

TUGAS AKHIR

PENGARUH SISI *HEXAGONAL HONEYCOMB SURFACE* BERBAHAN ALUMINIUM TERHADAP KINERJA ACWH

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

Disusun Oleh:

FADLI UMRI PRATAMA
1507230224



UMSU

Unggul | Cerdas | Terpercaya

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

HALAMAN PENGESAHAN

Tugas Akhir ini diajukan oleh:

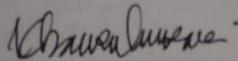
Nama : Fadli Umri Pratama
NPM : 1507230224
Program Studi : Teknik Mesin
Judul Skripsi : Pengaruh Sisi Hexagonal *Honeycomb Surface* Berbahan
Alumunium Terhadap Kinerja ACWH (*Air Conditioner
Water Heater*)
Bidang ilmu : Konversi Energi

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

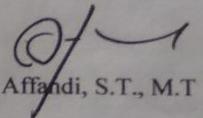
Mengetahui dan menyetujui:

Dosen Penguji I



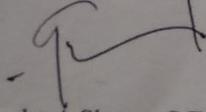
Khairul Umurani, S.T., M.T

Dosen Penguji II



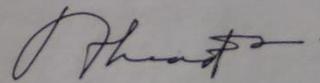
Affandi, S.T., M.T

Dosen Penguji III



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

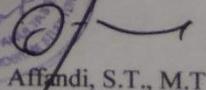
Dosen Penguji IV



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



Program Studi Teknik Mesin
Ketua,



Affandi, S.T., M.T

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Saya yang bertandatangan di bawah ini:

Nama Lengkap : Fadli Umri Pratama
Tempat / Tanggal Lahir : Jatikesuma / 01 April 1997
NPM : 1507230224
Fakultas : Teknik
Program Studi : Teknik Mesin

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

“Pengaruh Sisi Hexagonal Honeycomb Surface Berbahan Aluminium Terhadap Kinerja ACWH (Air Conditioner Water Heater) ”,

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, 28 Januari 2020

Saya yang menyatakan,



[Handwritten Signature]
Fadli Umri Pratama

ABSTRAK

Struktur sarang lebah merupakan struktur (material) alami atau buatan manusia yang memiliki geometri sarang lebah yang berbentuk segi enam, Energi panas yang terbuang dari system kinerja Ac dimanfaatkan sebagai pemanas air dengan menambahkan alat penukar kalor, Alat penukar kalor yang digunakan adalah berbentuk struktur sarang lebah berbahan alumunium struktur sarang lebah berfungsi sebagai alat penukar kalor pada system acwh, Tujuan dari penelitian ini adalah untuk membandingkan temperatur air sisi Hexagonal honeycomb berukuran 6 mm dengan sisi hexagonal 10 mm. untuk menganalisa kemampuan alat penukar kalor pada sisi hexagonal honeycomb berbahan alumunium. Pengujian alat penukar kalor berbahan alumunium yang berbentuk struktur sarang lebah dengan variasi ukuran sisi hexagonal yang berbeda, Pada pengujian ini untuk melihat mana yang lebih cepat mengantarkan panas diantara dua specimen dengan ukuran sisi hexagonal yang berbeda. Pengujian specimen struktur sarang lebah menggunakan alat uji acwh. Hasil akhir pada pengujian alat penukar kalor berbahan alumunium akan ditampilkan menggunakan grafik perbandingan panas yang diserap air dari struktur sarang lebah dengan sisi hexagonal yang berbeda. Maka dari itu bahwa hasil perhitungan dan pengolahan data perpindahan panas dengan nilai tertinggi yang dihantarkan oleh alat penukar kalor struktur sarang lebah berbahan alumunium ke air terjadi pada alat penukar kalor struktur sarang lebah sisi hexagonal 6 mm.

Kata Kunci: Struktursaranglebah (honeycomb), Alat penukar kalor, Pengujian menggunakan alat acwh, Aluminium.

ABSTRACT

The honeycomb structure is a natural or man-made structure (material) that has a hexagon shaped honeycomb geometry, Wasted heat energy from the AC performance system is used as a water heater by adding a heat exchanger. The heat exchanger used is shaped honeycomb structure made of aluminum honeycomb structure functions as a heat exchanger in the ACWH system, the purpose of this study is to compare temperatures Hexagonal honeycomb side water measuring 6 mm with a 10 mm hexagonal side. to analyze the ability of the heat exchanger on the aluminum honeycomb hexagonal side. Testing of aluminum heat exchanger in the form of honeycomb structure with different hexagonal side size variations, in this test to see which one is faster to transfer heat between two specimens with different hexagonal side sizes. Testing the honeycomb structure specimen using cwh test tool. The final results on testing the aluminum heat exchanger will be displayed using a comparison chart of heat absorbed by water from honeycomb structures with different hexagonal sides. Therefore, the result of calculation and processing of heat transfer data with the highest value delivered by the heat exchanger to the honeycomb structure made of water aluminiuke occurs in the heat exchanger hexagonal side honeycomb structure 6 mm.

Keywords: honeycomb structure, heat exchanger, testing using ACWH, aluminum.

KATA PENGANTAR

Dengan nama Allah Yang Maha Pengasih lagi Maha Penyayang. Segala puji dan syukur penulis ucapkan kehadiran Allah SWT yang telah memberikan karunia dan nikmat yang tiada terkira. Salah satu dari nikmat tersebut adalah keberhasilan penulis dalam menyelesaikan laporan Tugas Akhir ini yang berjudul “Pengaruh Sisi Hexagonal *Honeycomb Surface* Berbahan Alumunium Terhadap Kinerja Acwh Dengan Variasi Ukuran Hexagonal yang Diuji Dengan menggunakan Alat uji Acwh” 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:

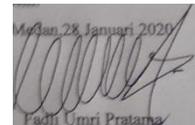
1. Bapak Chandra A Siregar, S.T.,M.T, selaku Dosen Pembimbing I dan Penguji yang telah banyak membimbing dan mengarahkan penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini, sekaligus sebagai Sekretaris Program Studi Teknik Mesin, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
2. Bapak Ahmad Marabdi Siregar, S.T.,M.T, 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 Pembimbing 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 Pembimbing 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/IbuDosen di Program Studi Teknik Mesin, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara yang telah banyak memberikan ilmu keteknik mesin kepada penulis.
7. Orang tua penulis: Zainudin dan Sumarningsi, 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: Yogi Pranata, Febry Andrean, Setiawan Hadi, Andre Kurniawan,Ulil Amri, Arifin Handrianto, Dana Setiawan, Lisa Indah Sri Rezeki 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 konstruks iteknik Mesin.

Medan,28 Januari 2020



Medan, 28 Januari 2020
Fadli Umri Pratama

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	ii
LEMBAR PERNYATAN KEASLIAN SKRIPSI	iii
ABSTRAK	iv
<i>ABSTRACT</i>	v
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR TABEL	x
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR NOTASI	xiii
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan masalah	2
1.3. Ruang lingkup	2
1.4. Tujuan	2
1.5. Manfaat	3
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1. Sarang Lebah (<i>Honeycomb</i>)	4
2.1.1. Struktur Sarang Lebah (<i>Honeycomb</i>)	4
2.1.2. Fenomena Struktur Pada Sarang Lebah	6
2.2. Aluminium	6
2.2.1. Sifat – Sifat Aluminium	7
2.2.2. Karakteristik Aluminium	9
2.2.3. Kelebihan Aluminium	9
2.2.4. Kekurangan Aluminium	9
2.3. Perpindahan panas	9
2.3.1. Perpindahan panas konduksi	10

2.3.2.	Konduktivitas Termal	11
2.3.3.	Perpindahan panas Konveksi	11
2.3.4.	Perpindahan panas Radiasi	12
2.4.	Alat Penukar Kalor	12
2.5.	Air Conditioner Water Heater	13
2.5.1.	Kelebihan sistem <i>Air Conditioner Water Heater</i>	14
2.5.2.	Kekurangan sistem <i>Air Conditioner Water Heater</i>	14
2.5.3.	Siklus <i>Air Conditioner Water Heater</i>	15
2.6.	<i>Road Map</i> Penelitian	16
BAB 3	METODOLOGI	18
3.1.	Tempat dan Waktu	18
3.1.1.	Tempat	18
3.1.2.	Waktu Penelitian	18
3.2.	Bahan dan Alat	18
3.2.1.	Lembar Pelat Aluminium	18
3.2.2.	Freon	19
3.2.3.	Pipa Tembaga	20
3.2.4.	<i>Pipe Cutter</i> (Pemotong pipa)	20
3.2.5.	<i>Flaring Tool</i>	20
3.2.6.	Meteran	21
3.2.7.	Sensor suhu	21
3.2.8.	Kunci Pas	22
3.2.9.	Nepel	22
3.2.10.	Kunci L	23
3.2.11.	Pisau <i>Cutter</i>	23
3.2.12.	Penggaris	24
3.2.13.	Palu	24
3.2.14.	Penjepit	24
3.2.15.	Cetakan spesimen ukuran sisi hexagonal 6 mm	25
3.2.16.	Cetakan spesimen ukuran sisi hexagonal 10 mm	25
3.2.17.	<i>Manifold Gauge</i>	25
3.2.18.	Mesin Bor	26
3.2.19.	Mata Bor	26
3.2.20.	Alat Uji ACWH <i>Honeycomb</i>	26
3.3.	Diagram Alir	31
3.3.1.	Penejelasan Diagram Alir	32
3.4.	Menentukan Material	32
3.5.	Prosedur Pembuatan	33
3.6.	Proses Pengujian	33
BAB 4	HASIL DAN PEMBAHASAN	35
4.1	Hasil dan Pembahasan	35
4.1.1.	Hasil Perancangan <i>Honeycomb</i> Aluminium	35
4.1.2.	Menentukan Material	35
4.1.3.	Prosedur Pembuatan	36
4.1.4.	Proses Pengujian Alat ACWH	40
4.1.5.	Hasil Data Pengujian Temperatur Air pada APK	42

- 4.1.6. Hasil Data Pengujian Waktu Terhadap Temperatur43 Refrigeran Keluar Komkpresor
- 4.1.7. Hasil Data Pengujian Waktu Terhadap Temperatur45 Refrigeran Masuk Kondensor
- 4.2 Pembahasan Perhitungan Analisa Data Perpindahan Panas- 47 Hexagonal
 - 4.2.1. Pembahasan Pada Perhitungan Analisa Data Perpi-47 ndahan Panas Hexagonal *Honeycomb* 6 dan 10mm
 - 4.2.2. Perhitungan Perpindahan Panas Dari Sisi Hexago- 51 Onal *Honeycomb* 10 mm

BAB 5	KESIMPULAN DAN SARAN	58
	5.1. Kesimpulan	58
	5.2. Saran	58

DAFTAR PUSTAKA	59
-----------------------	-----------

LAMPIRAN	
LEMBAR ASISTENSI	
DAFTAR RIWAYAT HIDUP	

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 SifatfisikAluminium	8
Tabel 2.2 SifatmekanikAluminium	8
Tabel2.3.Konduktivitas Termal	11
Tabel2.4. <i>Road map</i> penelitian ACWH	16
Tabel 3.1.Jadwal dan Kegiatan Saat melakukan penelitian	18
Tabel 3.2.Sifat Bahan Alumunium	19
Tabel 4.1.Data Hasil Pengujian Temperatur Air	43
Tabel 4.2.Data Hasil Pengujian Temperatur <i>Refrigren</i> Keluar Kompresor	44
Tabel 4.3.Data Hasil Pengujian Temperatur <i>Refrigren</i> Masuk Kondensor	46
Tabel 4.4.Propertis Air	48
Tabel 4.5.Propertis <i>Refrigren</i> R22	48
Tabel 4.6.Propertis <i>Refrigren</i> R22	49
Tabel 4.7.Propertis <i>Refrigren</i> R22	49
Tabel 4.8.Propertis <i>Refrigren</i> R22	50
Tabel 4.9.Propertis <i>Refrigren</i> R22	50
Tabel 4.10.Propertis <i>Refrigren</i> R22	52
Tabel 4.11.Propertis Air	53
Tabel 4.12.Propertis <i>Refrigren</i> R22	53
Tabel 4.13.Propertis <i>Refrigren</i> R22	54
Tabel 4.14.Propertis <i>Refrigren</i> R22	54
Tabel 4.15.Propertis <i>Refrigren</i> R22	55
Tabel 4.16.Propertis <i>Refrigren</i> R22	56

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1.Laju Perpindahan Panas Konduksi	10
Gambar 2.2.PerpindahanPanasKonveksi	12
Gambar 2.3.PerpindahanPanasRadiasi	12
Gambar 2.4.Skema atau prinsip kerja <i>air conditioner water heater</i>	14
Gambar 2.5.Siklus <i>Air-Conditioner Water Heater</i>	15
Gambar3.2.1.Lembaran Pelat Alumunium	19
Gambar3.2.2.Freon (R22)	19
Gambar3.2.3.Pipa Tembaga	20
Gambar3.2.4. <i>Pipe Cutter</i>	20
Gambar3.2.5. <i>Flaring Tool</i>	20
Gambar3.2.6.Meteran	21
Gambar3.2.7.Sensor Suhu	21
Gambar3.2.8.Kunci Pas	21
Gambar3.2.9.Nepel	23
Gambar3.2.10.Kunci L	23
Gambar3.2.11.Pisau Cutter	23
Gambar3.2.12.Penggaris	24
Gambar3.2.13.Palu	24
Gambar3.2.14.Penjepit	24
Gambar3.2.15.Cetakan Spesimen Ukuran sisi hexagonal 6 mm	25
Gambar3.2.16.Cetakan Spesimen Ukuran sisi hexagonal 10 mm	25
Gambar3.2.17. <i>Manifold Gauge</i>	25
Gambar3.2.18.Mesin Bor	26
Gambar3.2.19.Mata Bor	26
Gambar3.2.20.Alat Uji ACWH <i>Honeycomb</i>	26
Gambar3.2.21.Laptop	27
Gambar3.2.22.Arduino Uno	27
Gambar3.2.23.Kabel Koneksi	27
Gambar3.2.24.Bread board	27
Gambar3.2.25.Tangki	28
Gambar3.2.26.Sensor Suhu Air	28
Gambar3.2.27.Sensor suhu keluarkompresor	28
Gambar3.2.28.Sensor suhu masuk kondensor	28
Gambar3.2.29.Unit indorr AC	29
Gambar3.2.30.APK <i>honeycomb</i>	29
Gambar3.2.31.Pipa Freon	29
Gambar3.2.32.Rangka	29
Gambar3.2.33.Pipa Keluar Kompresor	30
Gambar3.2.34.Pipa masuk kondensor	30
Gambar 3.2.35.unit outdorr AC	30
Gambar 3.3.36.Diagram Alir Penelitian	31
Gambar 4.1.Hasil Rancangan <i>Honeycomb</i> Alumunium.	35
Gambar 4.2.Pelat berbahan Alumunium	35

Gambar 4.3. Pisau Cutter	36
Gambar 4.4.Palu	36
Gambar 4.5.Penjepit	36
Gambar 4.6.mesin bor	36
Gambar 4.7.Cetakanspesimenukuran hexagonal 6 mm	37
Gambar 4.8.Cetakanspesimenukuran hexagonal 10 mm	37
Gambar 4.9.Poses pemotongan plat alumunium	37
Gambar 4.10.Hasil pemotongan pelat alumunium	37
Gambar 4.11.Pembuatan honeycomb	37
Gambar 4.12.Hasil pembuatan honeycomb	38
Gambar 4.13.Penyatuan Honeycomb	38
Gambar 4.14.Hasil Pembuatan APK honeycomb sisi hexagonal 6,10 mm	38
Gambar 4.15.Pembuatan Lubang	39
Gambar 4.16.Proses Penutupan Struktur Honeycomb	39
Gambar 4.17.Proses penyatuan Honeycomb	39
Gambar 4.18.Proses pemasangan kedalam Tangki	40
Gambar 4.19.Proses Penyambungan APK ke jalur Refrigeran	40
Gambar 4.20.Proses Pengisian freon	41
Gambar 4.21.Proses Pengisian Air Kedalam Tangki	41
Gambar 4.22.Pengembalian Data	42
Gambar 4.23.Sample data temperature air pada waktu awal	42
Gambar 4.24.Grafik perbandingan Temperatur Air Terhadap Waktu	43
Gambar 4.25.Hasil Data Temperatur Keluaran Kompresor pada awal	44
Gambar 4.26.Grafik Perbandingan Waktu Terhadap Refrigeran Keluar	45
Gambar 4.27.Hasil Data Temperatur Masuk Kondensor Pada awal	45
Gambar 4.28.Grafik Perbandingan waktu Terhadap Refrigeran Masuk	46
Gambar 4.29.Grafik Perbandingan Q dari honeycomb ke air	57

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 padageometridansifatpermukaan
Δ	= Konstanta Stefan boltzmann $5,67 \times 10^{-8}(\text{W}/\text{m}^2\text{k}^4)$
A	=Luas permukaan, (m^2)
T_1, T_2	=Temperatur, (K)
H	= Koefisien perpindahan panas konveksi($\text{w}/\text{m}^2.\text{C}$)
V	= Volume air (liter)
L	= Panjang <i>Honeycomb</i> (m)
T_{ai}	= Temperatur awal air ($^{\circ}\text{C}$)
T_{ao}	= Temperatur akhir air ($^{\circ}\text{C}$)
ΔT_{air}	= Selisih temperatur air ($^{\circ}\text{C}$)
T_{ci}	= Tempertur masuk tangki ($^{\circ}\text{C}$)
T_{co}	= Temperatur keluar tangki ($^{\circ}\text{C}$)
ΔT_{coil}	= Selisih Temperatur <i>Refrigerant</i> ($^{\circ}\text{C}$)
W	= Energi (MJ)
T_{ra}	= Temperatur Rata-rata air ($^{\circ}\text{C}$)
C_{air}	= panas jenis air ($\text{j}/\text{kg}.\text{c}$)
\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	= Lajurefrigerant (m/s)
ρ	= Rapat massa (<i>density</i>) freon (kg/m^3)
Re	= Bilangan reynold
μ	= Viskositas Freon ($\text{kg}/\text{m}.\text{s}$)
Nu	= Bilangan nusselt
Pr	= Bilangan prandalt
$Q=H$	= laju perpindahan panas(W)

BAB 1 PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perkembangan teknologi saat ini berkembang sangat pesat seiring dengan berjalannya waktu dan berkembangnya pola pikir manusia. Hal ini disebabkan oleh kebutuhan manusia akan kemudahan dan efisiensi dalam bidang perindustrian. Dalam perkembangan dunia industri, terutama yang berhubungan dengan penelitian bahan dan penggunaannya.

Pemanfaatan struktur sarang lebah dalam industri telah berkembang pesat. Beberapa industri yang membutuhkan konstruksi ringan, kaku dan kuat telah memanfaatkan struktur ini. Industri yang telah memanfaatkan struktur ini diantaranya industri pesawat terbang, perkapalan, otomotif dan bangunan.

Struktur sarang lebah (*Honeycomb*) merupakan struktur (material) alami atau buatan manusia yang memiliki geometri sarang lebah meminimalisasi jumlah material yang digunakan untuk mencapai bobot yang minimal dan biaya yang relatif murah, sehingga didapatkan massa yang ringan terhadap konstruksi tersebut.

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.

Pemanfaatan kembali energi yang terbuang pada sistem AC adalah dengan ACWH (*Air Conditioner Water Heater*). Sistem ini bekerja dengan menggunakan alat penukar kalor yang dipasang pada sistem AC sehingga tidak membutuhkan energi tambahan. Terdapat beberapa keuntungan dengan menggunakan sistem ACWH yaitu efek pendinginan udara, efek pemanasan air hemat energi dan juga bisa melakukan penghematan baik dalam energi maupun biaya.

Perpindahan panas adalah ilmu yang berupaya memprediksi perpindahan energi yang mungkin terjadi antara badan material sebagai akibat dari perbedaan suhu. Termodinamika mengajarkan bahwa transfer energi ini sebagai panas. Ilmu perpindahan panas tidak hanya mencari untuk menjelaskan bagaimana energi panas dapat ditranfer, tetapi juga untuk memprediksi tingkat dimana pertukaran akan berlangsung dalam kondisi tertentu yang ditentukan.

Fakta bahwa perpindahan panas tingkat adalah tujuan yang diinginkan dari analisis yang menunjukkan perbedaan antara perpindahan panas dan termodinamika. Termodinamika berkaitan dengan sistem dalam kesetimbangan, itu dapat digunakan untuk memprediksi jumlah energi yang diperlukan untuk mengubah suatu sistem dari satu keadaan keseimbangan ke yang lain, dan tidak dapat digunakan untuk memprediksi seberapa cepat perubahan akan terjadi sejak sistem tidak dalam keseimbangan selama proses.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan dari latar belakang yang telah diuraikan maka rumusan masalah di dalam penelitian ini adalah Bagaimana pengaruh sisi hexagonal *honeycomb surface* berbahan alumunium terhadap ACWH.

1.3 Ruang Lingkup

Ruang lingkup diperlukan untuk menghindari pembahasan atau pengkajian yang tidak terarah agar pemecahan masalah dapat mudah dilaksanakan. Maka penulis akan membahas masalah yang berkaitan dengan :

- a. Bahan struktur sarang lebah menggunakan pelat aluminium dengan tebal 0,4 mm.
- b. Ukuran Sisi Hexagonal yang digunakan pada struktur sarang lebah adalah 6 mm, 10 mm dengan bahan plat aluminium.
- c. Pengujian spesimen *honeycomb* menggunakan alat ACWH.

1.4 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan penelitian ini adalah:

- a. Untuk membandingkan temperatur air sisi hexagonal *honeycomb* 6 mm dengan sisi hexagonal *honeycomb* 10 mm.

- b. Untuk menganalisa kemampuan alat penukar kalor pada sisi hexagonal *honeycomb surface* berbahan aluminium

1.5 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat yang diperoleh pada penelitian ini adalah :

- a. Menambah pengetahuan tentang pengujian *honeycomb surface* terhadap kinerja ACWH.
- b. Menambah pengetahuan tentang kemampuan penyerapan energi dari struktur sarang lebah yang di uji menggunakan alat ACWH.
- c. Mengetahui bagaimana proses alat penukar kalor pada struktur sarang lebah dengan variasi ukuran hexagonal yang berbeda pada pengujian menggunakan alat ACWH

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Sarang Lebah (*honeycomb*)

Sarang lebah (*Honeycomb*) adalah struktur buatan manusia yang mempunyai geometri yang berbentuk segi enam beraturan dengan panjang dan sisi sudut yang sama. Bentuk ini memungkinkan material memiliki bobot minimal dengan kekakuan dan daya tahan yang tinggi namun tetap memiliki biaya produksi yang rendah. Bentuk ini umumnya digunakan pada aplikasi Kedirgantaraan, Transportasi, Kontruksi Bangunan dan banyak lagi Industri-Industri yang lainnya. (D. Mousanezhad R. dkk 2014)

Bentuk sarang lebah (*Honeycomb*) memiliki kelebihan dibanding dengan material konvensional lainnya, antara lain:

1. Ringan
2. Memiliki kekuatan yang baik
3. Tahan lama
4. Mengurangi biaya produksi

2.1.1. Struktur Sarang Lebah (*Honeycomb*)

Struktur *Honeycomb* terdiri dari berbagai macam material dan konfigurasi yang tidak terbatas. Struktur *Honeycomb* umumnya terbuat dari material komposit, sehingga didapatkan massa yang ringan terhadap konstruksi tersebut. Selain ditujukan kepada massa material konstruksi yang ringan, juga di dapatkan tingkat fleksibilitas yang cukup besar dari pemilihan material komposit tersebut. Pertimbangan struktural pada sarang lebah (*Honeycomb sandwich*) yaitu:

1. Kekuatan

Inti dari struktur *Honeycomb Sandwich* ini dan material lapisan yang memiliki sifat mekanik yang baik dapat menghasilkan peningkatan material terhadap kekuatannya. Selain itu perawatan terhadap kerusakan maupun kecacatan material harus selalu diperiksa berjangka untuk memastikan bahwa tidak ada perubahan bentuk atau kelainan lainnya yang dapat membuat konstruksi dari *Honeycomb Sandwich* tersebut berkurang kekuatannya.

2. Kekakuan

Struktur *Honeycomb Sandwich* yang sering digunakan untuk mendapatkan kekakuan yang tinggi dan juga bobot yang ringan. Gaya geser yang bekerja pada core relative rendah, namun pemilihan material yang tepat harus tepat untuk memungkinkan tegangan geser yang terjadi. Selain itu faktor perekatan lapisan material atas dan bawah terhadap inti (*core*) juga berpengaruh terhadap pertimbangan struktural ini.

3. Temperatur

Pemilihan material yang tepat terhadap *Honeycomb Sandwich* untuk dapat bekerja secara baik umumnya berkisar pada temperatur -55°C - 170°C .

4. *Flammability*

Flammability ini terdiri dari 3 yaitu:

- a. Tidak terbakar (tahan mula terbakar)
- b. Dapat mengurangi penyebab peningkatan api ketika terbakar
- c. Dapat memisahkan terjadinya peningkatan terbakar pada material

5. *Heat Transfer*

Perpindahan panas seperti konduksi, konveksi dan radiasi bergantung kepada pemilihan material tersebut. Akan tetapi struktur *Honeycomb Sandwich* lebih baik untuk ketiga perpindahan panas tersebut dibandingkan dengan struktur konvensional lainnya. (Howard G. Allen. 1969)

Umumnya bentuk sel pada struktur *Honeycomb Sandwich* ini berbentuk segi enam dengan ukuran yang berbeda-beda sesuai kebutuhan dan memungkinkan ada pengembangan selanjutnya yang memvariasikan bentuk-bentuk khusus guna mendapatkan karakteristik tertentu dari penggunaan *Honeycomb Sandwich* ini.

Struktur sarang lebah ini juga akan memberikan karakteristik yang sangat bagus pada konstruksi material, seperti:

- a. Mempunyai kestabilan yang tinggi dan tidak mudah mengalami perubahan bentuk.
- b. Mempunyai kekuatan yang tinggi.
- c. Dapat diproduksi dalam waktu yang tak terhingga, mengingat bahan baku yang mudah didapatkan.
- d. Mempunyai daya tahan yang kuat.
- e. Mudah dirakit.

Struktur sarang lebah ini juga akan memberikan karakteristik yang sangat bagus pada konstruksi material, seperti :

- a. Mempunyai kestabilan yang tinggi dan tidak mudah mengalami perubahan bentuk.
- b. Mempunyai kekuatan yang tinggi.
- c. Dapat diproduksi dalam waktu yang tak terhingga, mengingat bahan baku yang mudah didapatkan.
- d. Mempunyai daya tahan yang kuat.
- e. Mudah dirakit.

2.1.2. Fenomena Struktur pada Sarang Lebah

Bentuk-bentuk tertentu yang dapat terguling secara keseluruhan, atau dapat pula komponennya gagal atau berubah bentuk. Berikut kita bahas fenomena tersebut.

1. Masalah pertama ialah apabila suatu struktur pada sarang lebah mengalami beban horizontal seperti angin dan gempa.
2. Masalah kedua adalah apabila bagian-bagian struktur tidak tersusun atau terhubung dengan baik.
3. Masalah ketiga yaitu ada banyak masalah struktur disekitar kekuatan komponen struktur. Kerusakan komponen dapat berupa kerusakan akibat tarik, lentur, geser, torsi, gaya tumpu atau deformasi kelebihan.

2.2 Aluminium

Aluminium adalah logam yang paling banyak terdapat di kerak bumi dan unsur ketiga terbanyak setelah oksigen dan silikon. Aluminium terdapat di kerak bumi sebanyak kira-kira 8,07% hingga 8,23% dari seluruh massa padat dari kerak bumi, dengan produksi tahunan dunia sekitar 30 juta ton pertahun dalam bentuk bauksit dan bebatuan lain (*corrundum*, *gibbsite*, *boehmite*, *diaspore*, dan lain-lain). Sulit menemukan aluminium murni di alam karena aluminium merupakan logam yang cukup reaktif.

Aluminium murni adalah logam yang lunak, tahan lama, ringan, dan dapat ditempa dengan penampilan luar bervariasi antara keperakan hingga abu-abu, tergantung kekasaran permukaannya.

Aluminium murni 100% tidak memiliki kandungan unsur apapun selain aluminium itu sendiri, namun aluminium murni yang dijual dipasaran tidak pernah mengandung 100% aluminium, melainkan selalu ada pengotor yang terkandung di dalamnya. Pengotor yang mungkin berada di dalam aluminium murni biasanya adalah gelembung gas di dalam yang masuk akibat proses peleburan dan pendinginan/pengecoran yang tidak sempurna.

Material cetakan akibat kualitas cetakan yang tidak baik, atau pengotor lainnya akibat kualitas bahan baku yang tidak baik (misalnya pada proses daur ulang aluminium). Umumnya, aluminium murni yang dijual dipasaran adalah aluminium murni 99%, misalnya aluminium *foil*.

2.2.1 Sifat- Sifat Aluminium

Sifat-sifat penting yang dimiliki aluminium sehingga banyak digunakan sebagai material teknik adalah sebagai berikut:

1. Berat jenisnya ringan (hanya $2,7 \text{ gr/cm}^3$, sedangkan besi $\pm 8,1 \text{ gr/cm}^3$)
2. Tahan korosi

Sifat bahan korosi dari aluminium diperoleh karena terbentuknya lapisan aluminium oksida (Al_2O_3) pada permukaan aluminium (fenomena pasivasi). Pasivasi adalah pembentukan lapisan pelindung akibat reaksi logam terhadap komponen udara sehingga lapisan tersebut melindungi lapisan dalam logam dari korosi. Lapisan ini membuat Al tahan korosi tetapi sekaligus sukar dilas, karena perbedaan *Melting Point* (titik lebur).

3. Penghantar listrik dan panas yang baik

Aluminium juga merupakan konduktor panas dan elektrik yang baik. Jika dibandingkan dengan massanya, aluminium memiliki keunggulan dibandingkan dengan tembaga, yang saat ini logam konduktor panas dan listrik yang cukup baik, namun cukup berat.

4. Mudah difabrikasi/ditempa

Sifat lain yang menguntungkan dari aluminium adalah sangat mudah difabrikasi, dapat dituang (dicor) dengan cara penuangan apapun. Dapat *deforming* dengan cara: *rolling*, *drawing*, *forging*, *extrusi*, dan lain-lain. Dan menjadi bentuk yang rumit sekalipun.

5. Kekuatannya rendah tetapi pemaduan (*alloying*) kekuatannya bisa ditingkatkan

Kekuatan dan kekurangan aluminium tidak begitu tinggi dengan pemaduan dan *heat treatment* dapat ditingkatkan kekuatan dan kekerasannya. Kekuatan mekanik meningkat dengan penambahan Cu, Mg, Si, Mn, Zn dan Ni. Sifat elastisnya yang sangat rendah, hampir tidak dapat diperbaiki baik dengan pemaduan maupun dengan *heat treatment*.

Selain sifat yang diatas, aluminium juga memiliki sifat fisika, mekanik yaitu:

a. Sifat Fisika Aluminium, seperti pada Tabel dibawah:

Tabel 2.1 Sifat fisik Aluminium (Surdia,1999)

Sifat – sifat	Kemurnian Al (%)	
	99,996	>99,0
Massa Jenis (20°C)	2,6968	2,71
Titik Cair	660,2	653-657
Panas Jenis (cal/g°C)(100°C)	0,2226	0,2297
Hantaran Listrik (%)	64,94	59
Koefisien Pemuai (20-100°C)	23,86 x 10 ⁻⁶	23,5 x 10 ⁻⁶
Jenis Kristal, konstanta kisi	<i>fcc</i> ,a=4,013 kX	<i>fcc</i> ,a=4,04 Kx

Tabel 2.2 Sifat mekanik Aluminium (Surdia,1999)

Sifat-sifat	Kemurnian Al (%)			
	99,996		>99,0	
	Dianil	75% dirol dingin	Dianil	H18
Kekuatan tarik (kg/mm ²)	4,9	11,6	9,3	16,9
Kekuatan mulur (0,2%)(kg/mm ²)	1,3	11,0	3,5	14,8
Perpanjangan (%)	48,8	5,5	35	5
Kekerasan Brinell	17	27	23	44

Tabel 2.1 menunjukkan sifat fisik Al dan Tabel 2.2 menunjukkan sifat mekaniknya. Ketahanan korosi berubah menurut kemurnian, pada umumnya untuk kemurnian 99,0 % atau diatasnya dapat dipergunakan di udara tahan dalam bertahun-tahun. Hantaran listrik Al, kira-kira 65 % dari hantaran listrik tembaga, tetapi masa jenisnya kira-kira sepertiganya sehingga memungkinkan untuk memperluas penampangnya. Oleh karena itu dapat dipergunakan untuk kabel tenaga dan dalam berbagai bentuk umpamanya sebagai lembaran tipis (*foil*).

Dalam hal ini dipergunakan Al dengan kemurnian 99,0%. Untuk reflektor yang memerlukan reflektifitas yang tinggi juga untuk kondensor elektronik dipergunakan aluminium dengan kemurnian 99,99%(Surdia,1999).

2.2.2. Karakteristik Alumunium

Aluminium merupakan logam berwarna putih keperakan dengan sifat ringan, kuat, namun mudah dibentuk. Nomor atom aluminium adalah 13 dan diwakili dengan simbol Al. Dalam kerak bumi, aluminium merupakan unsur paling belimpah ketiga setelah oksigen dan silikon.

Aluminium merupakan konduktor panas dan listrik yang sangat baik, bahkan lebih baik dari tembaga. Logam ini merupakan elemen yang sangat reaktif dan membentuk ikatan kimia yang kuat dengan oksigen. Aluminium akan membentuk lapisan sangat tipis oksida aluminium ketika beraksi dengan udara yang akan melindungi dari karat.

2.2.3. Kelebihan Alumunium

- a. Tahan keropos dan tidak akan dimakan rayap. Bahan aluminium yang lebih tahan lama daripada kayu. Tidak menyusut seperti kayu, dan bentuk tidak akan pernah berubah atau jadi melengkung jika dilanda cuaca ekstrim seperti panas, kemarau, atau dingin di musim penghujan.
- b. Desainnya dapat dibuat sesuai pesanan. Keunggulan aluminium adalah karena materialnya kuat namun bobotnya tetap ringan sehingga mudah dipindahkan. Bahan aluminium juga mudah dirawat.
- c. Ekonomis, dalam pengertian biaya proses pembuatan, pemasangan, dan perawatan. Aluminium lebih murah dan tahan lama.

2.3.4 Kekurangan Alumunium

- a. Mudah tergores
- b. Lemah terhadap benturan
- c. Kurang fleksibel dalam desain

2.3. Perpindahan Panas

Perpindahan panas adalah ilmu yang berupaya memprediksi perpindahan energi yang mungkin terjadi antara badan material sebagai akibat dari perbedaan suhu. Termodinamika mengajarkan bahwa transfer energi ini sebagai panas. Ilmu perpindahan panas tidak hanya mencari untuk menjelaskan bagaimana energi

panas dapat ditranfer, tetapi juga untuk memprediksi tingkat dimana pertukaran akan berlangsung dalam kondisi tertentu yang ditentukan.

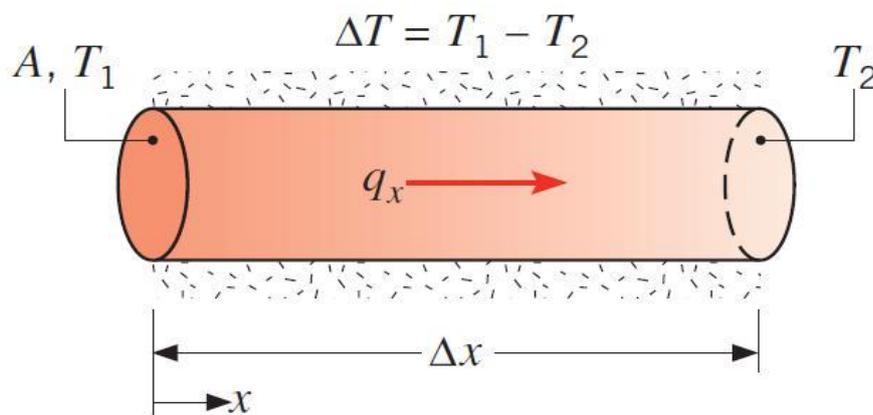
Fakta bahwa perpindahan panas tingkat adalah tujuan yang diinginkan dari analisis yang menunjukkan perbedaan antara perpindahan panas dan termodinamika. Termodinamika berkaitan dengan sistem dalam kesetimbangan, itu dapat digunakan untuk memprediksi jumlah energi yang diperlukan untuk mengubah suatu sistem dari satu keadaan keseimbangan ke yang lain, dan tidak dapat digunakan untuk memprediksi seberapa cepat perubahan akan terjadi sejak sistem tidak dalam keseimbangan selama proses.

Suplemen transfer panas yaqng pertama dan kedua prinsip-prinsip termodinamika dengan memberikan aturan eksperimental tambahan yang dapat digunakan untuk menetapkan tingkat transfer energi. Seperti dalam ilmu termodinamika, aturan eksperimental yang digunakan sebagai dasar subjek perpindahan panas sederhana dan mudah diperluas.(JP.Holman, 2010)

2.3.1. 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 seperti dibawah:

$$Q_{cond} = KA \frac{T_1 - t = T_2}{\Delta x} = -KA \frac{\Delta t}{\Delta x} \quad (2.1)$$



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

2.3.2 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 2.3 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

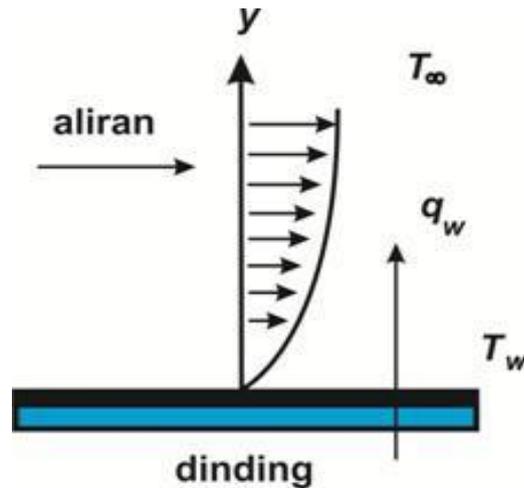
2.3.3 Perpindahan Panas Konveksi

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 dikena 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:

$$q = hA(T_w - T_{oo}) \quad (2.2)$$



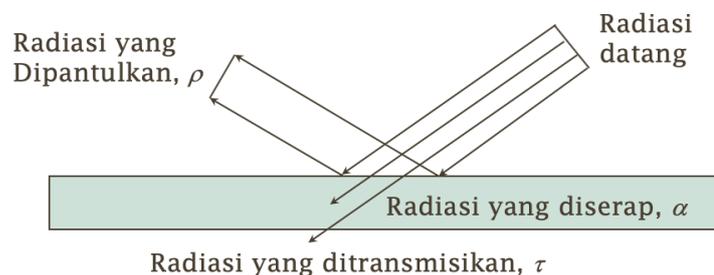
Gambar 2.2 Perpindahan Panas Konveksi (JP.Holman, 2010)

2.3.4 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)

2.4. Alat Penukar Kalor (*Heat Exchanger*)

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:

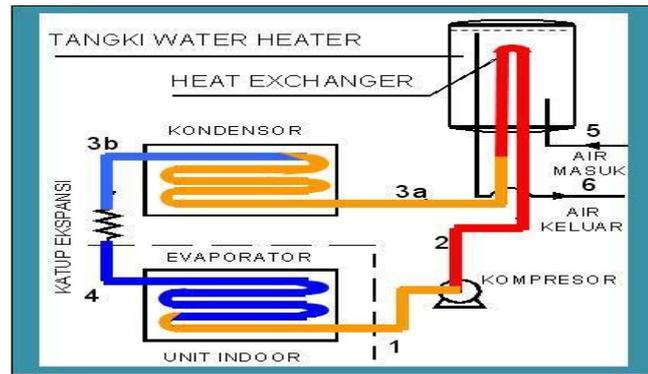
1. APK yang langsung, ialah dimana fluida yang panas akan bercampur secara langsung dengan fluida dingin (tanpa adanya pemisah) dalam suatu bejana tertentu atau ruangan tertentu.
2. APK yang tidak langsung, ialah dimana fluida panas tidak berhubungan langsung (*indirect contact*) dengan fluida dingin. Jadi proses perpindahan panasnya itu mempunyai media perantara, seperti pipa, plat atau peralatan sejenisnya.

Peralatan yang masuk pada kelompok pertama (langsung) adalah jet condensor, pesawat desuperheater, pada ketel (water injection desuperheater), pesawat deaerator (yaitu antara air ketel dengan uap yang diinjeksikan), dan lain-lain. Sedangkan jenis yang kedua (tidak langsung) adalah kondensor pada turbin uap, pesawat pemanas uap lanjut pada ketel (antara uap basah dengan gas asap panas pembakaran), pemanas air pendahuluan pada ketel (ekonomiser), pemanas udara pembakaran (air preheater) dan lain-lain.

2.5 Air conditioner water heater

Air conditioner water heater adalah pemanas air yang memanfaatkan temperatur *refrigerant* yang sangat tinggi pada saat keluar dari kompresor . pada Acbiasa, temperatur tersebut akan diturunkan kembali (dibuang) pada kondensor dengan cara ditiup dengan kipas atau *fan* ,sebelum masuk kondensor ,aliran *freon*.

dengan temperatur tinggi tersebut dialirkan terlebih dahulu ke dalam tangki yang berisi air dingin. Di dalam tangki terdapat pipa atau coil yang disebut Heat Exchanger. Sehingga terjadi kontak antara refrigerant panas dan air dingin pada heat exchanger. Air yang semula dingin perlahan akan memanas sesuai dengan temperatur refrigerant. Sebaliknya refrigerant yang semula sangat panas akan menurun temperaturnya sedikit demi sedikit sebagai hasil pertukaran kalor dengan air dingin tersebut.



Gambar 2.4 Skema atau prinsip kerja *air conditioner water heater*(purba 2014)

2.5.1. Kelebihan sistem air-conditioner water heater:

1. Lebih menghemat energi.
2. Menekan biaya operasional karena memanfaatkan panas buangan AC.
3. Mampu mengurangi udara panas hasil buangan AC di luar rumah, karena panas pembuangan AC dalam pemrosesan diubah menjadi udara dingin.
4. AC menjadi lebih dingin.

2.5.2. Kekurangan sistem air-conditioner water heater:

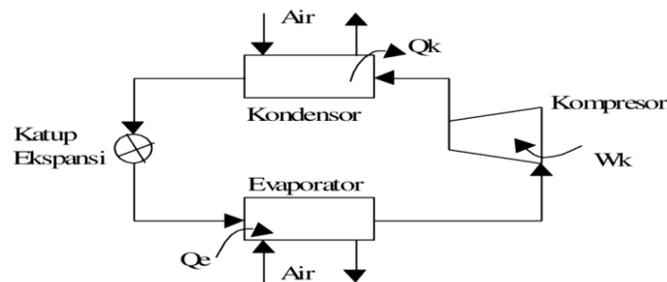
1. Ketergantungan yang tinggi terhadap AC sehingga jika AC tidak menyala maka tidak bisa memakai water heater.
2. Peletakan water heater harus berdekatan dengan kompresor AC sebab bila terlalu jauh akan memperlambat proses pemanasan. Pengaruh AC dengan dipasangnya tangki pemanas air atau water heater tank tergantung pada kerja sistem AC yang digunakan.

Seberapa banyak kuantitas dan kualitas suhu air panas yang didapatkan tergantung seberapa lama sistem AC bekerja secara terus menerus dan seberapa besar kapasitas tangki yang digunakan. Selain itu berdampak juga pada daya listrik yang digunakan oleh sistem AC sehingga biaya yang digunakan untuk membayar biaya listrik pun semakin besar. Pada sistem penukar panas atau heat exchanger terdapat beberapa jenis, yaitu;

- Tubular Heat Exchanger
- Plate Heat Exchanger
- Shell and Tube Heat Exchanger
- Jacketed Vessel

2.5.3. Siklus Air-Conditioner Water Heater

ACWH yang memanfaatkan kalor buang dari unit *indoor* untuk memanaskan air. Sebagian kalor dari *refrigerant* yang sudah dikompresikan oleh kompresor digunakan kembali untuk memanaskan air dibantu dengan *heat exchanger*. *Heat exchanger* sangat menentukan kinerja dari sistem *air conditioner water heater* ini. Pada sistem ACWH sangat dibutuhkan *heat exchanger* yang dapat memindahkan kalor sebaik mungkin dari *refrigerant* tanpa menyebabkan kebocoran yang dapat mempengaruhi kinerja unit *indoor* atau evaporator.



Gambar 2.5 Siklus Air-Conditioner Water Heater (digilib.polban.ac.id)

Siklus refrigerasi kompresi uap ideal yang terdapat pada sistem *air-conditioner water heater* dapat digambarkan dalam diagram seperti gambar di atas. Proses-proses

yang terjadi adalah,:

- Proses 1 ke 2

Refrigerant dihisap oleh kompresor lalu diberi tekanan oleh kompresor hingga berubah fasa dari cair menjadi gas, bertemperatur dan bertekanan tinggi.

- Proses 2 ke 3

Panas *refrigerant* ditransfer ke permukaan *coil* sehingga panas dari *refrigerant* berpindah untuk memanaskan air. Begitu sebaliknya, *refrigerant* mengalami penurunan tekanan dan temperatur dan sebagian berubah fasamenjadi cair.

- Proses 3 ke 4

Refrigerant keluaran kondensor dan *heat exchanger* digabungkan kembalisebelum melalui pipa kapiler atau katup ekspansi.*Refrigerant* bertekanan danbertemperatur tinggi selanjutnya melalui pipa kapiler atau katupekspansisehingga mengalami penurunan temperatur dan tekanan.

2.6. Road Map Penelitian

Tabel 2.4 Road Map Penelitian ACWH di Fakultas Teknik Mesin 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 Helical Coil</i>
2	Arifin Ardianto	1507230156	Analisa <i>Performance Air Conditioner</i> (AC) Dengan Penambahan APK <i>Shell Helical Coil</i>
3	Ulil Amri	1507230164	Upaya Peningkatan <i>Performance</i> ACWH Dengan Penambahan Sirip Pada APK <i>Shell Helical Coil</i>
4	Andri Kurniawan	1507230193	Pengaruh Panjang Pipa <i>Capiler</i> Terhadap Efektivitas Alat Penukar Kalor Tipe <i>Shell Helical Coil</i>
5	Yogi Pranata	1507230218	Peningkatan Kinerja ACWH Dengan Memanfaatkan <i>Honeycomb Surface</i> Berbahan Tembaga Sebagai Penukar Kalor
6	Fadli Umri Pratama	1507230224	Pengaruh Sisi Hexagonal <i>Honeycomb Surface</i> Berbahan Alumunium Terhadap ACWH
7	Febry Andean	1507230159	Peningkatan Kinerja ACWH Dengan Memanfaatkan <i>Honeycomb Surface</i> Berbahan Kuningan Sebagai Penukar Kalor
8	Dana Setiawan	1507230178	Analisis Unjuk Kerja (COP) Mesin Pengkomdisian Udara (AC) Dengan Penambahan Alat Penukar Kalor Tipe <i>Helical Coil</i> Bersirip Sebagai Pemanas Air
9	Aldi Trisna Irawan	1607230062	Analisa Numerik Perpindahan Panas Pada ACWH Dengan Pipa Papiler

Sebagai Penghantar Panas.

10	M.Kamaludin Wahdani	1607230075	Analisa Numerik Peroindahan Panas Pada ACWH Dengan Honeycomb Sebagai Pengahantar Panas
----	------------------------	------------	--

BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Tempat dan Waktu

3.1.1 Tempat

Tempat pelaksanaan dalam pengerjaan alat penukar kalor *Honeycomb surface* ini adalah di Laboraturium Proses Produksi Dan Prestasi Mesin Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara Jalan Mukhtar Basri No 3.

3.1.2 Waktu

Waktu pelaksanaan pembuatan dan kegiatan pengujian dilakukan sejak tanggal usulan oleh Program Studi Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara seperti pada tabel 3.1 dibawah ini.

Tabel 3.1 jadwal dan kegiatan saat melakukan penelitian

No	Kegiatan	Waktu (Bulan)						
		6	7	8	9	10	11	12
1	Study literature							
2	Pembuatan Alat Penukar Kalor <i>Honeycomb</i>							
3	Pengujian dan pengambilan data							
4	Analisa Data							
5	Penulisan laporan akhir							
6	Seminar akhir dan Sidang Sarjana							

3.2. Bahan Dan Alat

Bahan yang digunakan didalam penelitian pengaruh sisi hexagonal *honeycomb surface* berbahan aluminium terhadap ACWH adalah sebagai berikut:

3.2.1 Lembaran Pelat Aluminium

Lembaran aluminium yang digunakan dengan tebal 0,4 mm untuk membuat struktur sarang lebah yang dibentuk menggunakan alat pencetak adapun sifat fisik dari plat aluminium tersebut ada pada tabel 3.2.

Tabel 3.2. Sifat mekanik bahan aluminium

No	Sifat	Keteranagn
1	Densitas	2.8 g/cm ² (170 lb/ft ²)
2	Yield Strenght	47 to 220 MPa (6.8 to 32 x 10 ³ psi)
3	Modulus Young	69 GPa (10x10 ⁶ psi)
4	Poison Ratio	0,33



Gambar 3.2.1: Lembaran pelat aluminium

3.2.2. Freon

Freon berfungsi sebagai bahan pendingin sekaligus pemanas yang dialirkan melalui alat penukar panas *honeycomb*. Gambar dari Freon dapat dilihat pada gambar 3.2.2 :



Gambar 3.2.2 Freon (R22)

3.2.3. Pipa Tembaga

Pipa tembaga digunakan untuk Menyatukan *Honeycomb* dan saling terhubung di antara kedua sisinya. Pipa tembaga dapat dilihat pada gambar 3.2.3 :



Gambar 3.2.3 Pipa Tembaga

Alat yang digunakan didalam Penelitian pengaruh sisi hexagonal *honeycomb surface* berbahan alumunium terhadap ACWH adalah sebagai berikut:

3.2.4. *Pipe Cutter* (Pemotong Pipa)

Pipe cutter (pemotong pipa) berfungsi untuk memotong pipa tembaga. Gambar dari pipe cutter (pemotong pipa) dapat dilihat pada gambar3.2.4 :



Gambar 3.2.4 *Pipe Cutter*

3.2.5. *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 3.2.5 :



Gambar 3.2.5 Flaring Tool

3.2.6. Meteran

Meteran digunakan untuk mengukur panjang besi siku atau mengukur pipa tembaga yang diinginkan untuk dipotong sesuai ukuran. Gambar dari meteran dapat dilihat pada gambar 3.2.6 :



Gambar 3.2.6 Meteran

Lebar : 25 mm

Panjang Max : 7,5 m

3.2.7. Sensor Suhu

Sensor suhu digunakan untuk mengukur suhu kompresor, kondensator dan air ketika pengujian berlangsung. Gambar dari sensor suhu dapat dilihat pada gambar 3.2.7 :



Gambar 3.2.7 Sensor Suhu

Tipe :DS18B20

Suhu maximal :135°C

Suhu minimal :-35°C

3.2.8. Kunci Pas

Kunci pas digunakan untuk mengencangkan dan mengunc ibaut yang digunakan dalam rangkaian ACWH. Gambar darikunci pas dapat dilihat pada gambar3.2.8 :



Gambar 3.2.8Kunci Pas

3.2.9. Nepel

Nepel berfungsi untuk menyambung pipa tembaga dan untuk menahan kebocoran pada pipa tembaga. Gambar dari nepel dapat dilihat pada gambar3.2.9 :



Gambar 3.2.9Nepel
3.2.10. Kunci L

Kunci L digunakan untuk membuka dan menutup tube yang ada pada tabung penyimpanan Freon. Gambar kunci L dapat dilihat pada gambar3.2.10:



Gambar 3.2.10Kunci L

3.2.11. Pisau *Cutter*

Kegunaan dari pisau *cutter* ini adalah untuk memotong pelat aluminium dapat dilihat padagambar 3.2.11:



Gambar 3.2.11 :Pisaucutter

3.2.12. Penggaris

Penggaris ini digunakan untuk mengukur pelat aluminium serta mengukur panjang spesimen dapat dilihat pada gambar 3.2.12:



Gambar 3.2.12 :Penggaris

3.2.13. Palu

Palu ini digunakan untuk memukul pelat aluminium ketika pada saat proses pembuatan struktur pada *honeycomb surface* seperti pada gambar 3.2.13:



Gambar 3.2.13: Palu

3.2.14. Penjepit

Alat ini digunakan untuk menjepit pelat aluminium pada saat proses pembuatan *honeycomb surface* pada cetakan seperti pada gambar 3.2.14:



Gambar 3.2.14: Penjepit

3.2.15. Cetakan spesimen ukuran sisi hexagonal 6 mm

Cetakan specimen untuk membuat inti (*honeycomb surface*) dapat dilihat pada gambar 3.2.15:



Gambar 3.2.15: Cetakan specimen ukuran sisi hexagonal 6 mm

3.2.16. Cetakan specimen ukuran sisi hexagonal 10 mm

Cetakan specimen untuk membuat inti (*core*) pada struktur sarang lebah dapat dilihat pada gambar 3.2.16:



Gambar 3.2.16: Cetakan specimen ukuran sisi hexagonal 10 mm

3.2.17. 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 3.2.17 :



Gambar 3.2.17 Manifold Gauge

3.2.18. Mesin bor

Alat ini digunakan untuk melubangi sisi-sisi hexagonal pada struktur *honeycomb surface*, dapat dilihat pada gambar 3.2.18:



Gambar 3.2.18 : mesin bor

3.2.19. Mata bor

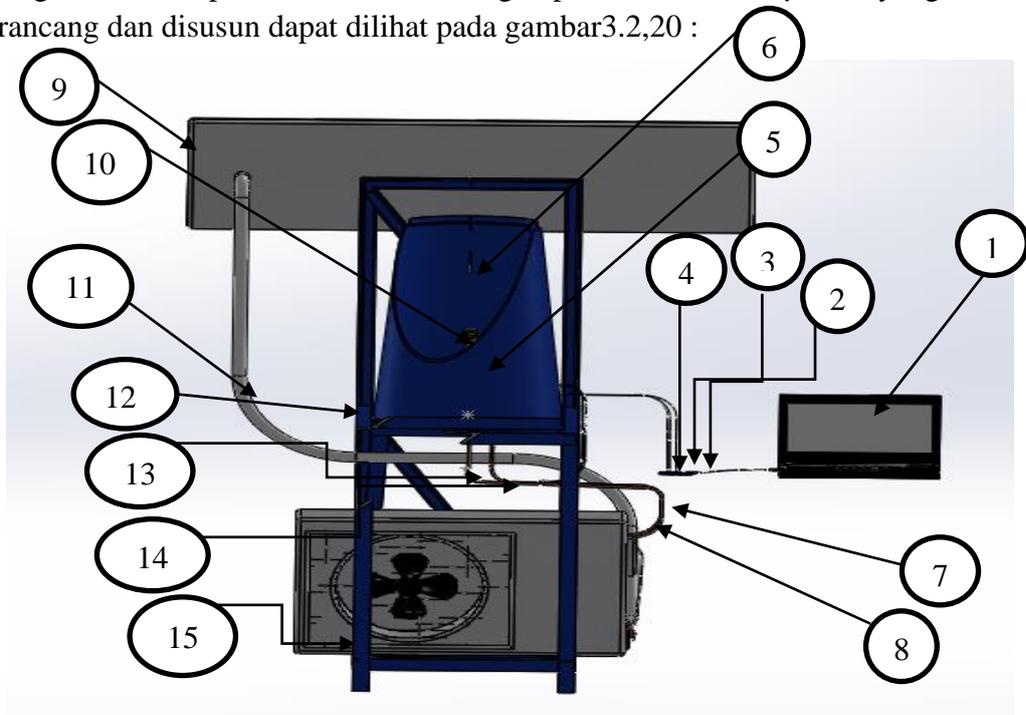
Mata bor ini digunakan untuk melubangi sisi-sisi hexagonal pada struktur *honeycomb surface*, dapat dilihat pada gambar 3.2.19:



Gambar 3.2.19 mata bor 3 mm

3.2.20. Alat Uji ACWH *Honeycomb*

Bagian-bagian dan komponendari ACWH dengan penambahan *honeycomb* yang telah dirancang dan disusun dapat dilihat pada gambar3.2,20 :



Gambar 3.2.20. Alat Uji ACWH *Honeycomb*

Keterangan :

1. Laptop



Gambar 3.2.21 Laptop

2. Arduino uno



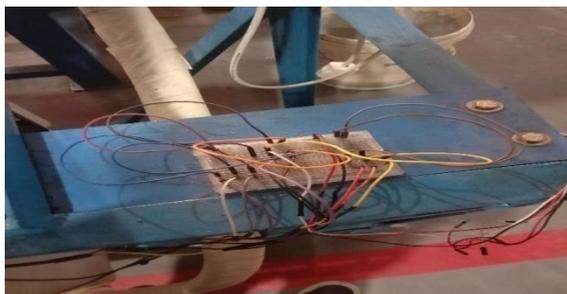
Gambar 3.2.22 Arduino Uno

3. Kabel koneksi arduino uno ke bread board



Gambar 3.2.23 Kabel Koneksi

4. Bread board



Gambar 3.2.24 Bread Board

5. Tangki



Gambar 3.2.25 Tangki

6. Sensor suhu air



Gambar 3.2.26 Sensor Suhu Air

7. Sensor suhu keluar kompresor



Gambar 3.2.27. Sensor suhu keluar kompresor

8. Sensor suhu masuk kondensor



Gambar 3.2.28. Sensor suhu masuk kondensor

9. Unit indor AC



Gambar 3.2.29. Unit indor AC

10. APK *honeycomb* alumunium



Gambar 3.2.30 Apk Honeycomb alumunium

11. Pipa freon



Gambar 3.2.31. Pipa Freon

12. Rangka



Gambar 3.2.32 Rangka

13. Pipa keluar kompresor



Gambar 3.2.33 Pipa Keluar Kompresor

14. Pipa masuk kondensor



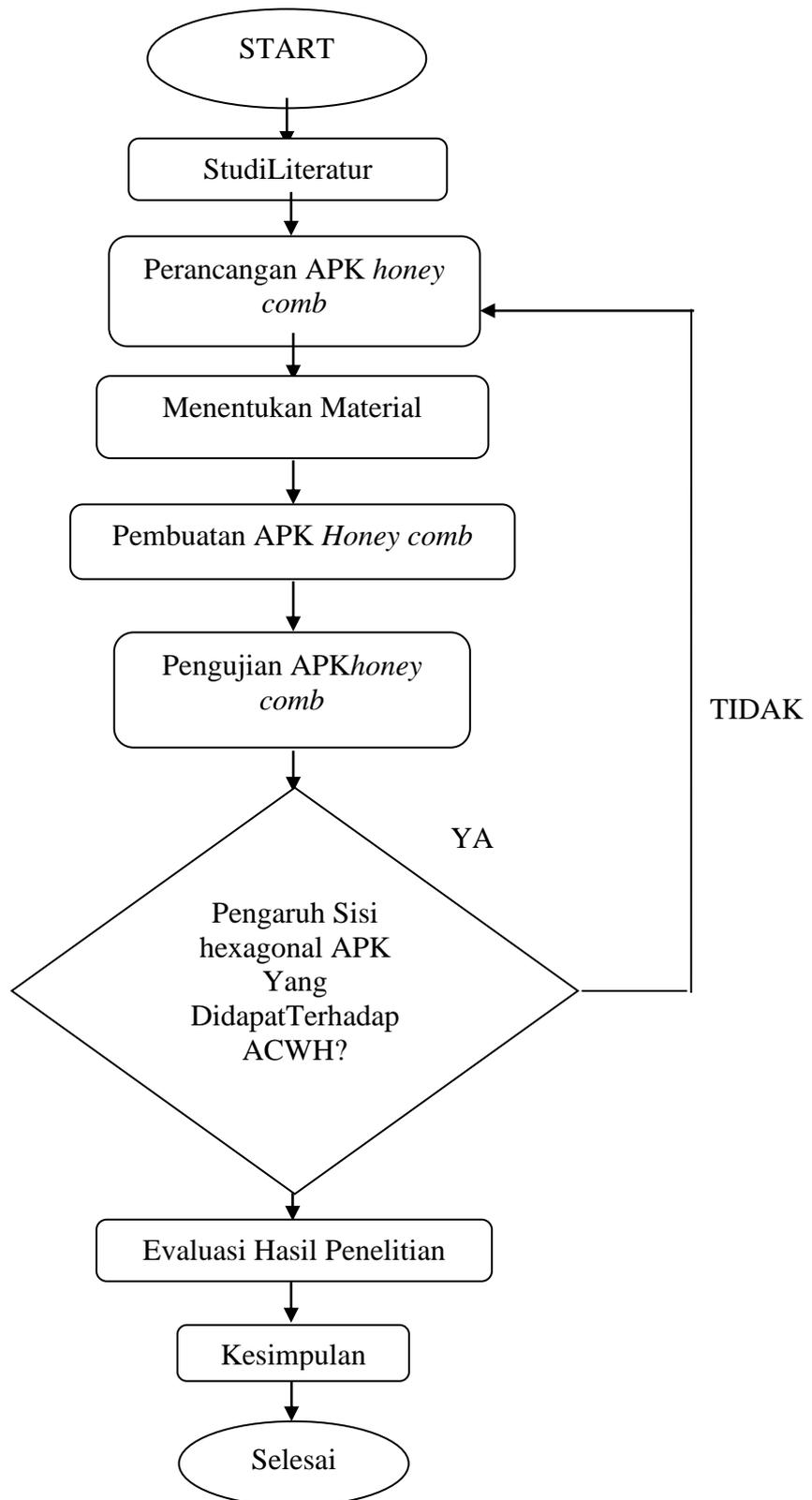
Gambar 3.2.34 Pipa masuk kondensor

15. Unit outdoor AC



Gambar 3.2.35 unit outdorr AC

3.3 Diagram AlirPenelitian



Gambar 3.3,36 Diagram Alir Penelitian

3.3.1. Penjelasan Diagram Alir

1. Study Literature, merupakan bagian sangat penting dari sebuah proposal atau laporan penelitian, karena untuk memahami teori-teori dan rumusan yang mendasari topic permasalahan dalam penelitian, study literature ini dilakukan dengan membaca berbagai literature yang berhubungan dengan penelitian ini, baik buku-buku teks, jurnal, maupun tugas sarjana.
2. Perancangan adalah penggambaran, perencanaan dan pembuatan sket sa atau pengaturan dari beberapa elemen yang terpisah kedalam satukesatuan yang utuh dan berfungsi perancangan system dapat dirancang dalam bentuk baganalir sistem.
3. Menentukan material adalah proses pemilihan material dan komponen yang sesuai dengan rancangan alat. Meliputi :jenis material, kekuatan dan harga material yang digunakan.
4. Pembuatan alat penukar kalor APK yang berbentuk sarang lebah(*honeycomb*) dengan ukuran yang ditentukan.
5. Melakukan pengujian alat penukar kalor *honeycomb* pada alat uji ACWH
6. Melihat hasil dari pengujian tingkat eefektivitas aalat penukar kalor *honeycomb* dengan panjang 60 cm.
7. Mencatat dan menganalisa hasil dari pengujian dari alat penukar kalor *honeycomb* dan mengevaluasi dari pengujian.
8. Menyimpulkan hasil dari pengujian alat penukar kalor *honeycomb* yang telah di analisis dan evaluasi.
9. Selesai.

3.4. Menentukan Material

Material yang digunakan pada pembuatan alat penukarkalor *honeycomb* adalah Alumunium dengan tebal 0,4 mm panjang 1,2 m lebar 38 cm.

3.5. Prosedur Pembuatan

Adapun langkah-langkah pembuatan alat penukar kalor honeycomb sebagai berikut :

- Menyiapkan peralatan seperti : 1. Gunting potong 2. palu 3. penjepit 4. Mesinbor 5. cetakan honeycomb.
- Memotong plat Alumunium menggunakan gunting potong dengan ukuran yang sudah direncanakan yaitu : panjang 60 cm lebar 2 cm.
- Mencetak plat Alumunium menggunakan cetakan honeycomb dengan ukuran sisi hexagonal 6 mm dan 10 mm dengan cara memukul plat Alumunium yang sudah di potong dan di jepit di cetakan menggunakan palu.
- Membuat lubang menggunakan mesin bor dengan mata bor 3 mm dan 5 mm di sisi hexagonal bertujuan untuk mengalirkan refrigerant ke alat penukar kalor.
- Mengelem plat Alumunium yang sudah di cetak dan di lubangin agar menjadi alat penukar kalor honeycomb.
- Mengelem tutup alat penukar kalor honeycomb.
- Kemudian memasang alat penukar kalor honeycomb ke tangki.
- Setelah itu menyambung alat penukar kalor honeycomb ke jalur refrigerant masuk kondensor dan keluar kompresor ke kondensor menggunakan nepel.
- Selesai.

3.6. Proses Pengujian

Adapun prosedur pengujian specimen menggunakan alat uji ACWH dapat dilihat sebagai berikut :

1. Menyiapkan alat uji ACWH dan laptop beserta arduinouno
2. Memasang APK *honeycomb surface* ke dalam tangki air ACWH
3. Mengisi tangki penyimpanan ACWH dengan air sebanyak 60 L
4. Menghubungkan sensor suhu DS18B20 ke arduinouno.
5. Menghidupkan laptop dan membuka program arduino. Kemudian hubungkan arduinouno ke laptop.
6. Hidupkan alat uji ACWH, kemudian pasang alat *manifold gauge* untuk mengetahui tekanan Freon.

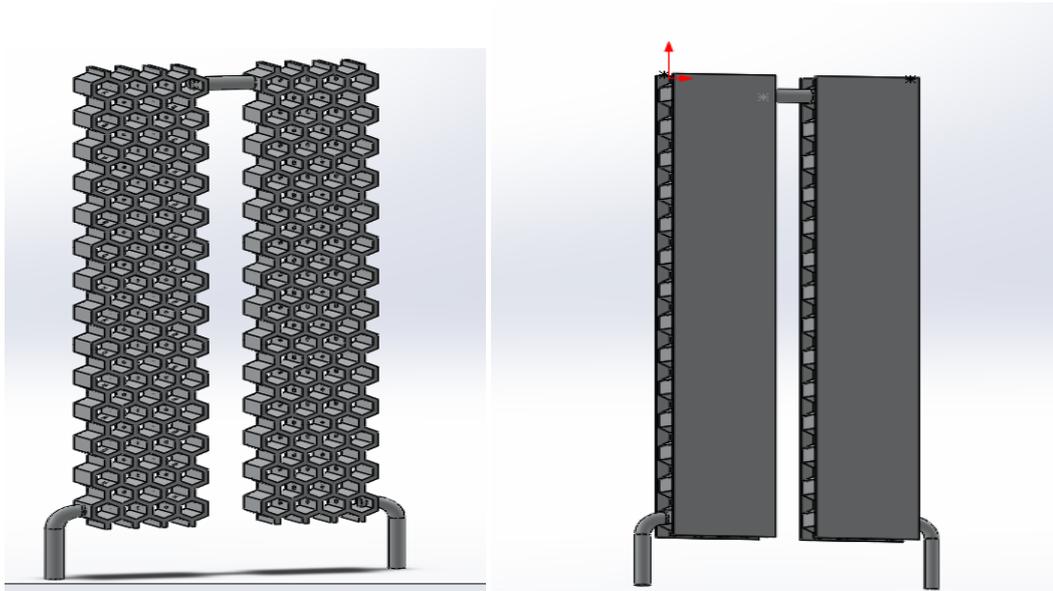
7. Kemudian amati dan catat data pengujian hingga suhu air yang ada di dalam tangki mencapai suhu air yang digunakan untuk keperluan mandi yaitu sebesar 42-45°C. Pengambilan data pada pengujian meliputi; tekanan Freon, temperatur keluar kompresor, temperatur masuk kondensor dan suhu air di dalam tangki.
8. Pengujian dilakukan 3 kali yaitu pada temperatur 16°C, 18°C, dan 20°C.
9. 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.

BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil dan Pembahasan

4.1.1. Hasil Rancangan *Honeycomb* Alumunium

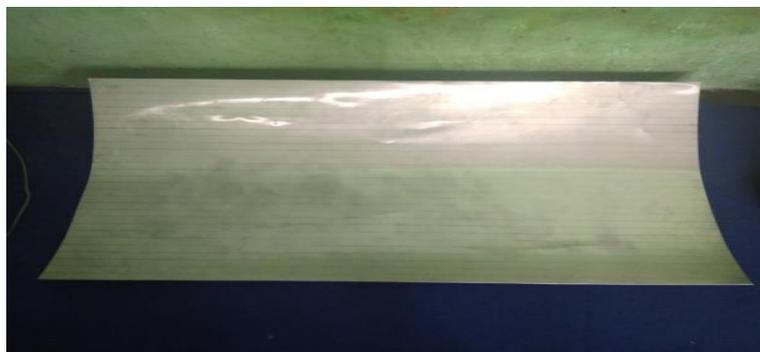
Hasil Rancangan *Honeycomb* Alumunium Menggunakan Software Solidwork 2014.



Gambar 4.1. Hasil Rancangan *Honeycomb* Alumunium

4.1.2. Menentukan Mterial

Material yang digunakan untuk membuat alat penukarkalortipe *honeycomb surface* adalah bahan alumunium dengan ukuran tebal 0,4 mm panjang 1,2 m lebar 3,8 cm. Pemilihan alumunium didasari karena bersifat elastis, sehingga mudah dibentuk dan juga tahan dengan korosi.



Gambar 4.2 Plat berbahan alumunium

4.1.3. Prosedur Pembuatan

Adapun langkah-langkah pembuatan alat penukar kalor honeycomb sebagai berikut :

- Menyiapkan peralatan seperti : 1. Pisau cutter 2. palu 3. penjepit 4. mesin bor 5. cetakan honeycomb.



Gambar 4.3. Pisau cutter



Gambar 4.4. Palu



Gambar 4.5. Penjepit



Gambar 4.6. Mesin Bor



Gambar 4.7. Cetakan *Honeycomb* 6 mm



Gambar 4.8. Cetakan *Honeycomb* 10 mm

- Kemudian potong plat alumunium menggunakan Pisau Cater



Gambar 4.9 Poses pemotongan plat alumunium

- Hasil Pemotongan Plat Alumunium



Gambar 4.10 Hasil Pemotongan Plat Alumunium

- Kemudian proses pembuatan/pencetakan struktur honeycomb



Gambar 4.11 Pembuatan honeycomb

- Hasil Pembuatan/Pencetakan Honeycomb



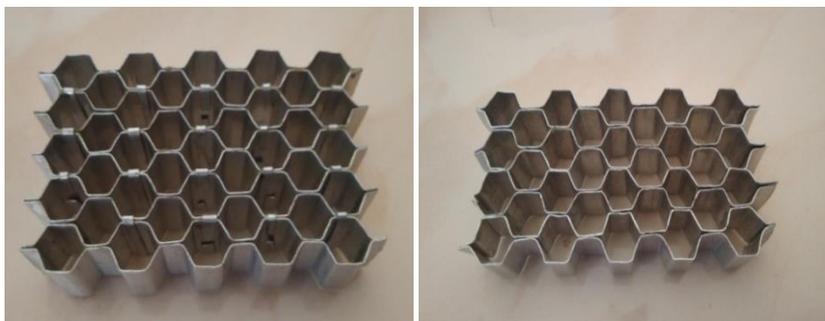
Gambar 4.12. Hasil Pembuatan Honeycomb

- Setelah itu proses penyatuan honeycomb agar berbentuk hexagonal



Gambar 4.13 Penyatuan honeycomb

- Hasil pembuatan APK Honeycomb Sisi Hexagonal 6 mm dan 10 mm



Gambar 4.14 hasil pembuatan APK Honeycomb Sisi Hexagonal 6 mm dan 10 mm

- Membuat lubang menggunakan mesin bordengan mata bor 3 mm dan 5 mm di sisi hexagonal bertujuan untuk mengalirkan refrigeran ke alat penukar kalor.



Gambar 4.15. Pembuatan Lubang

- .setelah itu proses penutupan struktur honeycomb



Gambar 4.16 proses penutupan struktur honeycomb

- Kemudian proses penyatuan honeycomb A dan honeycomb B menggunakan pipa kapiler.



Gambar 4.17 proses penyatuan honeycomb

- Kemudian memasang honeycomb ke dalam tangki



Gambar 4.18 proses pemasangan kedalam tangki

- Setelah itu menyambung pipa kapiler honeycomb untuk jalur refrigerant masuk kondensor dan keluar kompresor ke outdoor AC (kondensor) dengan menggunakan nepel.



Gambar 4.19 proses penyambungan Alat Penukar Kalor ke Jalur *Refrigeran*

- Selesai

4.1.4. Proses Pengujian Alat ACWH berbahan Aluminium

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 seperti adanya kebocoran Freon, atau AC tidak bekerja maksimal, maka mesin harus diperbaiki lagi sampai kondisi mesin benar-benar siap untuk pengambilan data dan penelitian. Prosedur pengujian ACWH meliputi :

- Pengisian Freon, yaitu proses pengisian Freon yang berfungsi sebagai fluida untuk beban pendinginan pada AC, dan juga karena temperatur panas nya tinggi, maka panas nya dialirkan melalui pipa kapiler ke honeycomb.



Gambar 4.20 Proses Pengisian Freon

- Pengisian air kedalam tangki,yaitu proses pengisian air kedalam tangki berfungsi sebagai media pengujian



Gambar 4.21 Pengisian Air Kedalam Tangki

- 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 temperature air,temperature refrigrent masuk kondensor dan temperature refrigrent keluar kompresor pada temperatur AC 16,18 dan 20 °c. Pengambilan data berlangsung selama 60 menit pada temperatur air 27-29°C.



Gambar 4.22. Pengambilan Data

4.1.5. Hasil Data Pengujian Temperatur Air Pada APK *Honeycomb* Aluminium Pada pelaksanaan pengujian, menggunakan arduino uno, didapat temperatur air yang dihasilkan oleh temperatur AC. Adapun variabel yang diperoleh dapat dilihat pada gambar 4.23 :

Time	temperatur air	temperatur kondensator	temperatur kompresor
11:14:34	27.50	30.81	30.81
11:14:36	27.50	30.81	30.81
11:14:38	27.50	30.81	30.81
11:14:39	27.62	30.87	30.76
11:14:41	27.56	30.81	30.81
11:14:42	27.56	30.87	30.87
11:14:44	27.50	30.87	30.81
11:14:45	27.56	30.87	30.81
11:14:47	27.50	30.87	30.87
11:14:48	27.62	30.87	30.94
11:14:50	27.62	31	31.66
11:14:52	27.56	31.37	31.56
11:14:53	27.56	31.94	32.19
11:14:55	27.69	32.63	33.13
11:14:56	27.69	33.38	34.06
11:14:58	27.69	34.19	34.94
11:14:59	27.69	35	36.13
11:15:01	27.81	35.81	37
11:15:02	27.81	36.63	38
11:15:04	28.66	37.31	awal
11:15:06	28.96	38	39.94
11:15:07	28.31	38.63	40.86
11:15:09	28.69	39.25	41.75
11:15:10	29.00	39.81	42.44
11:15:12	29.25	40.31	43.38
11:15:13	29.56	40.81	44.13
11:15:15	29.75	41.31	44.69

Gambar 4.23 Sample data temperature air pada waktu awal

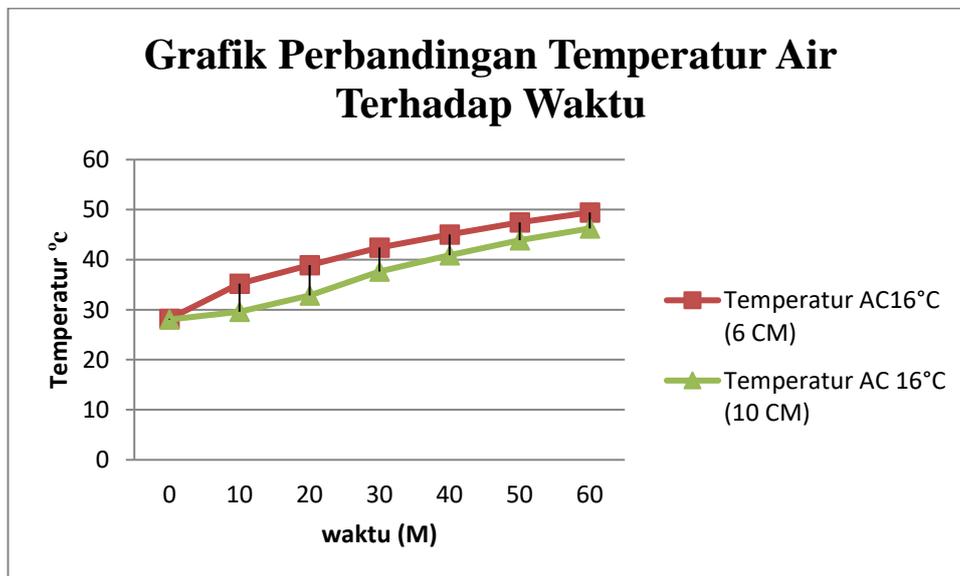
Selanjutnya Sampel data Temperatur Air Pada waktu awal samapai waktu 1 jam (60 Menit) akan dapat dilihat dalam bentuk table 4.1

Tabel 4.1 Data Hasil Pengujian Temperatur Air

Waktu (menit)	Temperatur AC16°C (6 CM)	Temperatur AC 16°C (10CM)	Temperatur AC 18°C (6CM)	Temperatur AC 18°C (10CM)	Temperatur AC 20°C (6 CM)	Temperatur AC 20°C (10CM)
---------------	--------------------------	---------------------------	--------------------------	---------------------------	---------------------------	---------------------------

0	28,19	28,05	29,31	29,56	29.31	29.06
10	35,19	29,62	35,75	31,62	35.56	29.59
20	38,94	32,88	39,50	32,75	39,75	30.25
30	42,44	37,63	42,38	36,50	42.92	31.12
40	45,06	40,88	45,19	40,00	45.56	37.25
50	47,44	43,88	47,38	43,00	47.81	40.75
60	49,44	46,25	49,40	45,88	49.38	43.75

Hasil Grafik Perbandingan dapat dilihat pada Gambar 4.24

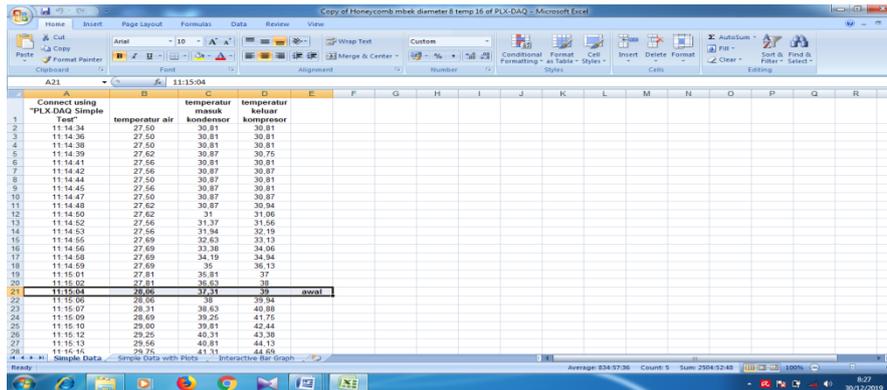


Gambar 4.24 Grafik Perbandingan Temperatur Air Terhadap Waktu

Pada gambar 4.24 dihasilkan grafik waktu terhadap temperatur air pada honeycomb penuh sisi hexagonal 6 cm, perbedaan yang terlihat sangat kecil sekali pada temperatur air pada suhu AC 16°C pada honeycomb penuh.

4.1.6. Hasil Data Pengujian Waktu Terhadap Temperatur Refrigeran Keluar Kompresor

Pada pelaksanaan pengujian, menggunakan arduino uno, didapat temperatur Refrigeran Keluar Kompresor yang dihasilkan oleh temperatur AC. Adapun variabel yang diperoleh dapat dilihat pada gambar4.25 :



Gambar

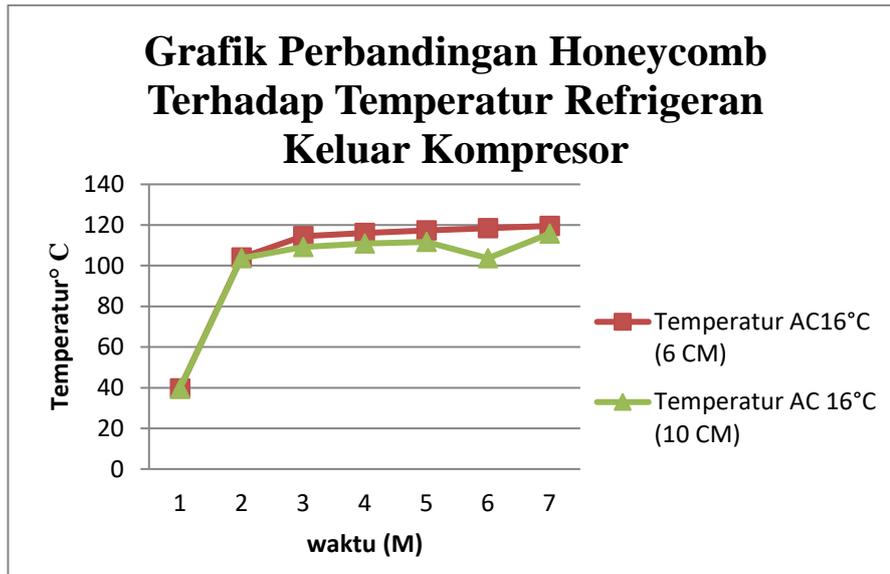
4.25. Hasil Data Temperatur Keluar Kompresor Pada waktu Mulai (0 menit)

Selanjutnya Sampel data Temperatur Keluar Kompresor Pada waktu awal (0 menit samapai waktu 1 jam 60 Menit) akan dapat dilihat dalam bentuk table 4.3

Tabel 4.2 Data Hasil Temperatur Refrigeran Keluar Kompresor

Waktu (menit)	Temperatur AC16°C (6 CM)	Temperatur AC 16°C (10CM)	Temperatur AC 18°C (6CM)	Temperatur AC 18°C (10CM)	Temperatur AC 20°C (6 CM)	Temperatur AC 20°C (10CM)
0	39,55	39,50	33,95	33,36	30,45	30,33
10	103,92	103,69	103,77	103,57	103,64	103,55
20	114,53	109,19	114,57	106,96	111,37	106,46
30	116,12	110,92	114,75	110,69	112,87	110,53
40	117,31	111,62	115,80	111,30	113,56	111,30
50	118,50	113,75	117,19	113,59	114,35	113,47
60	119,56	115,75	117,75	115,31	115,45	114,97

Hasil Perbandingan Refrigeran Keluar Kompresor dapat dilihat pada Gambar 4.26



Gambar 4.26 Grafik Perbandingan waktu Terhadap Refrigeran Keluar Kompresor

Pada gambar 4.26 dihasilkan grafik Perbandingan waktu terhadap Refrigeran Keluar Kompresor pada honeycomb penuh Hexagonal 6,10 cm, perbedaan yang terlihat sangat kecil sekali pada temperatur air pada suhu AC 16°C pada honeycomb penuh.

4.1.7. Hasil Data Pengujian Waktu Terhadap Temperatur Refrigeran Masuk Kondensor

Pada pelaksanaan pengujian, menggunakan arduino uno, didapat temperature Refrigeran Masuk Kondensor yang dihasilkan oleh temperatur AC. Adapun variabel yang diperoleh dapat dilihat pada gambar 4.27 :

Time (min)	Temperatur air	Temperatur keluar kompresor	temperatur masuk kondensor
1	127.00	42.31	33.5
2	28.81	42.53	33.5
3	29.06	42.96	33.44
4	29.06	42	33.5
5	28.87	41.94	33.38
6	29.12	41.88	33.5
7	29.06	41.89	33.38
8	28.94	41.81	33.38
9	29.06	41.75	33.44
10	29.00	41.69	33.31
11	28.69	41.63	33.44
12	29.06	41.56	33.44
13	28.75	41.5	33.38
14	28.56	41.5	33.5
15	29.06	41.38	33.44
16	28.34	41.38	33.44
17	28.1	41.31	33.5
18	28.87	41.25	33.5
19	29.00	41.25	33.44
20	28.69	41.19	33.38
21	28.75	41.13	33.5
22	28.87	41.06	33.38
23	29.06	41	33.44
24	28.62	41	33.38
25	28.75	40.94	33.5
26	28.81	40.94	33.44
27	28.81	40.84	33.44
28	28.69	40.81	33.44

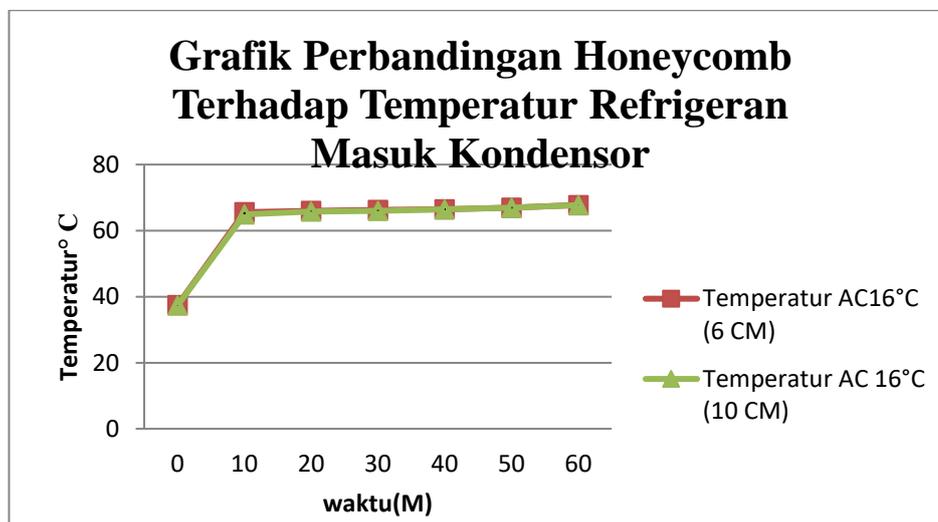
Gambar 4.27. Hasil Data Temperatur Masuk Kondensor Pada waktu Mulai (0 menit)

Selanjutnya Sampel data Temperatur Masuk Kondensor Pada waktu awal (0 menit samapai waktu 1 jam 60 Menit) akan dapat dilihat dalam bentuk table 4.4

Tabel 4.3 Data Hasil Temperatur Refrigeran Masuk Kondensor

Waktu(menit)	Temperatur AC16°C (6 CM)	Temperatur AC 16°C (10CM)	Temperatur AC 18°C (6CM)	Temperatur AC 18°C (10CM)	Temperatur AC 20°C (6 CM)	Temperatur AC 20°C (10CM)
0	37,45	37,38	37,35	37,30	35,90	35,48
10	65,56	64,95	64,56	64,45	63,88	63,50
20	65,95	65,80	65,25	64,94	64,69	64,45
30	66,24	65,97	65,30	65,37	65,06	64,98
40	66,45	66,50	65,56	65,78	65,44	65,30
50	66,92	66,90	65,87	65,65	65,87	65,79
60	67,76	67,70	66,63	66,50	65,90	65,87

Hasil Perbandingan Refrigeran Keluar Kompresor dapat dilihat pada Gambar 4.28



Gambar 4.28 Grafik Perbandingan waktu Terhadap Refrigeran Masuk Kondensor

Pada gambar 4.28 dihasilkan grafik Perbandingan waktu terhadap Refrigeran Masuk Kondensor pada honeycomb penuh Hexagonal 6,10 cm, perbedaan yang terlihat sangat kecil sekali pada temperatur air pada suhu AC 16°C pada honeycomb penuh.

4.2. Pembahasan Perhitungan Analisa Data Perpindahan Panas hexagonal

honeycomb ke Air

4.2.1. Pembahasan Pada Perhitungan Analisa Data Perpindahan Panas Hexagonal

Honeycomb 6 dan 10 cm ke air.

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

1. Perhitungan pada temperatur AC 16°C (Penuh) sisi hexagonal 6 mm

Pada saat proses pengujian diketahui data sebagai berikut:

Dik: Volume air (V) = 60 liter = 60 kg
Panjang Plat Honeycomb (L) = 120 cm = 1,2 m
Sisi Hexagonal (r) = 6 mm = 0,006 m
Tinggi Hexagonal (t) = 20.8 mm = 0,0208 m
Daya Kompresor (W_c) = 880 W = 0,88 kw

Tekanan Kompresor = 80 psi = 551,581 kpa

Temperatur awal air (T_{ai}) = 28,19°C

Temperatur akhir air (T_{ao}) = 49,44°C

ΔT_{air} = 21,25°C

Temperatur masuk tangki (T_{ci}) = 104,21°C

Temperatur keluar tangki (T_{co}) = 62,33°C

$\Delta T_{honeycomb}$ = 41,88°C

Waktu pemanasan (Δt) = 1 jam = 3600 detik

Luas Penampang Aliran (A)

$$\begin{aligned} &= 3r(r\sqrt{3} + 2t) \\ &= 3 \cdot 0,006(0,006\sqrt{3} + 2 \cdot 0,0208) \\ &= 0,000935 m^2 \end{aligned}$$

Untuk menghitung energi (W) digunakan rumus sebagai berikut:

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

Dimana: C_{air} = panas jenis air

$$T_{ra} = \frac{T_{ai} + T_{ao}}{2} = \frac{28,19 + 49,44}{2} = 38,81^{\circ}\text{C}$$

didapat dari tabel

Tabel 4.4 propertis air

T	C _{air}
37,78	4,174
38,81	
43,33	4,174

Interpolasi:

$$C_{air} = 4,174 + (38,81 - 37,78) \cdot \left[\frac{4,174 - 4,174}{43,33 - 37,78} \right]$$

$$C_{air} = 4,174 + (0) \cdot (0,25)$$

$$C_{air} = 4,174 \text{ KJ} / \text{kg} \cdot ^{\circ}\text{C}$$

Maka didapat:

$$W = 60 \text{ kg} \times 4174 \text{ J} / \text{kg} \cdot ^{\circ}\text{C} \times 21,25^{\circ}\text{C}$$

$$W = 5321850 \text{ J} = 5,32 \text{ MJ}$$

Untuk menghitung \dot{m} dengan rumus sebagai berikut ;

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

Pada $T_{ci} = 104,21^{\circ}\text{C}$

Didapat dari tabel:

Tabel 4.5 propertis *refrigerant* R22

T	H _i
100	474,0
104,21	
105	481,9

Dari hasil interpolasi diperoleh H_i pada Temperatur 104,21°C sebesar 430.3 ^{kJ}/_{kg}

Pada $T_{co} = 62,33^{\circ}\text{C}$

Didapat dari tabel:

Tabel 4.6 propertis *refrigerant* R22

T	H_o
60	448,0
62,33	
65	451,7

Dari hasil interpolasi diperoleh H_o pada Temperatur 62,33°C sebesar 449,7 kJ/kg

Maka didapat:

$$\dot{m} = \frac{0,88 \text{ KW}}{(430,3 - 449,7) \text{ kJ/kg}} = 0,045 \text{ kg/s}$$

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

$$v = \frac{\dot{m}}{\rho \cdot A}$$

$$T_{rc} = \frac{T_{ci} + T_{co}}{2} = \frac{104,21 + 62,33}{2} = 83,27 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Didapat dari tabel:

Tabel 4.7 propertis *refrigerant* R22

T	ρ
80	893,7
83,27	
85	844,8

Dari hasil interpolasi diperoleh ρ_{freon} pada Temperatur 83,27°C sebesar 861,7 kg/m^3

Maka didapat:

$$v = \frac{0,045 \text{ kg/s}}{861,7 \text{ kg/m}^3 \cdot 0,000935 \text{ m}^2} = 0,055 \text{ m/s}$$

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

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

Didapat dari tabel:

Tabel 4.8 propertis *refrigerant* R22

T	$\mu \cdot 10^{-5}$
80	17,55
83,27	
85	18,71

Dari hasil interpolasi diperoleh μ_{freon} pada Temperatur 83,27°C sebesar $18,31 \times 10^{-5} \text{ kg/m.s}$

Maka didapat:

$$R_e = \frac{861,7 \text{ kg/m}^3 \times 0,055 \text{ m/s} \times 1,2 \text{ m}}{18,31 \times 10^{-5} \text{ kg/m.s}} = 310607,318 > 2300 \text{ Turbulen}$$

Untuk mencari bilangan prandalt (Pr) digunakan rumus sebagai berikut:

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

Didapat dari tabel:

Tabel 4.9 propertis *refrigerant* R22

T	K_{freon}	C_{freon}
80	23,87	2,231
83,27		
85	27,82	2,984

Dari hasil interpolasi diperoleh K_{freon} pada Temperatur 83,27°C sebesar $26,45 \text{ W/m} \cdot ^\circ\text{C}$ dan C_{freon} sebesar $2,723 \text{ kJ/kg} \cdot \text{K}$

Maka didapat:

$$Pr = \frac{2723 \text{ J/kg} \cdot ^\circ\text{C} \cdot 18,31 \times 10^{-5} \text{ kg/m.s}}{26,45 \text{ W/m} \cdot ^\circ\text{C}} = 0,018$$

Jadi laju perpindahan panas dari Honeycomb Tembaga ke air (Q) digunakan rumus sebagai berikut:

$$Q = H = h \cdot A \cdot \Delta T_{air}$$

Untuk mencari koefisien perpindahan panas konveksi(h) digunakan rumus sebagai berikut:

$$h = 0,037 \times \frac{K}{L} \times R_{eL}^{0,8} \times Pr^{0,333}$$

Dimana K = Konduktivitas Thermal $W/m \cdot ^\circ C$

$$K_{kuningan} = 202 \text{ } W/m \cdot ^\circ C$$

Maka;

$$h = 0,037 \times \frac{202 \text{ } W/m \cdot ^\circ C}{1,2 \text{ m}} \times 310607,318^{0,8} \times 0,018^{0,333}$$

$$h = 40471,279 \text{ } W/m \cdot ^\circ C$$

Jadi ;

$$\begin{aligned} Q = H &= 40471,279 \text{ } W/m \cdot ^\circ C \times 0,000935 \text{ m}^2 \times 18,31 \text{ } ^\circ C \\ &= 692,862 \text{ W} \end{aligned}$$

Dari hasil perhitungan besar laju perpindahan panas pada temperatur evaporator 18°C dan 20°C di peroleh;

Pada temperatur evaporator 18°C = 457,093 Watt

Pada temperatur evaporator 20°C = 457,082 Watt

4.2.2 Perhitungan Perpindahan Panas Dari Sisi hexagonal *Honeycomb* 10 mm

1. Perhitungan pada temperatur evaporator 16°C

Pada saat proses pengujian diketahui data sebagai berikut:

Dik: Volume air (V)	= 60 liter = 60 kg
Panjang Plat Honeycomb (L)	= 120 cm = 1,2 m
Sisi Hexagonal(r)	= 10 mm = 0,01 m
Tinggi Hexagonal (t)	= 20.8 mm = 0,0208 m
Daya Kompresor (W_c)	= 880 W = 0,88 kw
Tekanan Kompresor	= 80 psi = 551,581 kpa

$$\begin{aligned}
\text{Temperatur awal air (T}_{ai}) &= 29,06 \text{ }^\circ\text{C} \\
\text{Temperatur akhir air (T}_{ao}) &= 43,75 \text{ }^\circ\text{C} \\
\Delta T_{air} &= 14,69 \text{ }^\circ\text{C} \\
\text{Temperatur masuk tangki (T}_{ci}) &= 98,65^\circ\text{C} \\
\text{Temperatur keluar tangki (T}_{co}) &= 60,76^\circ\text{C} \\
\Delta T_{honeycomb} &= 37,89^\circ\text{C} \\
\text{Waktu pemanasan (\Delta t)} &= 1 \text{ jam} = 3600 \text{ detik}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
&\text{Luas Penampang Aliran (A)} \\
&= 3r(r\sqrt{3} + 2t) \\
&= 3 \cdot 0,01(0,01\sqrt{3} + 2 \cdot 0,0208) \\
&= 0,00176 \text{ m}^2
\end{aligned}$$

Untuk menghitung energi (W) digunakan rumus sebagai berikut:

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

Dimana: C_{air} = panas jenis air

$$T_{ra} = \frac{T_{ai} + T_{ao}}{2} = \frac{29,06 + 43,75}{2} = 36,40^\circ\text{C}$$

didapat dari tabel

Tabel 4.10 propertis air

T	C_{air}
32,22	4,174
36,40	
37,78	4,174

Interpolasi:

$$C_{air} = 4,174 + (36,40 - 32,22) \cdot \left[\frac{4,174 - 4,174}{43,33 - 32,22} \right]$$

$$C_{air} = 4,174 + (0) \cdot (4,75)$$

$$C_{air} = 4,174 \text{ KJ} / \text{kg} \cdot \text{ }^\circ\text{C}$$

Maka didapat:

$$W = 60 \text{ kg} \times 4174 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}} \times 14,69 ^\circ\text{C}$$

$$W = 3678960 \text{ J} = 3,67 \text{ MJ}$$

Untuk menghitung \dot{m} dengan rumus sebagai berikut ;

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

Pada $T_{ci} = 98,65^\circ\text{C}$

Didapat dari tabel:

Tabel 4.11 propertis *refrigerant* R22

T	H_i
90	470,5
98,65	
100	478,0

Dari hasil interpolasi diperoleh H_i pada Temperatur $98,65^\circ\text{C}$ sebesar $477,0 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$

Pada $T_{co} = 60,76^\circ\text{C}$

Didapat dari tabel:

Tabel 4.12 propertis *refrigerant* R22

T	H_o
60	448,0
60,76	
65	451,7

Dari hasil interpolasi diperoleh H_o pada Temperatur $60,65^\circ\text{C}$ sebesar $448,6 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$

Maka didapat:

$$\dot{m} = \frac{0,88 \text{ KW}}{(477,0 - 448,6) \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}} = 0,030 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

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

$$v = \frac{\dot{m}}{\rho \cdot A}$$

$$T_{rc} = \frac{T_{ci} + T_{co}}{2} = \frac{98,65 + 60,76}{2} = 79,70 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Didapat dari tabel:

Tabel 4.13 propertis *refrigerant* R22

T	ρ
75	934,4
79,70	
85	844,8

Dari hasil interpolasi diperoleh ρ_{freon} pada Temperatur 79,70°C sebesar $892,3 \text{ kg/m}^3$

Maka didapat:

$$v = \frac{0,030 \text{ kg/s}}{892,3 \text{ kg/m}^3 \cdot 0,00176 \text{ m}^2} = 0,019 \text{ m/s}$$

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

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

Didapat dari tabel:

Tabel 4.14 propertis *refrigerant* R22

T	$\mu \cdot 10^{-5}$
75	16,70
79,70	
85	18,71

Dari hasil interpolasi diperoleh μ_{freon} pada Temperatur 79,70°C sebesar $17,64 \times 10^{-5} \text{ kg/m.s}$

Maka didapat:

$$R_e = \frac{892,3 \text{ kg/m}^3 \times 0,019 \text{ m/s} \times 1,2 \text{ m}}{17,64 \times 10^{-5} \text{ kg/m.s}} = 115331,292 > 2300 \text{ Turbulen}$$

Untuk mencari bilangan prandalt (Pr) digunakan rumus sebagai berikut:

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

Didapat dari tabel:

Tabel 4.15 propertis refrigerant R22

T	K_{freon}	C_{freon}
75	21,16	1,832
79,70		
85	27,82	2,984

Dari hasil interpolasi diperoleh K_{freon} pada Temperatur 79,70°C sebesar 24,29 W/m. °C dan C_{freon} sebesar 2,373 kJ/kg.K

Maka didapat:

$$Pr = \frac{2373 \text{ J/kg} \cdot \text{°C} \cdot 17,64 \times 10^{-5} \text{ kg/m.s}}{24,29 \text{ W/m} \cdot \text{°C}} = 0,017$$

Jadi laju perpindahan panas dari Honeycomb Tembaga ke air (Q) digunakan rumus sebagai berikut:

$$Q = H = h \cdot A \cdot \Delta T_{air}$$

Untuk mencari koefisien perpindahan panas konveksi(h) digunakan rumus sebagai berikut:

$$h = 0,037 \times \frac{K}{L} \times R_{eL}^{0,8} \times Pr^{0,333}$$

Dimana K = Konduktivitas Thermal W/m. °C

$$K_{kuningan} = 202 \text{ W/m} \cdot \text{°C}$$

Maka;

$$h = 0,037 \times \frac{220 \text{ W/m} \cdot \text{°C}}{1,2 \text{ m}} \times 115331,292^{0,8} \times 0,017^{0,333}$$

$$h = 17975,006 \text{ W/m} \cdot \text{°C}$$

Jadi ;

$$Q = H = 17975,006 \frac{W}{m \cdot ^\circ C} \times 0,00176 m^2 \times 17,64 ^\circ C$$

$$= 558,059 W$$

Dari hasil perhitungan besar laju perpindahan panas pada temperatur evaporator 18°C dan 20°C di peroleh;

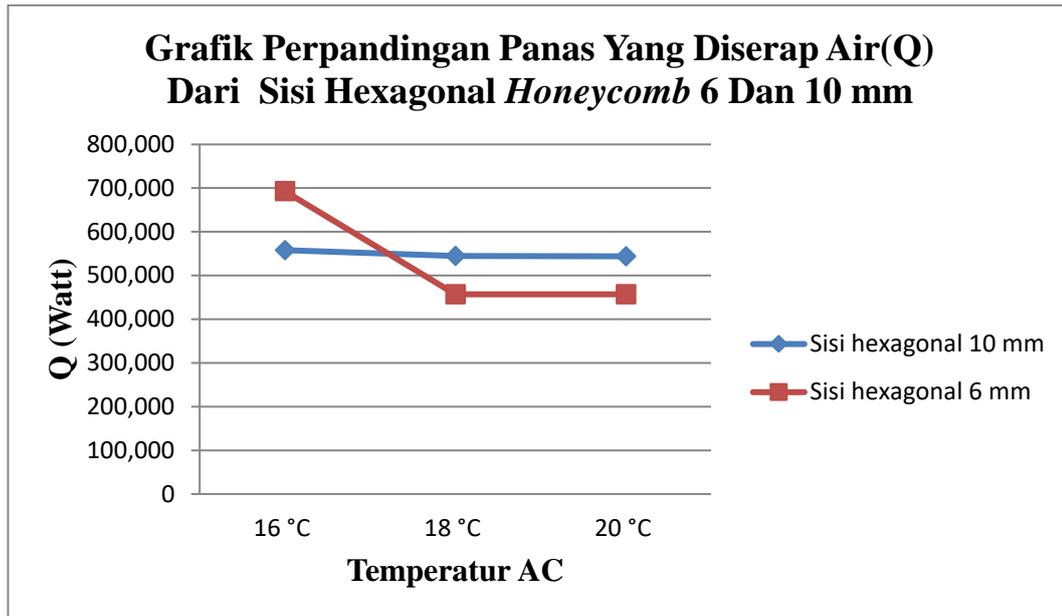
Pada temperatur evaporator 18°C = 554,737 Watt

Pada temperatur evaporator 20°C = 543,997 Watt

Tabel 4.16. Hasil perhitungan panas yang diserap air dari Sisi Hexagonal Honeycomb penuh 6 dan 10 mm

Kalord iserap air (Watt)	Temperatur AC 16°C (6mm)	Temperatur AC 16°C (10mm)	Temperatur AC 18°C (6mm)	Temperatur AC 18°C (10mm)	Temperatur AC 20°C (6mm)	Temperatur AC 20°C (10mm)
Q	692,862W	558,059W	457,093W	544,737W	457,082W	543,997W

Grafik perbandingan dari panas yang diserap air dari honeycomb dapat dilihat pada gambar 4.29 :



Gambar 4.29. Grafik Perbandingan Q dari Honeycomb Ke Air

Dari gambar4.30 bisa dilihat bahwa panas tertinggi yang diserap oleh air dari honeycomb yaitu pada temperature AC 16°C *honeycomb* dengan panjang honeycomb 60 cm dan Sisi Hexagonal 6 mm,dengan nilai sebesar 692,862 W.

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan data dan analisa yang didapat selama pengujian dapat diambil beberapa kesimpulan

1. Dari hasil temperatur air dengan sisi hexagonal 6 mm menghasilkan lebih besar temperatur air dibandingkan dengan sisi hexagonal 10 mm. Dikerenakan laju perpindahan panas sisi hexagonal 6 mm lebih besar dibandingkan dengan laju perpindahan panas sisi hexagonal 10 mm
2. Alat penukar kalor *honeycomb* dengan plat *Aluminium* dengan panjang 60 cm dan sisi hexagonal 6 mm lebih cepat menghantarkan panas dibandingkan dengan alat penukar kalor *honeycomb* dengan panjang 60 cm dan sisi hexagonal 10mm.

5.2. Saran

1. Pengujian APK dengan menggunakan *honeycom* buntut kedepan nya menggunakan bahan yang berbeda guna perbandingan jenis bahan.

DARTAR PUSTAKA

2.

Azridjal, A., Handrianto, J., & Mainil, A. (2015). "Potensi Pemanfaatan Energi Panas Terbuang Pada Kondensor AC Sentral Untuk Pemanas Air Hemat Energi". *Jurnal Mekanikal* VOL. 6. No. 2. ISSN 2086-3403.

Daniel, S., dan F., Dalu Setiaji (2013). "Pemanfaatan Panas Buang Pengkondisian Udara Sebagai Pemanas Air Dengan Menggunakan Penukar Panas Helikal". *Jurnal Elektroteknika* VOL. 12. No. 2. Hal 129-140

D. Mousanezhad, R. Ghosh, A. Ajdari, A.M.S. Hamouda, H.Nayeb-Hashemi, A.Vaziri. (2014). *Impact resistance and energy absorbtion of regular ang functionally hexagonal honeycombs witt cell wall material strain hardening*. International Journal of mechanical Science 89 (2014) 413-422

Gartner, JR., and Harrison HL. (2010). "Dinamic Characteristic Of water Tto Air Crossflow Heat Exchanger: .ASHRAE". *Transanction* 72:212.

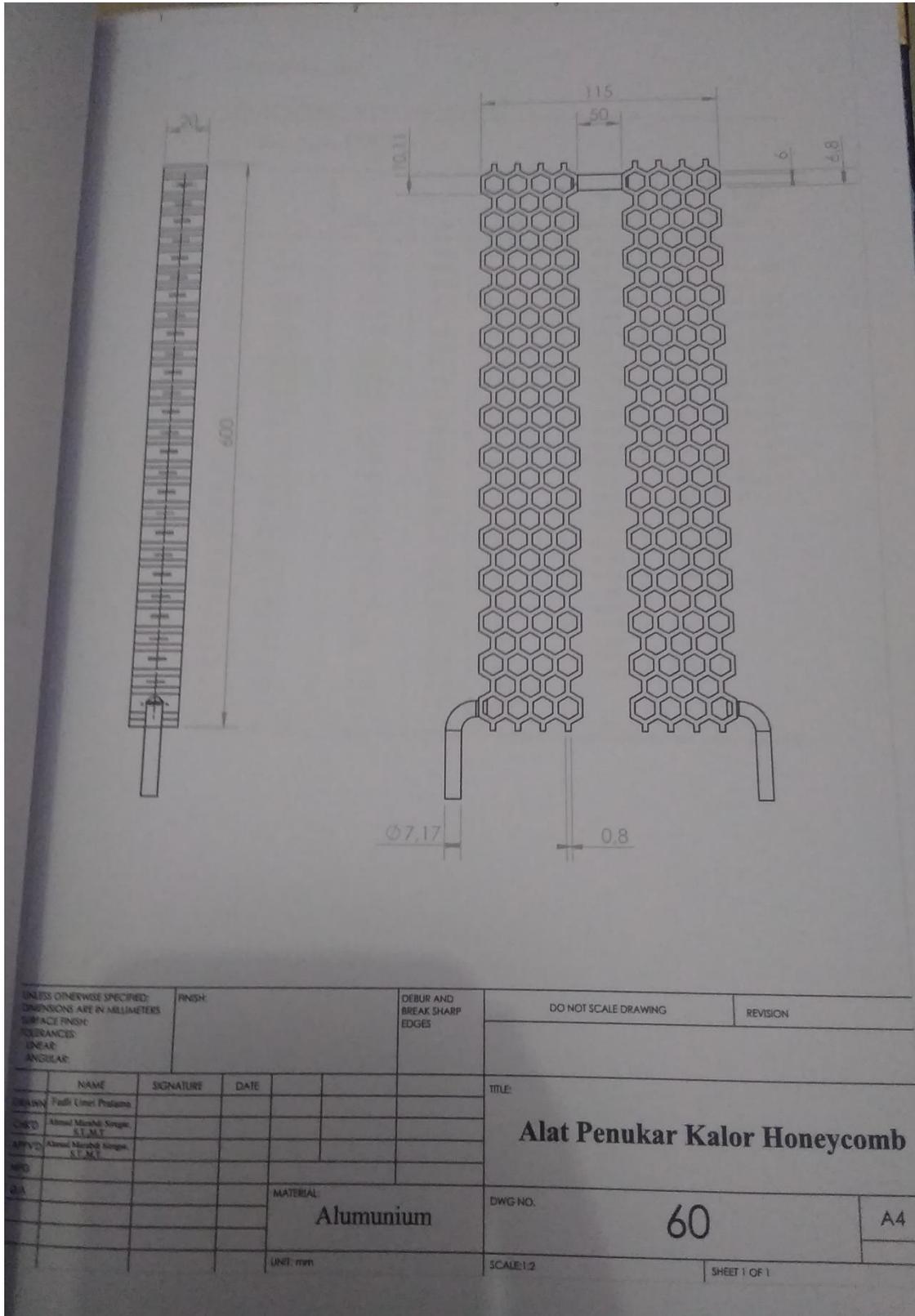
Holman, Jp. (2010). "Heat Transfer". *Erlangga*

Howard G. Allen. (1969) " *Analysis And Design Of Struktural Sandwich Panels*. First Edition.

Nurhalim, I. (2011). "Rancang Bangun Dan Pengujian Unjuk Kerja Alat Penukar Kalor Tipe *Serpentine* Pada Split Air Conditioning Water Heater". *Universitas Indonesia*.

Nolan Syah, P. (2019). "Kajian Eksperimen Kemampuan Penyerapan Energi Pada Struktur Sarang Lebah Dengan Variasi Ukuran Hexagonal yang Diuji Secara Statis ". *Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara*.

LAMPIRAN



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS		FINISH:		DEBUR AND BREAK SHARP EDGES		DO NOT SCALE DRAWING		REVISION	
SURFACE FINISH:									
TOLERANCES:									
LINEAR									
ANGULAR									
DRAWN	NAME	SIGNATURE	DATE			TITLE:			
	Fauzi Umar Prasana					Alat Penukar Kalor Honeycomb			
CHECKED	Almasi Marahil Siragan								
APPROVED	Almasi Marahil Siragan								
DATE						MATERIAL:	DWG NO.		
						Aluminium	60		A4
						Unit: mm	SCALE: 1:2	SHEET 1 OF 1	

APPENDIX A Tables

Table A.9¹ Properties of water (saturated liquid)²

$$\text{Note: } Gr, Pr = \left(\frac{g \beta \Delta T L^3}{\nu^2} \right) \nu^2 \Delta T$$

<i>t_f</i>	<i>T_f</i>	<i>c_p</i>	<i>ρ</i>	<i>μ</i>	<i>k</i>	<i>Pr</i>	$\frac{g \beta \Delta T L^3}{\nu^2}$
°C	°C	kJ/kg·°C	kg/m ³	kg/m·s	W/m·°C		1/m ² ·°C
33	0	4.217	999.8	1.79 × 10 ⁻⁴	0.566	13.23	1.73 × 10 ⁸
40	4.04	4.208	999.8	1.33	0.575	11.23	0.34 × 10 ⁸
50	10	4.193	999.2	1.12	0.583	9.40	1.08 × 10 ⁷
60	15.50	4.184	998.0	1.12	0.590	7.94	1.08 × 10 ⁷
70	21.11	4.176	997.0	9.8 × 10 ⁻⁴	0.604	6.78	1.46 × 10 ⁷
80	26.67	4.170	995.8	8.4	0.614	5.85	1.91 × 10 ⁷
90	32.23	4.174	994.8	7.45	0.623	5.12	2.44 × 10 ⁷
100	37.78	4.179	993.0	6.62	0.630	4.53	3.1 × 10 ⁷
110	43.33	4.179	990.6	5.76	0.637	4.04	4.19 × 10 ⁷
120	48.89	4.174	988.0	5.03	0.644	3.64	5.69 × 10 ⁷
130	54.44	4.174	985.3	4.43	0.649	3.30	7.66 × 10 ⁷
140	60	4.170	982.3	3.93	0.654	3.01	1.04 × 10 ⁸
150	65.55	4.182	980.3	3.5	0.659	2.73	1.42 × 10 ⁸
160	71.11	4.186	977.3	3.20	0.665	2.52	1.94 × 10 ⁸
170	76.67	4.191	973.7	2.92	0.668	2.33	2.65 × 10 ⁸
180	82.23	4.193	970.2	2.67	0.671	2.16	3.61 × 10 ⁸
190	87.78	4.194	966.7	2.47	0.673	2.03	
200	93.33	4.204	963.2	2.30	0.674	1.90	
220	104.4	4.214	957.1	2.07	0.684	1.66	
240	115.0	4.228	949.7	1.84	0.685	1.51	
260	126.7	4.230	941.2	1.69	0.685	1.36	
280	137.8	4.271	930.1	1.58	0.685	1.24	
300	148.9	4.294	918.0	1.50	0.684	1.17	
320	159.7	4.311	904.8	1.37	0.677	1.03	
340	170.4	4.407	890.4	1.34	0.665	1.00	
350	175.2	4.383	879.7	1.30	0.646	0.83	
360	180	4.371	869.2	1.07	0.616	0.83	
380	197.7	5.024	773.5	9.33 × 10 ⁻⁴			
400	213.6	5.703	678.7	8.68			

¹Adapted to SI units from A. I. Shreeve and S. M. Mazur, *Introduction to Heat Transfer*, 3rd ed., New York, McGraw-Hill, 1978.

Temperatur 18 °C

APPENDIX A Tables

Table A.9.1 Properties of water (continued liquid)¹

Note: $\rho = \rho_w \left(\frac{M_w}{M} \right)^{1/3}$ at AF

T ^a	T ^b	ρ_w	ρ	α	β	ν	ν_w	$\frac{M_w}{M}$
°F	°C	kg/m ³	kg/m ³	10 ⁻⁴ K ⁻¹	10 ⁻⁶ K ⁻¹	m ² /s	m ² /s	
50	10	999.8	999.8	0.0001	0.0000	1.131 × 10 ⁻⁷	1.131	0.018
60	15.56	988.0	988.0	0.0001	0.0000	1.217 × 10 ⁻⁷	1.217	0.022
70	21.11	977.8	977.8	0.0001	0.0000	1.310 × 10 ⁻⁷	1.310	0.027
80	26.67	968.8	968.8	0.0001	0.0000	1.411 × 10 ⁻⁷	1.411	0.033
90	32.22	960.3	960.3	0.0001	0.0000	1.520 × 10 ⁻⁷	1.520	0.040
100	37.78	952.3	952.3	0.0001	0.0000	1.637 × 10 ⁻⁷	1.637	0.048
110	43.33	944.8	944.8	0.0001	0.0000	1.763 × 10 ⁻⁷	1.763	0.057
120	48.89	937.8	937.8	0.0001	0.0000	1.900 × 10 ⁻⁷	1.900	0.067
130	54.44	931.3	931.3	0.0001	0.0000	2.048 × 10 ⁻⁷	2.048	0.079
140	60.00	925.3	925.3	0.0001	0.0000	2.208 × 10 ⁻⁷	2.208	0.092
150	65.56	919.8	919.8	0.0001	0.0000	2.380 × 10 ⁻⁷	2.380	0.107
160	71.11	914.8	914.8	0.0001	0.0000	2.564 × 10 ⁻⁷	2.564	0.124
170	76.67	910.3	910.3	0.0001	0.0000	2.761 × 10 ⁻⁷	2.761	0.143
180	82.22	906.3	906.3	0.0001	0.0000	2.972 × 10 ⁻⁷	2.972	0.164
190	87.78	902.8	902.8	0.0001	0.0000	3.197 × 10 ⁻⁷	3.197	0.188
200	93.33	899.8	899.8	0.0001	0.0000	3.437 × 10 ⁻⁷	3.437	0.215
210	98.89	897.3	897.3	0.0001	0.0000	3.692 × 10 ⁻⁷	3.692	0.246
220	104.44	895.3	895.3	0.0001	0.0000	3.963 × 10 ⁻⁷	3.963	0.281
230	110.00	893.8	893.8	0.0001	0.0000	4.251 × 10 ⁻⁷	4.251	0.321
240	115.56	892.8	892.8	0.0001	0.0000	4.557 × 10 ⁻⁷	4.557	0.366
250	121.11	892.3	892.3	0.0001	0.0000	4.882 × 10 ⁻⁷	4.882	0.417
260	126.67	892.3	892.3	0.0001	0.0000	5.227 × 10 ⁻⁷	5.227	0.474
270	132.22	892.8	892.8	0.0001	0.0000	5.593 × 10 ⁻⁷	5.593	0.538
280	137.78	893.8	893.8	0.0001	0.0000	5.981 × 10 ⁻⁷	5.981	0.609
290	143.33	895.3	895.3	0.0001	0.0000	6.393 × 10 ⁻⁷	6.393	0.688
300	148.89	897.3	897.3	0.0001	0.0000	6.830 × 10 ⁻⁷	6.830	0.775
310	154.44	899.8	899.8	0.0001	0.0000	7.294 × 10 ⁻⁷	7.294	0.871
320	160.00	902.8	902.8	0.0001	0.0000	7.786 × 10 ⁻⁷	7.786	0.977
330	165.56	906.3	906.3	0.0001	0.0000	8.308 × 10 ⁻⁷	8.308	1.094
340	171.11	910.3	910.3	0.0001	0.0000	8.862 × 10 ⁻⁷	8.862	1.223
350	176.67	914.8	914.8	0.0001	0.0000	9.449 × 10 ⁻⁷	9.449	1.365
360	182.22	919.8	919.8	0.0001	0.0000	1.007 × 10 ⁻⁶	1.007	1.521
370	187.78	925.3	925.3	0.0001	0.0000	1.075 × 10 ⁻⁶	1.075	1.693
380	193.33	931.3	931.3	0.0001	0.0000	1.153 × 10 ⁻⁶	1.153	1.883
390	198.89	937.8	937.8	0.0001	0.0000	1.241 × 10 ⁻⁶	1.241	2.093
400	204.44	944.8	944.8	0.0001	0.0000	1.340 × 10 ⁻⁶	1.340	2.428

¹Adapted to SI units from A. J. Shreeve and S. M. Myers, Introduction to Heat Transfer, 3rd ed., New York: McGraw-Hill, 1970.

Temperature 20 °C

APPENDIX A Tables

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

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

°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.

DuPont™ Freon® 22 Superheated Vapor — Constant Pressure Tables
 Table 2 (continued)
 V = Volume in m³/kg H = Enthalpy in kJ/kg S = Entropy in kJ/kg·K
 Saturation Properties in ()

Temp °C	Absolute Pressure kPa												Temp °C
	400 (-6.88°C)			425 (-4.78°C)			450 (-3.08°C)			475 (-1.44°C)			
	V	H	S	V	H	S	V	H	S	V	H	S	
-5	0.0687	403.7	1.765	0.0649	406.7	1.770	0.0626	406.1	1.783	0.0497	405.6	-	-5
0	0.0602	407.2	1.778	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0
5	0.0616	410.7	1.790	0.0663	410.2	1.783	0.0642	409.7	1.776	0.0510	409.2	1.787	5
10	0.0631	414.3	1.803	0.0677	413.8	1.796	0.0655	413.3	1.789	0.0523	412.8	1.783	10
15	0.0645	417.8	1.815	0.0691	417.3	1.808	0.0668	416.9	1.802	0.0535	416.4	1.796	15
20	0.0660	421.3	1.827	0.0704	420.9	1.821	0.0681	420.5	1.814	0.0548	420.0	1.808	20
25	0.0674	424.8	1.839	0.0718	424.4	1.833	0.0694	424.0	1.826	0.0560	423.6	1.820	25
30	0.0688	428.4	1.851	0.0731	428.0	1.844	0.0707	427.6	1.838	0.0572	427.2	1.832	30
35	0.0701	431.9	1.863	0.0745	431.5	1.856	0.0720	431.2	1.850	0.0584	430.8	1.844	35
40	0.0715	436.4	1.874	0.0758	435.1	1.868	0.0733	434.8	1.861	0.0596	434.4	1.855	40
45	0.0728	439.0	1.885	0.0771	438.7	1.879	0.0746	438.4	1.873	0.0607	438.0	1.867	45
50	0.0742	442.6	1.897	0.0784	442.3	1.890	0.0759	442.0	1.884	0.0619	441.6	1.878	50
55	0.0755	446.2	1.908	0.0797	445.9	1.901	0.0772	445.6	1.895	0.0631	445.2	1.889	55
60	0.0769	449.8	1.919	0.0810	449.5	1.912	0.0785	449.2	1.906	0.0643	448.8	1.900	60
65	0.0782	453.4	1.929	0.0823	453.1	1.923	0.0798	452.8	1.917	0.0655	452.4	1.911	65
70	0.0795	457.1	1.940	0.0836	456.8	1.934	0.0811	456.5	1.928	0.0667	456.1	1.922	70
75	0.0808	460.7	1.951	0.0849	460.5	1.944	0.0824	460.2	1.938	0.0679	460.0	1.933	75
80	0.0821	464.4	1.961	0.0862	464.2	1.955	0.0837	463.9	1.949	0.0691	463.7	1.943	80
85	0.0834	468.1	1.972	0.0875	467.9	1.965	0.0850	467.6	1.959	0.0703	467.4	1.954	85
90	0.0847	471.8	1.982	0.0888	471.6	1.976	0.0863	471.4	1.970	0.0715	471.1	1.964	90
95	0.0860	475.6	1.992	0.0901	475.4	1.986	0.0876	475.1	1.980	0.0727	474.9	1.974	95
100	0.0873	479.3	2.002	0.0914	479.1	1.996	0.0889	478.9	1.990	0.0739	478.7	1.985	100
105	0.0886	483.1	2.012	0.0927	482.9	2.006	0.0902	482.7	2.000	0.0751	482.5	1.995	105
110	0.0898	486.9	2.022	0.0940	486.7	2.016	0.0915	486.5	2.010	0.0763	486.3	2.005	110
115	0.0911	490.8	2.032	0.0953	490.6	2.026	0.0928	490.4	2.020	0.0775	490.2	2.015	115
120	0.0924	494.6	2.042	0.0966	494.4	2.036	0.0941	494.2	2.030	0.0787	494.0	2.025	120
125	0.0937	498.5	2.052	0.0979	498.3	2.046	0.0954	498.1	2.040	0.0799	497.9	2.034	125
130	0.0949	502.4	2.062	0.0992	502.2	2.055	0.0967	502.0	2.050	0.0811	501.8	2.044	130
135	0.0962	506.3	2.071	0.1005	506.1	2.065	0.0980	505.9	2.059	0.0823	505.8	2.054	135
140	0.0975	510.2	2.081	0.1018	510.0	2.075	0.0993	509.9	2.069	0.0835	509.7	2.063	140
145	0.0987	514.2	2.090	0.1031	514.0	2.084	0.1006	513.8	2.078	0.0847	513.7	2.073	145

Temp °C	Absolute Pressure kPa												Temp °C
	500 (+1.12°C)			525 (+1.63°C)			550 (+3.09°C)			575 (+4.50°C)			
	V	H	S	V	H	S	V	H	S	V	H	S	
5	0.0482	408.7	1.764	0.0458	408.1	1.757	0.0432	407.6	1.751	0.0411	407.1	1.746	5
10	0.0494	412.3	1.777	0.0468	411.8	1.771	0.0444	411.3	1.765	0.0422	410.8	1.759	10
15	0.0506	416.0	1.789	0.0479	415.5	1.783	0.0455	415.0	1.778	0.0433	414.6	1.772	15
20	0.0518	419.6	1.802	0.0491	419.2	1.796	0.0466	418.7	1.790	0.0444	418.3	1.785	20
25	0.0530	423.2	1.814	0.0502	422.8	1.808	0.0477	422.4	1.803	0.0454	422.0	1.797	25
30	0.0541	426.8	1.826	0.0513	426.4	1.820	0.0488	426.0	1.815	0.0465	425.6	1.810	30
35	0.0553	430.4	1.838	0.0524	430.1	1.832	0.0498	429.7	1.827	0.0475	429.3	1.822	35
40	0.0564	434.1	1.849	0.0535	433.7	1.844	0.0509	433.4	1.839	0.0485	433.0	1.834	40
45	0.0575	437.7	1.861	0.0546	437.4	1.855	0.0519	437.0	1.850	0.0495	436.7	1.845	45
50	0.0586	441.3	1.872	0.0557	441.0	1.867	0.0530	440.7	1.862	0.0505	440.4	1.857	50
55	0.0597	445.0	1.884	0.0567	444.7	1.878	0.0540	444.4	1.873	0.0515	444.0	1.868	55
60	0.0608	448.6	1.895	0.0578	448.3	1.889	0.0550	448.0	1.884	0.0524	447.7	1.879	60
65	0.0619	452.3	1.906	0.0588	452.0	1.900	0.0560	451.7	1.895	0.0534	451.5	1.890	65
70	0.0630	456.0	1.916	0.0598	455.7	1.911	0.0570	455.5	1.906	0.0543	455.2	1.901	70
75	0.0640	459.7	1.927	0.0609	459.4	1.922	0.0579	459.2	1.917	0.0553	458.9	1.912	75
80	0.0651	463.4	1.938	0.0619	463.2	1.932	0.0589	462.9	1.927	0.0562	462.7	1.923	80
85	0.0662	467.2	1.948	0.0629	466.9	1.943	0.0599	466.7	1.938	0.0572	466.4	1.933	85
90	0.0672	470.9	1.959	0.0639	470.7	1.954	0.0609	470.5	1.949	0.0581	470.2	1.944	90
95	0.0683	474.7	1.969	0.0649	474.5	1.964	0.0618	474.2	1.959	0.0590	474.0	1.954	95
100	0.0693	478.5	1.979	0.0659	478.3	1.974	0.0628	478.0	1.969	0.0600	477.8	1.964	100
105	0.0704	482.3	1.989	0.0669	482.1	1.984	0.0638	481.9	1.979	0.0609	481.7	1.975	105
110	0.0714	486.1	1.999	0.0679	485.9	1.994	0.0647	485.7	1.989	0.0618	485.5	1.985	110
115	0.0724	490.0	2.009	0.0689	489.8	2.004	0.0657	489.6	1.999	0.0627	489.4	1.995	115
120	0.0735	493.8	2.019	0.0699	493.7	2.014	0.0666	493.5	2.009	0.0636	493.3	2.005	120
125	0.0745	497.7	2.029	0.0709	497.6	2.024	0.0675	497.4	2.019	0.0645	497.2	2.015	125
130	0.0755	501.7	2.039	0.0718	501.5	2.034	0.0685	501.3	2.029	0.0654	501.1	2.024	130
135	0.0766	505.6	2.049	0.0728	505.4	2.044	0.0694	505.2	2.039	0.0663	505.1	2.034	135
140	0.0776	509.5	2.058	0.0738	509.4	2.053	0.0704	509.2	2.048	0.0672	509.0	2.044	140
145	0.0786	513.5	2.068	0.0748	513.3	2.063	0.0713	513.2	2.058	0.0681	513.0	2.053	145
150	0.0796	517.5	2.077	0.0757	517.3	2.072	0.0722	517.2	2.068	0.0690	517.0	2.063	150
155	0.0806	521.5	2.087	0.0767	521.4	2.082	0.0731	521.2	2.077	0.0699	521.0	2.072	155

Thermophysical Properties of Refrigerants

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

Temp., °C	Press. MPa	Density, kg/m³	Volume, m³/kg	Enthalpy, kJ/kg		Entropy, kJ/(kg·K)		Specific Heat, kJ/(kg·K)		Velocity of Sound, m/s		Thermal Cond., mW/m·K		Surface Tension, mN/m	Temp., °C			
				Liquid	Vapor	Liquid	Vapor	Liquid	Vapor	c_p	c_v	Liquid	Vapor			Liquid	Vapor	
105.00	0.00201	1371.3	0.726600	90.71	358.97	0.5030	2.0543	1.061	0.497	1.343	1137	143.6	845.8	7.25	143.1	4.46	28.12	100.00
80.00	0.00481	1344.9	0.744800	101.32	363.85	0.5646	1.9980	1.061	0.512	1.237	1080	147.0	894.4	7.67	137.8	4.84	26.36	90.00
70.00	0.02047	1491.3	0.94343	123.58	373.70	0.6210	1.9398	1.062	0.528	1.233	1033	150.3	991.0	8.09	132.8	5.25	24.63	80.00
60.00	0.03790	1463.7	0.53680	133.27	378.59	0.6747	1.9108	1.065	0.545	1.231	986	153.3	907.6	8.52	127.6	5.68	22.92	70.00
50.00	0.06453	1435.6	0.32385	144.03	383.42	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
40.00	0.07894	1424.2	0.26837	146.19	384.37	0.7752	1.8480	1.079	0.585	1.232	894	158.3	387.5	9.36	117.8	6.59	19.58	50.00
30.00	0.08705	1418.4	0.24498	148.36	385.32	0.7944	1.8428	1.081	0.589	1.233	884	158.3	387.5	9.36	117.8	6.59	19.58	40.00
20.00	0.09580	1412.6	0.22402	150.53	386.26	0.8039	1.8327	1.088	0.599	1.235	875	159.1	368.6	9.53	115.9	6.69	19.25	30.00
10.00	0.10132	1409.2	0.21260	154.00	387.75	0.8184	1.8278	1.088	0.599	1.235	865	159.1	368.6	9.53	115.9	6.69	19.25	20.00
0.00	0.10523	1406.8	0.20521	154.89	388.13	0.8227	1.8250	1.090	0.606	1.236	856	159.9	351.0	9.62	115.0	6.89	18.89	10.00
-10.00	0.11538	1401.0	0.18829	157.07	389.06	0.8320	1.8186	1.091	0.608	1.237	847	160.3	342.6	9.79	113.1	7.09	17.94	-10.00
-20.00	0.12628	1395.1	0.17304	159.27	389.97	0.8413	1.8141	1.091	0.613	1.238	838	160.6	334.5	9.87	112.2	7.19	17.62	-20.00
-30.00	0.13797	1389.1	0.15927	161.47	390.89	0.8505	1.8114	1.096	0.619	1.238	828	160.9	326.7	9.96	111.2	7.29	17.30	-30.00
-40.00	0.16189	1377.2	0.13551	163.88	392.60	0.8596	1.8098	1.099	0.624	1.241	819	161.2	319.1	10.04	110.4	7.40	16.98	-40.00
-50.00	0.17819	1371.1	0.12528	168.10	393.58	0.8687	1.8015	1.102	0.629	1.242	810	161.8	304.6	10.21	108.5	7.61	16.02	-50.00
-60.00	0.19144	1365.0	0.11597	170.33	394.47	0.8778	1.7975	1.108	0.641	1.246	791	162.0	297.7	10.29	107.5	7.72	15.70	-60.00
-70.00	0.20968	1358.9	0.10749	172.56	395.34	0.8868	1.7923	1.112	0.646	1.248	782	162.3	291.0	10.38	106.6	7.83	15.38	-70.00
-80.00	0.24531	1346.5	0.09268	177.04	397.06	0.9046	1.7862	1.119	0.659	1.253	772	162.5	284.4	10.46	105.7	7.94	15.09	-80.00
-90.00	0.26479	1340.3	0.08621	179.30	397.91	0.9135	1.7826	1.123	0.665	1.255	764	162.8	278.1	10.55	104.8	8.06	14.79	-90.00
-100.00	0.28543	1334.0	0.08029	181.56	398.75	0.9223	1.7791	1.127	0.672	1.258	744	163.0	265.9	10.72	103.0	8.29	14.45	-100.00
-110.00	0.30728	1327.6	0.07485	183.83	399.57	0.9311	1.7757	1.131	0.678	1.261	735	163.1	260.1	10.80	102.1	8.40	14.14	-110.00
-120.00	0.33018	1321.2	0.06986	186.11	400.39	0.9398	1.7723	1.135	0.685	1.264	726	163.2	254.4	10.89	101.1	8.52	13.83	-120.00
-130.00	0.35479	1314.7	0.06527	188.40	401.20	0.9485	1.7690	1.139	0.692	1.267	716	163.3	248.8	10.98	100.2	8.65	13.52	-130.00
-140.00	0.38054	1308.2	0.06103	190.70	401.99	0.9572	1.7658	1.144	0.699	1.270	707	163.3	243.4	11.06	99.3	8.77	13.21	-140.00
-150.00	0.40769	1301.6	0.05713	193.01	402.77	0.9744	1.7596	1.154	0.715	1.274	697	163.4	238.1	11.15	98.4	8.89	12.91	-150.00
-160.00	0.43628	1295.0	0.05352	195.33	403.55	0.9830	1.7566	1.159	0.722	1.282	688	163.4	233.0	11.24	97.5	9.02	12.60	-160.00
-170.00	0.46636	1288.3	0.05019	197.66	404.30	0.9915	1.7536	1.164	0.731	1.287	679	163.4	227.9	11.32	96.6	9.15	12.30	-170.00
-180.00	0.49799	1281.5	0.04710	200.00	405.05	1.0000	1.7507	1.169	0.739	1.291	669	163.4	223.0	11.41	95.7	9.28	12.00	-180.00
-190.00	0.53120	1274.7	0.04424	202.35	405.78	1.0085	1.7478	1.175	0.748	1.296	660	163.3	218.2	11.50	94.8	9.42	11.70	-190.00
-200.00	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	9.56	11.40	-200.00
-210.00	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	10.91	-210.00
-220.00	0.64088	1253.8	0.03683	209.47	407.89	1.0338	1.7395	1.193	0.775	1.313	615	162.8	200.0	11.86	91.3	9.99	10.51	-220.00
-230.00	0.68095	1246.7	0.03470	211.87	408.56	1.0422	1.7368	1.199	0.785	1.319	615	162.6	195.7	11.96	90.4	10.14	10.22	-230.00
-240.00	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	-240.00
-250.00	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	-250.00
-260.00	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	-260.00
-270.00	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	-270.00
-280.00	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	-280.00
-290.00	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	-290.00
-300.00	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	-300.00
-310.00	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	-310.00
-320.00	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	-320.00
-330.00	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	-330.00
-340.00	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	-340.00
-350.00	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	-350.00
-360.00	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	-360.00
-370.00	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	-370.00
-380.00	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	-380.00
-390.00	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	-390.00
-400.00	1.68870	1110.6	0.01360	255.01	416.83	1.1830	1.6933	1.368	1.037	1.517	448	155.0	132.8	13.77	75.1	13.55	5.51	-400.00
-410.00	1.77040	1101.4	0.01291	257.73	417.07	1.1913	1.6906	1.384	1.061	1.538	437	154.2	129.5	13.90	74.1	13.83	5.25	-410.00
-420.00	1.85510	1091.9	0.01226	260.47	417.27	1.1997	1.6879	1.401	1.086	1.561	427	153.4	126.3	14.04	73.2	14.13	5.00	-420.00
-430.00	1.94270	1082.3	0.01163	263.25	417.44	1.2080	1.6852	1.419	1.113	1.586	417	152.6	123.1	14.18	72.3	14.45	4.74	-430.00
-440.00	2.03330	1072.4	0.01104	266.05	417.56	1.2164	1.6824	1.439	1.142	1.614	407	151.7	120.0	14.32	71.4	14.78	4.49	-440.00
-450.00	2.12700	1062.3	0.01048	268.89	417.63	1.2248	1.6795	1.461	1.173	1.644	396	150.8	116.9	14.47	70.4	15.14	4.24	-450.00
-460.00	2.22390	1052.0	0.00995	271.76	417.66	1.2333	1.6766	1.485	1.208	1.677	386	149.8	113.8	14.63	69.5	15.52	4.00	-460.00
-470.00	2.32400	1041.3	0.00944	274.66	417.63	1.2418	1.6736	1.511	1.246	1.714	375	148.8	110.7	14.80	68.6	15.92	3.75	-470.00
-480.00	2.42750	1030.4	0.00896	277.61	417.55	1.2504	1.6705	1.539	1.287	1.755	364	147.7	107.6	14.98	67.6	16.36	3.51	-480.00
-490.00	2.53450	1019.4	0.00851	280.61	417.42	1.2592	1.6672	1.570	1.331	1.801	353	146.9	104.5	15.16	66.5	16.83	3.26	-490.00
-500.00	2.64500	1008.4	0.00808	283.66														

LEMBAR ASISTENSI TUGAS AKHIR

Pengaruh Diameter Honeycomb Surface Berbahan Aluminium terhadap Kinerja ACWH

Nama : Fadli Umri Pratama
NPM : 1507230224

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.	1/6-2019	perbaiki bab I	☑
2.	5/10-2019	perbaiki bab II	☑
		perbaiki bab III	☑
3.	29/8-2019	lanjutan pembuatan alat / set-up alat uji	☑
		lanjutan ke pembimbing 2	☑
4.	seminar 16/12-2019	perbaiki prosedur : lanjutkan ke Bab 4	} Af.
5.	jum'at 3/1-2020	perbaiki bab 4 tahapan pengujian sesuai dgn prosedur. Tahapan harus lebih rinci & jelas	} Af.
6.	Selasa 7/1-2020	kembali ke pembimbing 1	Af.
7.	subh 11/1-2020	perbaiki kesimpulan	☑
8.	Ace sem 17/1-2020	Ace seminar	☑



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

Jalan Kapten Mochtar 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 643/3AU/UMSU-07/F/2019

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

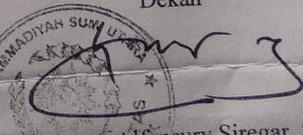
Program Studi : FADLI UMRI PRATAMA
NPM : 1507230224
Materi : TEKNIK Mesin
Semester : VIII (Delapan)
Judul Tugas Akhir : PENGARUH VARIASI DIAMETER PIPA HISAP PADA SISTEM
INSTALASI PIPA AIR CONDITIONER WATER HEATER (ACWH)
Pembimbing 1 : CHANDRA A. SIREGAR ST.MT
Pembimbing 2 : AHMAD MARABDI SIREGAR ST.MT.

Bila Judul Tugas Akhir kurang sesuai dapat diganti Oleh Dosen pembimbing setelah
mendapat persetujuan dari program Studi Teknik Mesin
Menulis Tugas Akhir dinyatakan batal setelah 1 (satu) Tahun dan tanggal yang telah ditetapkan.

Surat penunjukan dosen Pembimbing dan menetapkan Judul Tugas Akhir ini dibuat untuk
dilaksanakan sebagaimana mestinya.

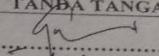
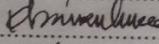
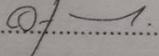
Ditetapkan di Medan pada Tanggal.
Medan 05 Ramadhan 1440 H
10 Mei 2019

Dekan


Munawar Alfansury Siregar, ST., MT
NIDN: 0101017202

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

Peserta Seminar
Nama : Fadli Umri Pratama
NPM : 1507230224
Judul Tugas Akhir : Pengaruh Diameter Honeycomb Surface Berbahan Alu-
Minium Terhadap Kinerja Aewh.

DAFTAR HADIR		TANDA TANGAN
Pembimbing – I	: Chandra A Sieregar.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 EFENDI	
3	1507230164	ULLU AMRI	
4	1507230218	Yoga pranata	
5			
6			
7			
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 : Fadli Umri Pratama
NPM : 1507230224
Judul T.Akhir : Pengaruh Diameter Honeycomb Surface Berbahan Aluminium Terhadap Kinerja Acwh.

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

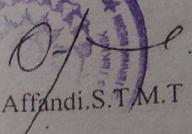
.....
..... *Lihat Bukti Sarjana*

3. Harus mengikuti seminar kembali
Perbaikan :

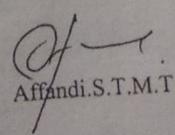
.....
.....
.....

Medan 06 Jum.Akhir 1441 H
01 Februari 2020 M

Diketahui :
Ketua Prodi. T.Mesin


Affandi.S.T.M.T

Dosen Pemanding- II


Affandi.S.T.M.T

DAFTAR EVALUASI SEMINAR FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA

NAMA : Fadli Umri Pratama
NPM : 1507230224
Judul T.Akhir : Pengaruh Diameter Honeycomb Surface Berbahan Aluminium Terhadap Kinerja Acwh.

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

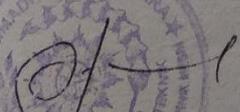
1. Baik dapat diterima ke sidang sarjana (collogium)
2. Dapat mengikuti sidang sarjana (collogium) setelah selesai melaksanakan perbaikan antara lain :

latar belakang, tujuan, metode, hasil, simpulan

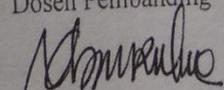
3. Harus mengikuti seminar kembali
Perbaikan :

Medan 06 Jum.Akhir 1441 H
01 Februari 2020 M

Diketahui :
Ketua Prodi. T.Mesin


Affandi.S.T.M.T

Dosen Pembanding- I


Khairul Umurani.S.T.M.T

DAFTAR RIWAYAT HIDUP



A. DATA PRIBADI

1. Nama : FADLI UMRI PRATAMA
2. Jenis Kelamin : Laki – Laki
3. Tempat, Tanggal Lahir : JATIKESUMA, 01 – APRIL – 1997
4. Kewarganegaraan : Indonesia
5. Status : Belum Kawin
6. Agama : Islam
7. Alamat : Jln.Sepakat Desa. Jatikesuma.Kec.
NamoRambe
8. No. Hp : 085830751546
9. Email : fadliumripratama97@gmail.com

B. RIWAYAT PENDIDIKAN

1. 2003 - 2009 : MIS KESUMA LKMD
2. 2009 – 2012 : MTS KESUMA LKMD
3. 2012 – 2015 : SMK SWASTA ISTIQLAL DELITUA
4. 2015 – 2020 : Teknik Mesin, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara