8	10.98	100.2	8.65	13.52	-12.00
-10.00	0.35479	1314.7	0.06527	188.40	401.20	0.9572	1.7658	1.144	0.699	1.270	707	163.3	243.4	11.06	99.3	8.77	13.21	-10.00
-8.00	0.38054	1308.2	0.06103	190.70	401.99	0.9658	1.7627	1.149	0.707	1.274	697	163.4	238.1	11.15	98.4	8.89	12.91	-8.00
-6.00	0.40769	1301.6	0.05713	193.01	402.77	0.9744	1.7596	1.154	0.715	1.278	688	163.4	233.0	11.24	97.5	9.02	12.60	-6.00
-4.00	0.43628	1295.0	0.05352	195.33	403.55	0.9830	1.7566	1.159	0.722	1.282	679	163.4	227.9	11.32	96.6	9.15	12.30	-4.00
-2.00	0.46636	1288.3	0.05019	197.66	404.30	0.9915	1.7536	1.164	0.731	1.287	669	163.4	223.0	11.41	95.7	9.28	12.00	-2.00
0.00	0.49799	1281.5	0.04710	200.00	405.05	1.0000	1.7507	1.169	0.739	1.291	660	163.3	218.2	11.50	94.8	9.42	11.70	0.00
2.00	0.53120	1274.7	0.04424	202.35	405.78	1.0085	1.7478	1.175	0.748	1.296	650	163.2	213.5	11.59	93.9	9.56	11.40	2.00
4.00	0.56605	1267.8	0.04159	204.71	406.50	1.0169	1.7450	1.181	0.757	1.301	641	163.1	208.9	11.68	93.1	9.70	11.10	4.00
6.00	0.60259	1260.8	0.03913	207.09	407.20	1.0254	1.7422	1.187	0.766	1.307	632	163.0	204.4	11.77	92.2	9.84	10.81	6.00
8.00	0.64088	1253.8	0.03683	209.47	407.89	1.0338	1.7395	1.193	0.775	1.313	622	162.8	200.0	11.86	91.3	9.99	10.51	8.00
10.00	0.68095	1246.7	0.03470	211.87	408.56	1.0422	1.7368	1.199	0.785	1.319	613	162.6	195.7	11.96	90.4	10.14	10.22	10.00
12.00	0.72286	1239.5	0.03271	214.28	409.21	1.0505	1.7341	1.206	0.795	1.326	603	162.4	191.5	12.05	89.5	10.29	9.93	12.00
14.00	0.76668	1232.2	0.03086	216.70	409.85	1.0589	1.7315	1.213	0.806	1.333	594	162.2	187.3	12.14	88.6	10.45	9.64	14.00
16.00	0.81244	1224.9	0.02912	219.14	410.47	1.0672	1.7289	1.220	0.817	1.340	584	161.9	183.2	12.24	87.7	10.61	9.35	16.00
18.00	0.86020	1217.4	0.02750	221.59	411.07	1.0755	1.7263	1.228	0.828	1.348	575	161.6	179.2	12.33	86.8	10.77	9.06	18.00
20.00	0.91002	1209.9	0.02599	224.06	411.66	1.0838	1.7238	1.236	0.840	1.357	565	161.3	175.3	12.43	85.9	10.95	8.78	20.00
22.00	0.96195	1202.3	0.02457	226.54	412.22	1.0921	1.7212	1.244	0.853	1.366	555	161.0	171.5	12.53	85.0	11.12	8.50	22.00
24.00	1.01600	1194.6	0.02324	229.04	412.77	1.1004	1.7187	1.252	0.866	1.375	546	160.6	167.7	12.63	84.1	11.30	8.22	24.00
26.00	1.07240	1186.7	0.02199	231.55	413.29	1.1086	1.7162	1.261	0.879	1.385	536	160.2	163.9	12.74	83.2	11.49	7.94	26.00
28.00	1.13090	1178.8	0.02082	234.08	413.79	1.1169	1.7136	1.271	0.893	1.396	527	159.7	160.3	12.84	82.3	11.69	7.66	28.00
30.00	1.19190	1170.7	0.01972	236.62	414.26	1.1252	1.7111	1.281	0.908	1.408	517	159.2	156.7	12.95	81.4	11.89	7.38	30.00
32.00	1.25520	1162.6	0.01869	239.19	414.71	1.1334	1.7086	1.291	0.924	1.420	507	158.7	153.1	13.06	80.5	12.10	7.11	32.00
34.00	1.32100	1154.3	0.01771	241.77	415.14	1.1417	1.7061	1.302	0.940	1.434	497	158.2	149.6	13.17	79.6	12.31	6.84	34.00
36.00	1.38920	1145.8	0.01679	244.38	415.54	1.1499	1.7036	1.314	0.957	1.448	487	157.6	146.1	13.28	78.7	12.54	6.57	36.00
38.00	1.46010	1137.3	0.01593	247.00	415.91	1.1582	1.7010	1.326	0.976	1.463	478	157.0	142.7	13.40	77.8	12.77	6.30	38.00
40.00	1.53360	1128.5	0.01511	249.65	416.25	1.1665	1.6985	1.339	0.995	1.480	468	156.4	139.4	13.52	76.9	13.02	6.04	40.00
42.00	1.60980	1119.6	0.01433	252.32	416.55	1.1747	1.6959	1.353	1.015	1.498	458	155.7	136.1	13.64	76.0	13.28	5.77	42.00
44.00	1.68870	1110																

LEMBAR ASISTENSI TUGAS AKHIR

Upaya Peningkatan Performance Acwh Dengan Penambahan Sirip Pada Apk Shell Helical Coil

Nama : Ulil Amri
NPM : 1507230164

Dosen Pembimbing 1 : Chandra A Siregar, S.T., M.T
Dosen Pembimbing 2 : Ahmad Marabdi Siregar, S.T., M.T

No	Hari/Tanggal	Kegiatan	Paraf
1.	Selasa / 5-6-2019	perbaiki bab I	4
2.	Sabtu / 5-7-2019	perbaiki bab II	4
3.	Sabtu 29-8-2019	lanjutkan pembuatan alat/ set-up alat uji	4
4.	Lanjutan Rabu 23/10-2019.	lanjutkan ke pembimbing II	4
5.	Senin $\frac{6}{1}$ 2020	Perbaiki prosedur peneliti- kan	} AH.
6.	Jumat $\frac{10}{1}$ 2020	perbaiki lagi Bab-3 prosedur penelitian	
6.	Sabtu $\frac{11}{1}$ 2020:-	Perbaiki lagi prosedur dan hasil.	} AH.
		- kembali ke pembimbing	
7.	Sabtu 13/1-2020	satya. Ace seminar	4



UMSU

Unggul | Cerdas | Terpercaya

Bila menjawab surat ini agar disebutkan nomor dan tanggalnya

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

Jalan Kapten Muchtar Basri No. 3 Medan 20238 Telp. (061) 6622400 - EXT. 12
Website: <http://fatek.umsu.ac.id> E-mail: fatek@umsu.ac.id

**PENENTUAN TUGAS AKHIR DAN PENGHUJUKAN
DOSEN PEMBIMBING**

Nomor 645/3AU/UMSU-07/F/2019

Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara, berdasarkan rekomendasi Atas Nama Ketua Program Studi Teknik Mesin Pada Tanggal 10 Mei 2019 dengan ini Menetapkan :

Nama : ULIL AMRI
Npm : 1507230164
Program Studi : TEKNIK Mesin
Semester : VIII (Delapan)
Judul Tugas Akhir : PENGARUH VARIASI VOLUME AIR TERHADAP EFEKTIVITAS
PENUKAR PANAS TIPE HELICAL COIL

Pembimbing 1 : CHANDRA A SIREGAR ST.MT
Pembimbing II : AHMAD MARABDI SIREGAR ST.MT

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 05 Ramadhan 1440 H
10 Mei 2019



Dekan

Muhawar Alfansury Siregar, ST.,MT
NIDN: 0101017202

Cc. File

**DAFTAR HADIR SEMINAR
TUGAS AKHIR TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK - UMSU
TAHUN AKADEMIK 2019 - 2020**

Peserta Seminar

Nama

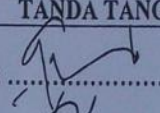
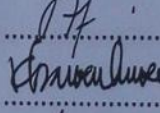
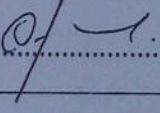
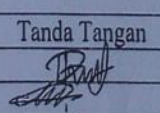
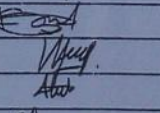
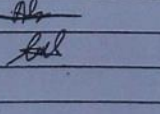
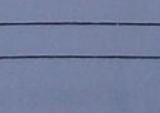
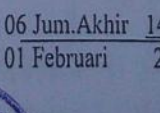
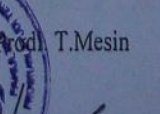
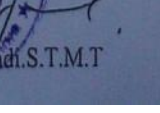
: Ulil Amri

NPM

: 1507230164

Judul Tugas Akhir

: Upaya Peningkatan Performance Acwh Dengan Penam-
Bahan Sirip Pada Apk Shell Helical Coil.

DAFTAR HADIR			TANDA TANGAN
Pembimbing - I	: Chandra A Siregar.S.T.M.T	:	
Pembimbing - II	: Ahmad Marabdi Siregar.S.T.M.T	:	
Pembanding - I	: Khairul Umurani.S.T.M.T	:	
Pembanding - II	: Affandi.S.T.M.T	:	
No	NPM	Nama Mahasiswa	Tanda Tangan
1	1507230178	DANA SETIAWAN	
2	1507230084	HOSEN EFFENDI	
3	1607230078	M. FAMAUDIN WAHDANI	
4	1607230046	M. Urip Maulana	
5	1607230062	ALDI TRISNA IRAWAN	
6	1607230080	M. ALFA APRIAN KIMARA	
7	1607230069	BAYU AZHARY	
8			
9			
10			

Medan, 06 Jum. Akhir 1441 H
01 Februari 2020 M



Ketua Prodi. T. Mesin

Affandi.S.T.M.T

DAFTAR EVALUASI SEMINAR FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA

NAMA : Ulil Amri
NPM : 1507230164
Judul T.Akhir : Upaya Peningkatan Performance Acwh Dengan Penambahan
Sirip Pada Apk Shell Helical Coil.

Dosen Pembimbing - I : Chandra A Siregar.S.T.M.T
Dosen Pembimbing - II : Ahmad Marabdi Siregar.S.T.M.T
Dosen Pembimbing - I : Khairul Umurani.S.T.M.T
Dosen Pembimbing - II : Affandi.S.T.M.T

KEPUTUSAN

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

Chandra A Siregar, S.T.M.T
Ahmad Marabdi Siregar, S.T.M.T
Khairul Umurani, S.T.M.T
Affandi, S.T.M.T

3. Harus mengikuti seminar kembali

Perbaikan :

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

Medan 06 Jum.Akhir 1441 H
01 Februari 2020 M

Diketahui :
Ketua Prodi. T.Mesin

Affandi, S.T.M.T

Dosen Pembimbing- I

Khairul Umurani, S.T.M.T
Khairul Umurani.S.T.M.T

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

NAMA : Ulil Amri
NPM : 1507230164
Judul T.Akhir : Upaya Peningkatan Performance Acwh Dengan Penambahan
Sirip Pada Apk Shell Helical Coil.

Dosen Pembimbing - I : Chandra A Siregar.S.T.M.T
Dosen Pembimbing - II : Ahmad Marabdi Siregar.S.T.M.T
Dosen Pembanding - I : Khairul Umurani.S.T.M.T
Dosen Pembanding - II : Affandi.S.T.M.T

KEPUTUSAN

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

.....
lihat buku hpsr akhir.....
.....

3. Harus mengikuti seminar kembali
Perbaikan :

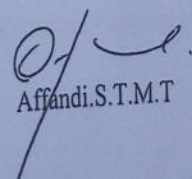
.....
.....
.....
.....

Medan 06 Jum.Akhir 1441 H
01 Februari 2020 M

Diketahui :
Ketua Prodi. T. Mesin


Affandi.S.T.M.T

Dosen Pembanding- II


Affandi.S.T.M.T

DAFTAR RIWAYAT HIDUP



A. DATA PRIBADI

1. Nama : ULIL AMRI
2. Jenis Kelamin : Laki – Laki
3. Tempat, Tanggal Lahir : MEDAN, 05 – 11 – 1997
4. Kewarganegaraan : Indonesia
5. Status : Belum Kawin
6. Agama : Islam
7. Alamat : Jln.Bajak II H Gg.Ikhlas No 38B
8. No. Hp : 0895611161535
9. Email : amri69420@gmail.com

B. RIWAYAT PENDIDIKAN

1. 2003 - 2009 : SD TPI (Taman Pendidikan Islam)
2. 2009 – 2012 : MTS N 1 Medan
3. 2012 – 2015 : SMK Negeri 2 Medan
4. 2015 – 2020 : Teknik Mesin, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara