

TUGAS AKHIR

ANALISA NUMERIK PERPINDAHAN PANAS PADA ACWH DENGAN HONEYCOMB SEBAGAI PENGHANTAR PANAS

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

Disusun Oleh:

M.KAMALUDIN WAHDANI

1607230075



UMSU

Unggul | Cerdas | Terpercaya

**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN FAKULTAS
TEKNIK**

UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA MEDAN

2020

HALAMAN PENGESAHAN

Tugas Akhir ini diajukan oleh:

Nama : M. Kamaludin Wahdani
NPM : 1607230075
Program Studi : Teknik Mesin
Judul Skripsi : Analisa Numerik Perpindahan Panas Pada ACWH Dengan
Honeycomb Sebagai Penghantar Panas.
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, 13 November 2020

Mengetahui dan menyetujui:

Dosen Penguji



Khairul Umurani, S.T.M.T

Dosen Peguji



Affandi, S.T.,M.T

Dosen Penguji



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

Program Studi Teknik Mesin
Ketua,



Affandi, S.T.,M.T

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama Lengkap : M. Kamaludin Wahdani
Tempat / Tanggal Lahir : Pangkalan Susu/ 13 Agustus 1998
NPM : 1607230075
Fakultas : Teknik
Program Studi : Teknik Mesin

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

“Analisa Numerik Perpindahan Panas Pada ACWH Dengan Honeycomb Sebagai Penghantar Panas ”,

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, 13 November 2020

Saya yang menyatakan,

M.Kamaludin Wahdani

ABSTRAK

Sekarang ini *air conditioner* (AC) dan *water heater* sudah menjadi kebutuhan umum pada rumah tangga, gedung-gedung perkantoran maupun rumah sakit. ACWH menggunakan Alat penukar kalor yang merupakan suatu peralatan dimana terjadi perpindahan panas dari suatu fluida yang temperaturnya lebih tinggi kepada fluida lain yang temperaturnya lebih rendah. 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 fluida diam. Apk yang digunakan adalah apk yang berbentuk Sarang lebah (*Honeycomb*) adalah struktur buatan manusia yang mempunyai geometri yang berbentuk segi enam beraturan dengan panjang dan dan sisi sudut yang sama. Yang dikembangkan oleh *solidworks coorparation* yang sekarang sudah diakusisi oleh *dassault systems*. *Solidworks* dalam penggambaran model 3D menyediakan *feature-based parametric solid modeling*. Untuk analisa numerik perpindahan panas pada honeycomb maka penulis menggunakan Computational Fluid Dynamics (CFD) yang merupakan perangkat metode numerik yang diaplikasikan untuk mendapatkan perkiraan solusi dari masalah fluida dinamis dan perpindahan panas. Maka diketahui apk honeycomb mendapatkan nilai CFD temperature keluar yaitu material tembaga 56.00302°C material alumunium $55.243341^{\circ}\text{C}$ dan material kuningan $69.341577^{\circ}\text{C}$

kata kunci : Simulasi numerik, perpindahan panas , material tembaga,alumunium dan kuningan

ABSTRACT

Currently, air conditioners (AC) and water heaters have become common needs in households, office buildings and hospitals. ACWH Uses a heat exchanger which is a device where heat transfer occurs from a fluid with a higher temperature to another fluid with a lower temperature. The process of conduction heat transfer is a process of transferring heat energy in which the heat energy flows from an area with a higher temperature to an area with a lower temperature in a medium or a stationary fluid. The apk used is an apk in the form of a honeycomb (Honeycomb) which is a man-made structure that has a geometry in the form of a regular hexagon with the same length and angular side. developed by Solidworks Coorporation which is now being acquired by dassault systems. Solidworks in 3D modeling provides feature-based parametric solid modeling. For numerical analysis of heat transfer in honeycomb, the authors use Computational Fluid Dynamics (CFD) which is a numerical method tool that is applied to obtain approximate solutions to dynamic fluid and heat transfer problems. So it is known that the honeycomb apk gets the CFD temperature out value, namely copper material 56.00302 °C, aluminum material 55.243341 °C and brass material 69.341577 0C.

Key words: Numerical simulation, heat transfer, copper, aluminum and brass materials

KATA PENGANTAR

Dengan nama Allah Yang Maha Pengasih lagi Maha Penyayang. Segala puji dan syukur penulis ucapkan kehadirat 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 “Analisa Numerik Perpindahan Panas Pada ACWH Dengan Honeycomb Sebagai Penghantar Panas” sebagai syarat untuk meraih gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara (UMSU) Medan.

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

1. Bapak Chandra A Siregar, S.T., M.T selaku Dosen Pembimbing 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 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, Sekaligus sebagai Wakil Dekan III Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
3. 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.
4. Bapak Munawar Alfansury Siregar, S.T, MT selaku Dekan Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
5. Seluruh Bapak/Ibu Dosen di Program Studi Teknik Mesin, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara yang telah banyak memberikan ilmu teknik mesin kepada penulis.

6. Orang tua penulis, Wahadi Propto dan Harmaini, yang telah bersusah payah membesarkan dan membiayai studi penulis.
7. Bapak/Ibu Staf Administrasi di Biro Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
8. Sahabat-sahabat penulis: Setiawan hadi , Arifin Hardianto, Andri kurniawan, Fadli umri pratama , Aldi trisna irawan , dan lainnya yang tidak mungkin namanya disebut satu persatu.

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 pengembangan ilmu Teknik Mesin.

Medan, 13 November 2020



M.Kamaludin Wahdani

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	ii
LEMBAR PERNYATAN KEASLIAN	iii
ABSTRAK	iv
ABSTRACT	v
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR TABEL	x
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR NOTASI	xiv
BAB 1 PENDAHULUAN	
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	2
1.3. Ruang Lingkup	2
1.4. Tujuan Penelitian	3
1.5. Manfaat Penelitian	3
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1. ACWH	4
2.1.1. Prinsip Kerja ACWH	4
2.2. Alat Penukar Kalor	5
2.2.1. Klasifikasi Alat Penukar Kalor	6
2.3. Perpindahan Kalor	9
2.3.1. Perpindahan Panas Konduksi	10
2.3.2. Konduktifitas Termal	10
2.3.3. Perpindahan Panas Konveksi	11
2.3.4. Perpindahan Panas Radiasi	12
2.4. Bilangan Renold	13
2.5. Bilangan Nusselt (Nu)	13
2.6. Pressure Drop	14
2.7. Sarang Lebah Honeycomb	14
2.8. Tembaga	15
2.9. Alumunium	15
2.10. Kuningan	15
2.11. Aliran Fluida	15
2.12. Software Design Engineering 3D	16
2.12.1. Solidwork Dan Cosmos Flowwork CAD 3D	16
2.12.2. Templates Solidwork	17
2.12.3. Cosmos Flowworks	18
2.12.4. Komputasi Fluida Dinamik	19
2.12.5. Persamaan Dasar CFD	20

BAB3 METODE PENELITIAN	22
3.1 Tempat dan Waktu	22
3.1.1 Tempat Penelitian	22
3.1.2 Waktu Penelitian	22
3.2 Bahan dan Alat	23
3.2.1 Bahan Penelitian	23
3.2.2 Alat Penelitian	23
3.3 Bagan Alir Penelitian	25
3.4 Rancangan Alat Penelitian	26
3.5 Prosedur Penelitian	33
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN	48
4.1 Material Tembaga	48
4.1.1. Distribusi temprature	48
4.1.2. Distribusi tekanan	49
4.1.3. Distribusi kecepatan	50
4.1.4. Proses simulasi honeycomb	51
4.1.5. Surface integral	52
4.2 Material Alumunium	53
4.2.1. Distribusi temprature	53
4.2.2. Distribusi tekanan	54
4.2.3. Distribusi kecepatan	55
4.2.4. Proses simulasi honeycomb	56
4.1.5. Surface integral	57
4.3 Material Kuningan	58
4.3.1. Distribusi temprature	58
4.3.2. Distribusi tekanan	59
4.3.3. Distribusi kecepatan	60
4.3.4. Diproses simulasi honeycomb	61
4.3.5. Surface integrals	62
4.4 Grafik perbandingan honeycomb	63
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN	64
5.1 Kesimpulan	64
5.2 Saran	64
DAFTAR PUSTAKA	65
LAMPIRAN	
LEMBAR ASISTENSI	
DAFTAR RIWAYAT HIDUP	

DAFTAR TABEL

Table 2.1	Konduktifitas termal	12
Table 3.1	Jadwal dan kegiatan saat melakukan penelitian	20
Table 4.1	Perbandingan data experiment dan CFD material tembaga	50
Table 4.2	Perbandingan data experiment dan CFD material alumunium	56
Table 4.3	Perbandingan data experiment dan CFD material kuningan	62
Tabel 3.2.	Properties refrigerant R22	42
Tabel 3.2.	Properties refrigerant R22	42

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Skema ACWH	4
Gambar 2.2 Standar TEMA Alat Penukar kalor	9
Gambar 2.3 Laju Perpindahan Panas Konduksi	10
Gambar 2.4 Perpindahan Panas Radiasi	13
Gambar 2.5 Sanwitch Honeycomb	13
Gambar 2.6 Tampilan Awal Solidwork	16
Gambar 2.7 Tampilan Template Solidwork	17
Gambar 2.8 Tampilan Jendela Solidwork	17
Gambar 3.1 Laptop asus	21
Gambar 3.2 Sofware Solidwork	20
Gambar 3.3 Software Ansys	20
Gambar 3.4 Diagram Alir Rancang Alat Penukar Kalor.	21
Gambar 3.5 Tampilan awal solidwork	23
Gambar 3.6 Menentukan Plane rancangan	24
Gambar 3.7 Desain honeycomb tampak atas	24
Gambar 3.8 Desain honeycomb setelah di linear pattern	25
Gambar 3.9 Desain honeycomb yang telah di corner rectangle	25
Gambar 3.10 Desain honeycomb setelah boss-extrude	26
Gambar 3.11 Desain honeycomb setelah seletede countour	26
Gambar 3.12 Mengulang desain untuk penghubung	27
Gambar 3.13 Desain Honeycom Selesai	27
Gambar 3.14 Desain ukuran plat	28
Gambar 3.15 Desain plat alumunium	28
Gambar 3.16 Desain plat tembaga	29
Gambar 3.17 Desain plat kuningan	29
Gambar 3.18 Desain honeycomb yang mau disimulasikan	30
Gambar 3.19 Desain plat alumunium	30
Gambar 3.20 Desain plat tembaga	31
Gambar 3.21 Desain plat kuningan	31
Gambar 3.22 Membangun geometri	33
Gambar 3.23 Import geometri	34
Gambar 3.24 Design modeler	35
Gambar 3.25 Generate mesh	35
Gambar 3.26 Mengetahui cell dan node	36
Gambar 3.27 Menentukan kondisi batas simulasi	37
Gambar 3.28 Melakukan setup	38
Gambar 3.29 Melakukan viscous	39
Gambar 3.30 Energy equation	39
Gambar 3.31 Edit material	40
Gambar 3.32 Kondisi batas	41
Gambar 3.33 Menentukan bahan	42
Gambar 3.34 Interface zones	42
Gambar 3.35 Intialization hybrid	43
Gambar3.36 Run calculation	44

Gambar 4.1 Simulasi tembaga distribusi temperature	45
Gambar 4.3 Simulasi tembaga konture kecepatan	47
Gambar 4.4 Proses simulasi honeycomb material tembaga	48
Gambar 4.5 Surface integrals	50
Gambar 4.6 Simulasi alumunium distribusi temprature	51
Gambar 4.7 Simulasi alumunium konture tekanan	52
Gambar 4.8 Simulasi alumunium konture kecepatan	53
Gambar 4.9 Proses simulasi honeycomb material alumunium	54
Gambar 4.10 Surface integrals	56
Gambar 4.11 Simulasi kuningan distribusi temperature	57
Gambar 4.12 Simulasi kuningan konture tekanan	58
Gambar 4.13 Simulasi kuningan konture kecepatan	59
Gambar 4.14 Proses simulasi honeycomb material kuningan	60
Gambar 4.15 Surface integrals	62
Gambar 4.16 Perbandingan temperature APK	63

DAFTAR NOTASI

No	Simbol	Besaran	Satuan
1.	Q_{cond}	Laju perpindahan panas konduksi	Watt
2.	k	Konduktivitas termal	$W/m \cdot ^\circ C$
3.	A	Luas Penampang	m^2
4.	$\Delta t / \Delta x$	Gradient suhu	$^\circ C$
5.	dx	Perbedaan jarak	m/det
6.	F	Factor yang bergantung	$W/m^2 k^4$
7.	δ	Konstanta	$^\circ C$
8.	t_s	Suhu permukaan	$^\circ C$
9.	t_f	Suhu flida	m/s
10.	v	Kecepatan rata-rata fluida	Kg/m^3
11.	ρ	Massa jenis fluida	$Kg/m.s$
12.	μ	Viskositas dinamik fluida	Kg/m^2
13.	ΔP	Penurunan tekanan	m/s^2
14.	g	Percepatan gravitasi	m
15.	h	Beda ketinggian fluida	

BAB 1 PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pada era globalisasi sekarang ini *air conditioner* (AC) dan *water heater* sudah menjadi kebutuhan umum pada rumah tangga, gedung-gedung perkantoran maupun rumah sakit. Hal ini menunjukkan bahwa kebutuhan akan daya listrik semakin meningkat. Untuk mengurangi konsumsi listrik yang cukup tinggi akibat penggunaan *air conditioner* (AC) sekaligus pemanas air elektrik maupun pemanas air tenaga surya dapat digunakan sistem ACWH (*Air Conditioner Water Heater*). Penggunaan Air Conditioning sekaligus sebagai Water Heater (ACWH) untuk mendapatkan kenyamanan termal dan air panas digunakan pertama kali sekitar tahun 1950-an. Pada masa awal penggunaan ACWH, keandalannya kurang dan membutuhkan biaya pemeliharaan tinggi. Pesatnya penggunaan ACWH, karena biaya listrik yang cukup besar untuk kebutuhan pemanasan dapat dihemat, karena daya pemanas yang di dapat dari kondensor jauh lebih cepat dari daya listrik yang digunakan untuk menggerakkan kompresor yang akan menghasilkan daya pemanasan kondensor tersebut.

Pada penelitian ini, alat penukar kalor yang digunakan yaitu berbentuk *honeycomb* yang barbahan tembaga, alumunium dan kuningan. *Honeycomb* adalah bagian dari sarang lebah yang berbentuk penampang dengan sel berpola segi enam (*hexagonal*). Pemanfaatan srtuktur sarang lebah (*honeycomb*) didalam dunia industri telah banyak digunakan. Salah satunya pada bidang kedirgantaraan yaitu untuk interior pesawat terbang, penutup antena radar dan lain-lain. Selain itu, konstruksi *honeycomb* juga memiliki penggunaan yang besar di bidang industry transportasi pada kereta api berkecepatan tinggi. Dalam penelitian ini, bahan tembaga, alumunium dan kuningan dipilih berbentuk plat dengan ketebalan 0.4 mm. Berbagai penelitian tentang ACWH dan alat penukar kalor dengan berbagai tipe mungkin atau bahkan telah banyak dilakukan oleh peneliti-peneliti terdahulu. Dan pada penelitian ini, akan dibuat suatu penukar kalor berbentuk *honeycomb* berbahan tembaga sebagai upaya peningkatan kinerja ACWH dalam memanfaatkan panas buang sistem AC untuk memanaskan air.

Untuk mengetahui profil aliran yang terjadi pada *honeycomb*, maka dari itu penelitian ini mengangkat sebuah judul “*Analisa numerik* perpindahan panas pada ACWH dengan *honeycomb* sebagai penghantar panas” yang bertujuan untuk mengetahui profil aliran dan penurunan tekanan secara simulasi komputatif dan *verifikasi visualisasi* dengan bantuan *software design engineering 3D*.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, maka perumusan masalah dari penelitian ini adalah “Bagaimana menganalisa numerik suatu alat penukar kalor berbentuk *honeycomb* berbahan tembaga, kuningan dan alumunium sebagai upaya peningkatan kinerja ACWH untuk memanaskan air yang memanfaatkan panas buang dari sistem AC ?”.

1.3 Ruang Lingkup

Berdasarkan data eksperimental yang dilakukan dengan menggunakan AC 1 PK maka diperoleh data awal yakni :

1. Temperatur masuk *honeycomb* plat tembaga sebesar 107.25°C
2. Temperatur masuk *honeycomb* plat alumunium sebesar 115.75°C
3. Temperatur masuk *honeycomb* plat kuningan sebesar 119.56°C
4. Temperatur keluar *honeycomb* plat tembaga sebesar 55.81°C
5. Temperatur keluar *honeycomb* plat alumunium sebesar 67.70°C
6. Temperatur keluar *honeycomb* plat kuningan sebesar 60.94°C
7. 1 unit ACWH menggunakan AC yang memiliki daya 1 PK.
8. Bahan sruktur sarang lebah (*honeycomb*) menggunakan plat tembaga, plat alumunium dan kuningan dengan tebal 0.4 mm.
9. Pengukuran yang terdapat pada pengujian meliputi temperatur air serta tekanan refrigran didalam sistem AC.
10. Media pemanasan adalah panas buang keluaran kompresor AC.
11. Analisa numerik dilakukan *software ansys*

Dengan demikian, maka penelitian ini akan mensimulasikan/menganalisa numerik dengan data-data awal diatas.

1.4 Tujuan

1. Untuk mengetahui laju perpindahan panas yang terjadi pada alat penukar kalor berbentuk *honeycomb* (sarang lebah) ke air.
2. Untuk membandingkan kinerja sistem ACWH dengan alat penukar kalor berbentuk *honeycomb* berbahan aluminium, tembaga dan kuningan.
3. Untuk membandingkan hasil pengujian eksperimental dengan simulasi

1.5 Manfaat

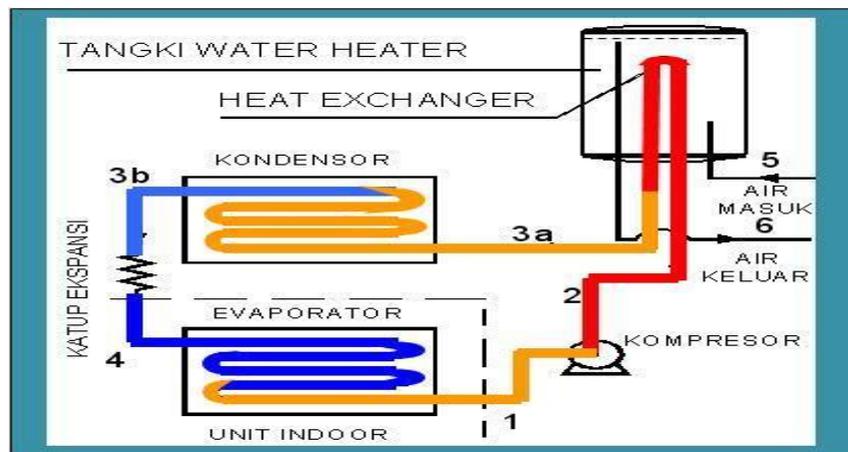
Adapun manfaat dari tugas akhir ini yaitu:

1. Memberikan informasi kepada masyarakat luas terkait potensi dan peningkatan kinerja ACWH
2. Memberikan informasi kinerja sistem ACWH dengan APK berbentuk *honeycomb*.

BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

2.1 ACWH (*Air Conditioner Water Heater*)

ACWH adalah sistem yang memanfaatkan panas buang dari sistem AC untuk memanaskan air. Sebagian kalor dari refrigeran yang sudah dikompresikan oleh kompresor digunakan untuk memanaskan air dengan bantuan alat penukar kalor. Penukar kalor inilah yang sangat menentukan kinerja dari ACWH. Dapat dilihat seperti pada gambar 2.1.



Gambar 2.1 Skema ACWH (Stoecker,1992)

2.1.1 Prinsip Kerja ACWH

Berikut adalah prinsip kerja ACWH :

- Proses 1-2
Uap refrigeran dihisap kompresor kemudian ditekan sehingga tekanan dan temperatur refrigeran naik.
- Proses 2-2
Panas refrigeran ditransfer kepada air di dalam alat penukar kalor sehingga air mengalami kenaikan temperatur sedangkan refrigeran mengalami penurunan dan sebagian telah berubah fasa menjadi cairan.
- Proses 2-3
Refrigeran didinginkan pada kondensor seperti pada siklus pendinginan

biasa.

- Proses 3-4

Refrigeran keluaran kondensor dan penukar kalor digabungkan sebelum diekspansikan. Cairan refrigeran dengan tekanan dan temperatur tinggi diekspansikan sehingga mengalami penurunan tekanan dan temperature.

- Proses 4-1

Refrigeran di evaporator dalam keadaan temperatur rendah sehingga dapat menyerap kalor ruangan. Cairan refrigeran menguap secara berangsur-angsur karena menerima kalor sebanyak kalor laten penguapan. Selama proses penguapan di dalam pipa terdapat campuran refrigeran fase cair dan uap.

Berikut ini adalah penelitian ACWH yang telah dilakukan sebelumnya dengan beberapa variasi alat penukar kalor antara lain :

- ACWH dengan penukar kalor pipa koil *1 shell pass*
- ACWH dengan penukar kalor pipa *helical 1 shell pass*
- ACWH dengan penukar kalor pipa *helical 2 shell pass*
- ACWH dengan penukar kalor pipa *helical 3 laluan*
- ACWH dengan alat penukar kalor plat 14 lembar dan 30 lembar
- ACWH dengan *helical coil water storage*

2.2 Alat Penukar Kalor

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

1. APK yang langsung, ialah dimana fluida yang panas akan bercampur secara langsung dengan fluida dingin (tanpa adanya pemisah) dalam suatu bejana tertentu atau ruangan tertentu.
2. APK yang tidak langsung, ialah dimana fluida panas tidak berhubungan langsung (*indirect contact*) dengan fluida dingin. Jadi proses perpindahan

panasnya itu mempunyai media perantara, seperti pipa, plat atau peralatan sejenisnya. (sumber: tarmizi_2014)

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

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.

2.2.1 Klasifikasi Alat Penukar Kalor

Melihat begitu banyaknya alat penukar kalor (*heat exchanger*), maka dapat di klasifikasikan berdasarkan bermacam-macam pertimbangan yaitu:

1. Klasifikasi Berdasarkan Proses Perpindahan Panas

- Tipe kontak tidak langsung
 - Tipe yang langsung dipindahkan
 - Terdiri dari satu fase
 - Terdiri dari banyak fase
 - Tipe yang ditimbun (*storage type*)
 - Tipe *fluidized bed*
 - Tipe yang kontak langsung
 - *Immiscible fluids*
 - Gas liquid
 - Liquid vapor

2. Klasifikasi Berdasarkan Jumlah Fluida yang Mengalir

- Dua jenis fluida
 - Tiga jenis fluida
 - N – jenis fluida (N lebih dari 3)
3. Klasifikasi Berdasarkan Kompaknya Permukaan
- Tipe penukar kalor yang kompak.
Density luas permukaannya $> 700 \text{ m}^2 / \text{m}^3$
 - Tipe penukar kalor yang tidak kompak.
Density luas permukaannya $< 700 \text{ m}^2 / \text{m}^3$
4. Klasifikasi Berdasarkan Mekanisme Perpindahan Panas
- Dengan cara konveksi, satu fase pada kedua alirannya
 - Dengan cara konveksi pada satu sisi aliran dan pada sisi yang lainnya terdapat cara konveksi dua aliran
 - Dengan cara konveksi pada kedua sisi alirannya serta terdapat dua pass aliran masing-masing
 - Kombinasi cara konveksi dan radiasi
5. Klasifikasi Berdasarkan konstruksi
- Konstruksi turbular (*shell and tube*)
 - Tube ganda (*double tube*)
 - Konstruksi *shell and tube*
 - Sekat plat (*plate baffle*)
 - Sekat batang (*rod baffle*)
 - Konstruksi tube spiral
 - Konstruksi tipe plat
 - Tipe plat
 - Tipe lamella
 - Tipe spiral
 - Tipe plat koil
 - Konstruksi dengan luas permukaan diperluas (*extended surface*)
 - Sirip plat (*plat fin*)
 - Sirip tube (*tube fin*)
 - *Heat pipe wall*
 - *Ordinary separating wall*

- Regenerative
 - Tipe rotary
 - Tipe disk (piringan)
 - Tipe drum
 - Tipe matrik tetap

6. Klasifikasi Berdasarkan Pengaturan Aliran

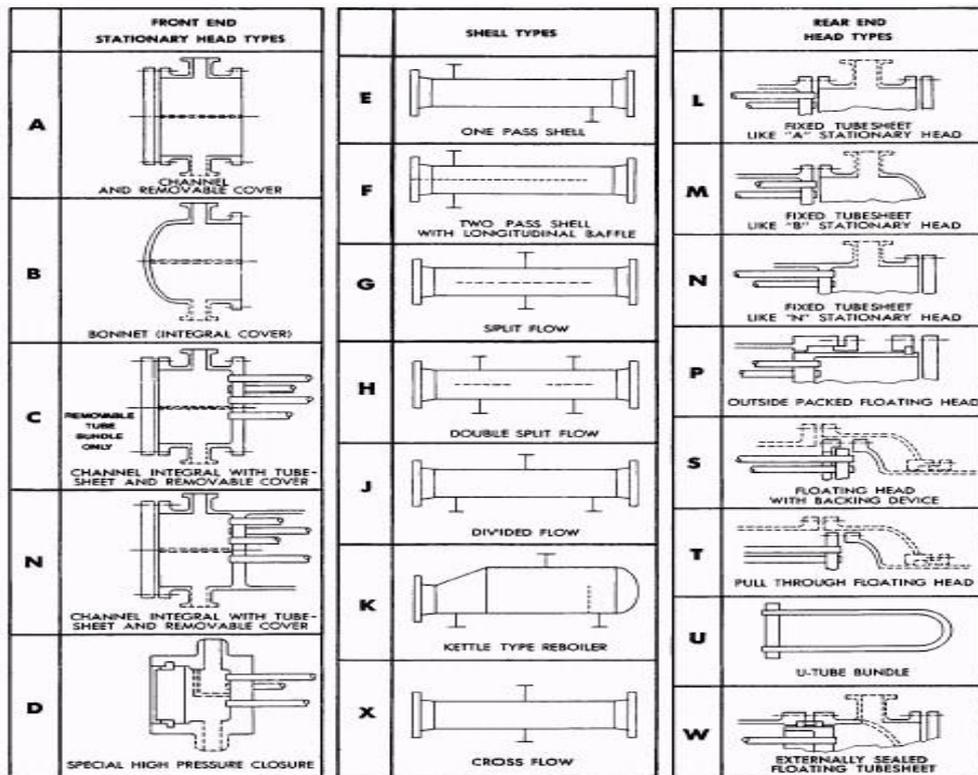
- Aliran dengan satu pass
 - Aliran berlawanan
 - Aliran paralel
 - Aliran melintang
 - Aliran split
 - Aliran yang dibagi (*devided*)
- Aliran multi pass
 - Permukaan yang diperbesar (*extended surface*)
 - Aliran *counter* menyilang
 - Aliran paralel menyilang
 - Aliran kompond
 - *Shell and tube*
 - Aliran paralel yang berlawanan (M pass pada shell N *pass* pada *tube*)
 - Aliran split
 - Aliran dibagi (*devided*)
 - Multipass plat
 - N – paralel plat multipass

Berdasarkan standar “*Turbular Exchanger Manufactures Association*” (TEMA) terdapat 3 macam kelas alat penukar kalor :

1. Kelas R, untuk peralatan yang bekerja dengan kondisi berat. Biasa digunakan di industry minyak.
2. Kelas C, dibuat untuk penggunaan secara umum. Didasarkan pada segi ekonomis dan ukuran kecil, digunakan untuk proses-proses industry.
3. Kelas B, untuk pelayanan proses kimia.

Standar TEMA juga mengklasifikasikan alat penukar kalor menurut tipe “stationary head”, “shell”, dan “rear head” kedalam tiga kode huruf, yaitu :

1. Huruf pertama : A, B, C, N, dan D
Menunjukkan tipe ujung muka
2. Huruf kedua : E, F, G, H, J, K dan X
Menunjukkan tipe shell
3. Huruf ketiga : L, M, D, U, P, S, T dan W
Menunjukkan tipe ujung belakang



Gambar 2.2 Standar TEMA Berdasarkan Tipe Bagian Alat Penukar Kalor

(I. Bizzy,2013)

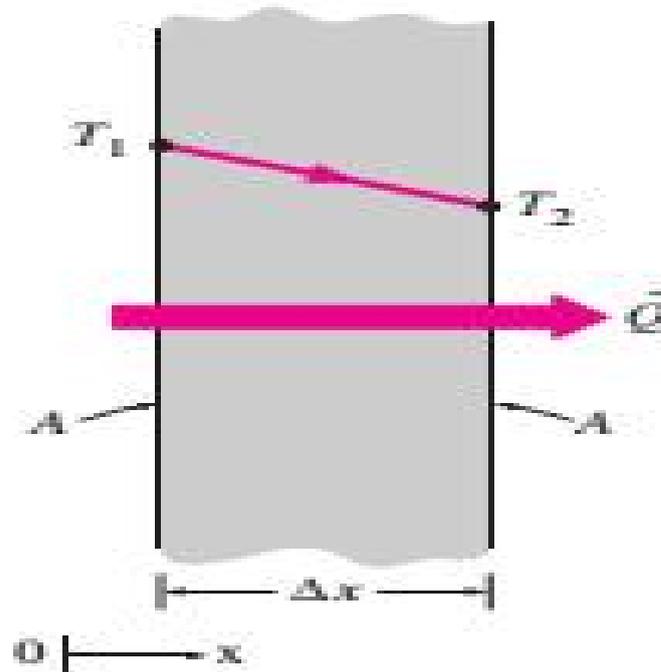
2.3 Perpindahan Kalor

Perpindahan kalor adalah ilmu yang mempelajari berpindahnya suatu energy (berupa kalor) dari suatu sistem ke sistem lain karena adanya perbedaan temperatur. Proses perpindahan kalor terjadi dari suatu sistem yang memiliki temperatur lebih tinggi ke temperatur yang lebih rendah. Perpindahan kalor dapat berlangsung dengan tiga cara, yaitu ;

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 fluida diam. Persamaan umum konduksi untuk perpindahan panas dengan cara konduksi dikenal dengan hukum fourier seperti dibawah:

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



Gambar 2.3 Laju Perpindahan Panas Konduksi (JP.Holman, 2010)

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 2.1 Konduktivitas Termal (JP.Holman, 2010)

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

2.3.3 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 dikenal sebagai konveksi paksa. Namun apabila aliran ini disebabkan oleh perbedaan suhu pada aliran itu sendiri, maka mode ini dikenal sebagai konveksi alami.

Perpindahan panas konveksi dapat dirumuskan sebagai berikut:

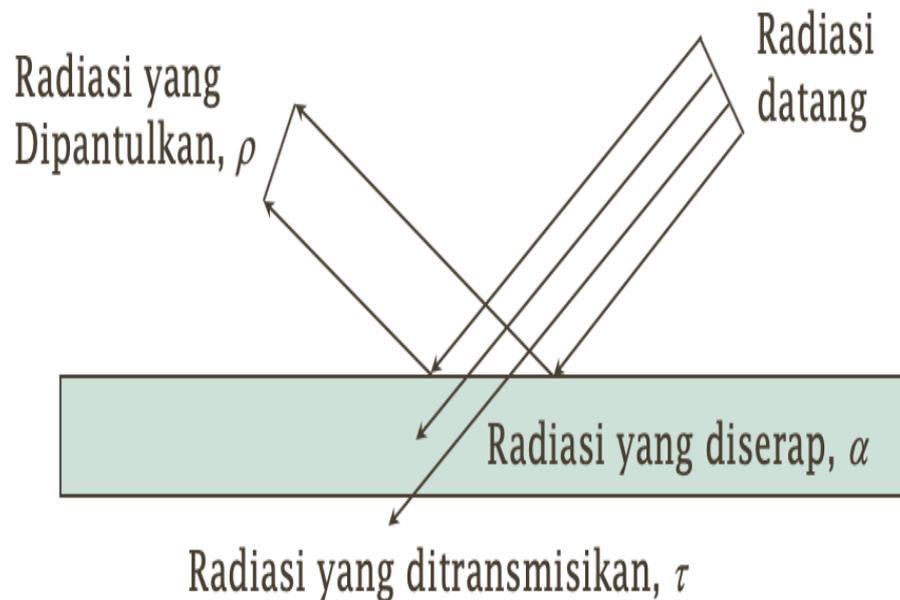
$$q = hA(T_w - T_\infty) \quad (2.2)$$

2.3.4 Perpindahan Panas Radiasi

Perpindahan panas radiasi adalah bagian dari spektrum elektro magnetik dalam *range* panjang gelombang terbatas dari 0,1 sampai 10 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 2.4 Perpindahan Panas Radiasi (JP.Holman.2010)

2.4 Bilangan Renold (Re)

Untuk mengetahui aliran laminar, turbulen dan transisi dapat diketahui dengan menghitung seberapa besar bilangan reynold dari aliran-aliran tersebut dengan menggunakan rumus :

$$Re = \frac{\rho.V.D}{\mu} \quad (2.4)$$

Aliran fluida dalam pipa akan mengalami tiga hal, yaitu :

1. Kontraksi atau penyempitan aliran, yaitu pada saat fluida hendak masuk ke dalam pipa.
2. Ekspansi atau penyebaran, yang dialami saat fluida keluar dari pipa.
3. Pembelokan arah aliran.

Aliran fluida yang berada dalam cangkang (*shell*), yaitu :

1. Aliran aksial, aliran yang sejajar dengan tube bundle.
2. Aliran melintang (*cross flow*), yang menyebrangi tube bundle.

2.5 Bilangan Nusselt (Nu)

Bilangan nusselt merupakan angka yang didapat dari pengukuran eksperimental, yang terdiri dari angka *reynold*, *prandtl* dan konstanta yang harganya tergantung pada geometri saluran dan sifat aliran. Komponen konduktif diukur dibawah kondisi yang sama dengan konveksi dengan kondisi fluida tidak bergerak. Aliran panas konduksi dan konveksi sifatnyaa sejajar satu sama lainnya dan terhadap permukaan normal terhadap bidang batas. (Dwi Arif Santoso,2017)

$$Nu = 0,023 Re^{0,8} Pr^{0,4} \quad (2.5)$$

Koefisien perpindahan panas

$$h = \frac{Nu.K}{DH} \quad (2.6)$$

$$DH = \frac{4 A}{P} \quad (2.7)$$

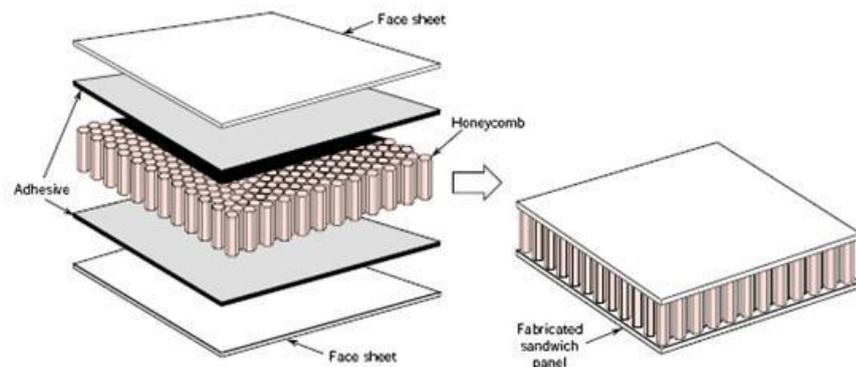
2.6 Pressure Drop

Penurunan tekanan pada suatu aliran yang disebabkan oleh gesekan pada dinding atau kerugian antara fluida dengan saluran. Pada alat penukar kalor, semakin tinggi *pressure drop* atau penurunan tekanan akan menyebabkan semakin tinggi daya yang dibutuhkan oleh pompa untuk mengalirkan fluida. *Losses* atau kerugian yang terjadi pada aliran fluida dibagi menjadi 2 yaitu (*major losses*) yang mana jenis kerugian ini disebabkan karena adanya faktor gesekan yang dimiliki oleh dinding sedangkan (*minor losses*) adalah jenis kerugian yang disebabkan oleh instalasi saluran seperti belokan, siku, sambungan. Penurunan tekanan yang terjadi pada alat penukar kalor dirumuskan :

$$\Delta P = \frac{4flpv^2}{2D} \quad (2.8)$$

2.7 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. Dapat dilihat seperti pada Gambar 2.5. (D. Mousanezhad R. dkk 2014)



Gambar 2.5 *Sandwich Honeycomb.*(Howard G. Allen. 1969)

Pemilihan material yang tepat terhadap *Honeycomb Sandwich* untuk dapat bekerja secara baik umumnya berkisar pada temperatur -55°C - 170°C . Perpindahan panas seperti konduksi, konveksi dan radiasi bergantung kepada

pemilihan material tersebut. Akan tetapi struktur *Honeycomb* lebih baik untuk ketiga perpindahan panas tersebut dibandingkan dengan struktur konvensional lainnya. (Howard G. Allen. 1969)

2.8 Tembaga

Tembaga merupakan konduktor panas dan listrik yang baik kedua, setelah perak. Tembaga murni sifatnya halus dan lunak, dengan permukaan berwarna jingga kemerahan. Tembaga juga mudah di tempa dan bersifat mulur sehingga mudah dibentuk menjadi pipa, lembaran tipis dan kawat. Beberapa sifat kimia tembaga antara lain :

1. Tembaga merupakan unsur yang relative tidak reaktif sehingga tahan terhadap korosi.
2. Pada kondisi yang istimewa yakni pada suhu sekitar 300°C tembaga dapat bereaksi dengan oksigen membentuk CuO yang berwarna hitam.

Tembaga sering digunakan sebagai bahan untuk kabel listrik dan kumparan dynamo.

2.9 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 seperti corundum, gibbsite, boehmite, diaspore, dan lain-lain. Sulit menemukan aluminium murni di alam karena aluminium merupakan logam yang cukup reaktif.

2.10 Kuningan

Kuningan Kuningan adalah paduan antara tembaga dan seng, dimana kandungan seng sampai kira-kira 40%. Dalam ketahanan terhadap korosi dan aus kurang baik dibanding brons tetapi kuningan mampu cornya lebih baik dan harganya lebih murah.

2.11 Aliran fluida

Aliran fluida baik cair maupun gas adalah suatu zat yang sangat lazim dalam kehidupan sehari-hari. Misalnya pengkondisian udara bagi bangunan dan mobil, pembakaran di motor bakar, aliran kompleks pada

alat penukar kalor dan reaktor kimia, dan lain-lain, yang mana cukup menarik untuk diteliti, diselidiki, dan analisis. Untuk kebutuhan penelitian bahkan sampai dengan tingkat desain, perlu dibutuhkan suatu alat yang mampu menganalisis atau memprediksi dengan cepat dan akurat. Maka berkembanglah suatu ilmu yang dinamakan *Computational Fluid Dynamic* (CFD) yang dalam bahasa Indonesia dikenal dengan Komputasi Aliran Fluida Dinamik [1].

2.11. Software Design Engineering 3D

2.11.1 SolidWork Dan Cosmos Flowwork CAD 3D

yang dikembangkan oleh *solidworks corporation* yang sekarang sudah diakusisi oleh *dassault systems*. *Solidworks* dalam penggambaran model 3D menyediakan *feature-based parametric solid modeling*. *Feature-based* dan *parametric* ini akan sangat mempermudah bagi usernya dalam membuat model 3D dapat dilihat seperti pada

Gambar 2.6.



Gambar 2.6 Tampilan Awal Solidworks (Gian Paolo BASSI)

2.11.2. Templates *Solidwork*

Solidworks menyediakan 3 templates utama yaitu:

1. *Part*

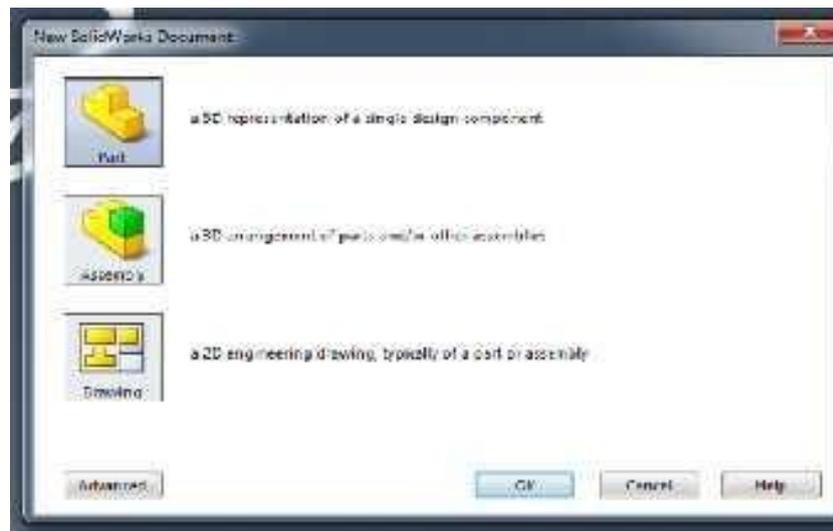
Part adalah sebuah objek 3D yang terbentuk dari *feature-feature*. *Part* bias menjadi sebuah komponen pada suatu *assembly*, dan juga bias digambarkan dalam bentuk 2D pada sebuah *drawing*. *Feature* adalah bentukan dan operasi-operasi yang membentuk *part*. *Base feature* merupakan *feature* yang pertama kali dibuat. *Extension file* untuk *part Solidwork* adalah SLDPRT.

2. *Assembly*

Assembly adalah sebuah dokumen dimana *parts*, *feature* dan *assembly* lain/(Sub Assembly) dipasangkan /disatukan bersamaan. *Extension file* untuk *Solidworks Assembly* adalah SLDASM.

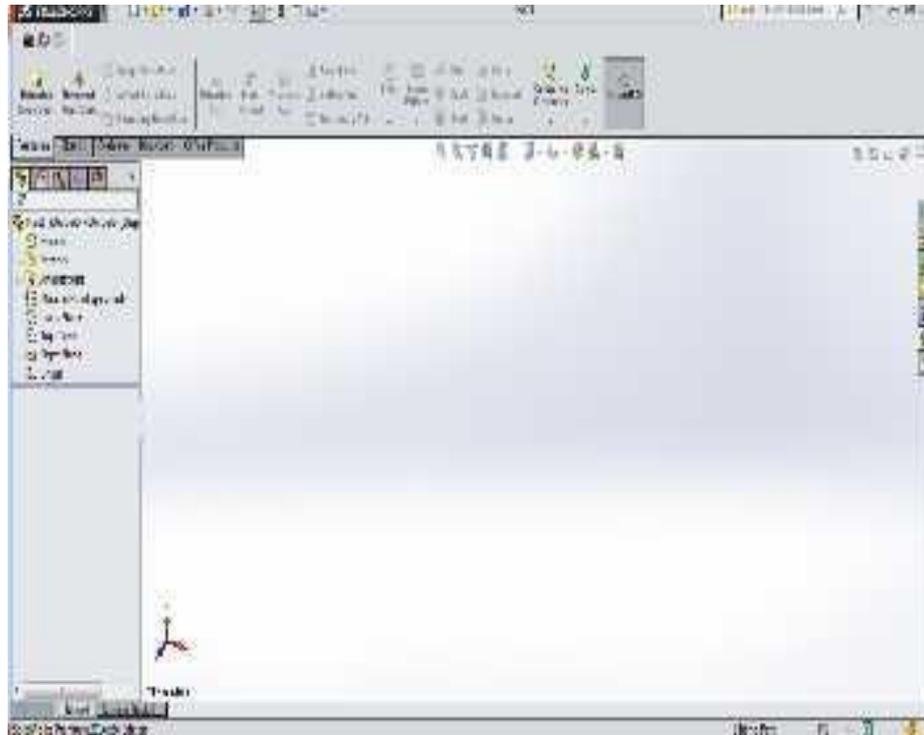
3. *Drawing*.

Drawing adalah templates yang digunakan untuk membuat gambar kerja 2D *engineering Drawing* dari *single component* (*part*) maupun *Assembly* yang sudah kita buat. *Extension file* untuk *Solidworks Drawing* adalah SLDDRW. Dapat dilihat seperti pada Gambar 2.7



Gambar 2.7 Tampilan template *SolidWork* (Gian Paolo BASSI)

Karena *SolidWorks* adalah *Software* design yang berbasis *parametric* maka antara ke 3 templates diatas saling berhubungan. Maka ketika suatu part diubah maka part tersebut akan secara otomatis berubah *diassembly* maupun di *drawing*. Dapat dilihat seperti pada Gambar 2.8



Gambar 2.8 Tampilan jendela *SolidWorks*(Gian Paolo BASSI)

2.11.3 *COSMOS Floworks*

COSMOS Floworks merupakan bagian *software* dari *solidwork* yang berfungsi sebagai CAD dan CAE, dimana *software* ini berfungsi untuk menganalisa aliran fluida, menggunakan prinsip dasar dari mekanika fluida, dan persamaan-persamaan yang berkaitan lainnya. Hal ini akan memberikan gambaran hasil analisis dalam bentuk grafik dan nilai-nilai output pada *COSMOS Floworks* dan *COSMOS Floworks* juga menggunakan prinsip *meshing* pada penganalisaannya yaitu suatu ruang yang berisi fluida yang akan dianalisis dibagi-bagi dalam menjadi beberapa bagian atau juga disebut sel. Pada setiap bagian ruang akan terdapat Kontrol-kontrol perhitungan dengan batasan/*boundary condition* dan domain yang telah ditentukan sebelumnya.

2.11.4 Komputasi Fluida Dinamik

CFD adalah suatu teknik menganalisis sistem yang melibatkan aliran fluida, perpindahan panas ataupun reaksi kimia menggunakan simulasi komputer. Ada dua persamaan dasar untuk kajian aliran fluida yaitu :

1. Hukum Kekekalan Massa

$$\frac{\delta \rho}{\delta t} + \nabla \cdot (\rho V) \quad (2.9)$$

2. Kekekalan Momentum

$$\rho \left[\frac{\delta V}{\delta t} V \cdot \nabla \cdot V \right] = F_b - \nabla p + \mu \cdot \nabla^2 + \frac{\mu}{3} \nabla (\nabla \cdot V) \quad (2.10)$$

3. Persamaan energi

$$\frac{\partial(E_r)}{\partial t} + \frac{\partial(uE)}{\partial x} + \frac{\partial(vE_r)}{\partial y} + \frac{\partial(wE_r)}{\partial z} = - \frac{\partial(...u)}{\partial x} - \frac{\partial(...w)}{\partial z} - \frac{1}{Re Pr} \left(\frac{\partial q_x}{\partial x} + \frac{\partial q_y}{\partial y} + \frac{\partial q_z}{\partial z} \right) + \frac{1}{Re} \left(\frac{\partial}{\partial x} \right) \quad (2.11)$$

CFD memanipulasi kedua persamaan dasar diatas ke dalam bentuk persamaan aljabar diskrit dan diselesaikan untuk mendapatkan nilai-nilai diskrit pada ruang dan waktu tertentu, menggunakan komputer.

Computational Fluid Dynamics (CFD) merupakan perangkat metode numerik yang diaplikasikan untuk mendapatkan perkiraan solusi dari masalah fluida dinamis dan perpindahan panas. Tujuan dari CFD adalah untuk memprediksi secara akurat tentang aliran fluida, perpindahan panas dan reaksi kimia dalam sistem yang kompleks, yang melibatkan suatu atau semua fenomena. Akhirnya hasil yang diperoleh akan disajikan dalam bentuk warna, vektor dan nilai-nilai yang mudah dilihat dengan konfigurasi rentang yang diambil dari nilai terbesar dan terkecil. Secara umum, proses perhitungan CFD terdiri dari 3 bagian utama :

1) *Pre-processing*

Tahap dimana data dimasukkan mulai dari mendefinisikan domain dan menentukan kondisi batas. Pada tahap ini, suatu objek akan dibagi dengan sejumlah grid atau sering disebut dengan meshing.

2) *Processing*

Pada tahap ini proses perhitungan data input dilakukan dengan persamaan yang terlibat secara iteratif. Ini berarti bahwa perhitungan dilakukan hingga hasilnya mengarah pada kesalahan terkecil atau untuk mencapai nilai konvergen. Perhitungan dilakukan secara menyeluruh pada kontrol volume dengan proses integrasi persamaan diskrit.

3) *Post-Processing*

Tahap terakhir dimana hasil perhitungan diinterpretasikan kedalam gambar, grafik dan bahkan animasi dengan pola warna tertentu. Post-prosesor semakin berkembang dengan kemajuan workstation teknik yang memiliki kemampuan grafis dan visualisasi yang cukup besar.

2.9.5 Persamaan dasar CFD

Pada dasarnya CFD merupakan pendekatan dari karakteristik fluida dengan kondisi *real*. CFD menggunakan persamaan dasar dinamika fluida yaitu persamaan kekekalan massa dan momentum.

Berikut persamaan dasar yang digunakan dalam simulasi Honeycomb.

1. *Continuity*

Sistem merupakan beberapa massa yang tetap atau tidak berubah. Secara sederhana, prinsip dari hukum kekekalan massa adalah laju perubahan massa sistem terhadap waktu sama dengan nol. Massa sistem konstan pada saat sistem bergerak melalui medan aliran. Berdasarkan pada hukum konservasi massa muncul persamaan kontinuitas untuk 2 dimensi sebagai berikut:

$$\frac{\delta p}{\delta t} + \frac{\delta \rho u}{\delta x} + \frac{\delta \rho v}{\delta y} = 0 \quad (2.12)$$

Karena fluida bersifat *incompressible*, maka massa jenis dianggap konstan.

Sehingga persamaan diubah menjadi:

$$\frac{\delta u}{\delta y} + \frac{\delta v}{\delta y} = 0 \quad (2.13)$$

Dimana:

$$\frac{\delta\rho}{\delta t} = \text{Perubahan massa jenis terhadap waktu persatuan luas } (Kg \cdot m^{-2} s^{-1})$$

$$\frac{\delta\rho u}{\delta x} = \text{Perubahan flux massa persatuan luas pada sumbu x } (Kg \cdot m^{-2} s^{-1})$$

$$\frac{\delta\rho v}{\delta y} = \text{Perubahan flux massa persatuan luas pada sumbu y } (Kg \cdot m^{-2} s^{-1})$$

2. Persamaan momentum

Hukum Newton Kedua menyebutkan bahwa gerakan pada system merupakan laju perubahan momentum linear pada sistem sama dengan jumlah seluruh gaya luar yang bekerja pada sistem. Gaya yang bekerja pada suatu sistem dapat dibagi menjadi 2, yakni *surface force* dan *body force*. Pada keadaan normal, gaya yang bekerja pada partikel udara adalah *Surface force*. *Surface force* dapat dicontohkan seperti gaya gravitasi, gaya tekan, dan gaya viskous. *Surface force* biasanya berkaitan dengan tekanan (P) dan komponen tahanan (τ). Sedangkan untuk *body force* contohnya yaitu gaya sentrifugal dan gaya elektromagnet.

Incompressible Navier-Stoke Equation merupakan persamaan momentum yang digunakan dalam sistem CFD. Persamaan *Navier-Stoke* untuk fluida *incompressible* dapat ditulis sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \rho \left(\frac{\delta u}{\delta t} + u \frac{\delta u}{\delta x} + v \frac{\delta u}{\delta y} \right) &= \rho g_x - \frac{\delta p}{\delta x} + \mu \left(\frac{\delta^2 u}{\delta x^2} + \frac{\delta^2 u}{\delta y^2} \right) \\ \rho \left(\frac{\delta v}{\delta t} + u \frac{\delta v}{\delta x} + v \frac{\delta v}{\delta y} \right) &= \rho g_y - \frac{\delta p}{\delta y} + \mu \left(\frac{\delta^2 v}{\delta x^2} + \frac{\delta^2 v}{\delta y^2} \right) \end{aligned} \quad (2.14)$$

BAB 3 METODE PENELITIAN

3.1. Tempat dan Waktu Penelitian

3.1.1 Tempat

Tempat pelaksanaan penelitian dilakukan di Laboratorium Komputer Gedung D Lantai 3, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara, Jl. Kapten Muchtar Basri No.3 Medan.

3.1.2 Waktu Penelitian

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

Tabel 3.1 jadwal dan kegiatan saat melakukan penelitian

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

3.2 Bahan dan Alat yang digunakan

Adapun alat yang digunakan pada penelitian ini adalah;

1. Laptop

Spesifikasi laptop yang digunakan dalam *analisa numeric* adalah sebagai berikut :

1. Prosesor : intel (R) Celeron (R) CPU 1007U @1.50GHz 1.50 GHz
2. Ram : 4.00 GB (3.89 GB usable)
3. Operasi system : 64-Bit Operating System, x64-based processor



Gambar 3.1 Laptop Asus windows 10

2. *Software solidworks 2014*

Software solidwork yang diinstal pada laptop adalah *solidworks 2014* dengan persyaratan system pada computer.

a) Perangkat lunak *solidwork 2014*

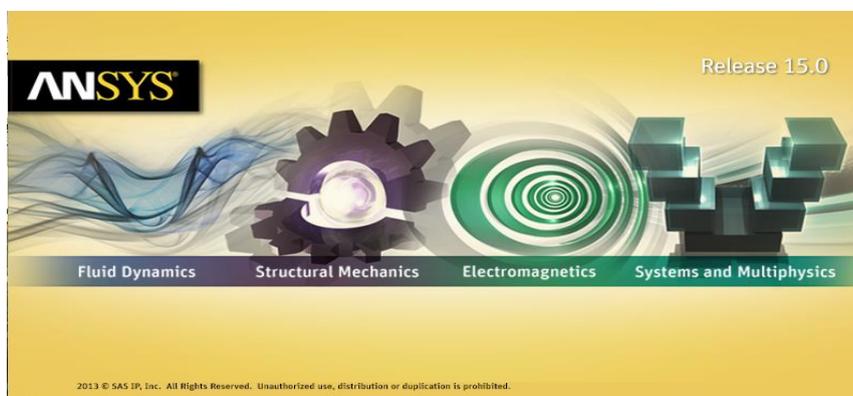
Program *solidwork* merupakan program computer yang berfungsi untuk melakukan analisa kekuatan. Program tersebut dapat membantu kita dalam membuat desain. Dengan demikian, selain biaya yang dikeluarkan berkurang, berdasarkan teori yang terdapat dalam perumusan metode elemen hingga.

Adapun spesifikasi dari *software solidwork 2014* adalah sebagai berikut :

1. Untuk Ram disarankan min 4GB atau lebih
2. Windows 10 64 bit
3. RAM VGA 1 GB
4. Prosesor : min intel inside atau lebih

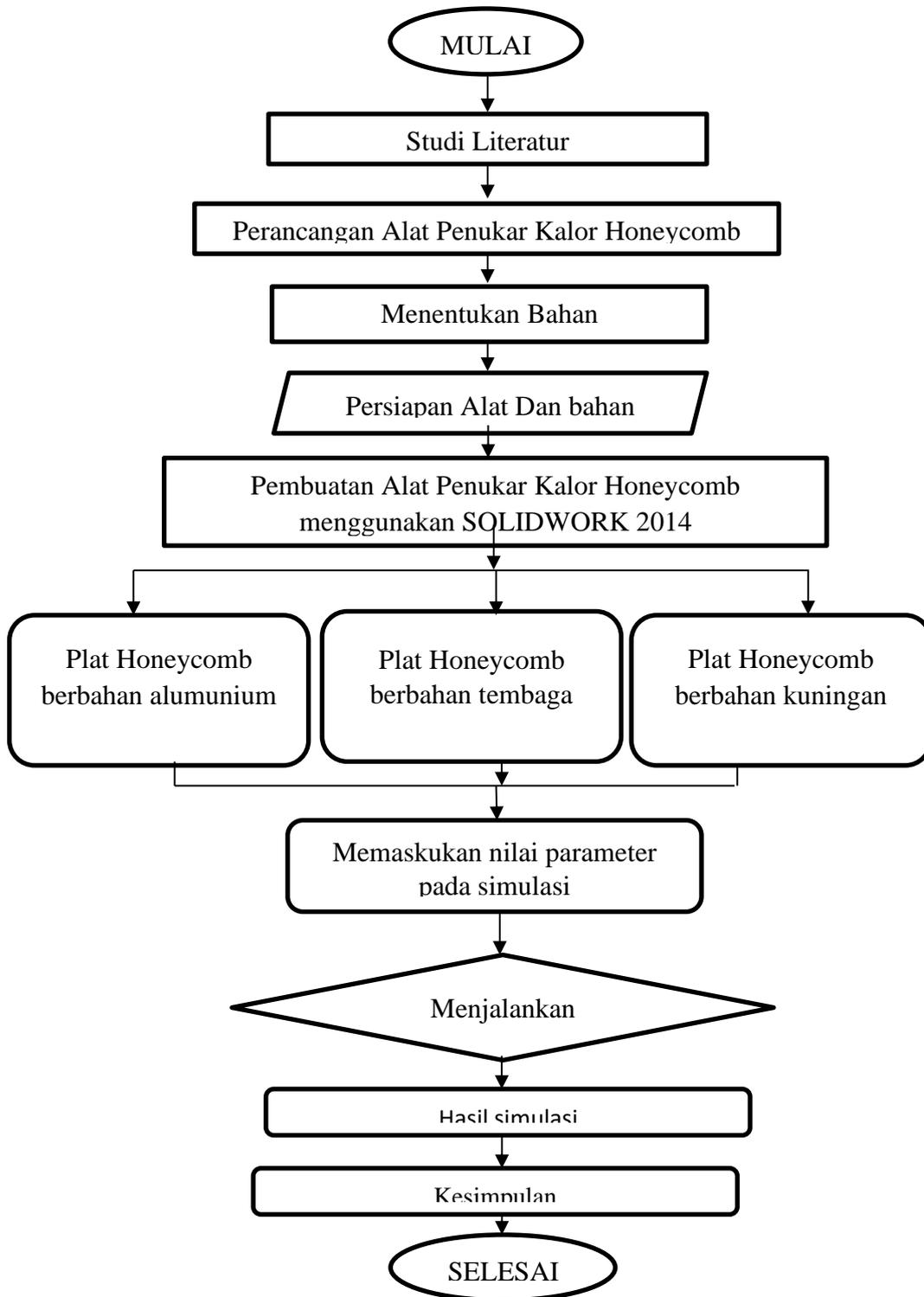


Gambar 3.2 Perangkat lunak *solidworks 2014*



Gambar 3.3 Perangkat lunak ansys

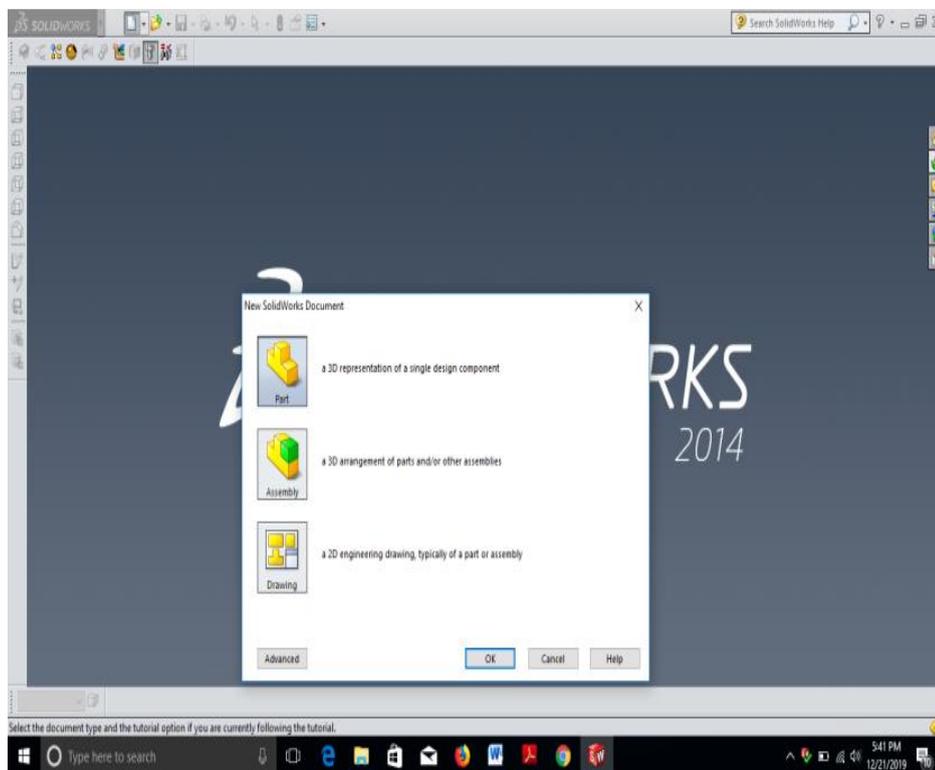
3.3 Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.4 Diagram Alir Rancang Alat Penukar Kalor

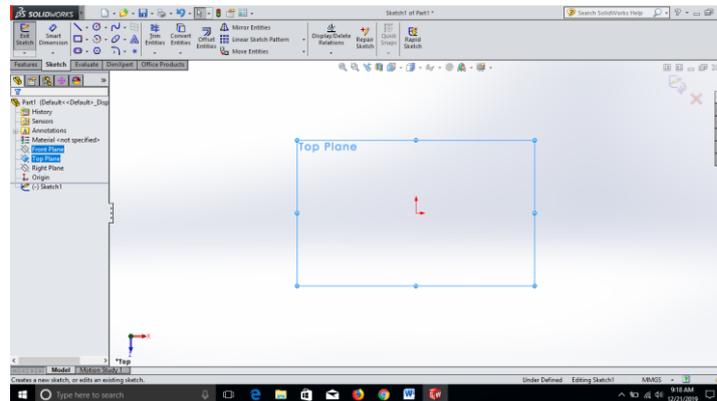
3.4 Perancangan APK berbentuk Sarang Lebah (*Honeycomb*) dengan *software solidwork 2014* Perancangan APK yang berbentuk *honeycomb Surface* pada penelitian ini dirancang dengan menggunakan *software solidworks 2014*.

1. Menyalakan computer yang akan digunakan untuk merancang desain pipa yang akan dibuat
2. Buka *software solidwork 2014* pada computer,
3. Pilih “New Document” pada sudut kanan atas tampilan *software solidworks 2014*, kemudian pilih “part” dan pilih “OK”.



Gambar 3.5 Tampilan awal solidworks 2014

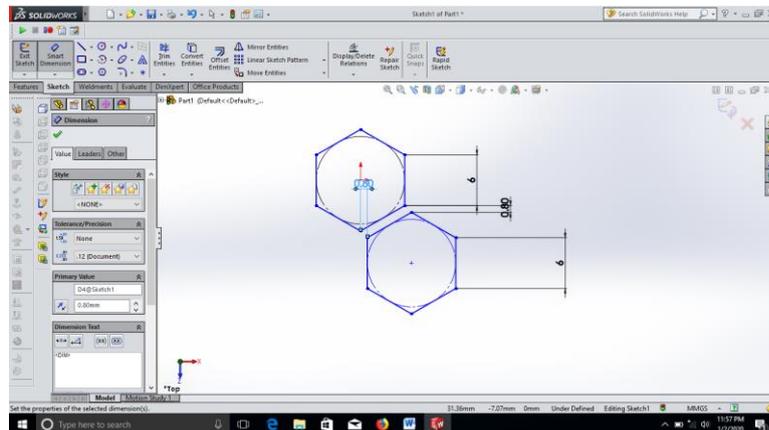
4. Pilih “insert” pada menu bar kemudian pilih “sketch” dan kemudian pilih bagian “Top Plane”.



Gambar 3.6 Menentukan plane perancangan

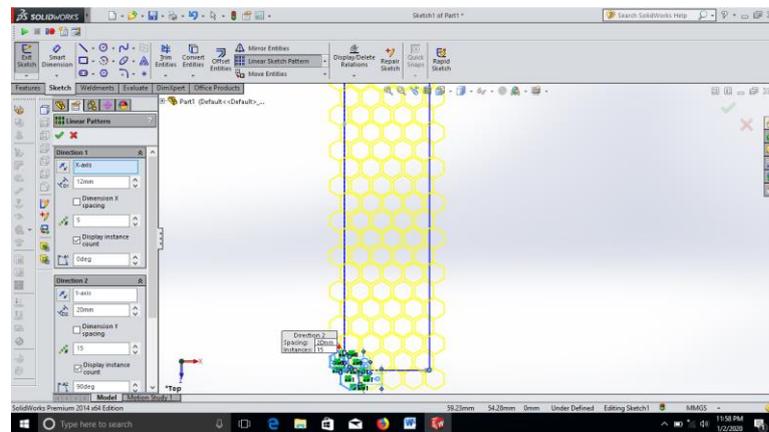
5. Membuat *desain honeycomb* dengan besar sisi *hexagonal* 6 mm
Honeycomb yang dirancang memiliki ukuran sebagai berikut:

- Diameter = 10mm
- Hexagonal = 6mm
- Lebar = 0.8 mm



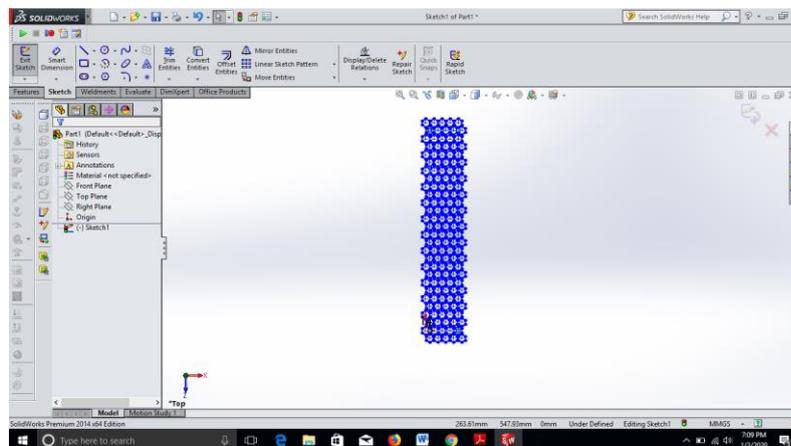
Gambar 3.7 *Desain honeycomb* tampak atas

- Setelah desain honeycomb dibuat, pilih “linear sketch pattern”



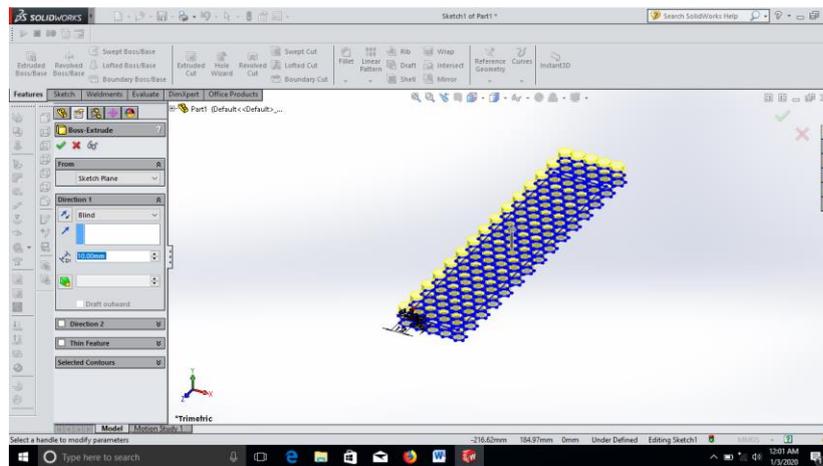
Gambar 3.8 Desain honeycomb setelah di linear sketch pattern

- Setelah melakukan “linear sketch pattern” pilih “corner rectangle”



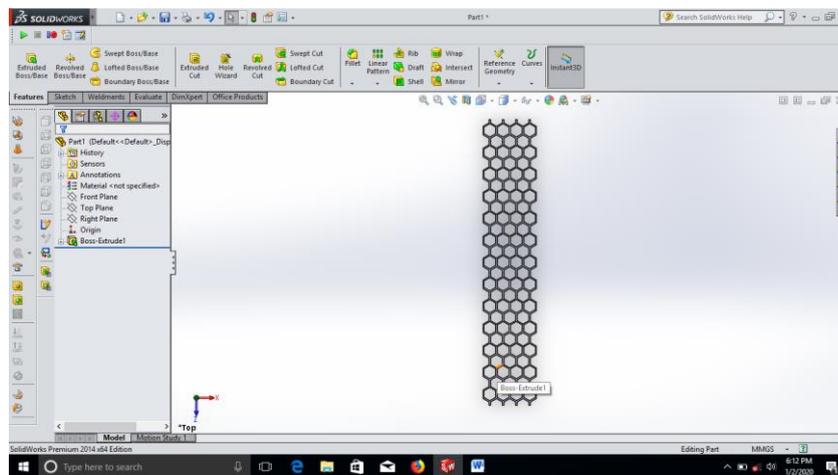
Gambar 3.9 Desain honeycomb setelah di corner rectangle

8. Setelah melakukan “corner rectangle” lalu pilih “boss-extrude”



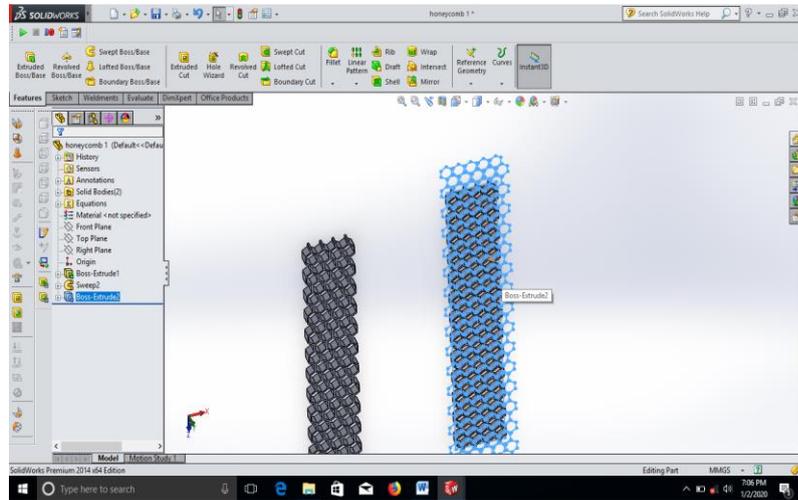
Gambar 3.10 Desain honeycomb setelah di “boss-extrude”

9. Setelah melakukan “boss-extrude” lalu pilih “Selected contours”



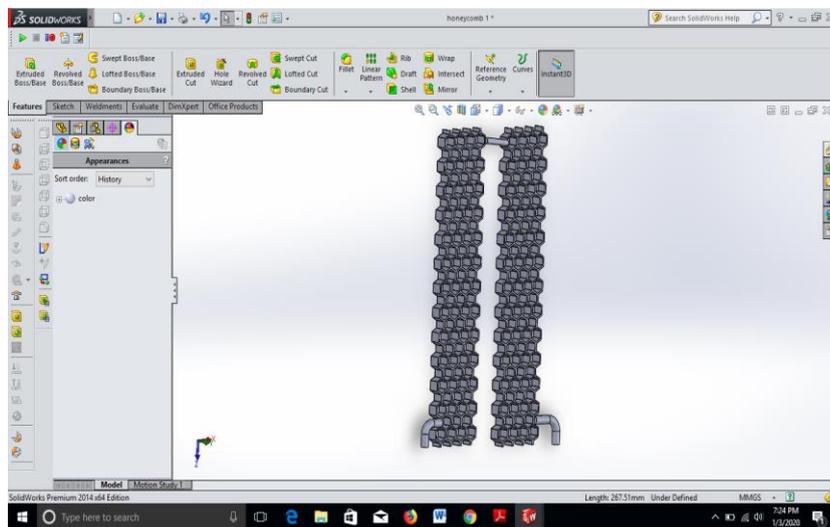
Gambar 3.11 Setelah melakukan selected contours

10. Setelah melakukan “selected contours” lalu pilih “top plant” dan ulangi langkah di awal untuk membuat jenis honeycomb yang sama



Gambar 3.12 Mengulang honeycomb untuk penghubung

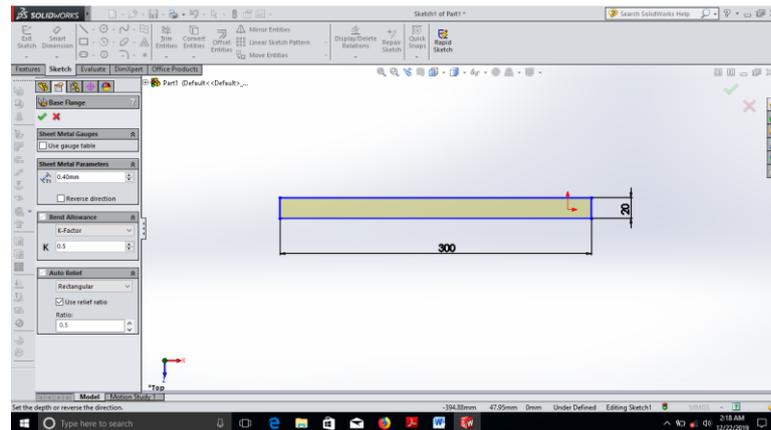
11. Desain Hasil honeycomb setelah selesai



Gambar 3. 13 Honeycomb selesai

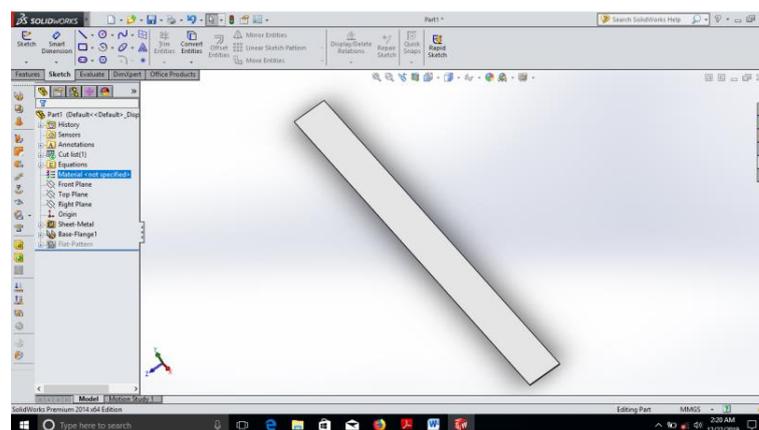
12. Membuat *Desain Honeycomb* Plat Aluminium dan plat tembaga tebal 0.4mm

- Lebar = 20mm
- Panjang = 300mm
- Tebal = 0.4mm



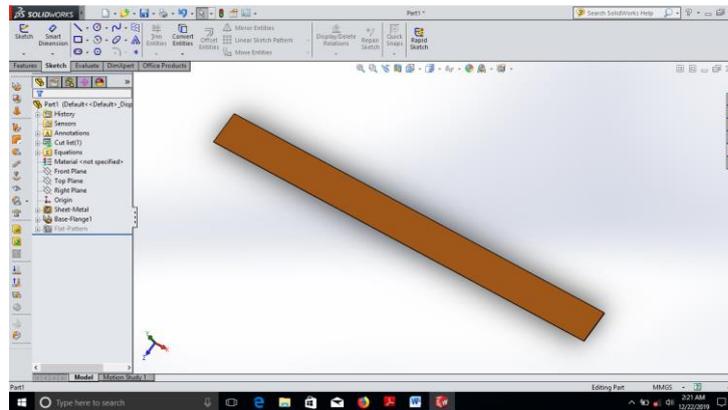
Gambar 3.14 Desain plat aluminium, plat tembaga dan plat kuningan *honeycomb*

13. Setelah *Desain* plat aluminium dibuat pilih “*features*” kemudian pilih “*revolved bossed/base*”



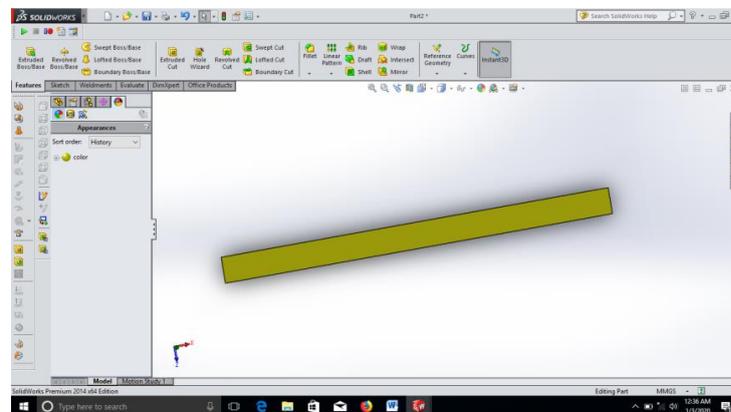
Gambar 3.15 Desain plat aluminium *honeycomb* setelah di *revolved bossed/base*

14. Setelah desain plat tembaga dibuat pilih “features” kemudian pilih “revolved bossed/base”



Gambar 3.16 Desain plat tembaga *honeycomb* setelah di *revolved bossed/base*

15. Setelah desain plat tembaga dibuat pilih “features” kemudian pilih “revolved bossed/base”



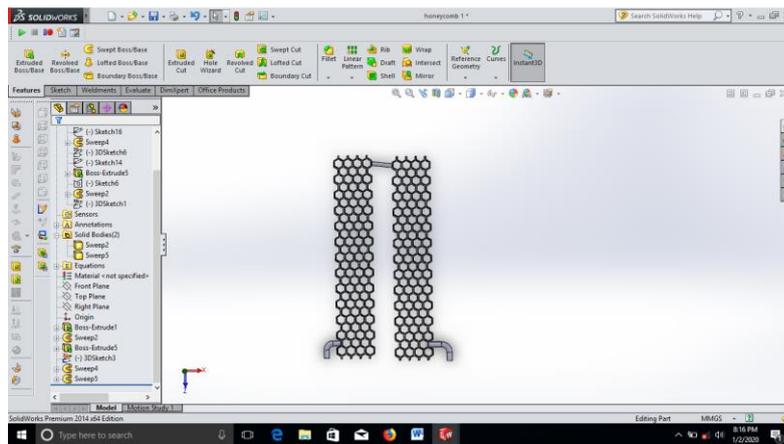
Gambar 3.17 Desain plat kuningan *honeycomb* setelah di *revolved bossed/base*

3.5 Proses Flow Simulasi pada Honeycomb

Proses *flow simulation analysis* adalah model analisi yang digunakan untuk mengetahui laju aliran fluida dalam apk *honeycomb*.

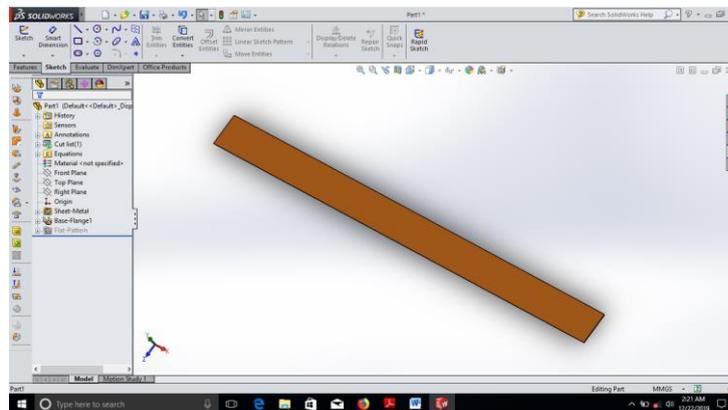
Berikut ini adalah model desain *honeycomb* yang akan dilakukan *proses flow simulation analysis* :

a. Model desain Apk *honeycomb*



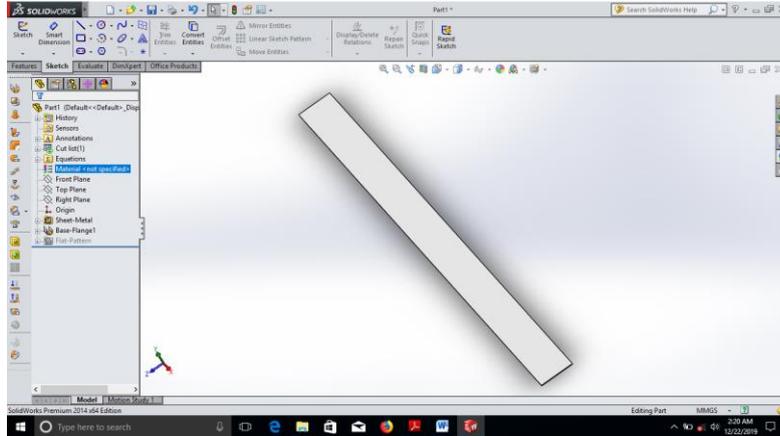
Gambar 3.18 Desain Apk *honeycomb* tampak samping kiri

b. Model desain plat tembaga *honeycomb*



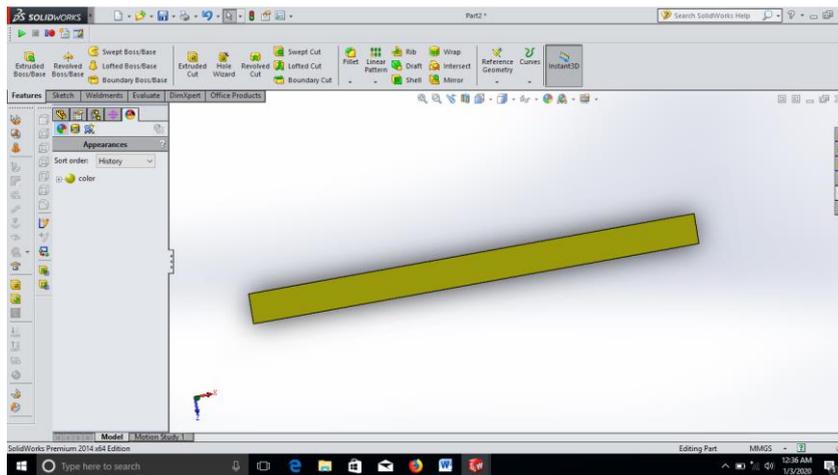
Gambar 3.19 Desain plat tembaga *honeycomb*

c. Model desain plat aluminium



Gambar 3.20 Desain plat aluminium *honeycomb*

d. Model desain plat kuningan



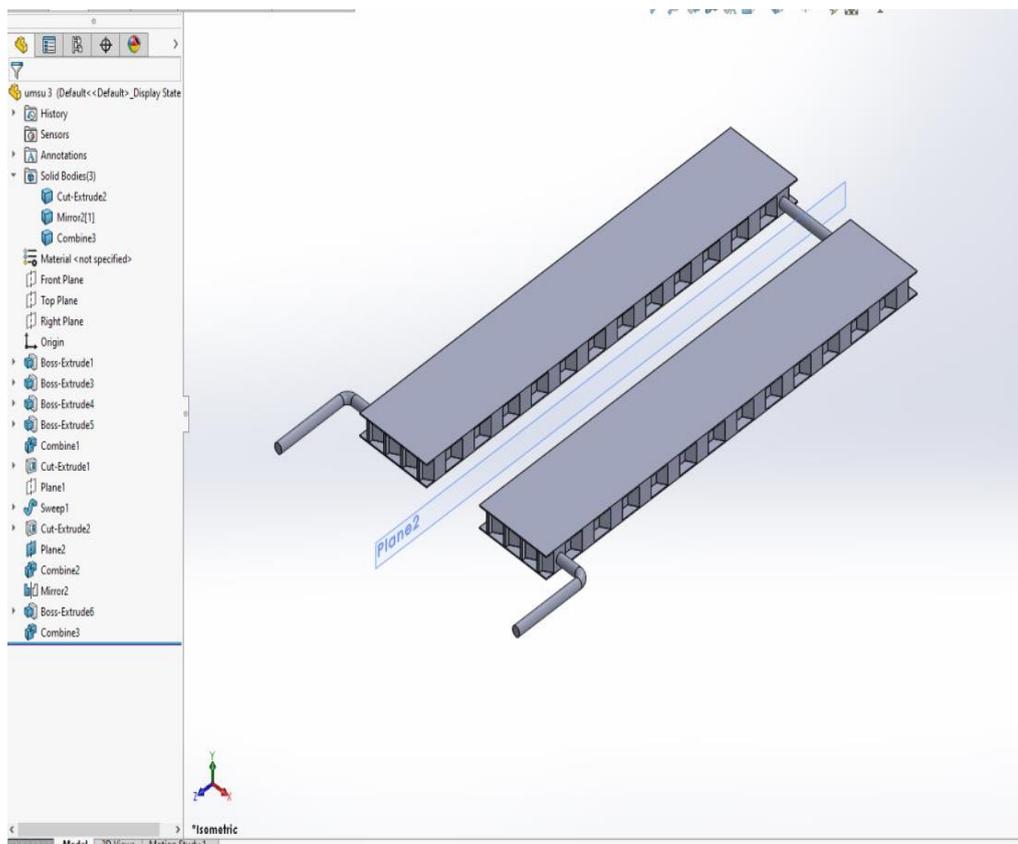
Gambar 3.21 Desain plat kuningan *honeycomb*

Adapun langkah-langkah dalam melakukan simulasi ini adalah sebagai berikut :

A. Membangun geometri

- Sebelum proses simulasi, maka geometri dibangun menggunakan solidwork. Ada 2 jenis material yang digunakan untuk didefinisikan di CFD yang pertama

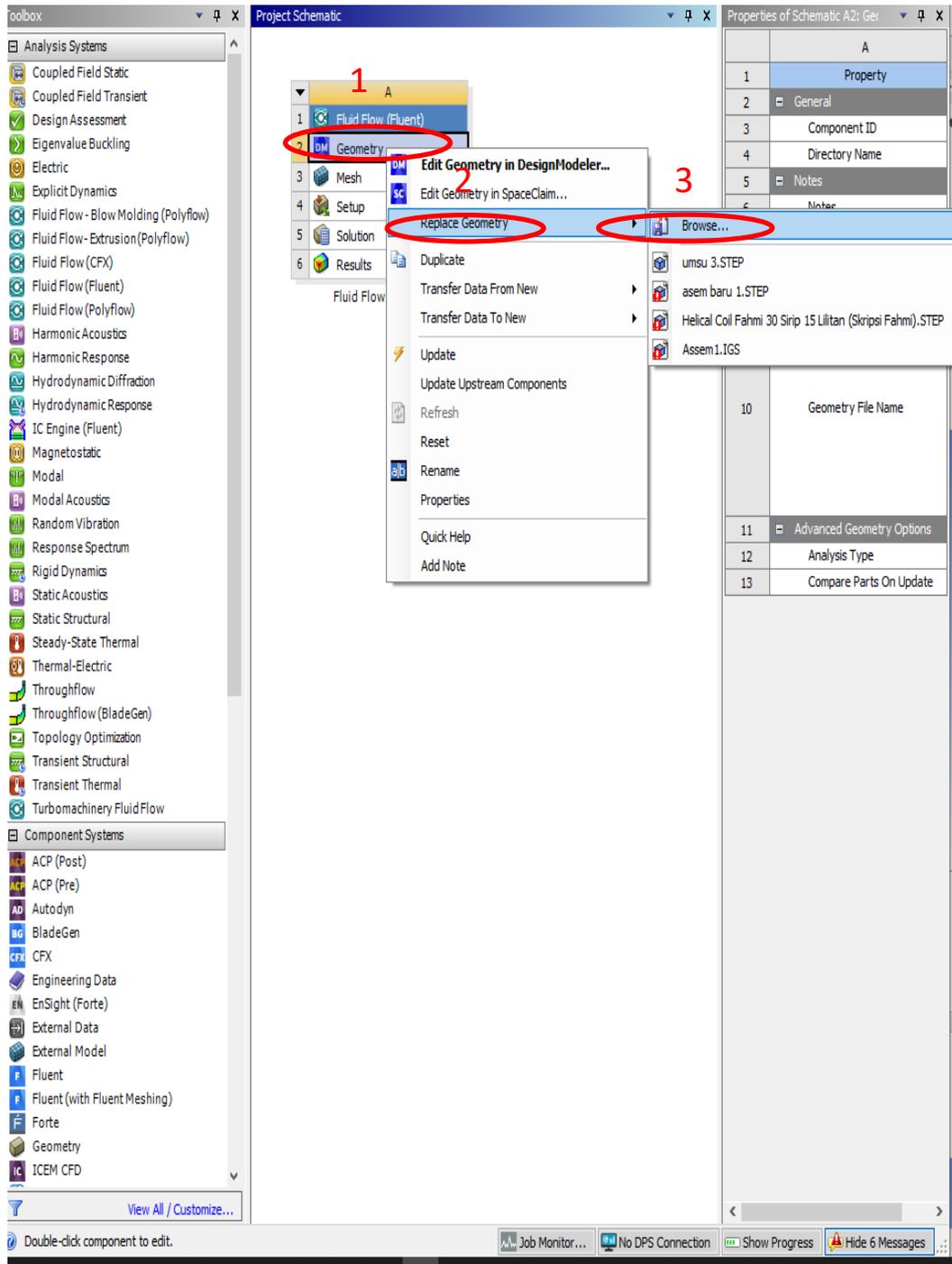
1. Fluida kerja (refrigeran)
2. Solid (material logam)



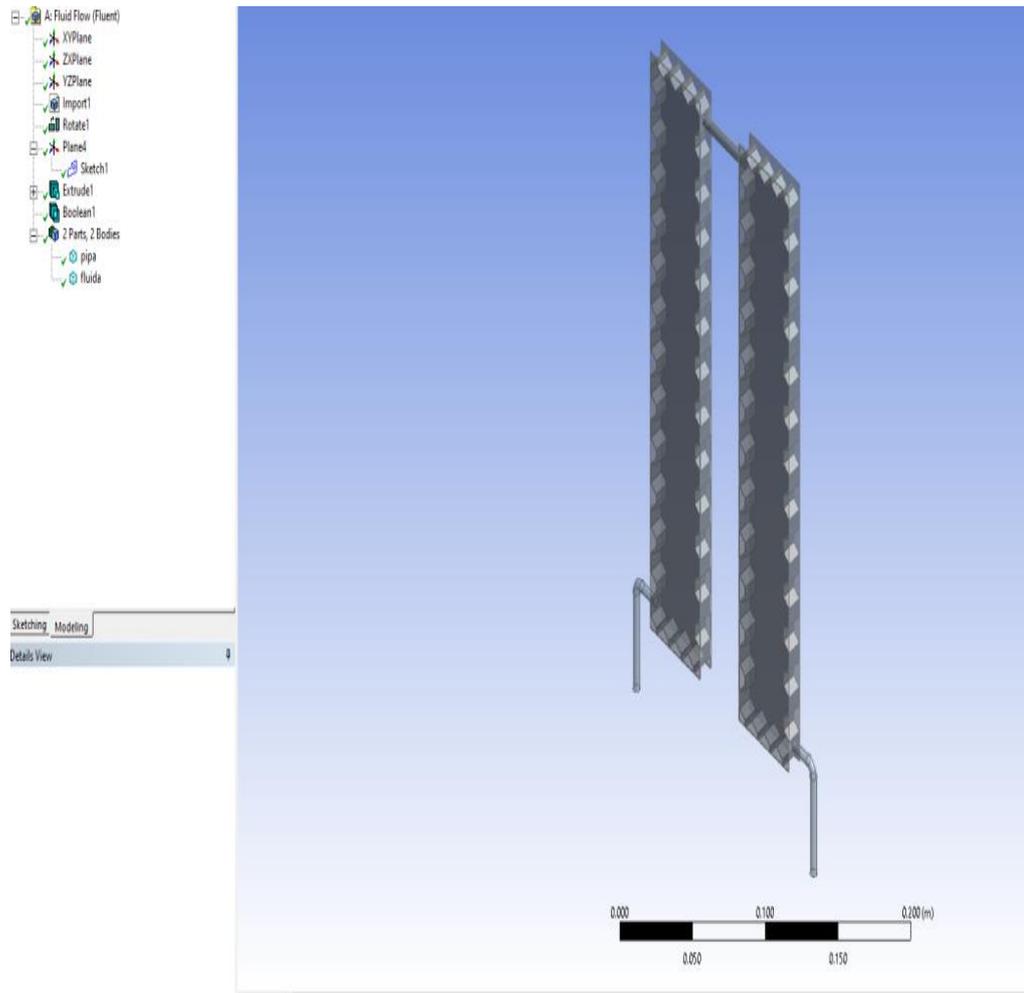
Gambar 3.22 Membangun geometri

B. Import geometri

Untuk membaca file yang sudah digambar di solidwork dan akan dibaca di CFD, maka data harus di ubah dalam bentuk IGES, hal ini dilakukan agar ansys CFD dapat membaca dan mengimpor data dari solidwork.

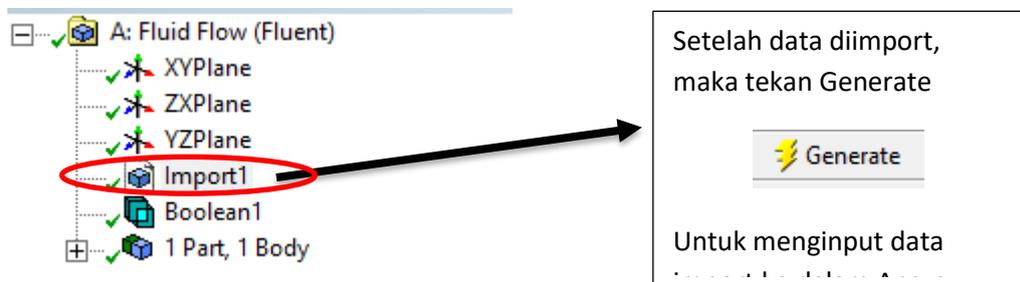


Gambar 3.23 Import geometri



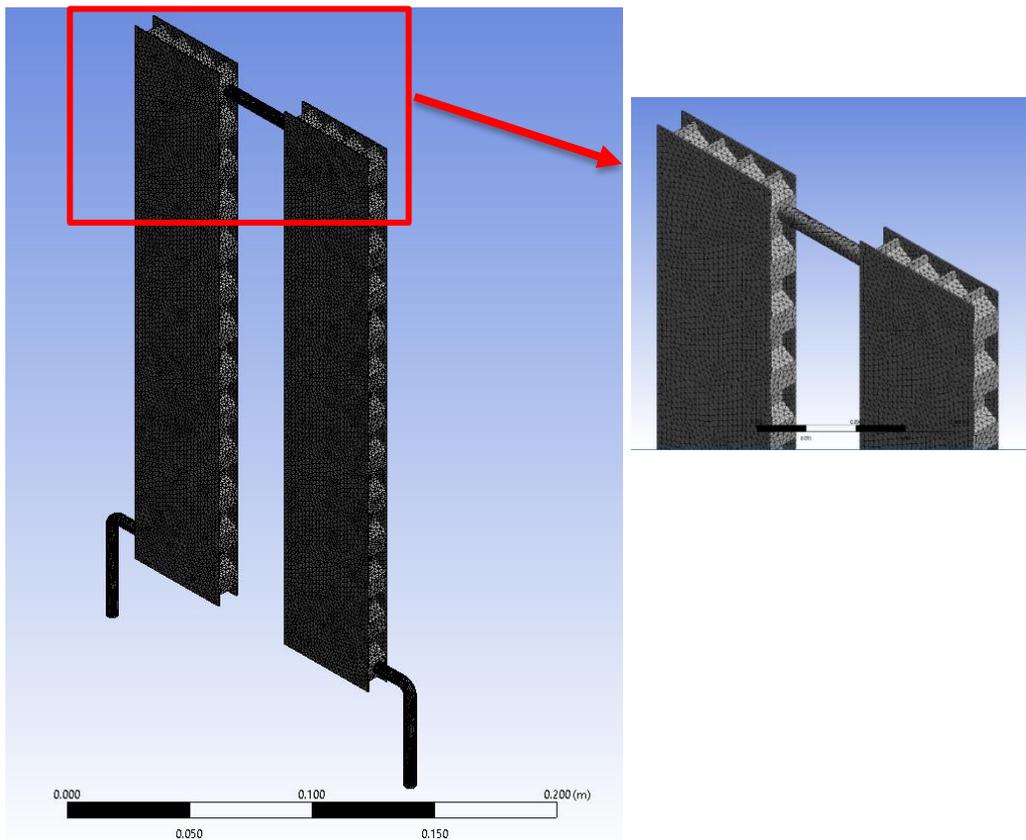
Gambar 3.24 Design modeler

Setelah data berhasil diimport, maka masuk ke dalam Geometri pilih “DM” design modeler



Gambar 3.25 Generate mesh

Pembuatan mesh atau yg lebih dikenal dengan istilah meshing, merupakan salah satu langkah dalam proses sebuah simulasi. Untuk simulasi CFD yg umumnya menggunakan Finite Volume Method (FVM). Mesh ini sendiri berguna untuk membagi geometry dari model menjadi banyak elemen yg nantinya digunakan oleh solver untuk membangun volume kontrol. Mesh yang digunakan adalah jenis mesh hexahedron.



Gambar 3.26 Mengetahui cell dan node

Type Elements Hexahedron

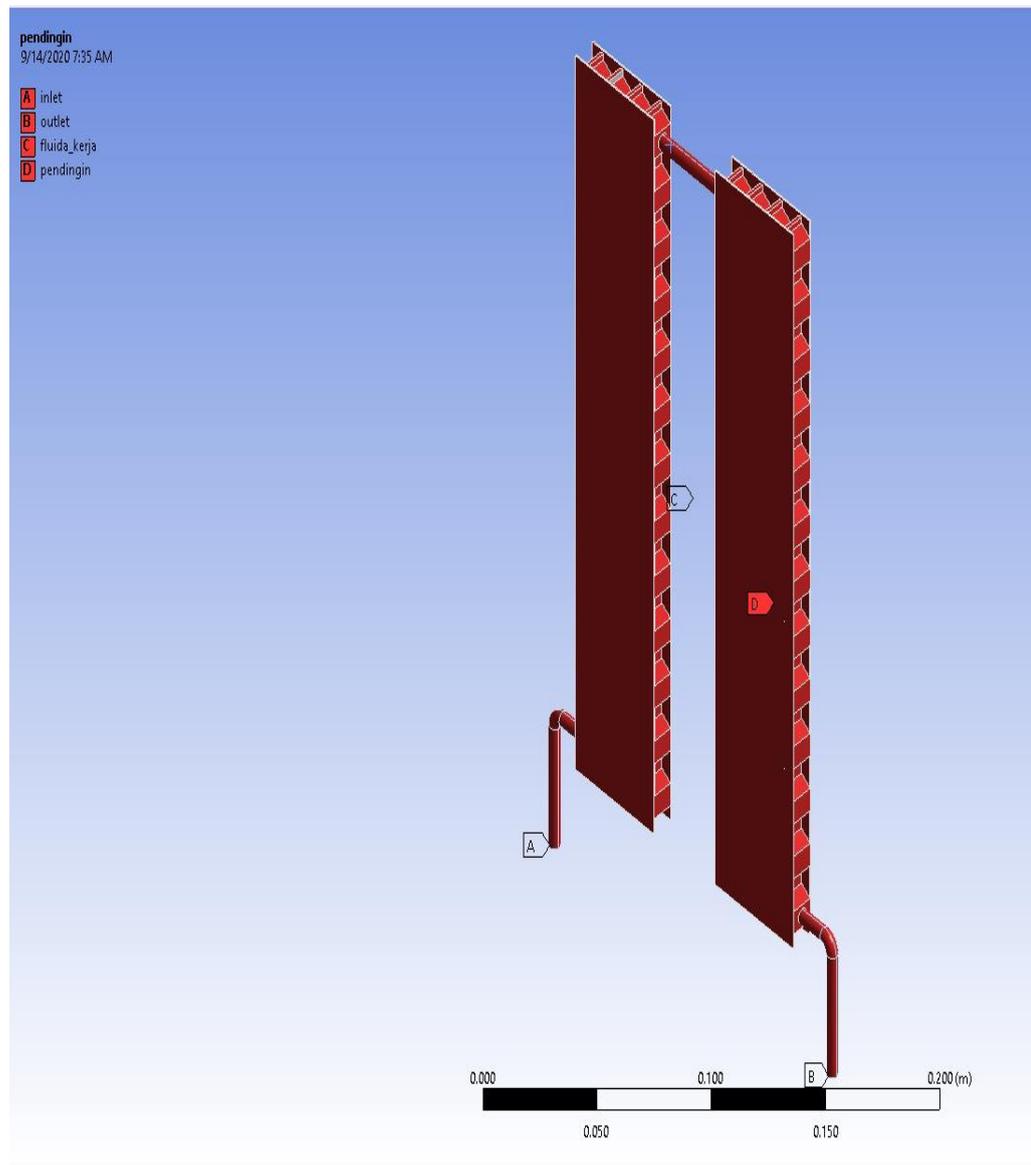
Statistics

Nodes : 391628

Elements : 2024443

Node dan elements berhubungan dengan jumlah mesh yang terbentuk (FVM). Nodes dan Element ini yang akan dianalisis untuk mendapatkan hasil simulasi

Menentukan kondisi-kondisi batas simulasi



Gambar 3.27 Menentukan kondisi batas simulasi

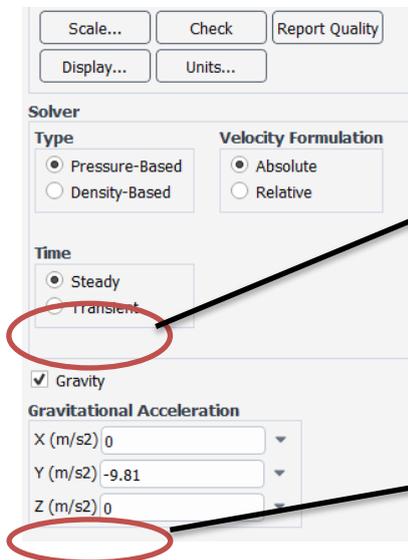
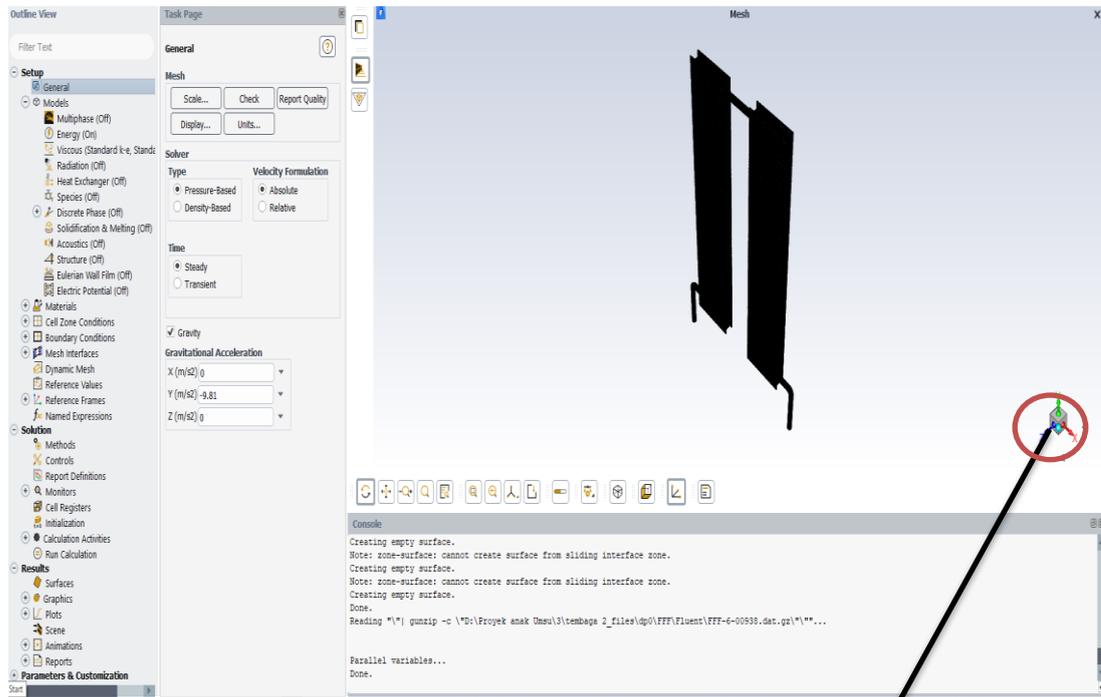
A = Inlet (Aliran refrigeran masuk APK)

B = Outlet (aliran Refrigeran Keluar APK)

C = Kondisi Batas Pendingin (air pendingin sesuai dengan hasil ekperimen) diasumsikan permukaan pipa bagian luar bersinggungan dengan air pendingin

D = Jalur aliran fluida (refrigeran) sepanjang pipa

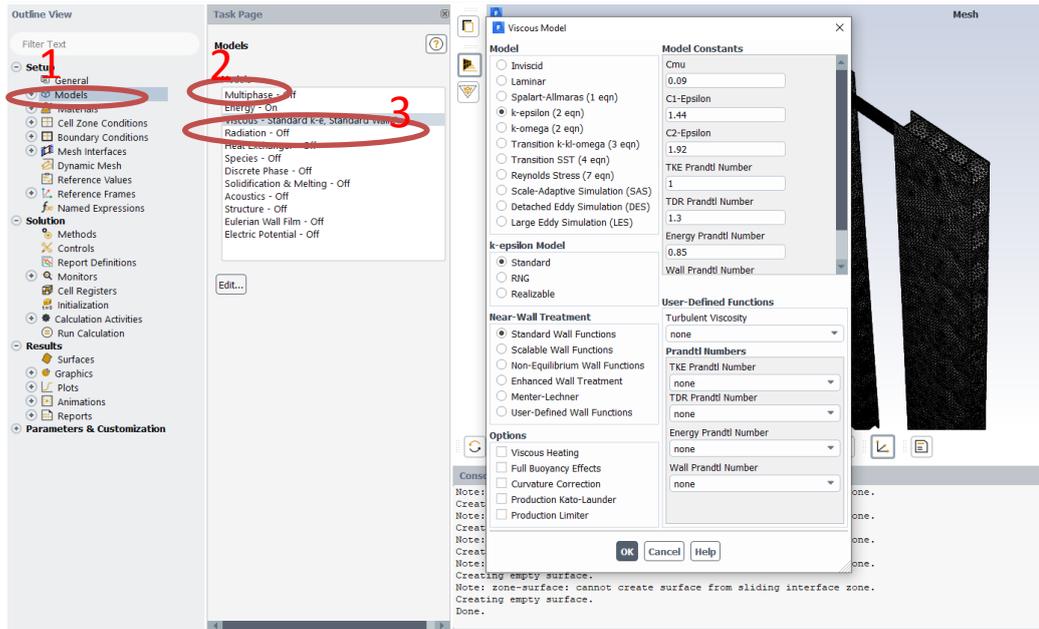
Setup



Steady kondisi sewaktu sifat-sifat suatu sistem tak berubah dengan berjalannya waktu atau dengan kata lain, konstan. Ini berakibat untuk setiap properti p dari sistem, turunan parsial terhadap waktu adalah nol.

Nilai Gravitasi di bumi adalah -9.81 , pemberian tanda minus berarti arah dari gravitasi yang berlawanan dengan sumbu Y.

Gambar 3.28 Melakukan setup

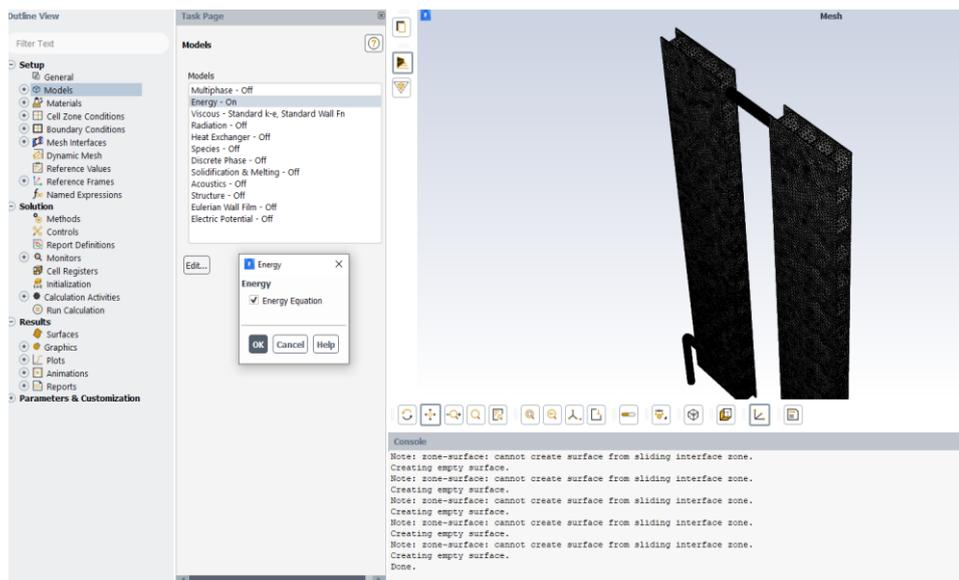


Gambar 3.29 Melakukan viscous

A. Klik Model

B. Pilih Energi – Pilih ON (dengan mengaktifkan energy, maka simulasi akan menghitung proses dengan perubahan 4 energy)

C. Viscous – pilih Standar k-e, maka disimulasi akan diasumsikan aliran adalah Laminar, hal ini karena aliran mempunyai bilangan reold $1160 < 2300$



Gambar 3.30 Energy equation

Dimana bilangan reynold dapat dibuktikan pada penjelasan dibawah ini :

$$T_f = \frac{107,74 + 56,20}{2}$$

$$= 81,97 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Sebelum mencari bilangan reynold maka interpolasi nilai ρ_{freon}

Tabel 3.2. Properties refrigerant R22

T	ρ_{freon}
80	893,7
81,97	876,1
85	844,8

Intpolasi nilai ρ_{freon} :

$$\rho_{freon} = 893,7 + \frac{(844,8 - 893,7)}{(85 - 80)} \cdot (81,97 - 80)$$

$$\rho_{freon} = 893,7 + (-9,78) \cdot (1,79)$$

$$\rho_{freon} = 876,1 \text{ kg/m}^3$$

Setelah mencari interpolasi ρ_{freon} , maka selanjutnya intepolasi μ_{freon}

Tabel 3.3. Properties refrigerant R22

T	μ
80	17,55
81,97	17,77
85	18,71

Interpolasi nilai μ_{freon} :

$$\mu_{freon} = 17,55 + \frac{(18,71 - 17,55)}{(85 - 80)} \cdot (81,97 - 80)$$

$$\mu_{freon} = 17,55 + (0,232) \cdot (1,97)$$

$$\mu_{freon} = 17,77$$

$$\mu = \frac{\mu}{\rho}$$

$$= \frac{17,77}{876,1}$$

$$= 0,020 \text{ m/s}^2$$

Maka bilangan reynold (Re) :

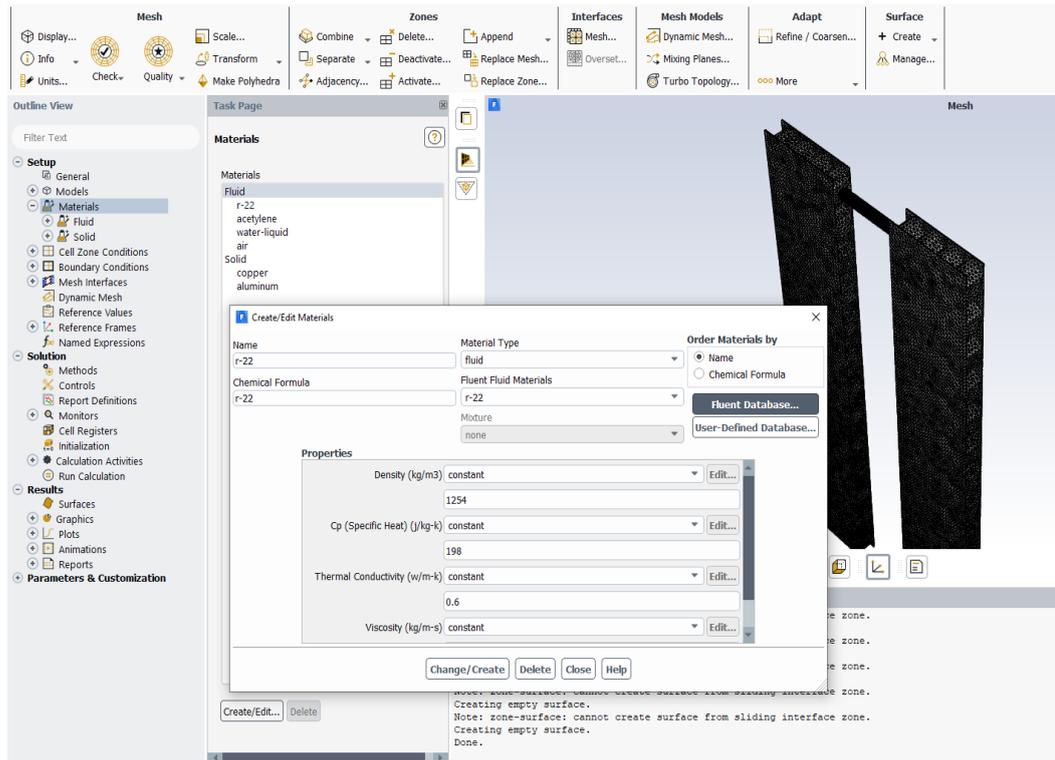
$$Re = \frac{V \cdot D}{\mu}$$

$$Re = \frac{0,4 \text{ m/s} \times 0,00553 \text{ m}}{0,020 \text{ m} \cdot \text{s}}$$

$$= 0,1106$$

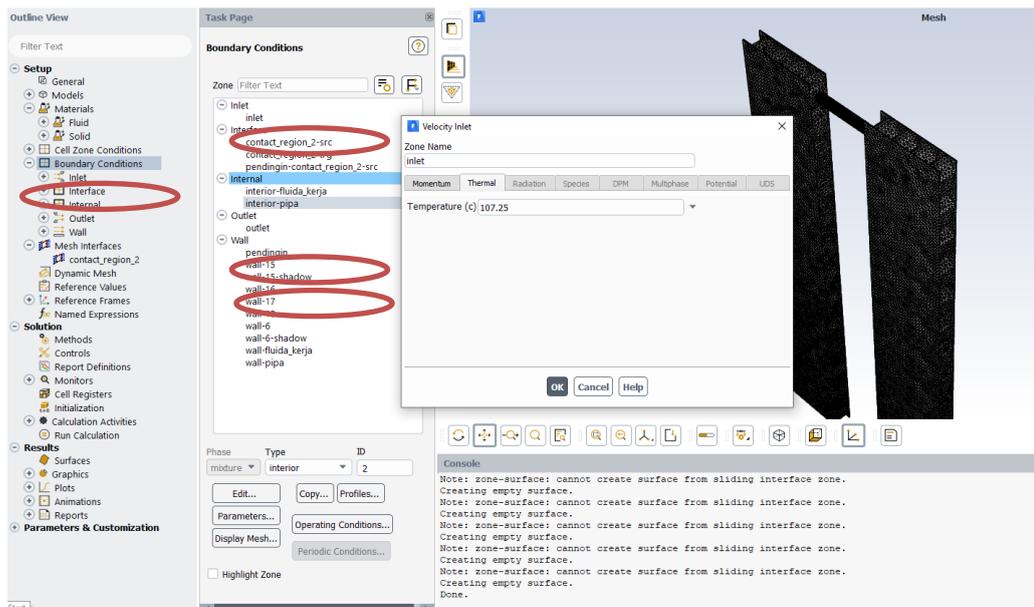
$$= 1106 \times 10^1$$

$$= 1106 < 2300 \text{ Laminar}$$



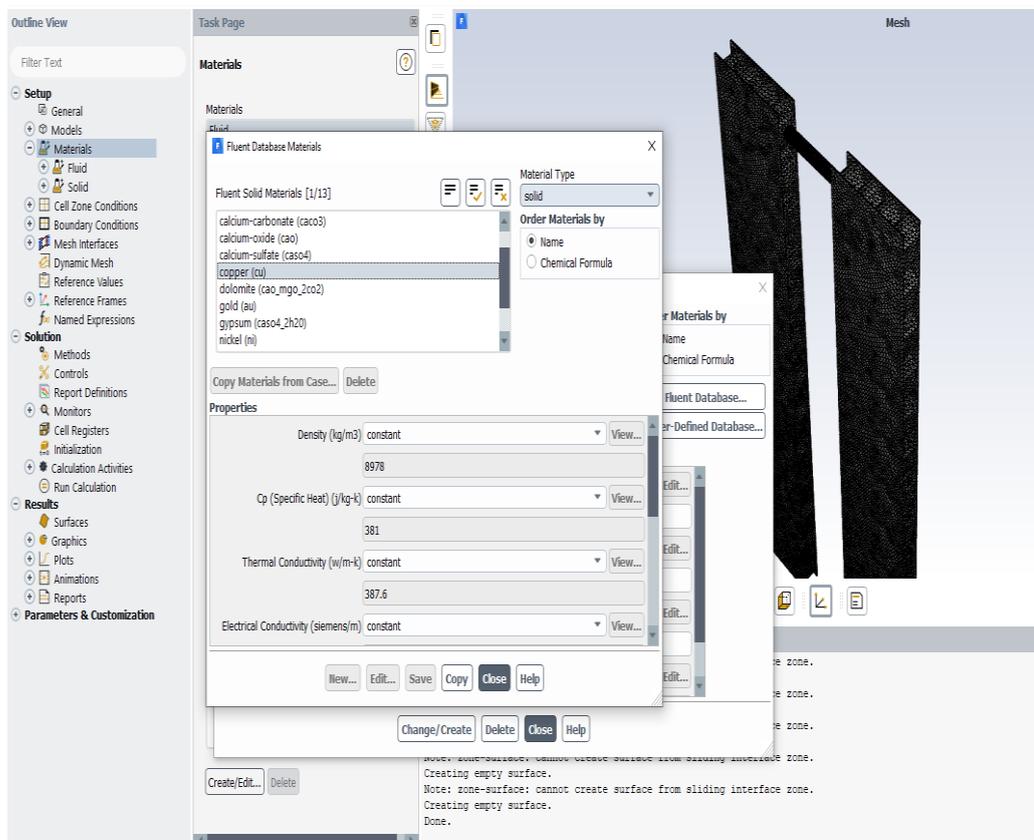
Gambar 3.31 Edit material

Untuk Menentukan material fluida dan pipa maka pilih material – Pilih fluida, pemelihan fluida artinya untuk melihat data base dari CFD yang sesuai dengan kondisi simulasi, untuk memilih jenis material logam (solid) maka pilih solid dan pilih material yang diinginkan

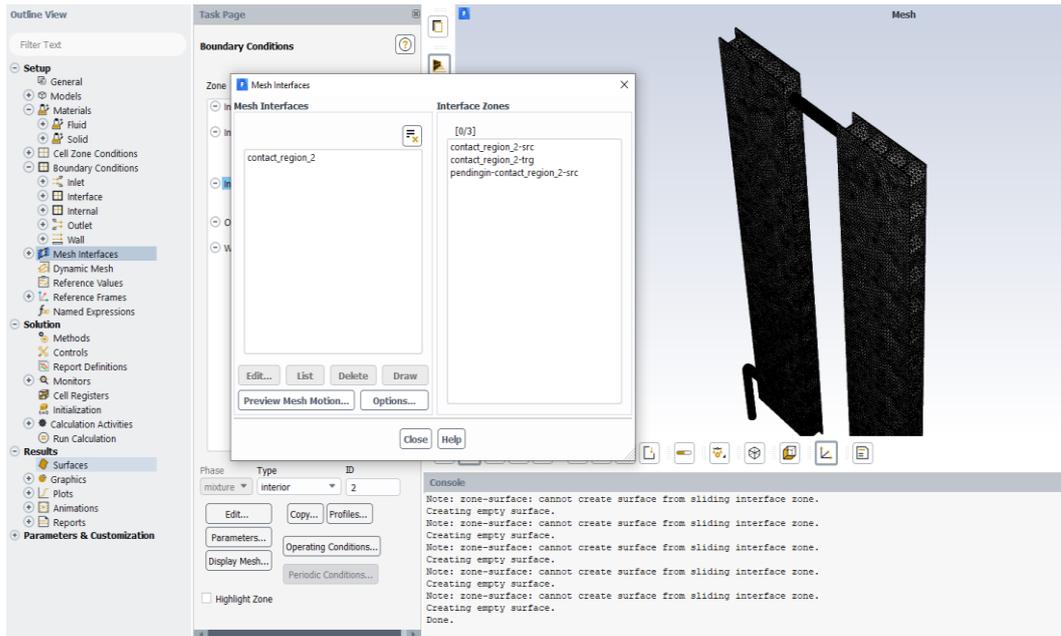


Gambar 3.32 Kondisi batas

1. Pilih Boundary Kondisi Batas, hal ini sangat penting karna sebagai parameter input dalam simulasi,
2. ada 3 parameter input yang diberikan untuk simulasi ini pertama **INLET**(Sumber Aliran Masuk Fluida di APK, **OUTLET** (arah keluar fluida kerja di APK) dan **PENDINGIN** (kondisi permukaan pipa yang diberi pendinginan
3. pemilihan type yang sesuai untuk kondisi batas, untuk
 - **INLET**
Velocity Inlet : 0,4 m/s
Turbulent intensity : 0.05
Turbulent viscosity ratio :10
Temperature : 107.25 °C
 - **OUTLET**
Temperature :56,00 °C
 - Pendingin (wall) dengan nilai temperature 54,19 °C

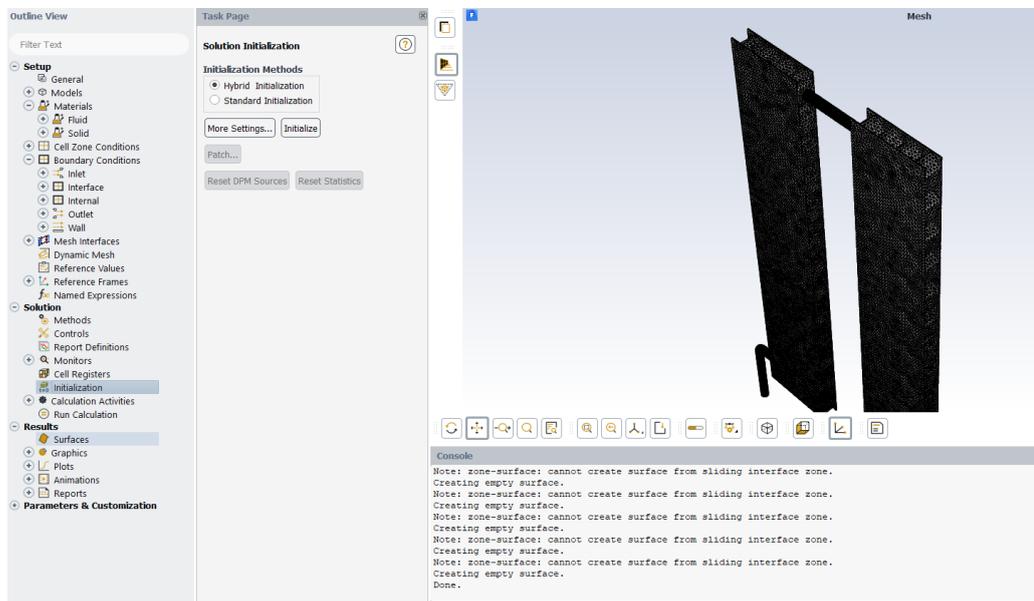


Gambar 3.33 Menentukan bahan



Gambar 3.34 Interface zones

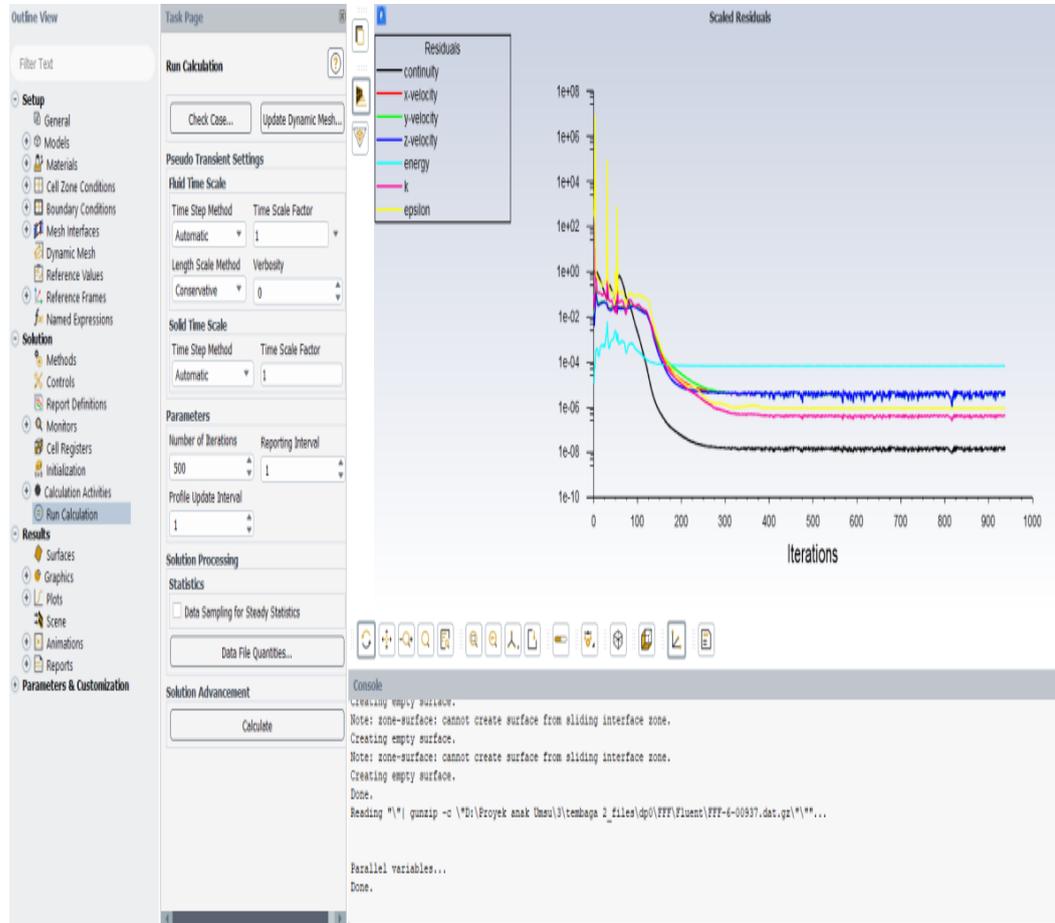
Mesh interfaces berfungsi untuk membuat kontak antara fluida dan pipa. Hal ini diperlukan agar pipa dan fluida saling berhubungan pada saat simulasi



Gambar 3.35 Intialization hybrid

Sebelum menjalankan simulasi maka perlu dilihat prediksi awal, hal ini bertujuan untuk melihat apakah langkah-langkah yang telah kita lakukan tidak ada yang mempengaruhi kondisi padas saat simulasi berjalan. Hal ini sangat penting untuk mendapatkan hasil yang baik.

Pilih **INITIALIZATION – Hybrid** - klik **INITIALIZE** tunggu sampai proses selesai, apabila kondisi menunjukkan tidak ada kondisi yang bermasalah/selesai, maka proses simulasi bisa dilanjutkan



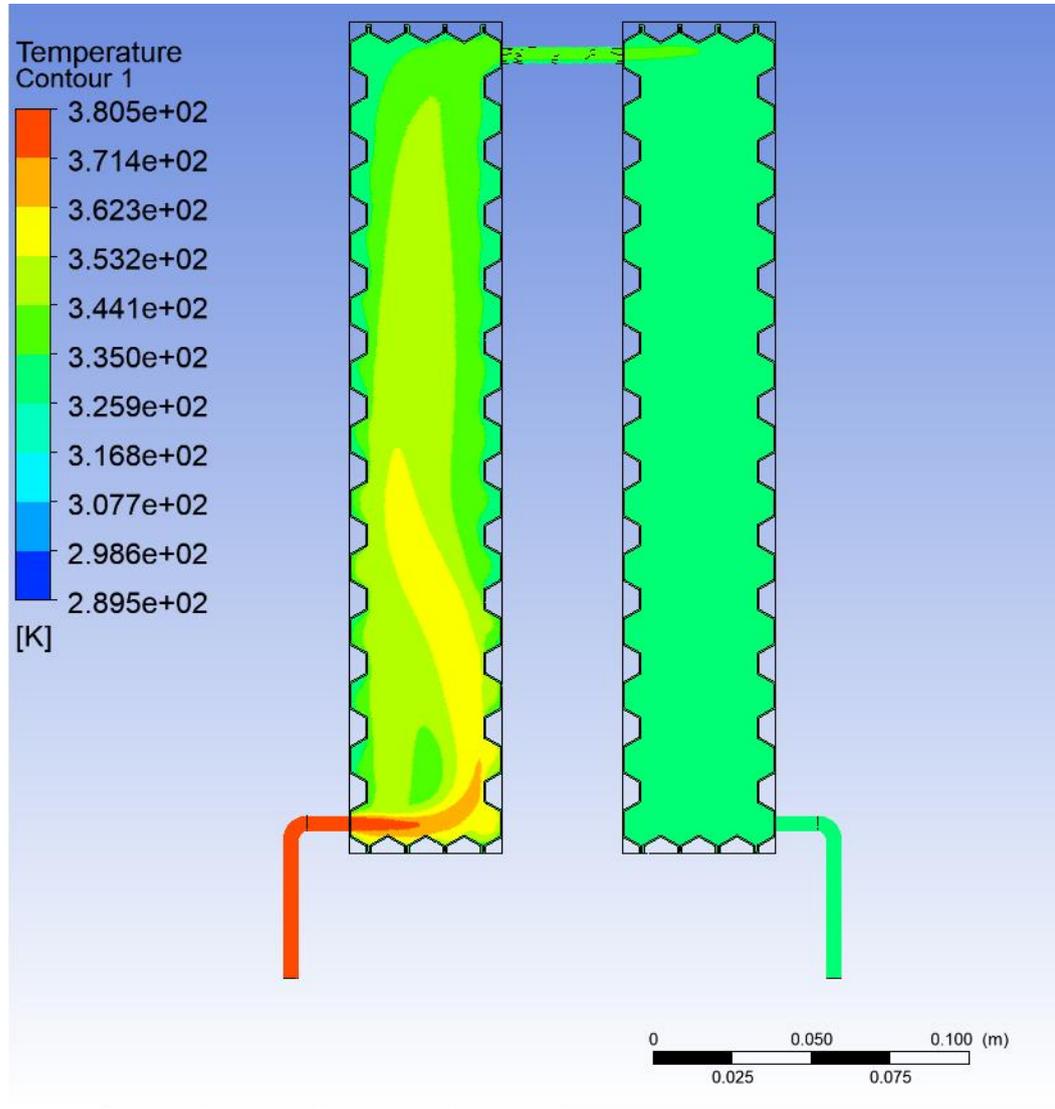
Gamabar 3.36 Run calculation

Untuk menjalankan simulasi maka pilih (1)RUN – (2)Tentukan jumlah literasi – (3)Calculate Dan grafik simulasi terlihat, proses simulasi akan berlangsung sampai kondisi seimbang akan didapat. Untuk kasus APK honeycomb material (tembaga,alumunium dan kuningan), jumlah literasi yang dilakukan ada 900 literasi sehingga kondisi yang diinginkan tercapat yaitu **converged**, kondisi ini menunjukkan hasil yang tidak akan berubah kembali. Setiap 1 proses literasi memakan waktu sekitar 2 menit, sehingga waktu yang digunakan untuk menyelesaikan 1 proses simulasi adalah sekitar 30 jam kerja simulasi.

BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Material Tembaga

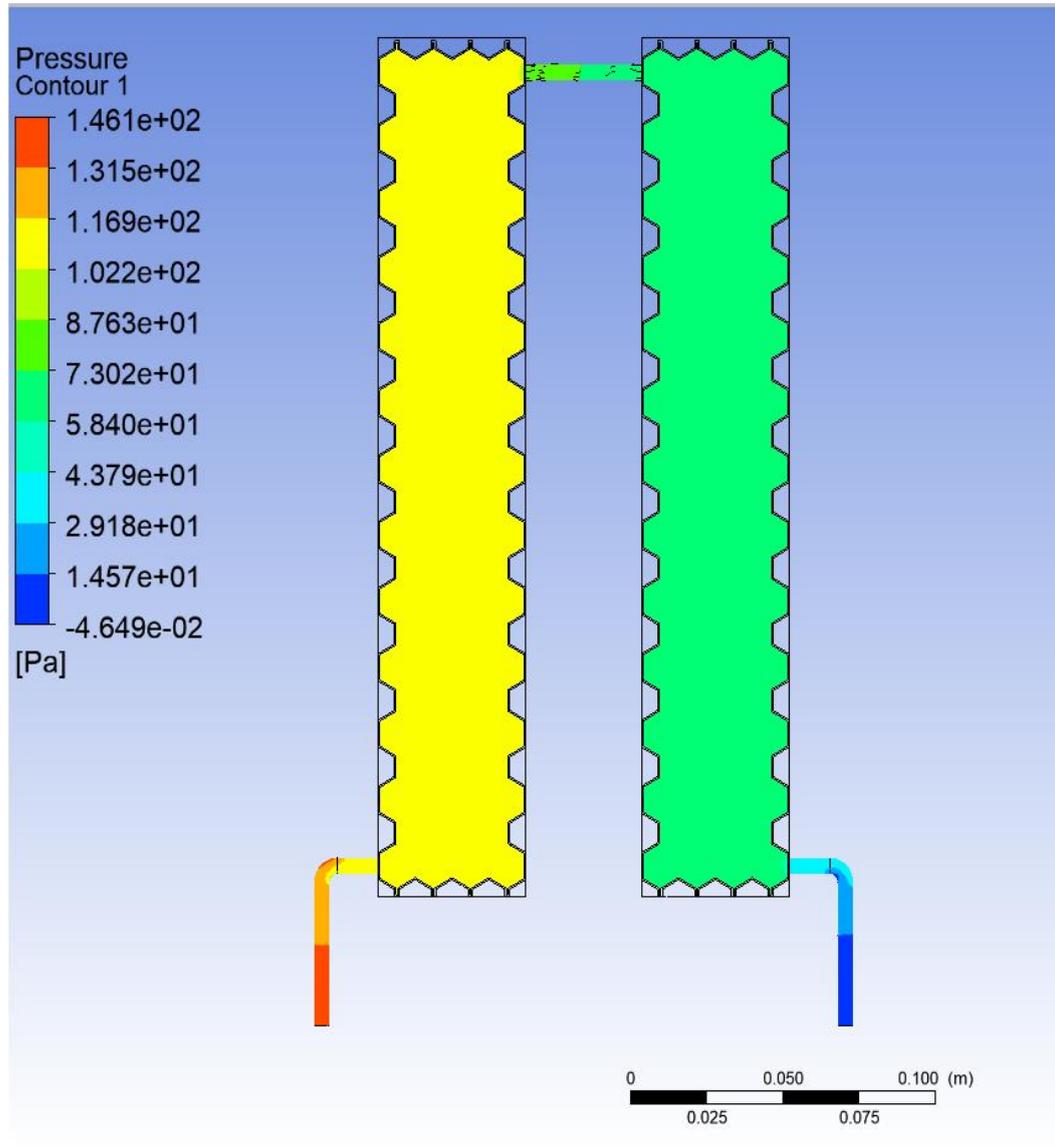
4.1.1 Distribusi temperature



Gambar 4.1 Simulasi tembaga distribusi temperature

1. Dari hasil simulasi menunjukkan kontur yang ada disepanjang APK, warna menunjukkan perubahan temperatur yang ada di APK, semakin merah suatu titik, maka menunjukkan temperatur semakin tinggi, sebaliknya semakin warna semakin biru, maka titik tersebut mengalami penurunan temperature
2. Dari hasil simulasi menunjukkan temperatur masuk APK semakin turun akibat efek pendinginan dari Air pendingin

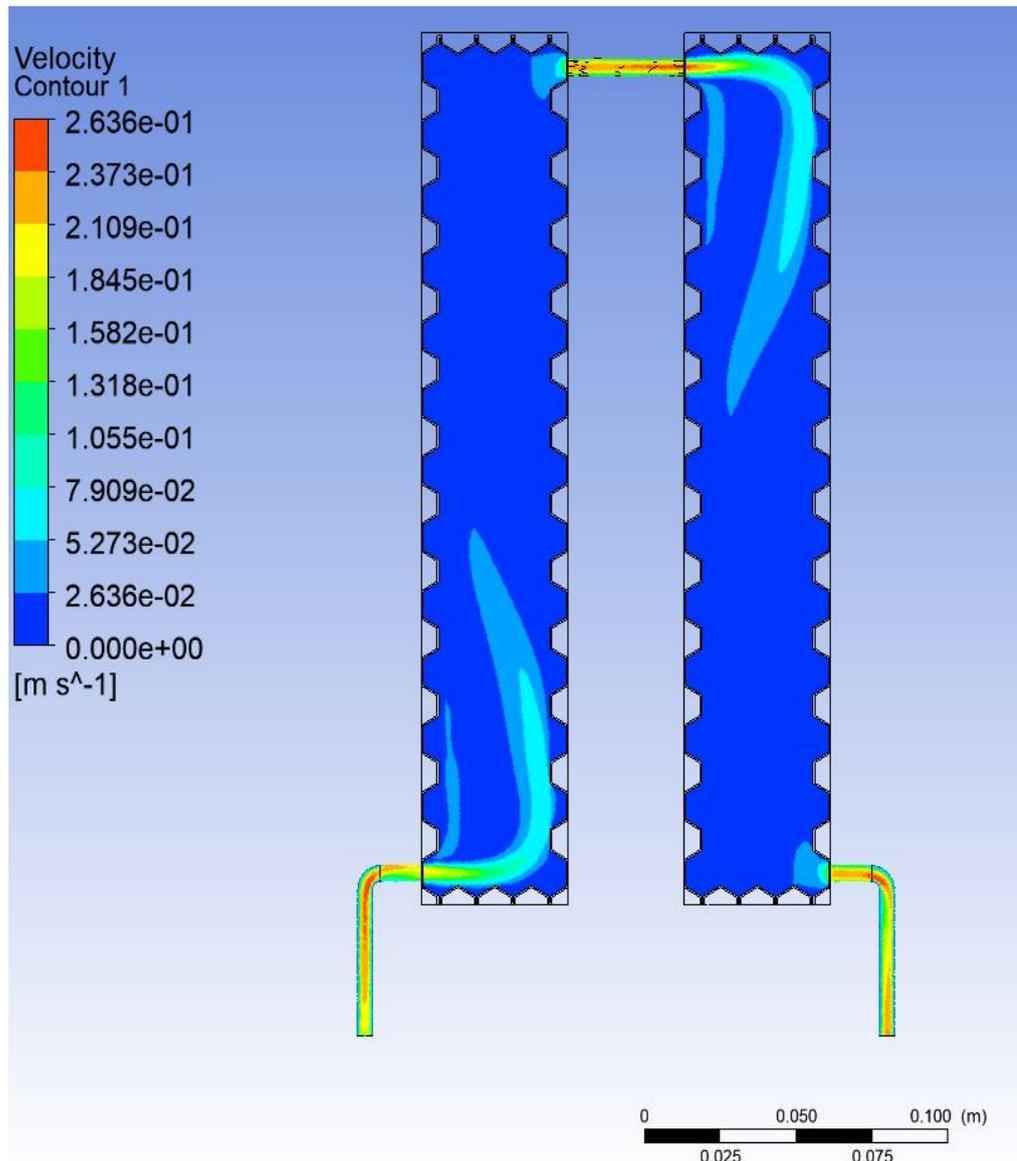
4.1.2 Distribusi tekanan



Gambar 4.2 Simulasi tembaga kontur tekanan

1. Dari hasil simulasi menunjukkan kontur tekanan yang ada disepanjang APK, warna menunjukkan perubahan tekanan yang ada di APK, semakin merah suatu titik, maka menunjukkan tekanan semakin tinggi, sebaliknya semakin warna semakin biru, maka titik tersebut mengalami penurunan tekanan
2. Hal ini disebabkan adanya proses penurunan tekanan akibat belokan belokan pipa.

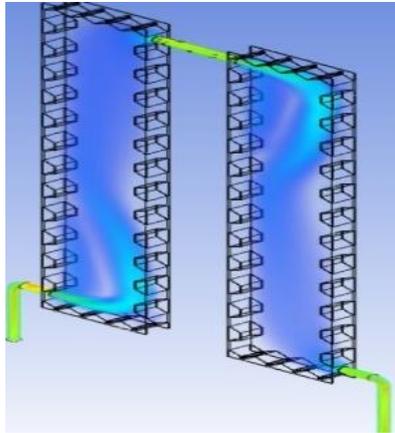
4.1.3 . Kontur kecepatan



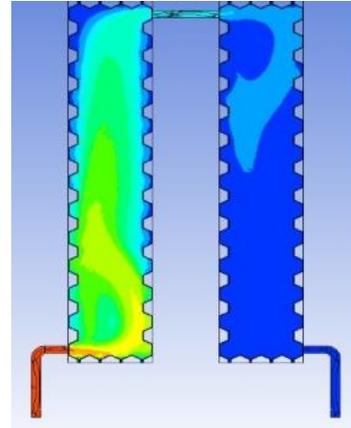
Gamabar 4.3 Simulasi tembaga konture kecepatan

1. Dari hasil simulasi menunjukkan kontur kecepatan yang ada disepanjang APK, warna menunjukkan perubahan kecepatan yang ada di APK, semakin merah suatu titik, maka menunjukkan kecepatan semakin tinggi, sebaliknya semakin warna semakin biru, maka titik tersebut mengalami penurunan kecepatan
2. Hal ini menunjukkan kecepatan aliran disepanjang PIPA APK merata disepanjang material
3. Hanya beberapa titik belokan yang mengalami perubahan

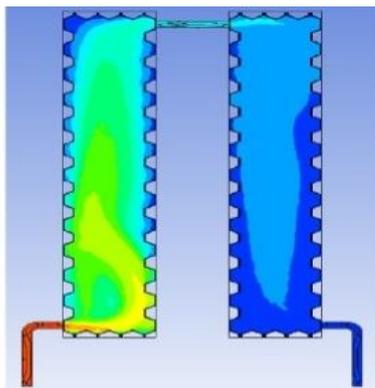
4.1.4 Proses simulasi honeycomb material tembaga yang terekam dapat ditampilkan pada gambar dibawah ini :



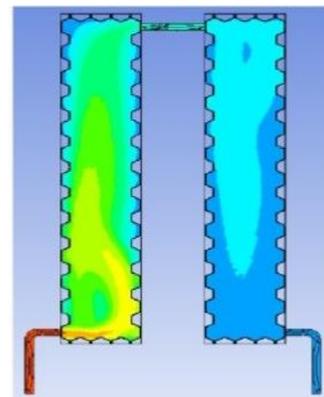
C . 10 Menit



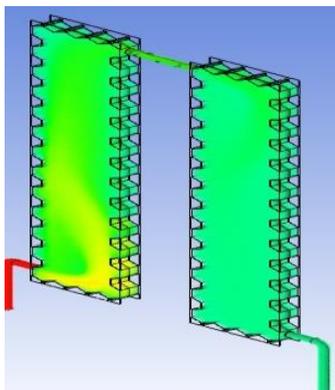
C . 20 Menit



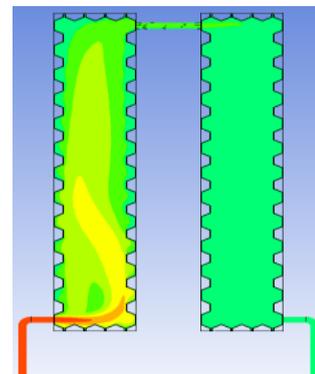
C . 30 Menit



D . 40 Menit



E . 50 Menit



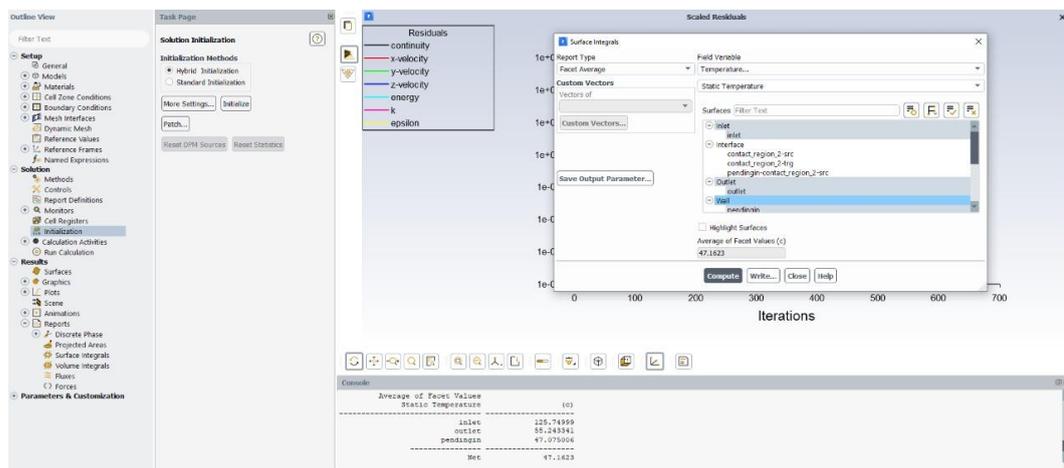
F . 60 Menit

Gambar 4.4 Proses simulasi honeycomb material tembaga yang ditampilkan pada waktu per 10 menit

Gambar 4.4 Diatas menjelaskan, proses aliran fluida panas pada honeycomb dengan menggunakan software ansys. Proses masuknya fluida panas dimulai dari pipa yang melengkung lubang inlet (temprature masuk) pada waktu 10 menit pertama honeycomb mulai berwarna merah pada lengkungan pipa inlet menunjukkan bahwa temperature tinggi. Namun pada waktu 60 menit aliran fluida yang melintas honeycomb menunjukkan tempratur semakin tinggi, setelah itu mulai berwarna biru pada keluaran fluida menunjukkan bahwa honeycomb mengalami penurunan temprature akibat efek pendingin dari air.

(Keterangan warna : Merah menunjukkan bahwa tempratur tinggi dan biru adalah penurunan temprature yang diakibatkan oleh efek pendinginan dari air)

4.1.5 surface integrals



Gambar 4.5 Surface integrals

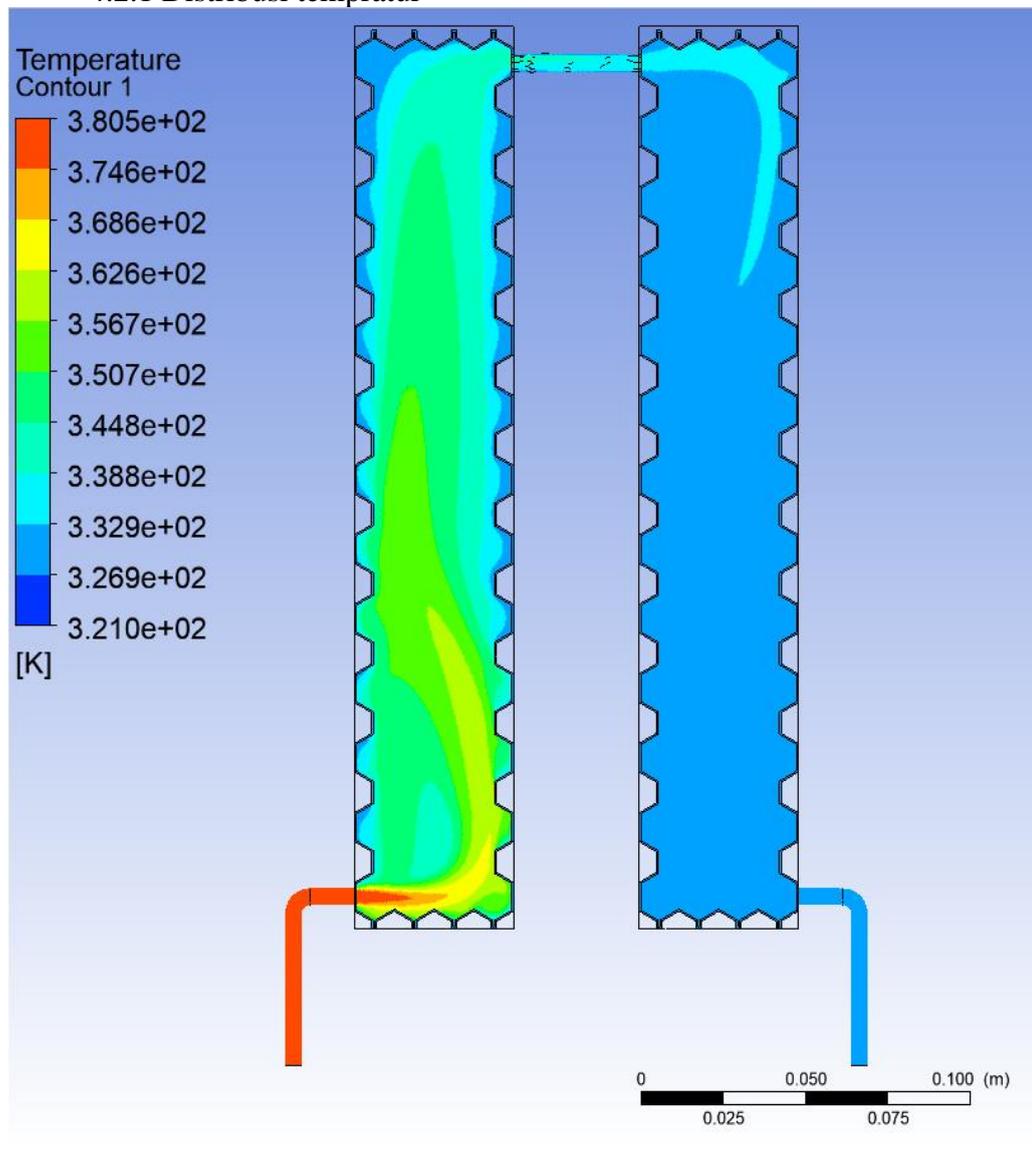
Dari hasil simulasi, kita dapat mengetahui temperatur keluar (outlet) dari Apk sebesar 56.00302⁰C. temperatur masuk sebesar 107.24999 ⁰C. dari hasil penurunan sebesar

Table 4.1 Perbandingan data experiment dan CFD material tembaga

Kondisi Batas (APK)	Tembaga Temperatur (°C)	
	Ekperimen	CFD
Temperatur Masuk	107.25	107.24999
Temperatur Keluar	55.81	56.00302
Temperatur Air Pendingin	54.13	54.1911

4.2 Material Alumenium

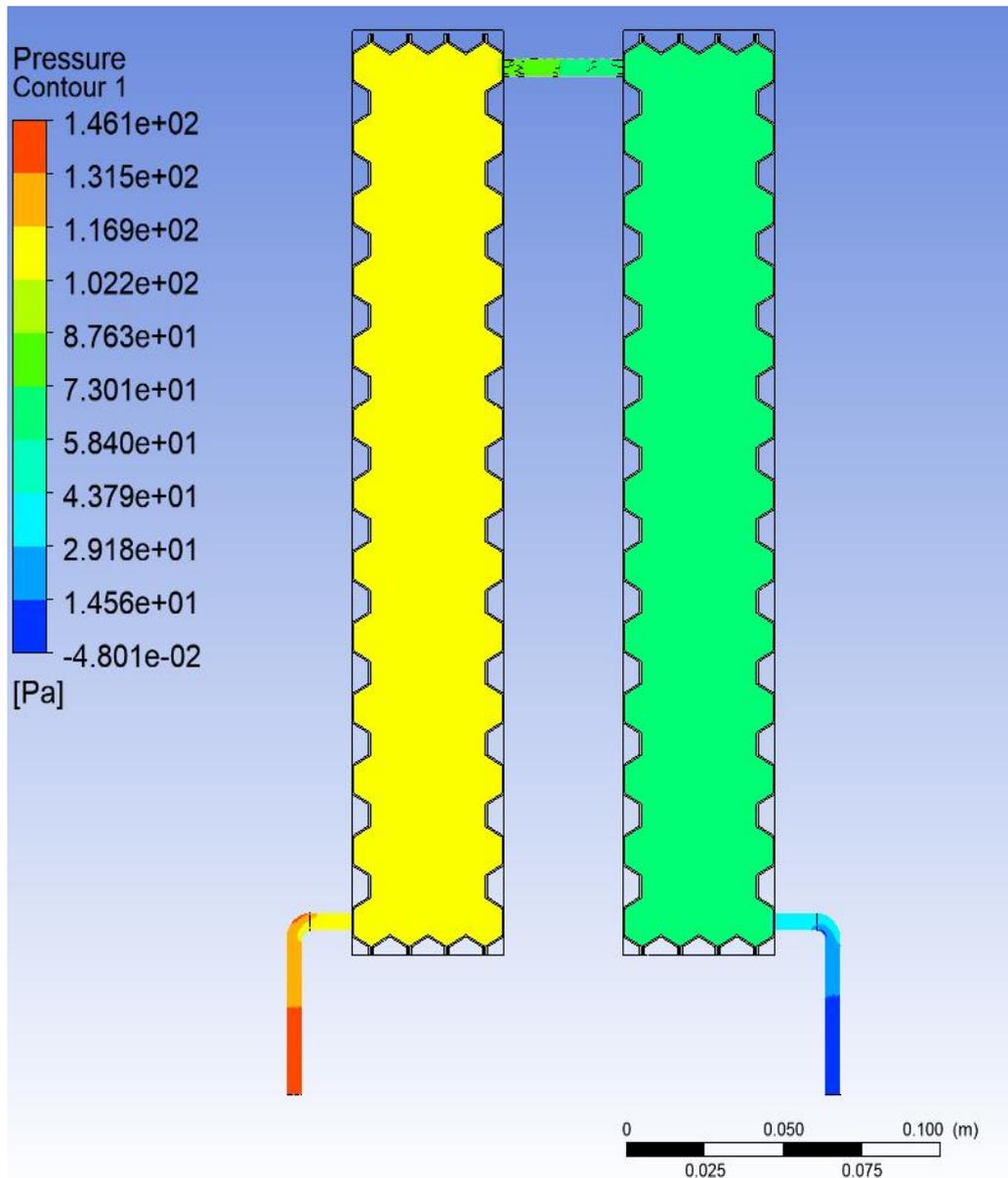
4.2.1 Distribusi tempratur



Gambar 4.6 Simulasi alumunium distribusi temprature

1. Dari hasil simulasi menunjukkan kontur yang ada disepanjang APK, warna menunjukkan perubahan temperatur yang ada di APK, semakin merah suatu titik, maka menunjukkan temperatur semakin tinggi, sebaliknya semakin warna semakin biru, maka titik tersebut mengalami penurunan temperatur
2. Dari hasil simulasi menunjukkan temperatur masuk APK semakin turun akibat efek pendinginan dari Air pendingin

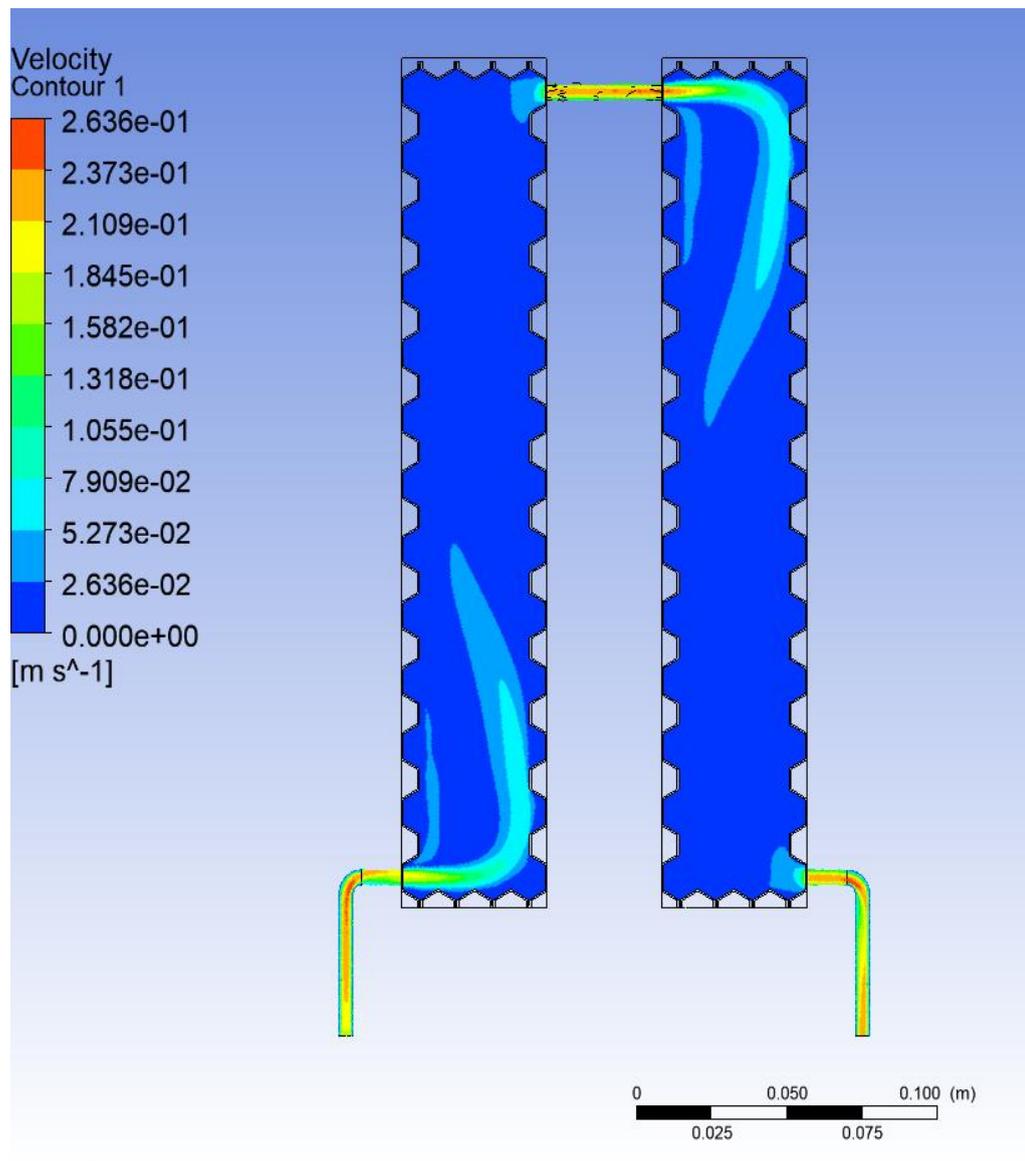
4.2.2. Kontur tekanan



Gambar 4.7 Simulasi aluminium konture tekanan

1. Dari hasil simulasi menunjukkan kontur tekanan yang ada disepanjang APK, warna menunjukkan perubahan tekanan yang ada di APK, semakin merah suatu titik, maka menunjukkan tekanan semakin tinggi, sebaliknya semakin warna semakin biru, maka titik tersebut mengalami penurunan tekanan
2. Hal ini disebabkan adanya proses penurunan tekanan akibat belokan belokan pipa dan adanya efek gravitasi yang menyebabkan penurunan kecepatan aliran

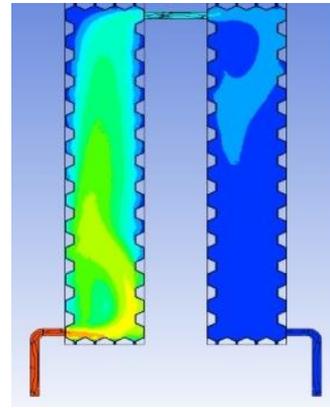
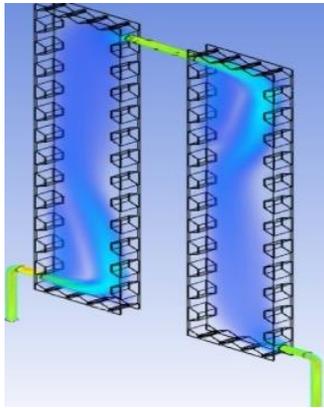
4.2.3 Kontur kecepatan



Gambar 4.8 Simulasi aluminium konture kecepatan

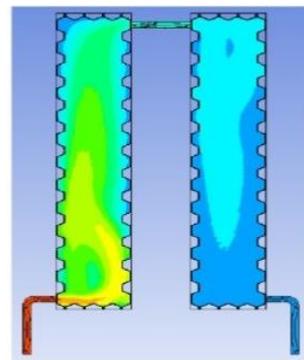
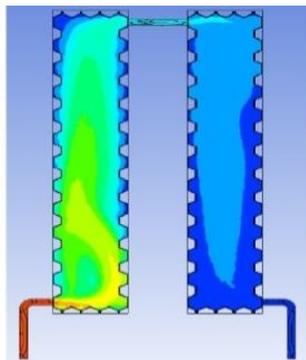
4. Dari hasil simulasi menunjukkan kontur kecepatan yang ada disepanjang APK, warna menunjukkan perubahan kecepatan yang ada di APK, semakin merah suatu titik, maka menunjukkan kecepatan semakin tinggi, sebaliknya semakin warna semakin biru, maka titik tersebut mengalami penurunan kecepatan
5. Hal ini menunjukkan kecepatan aliran disepanjang PIPA APK merata disepanjang pipa
6. Hanya beberapa titik belokan yang mengalami perubahan

4.2.4 Proses simulasi honeycomb material alumunium yang terekam dapat ditampilkan pada gambar dibawah ini :



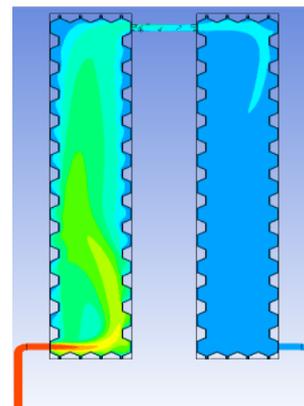
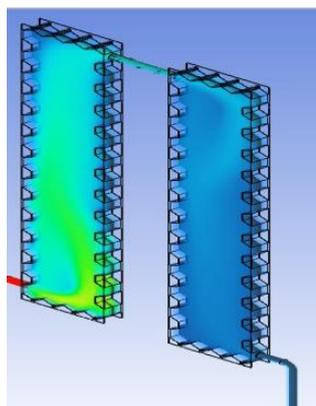
D . 10 menit

D . 20 menit



C . 30 menit

D . 40 menit



E . 50 menit

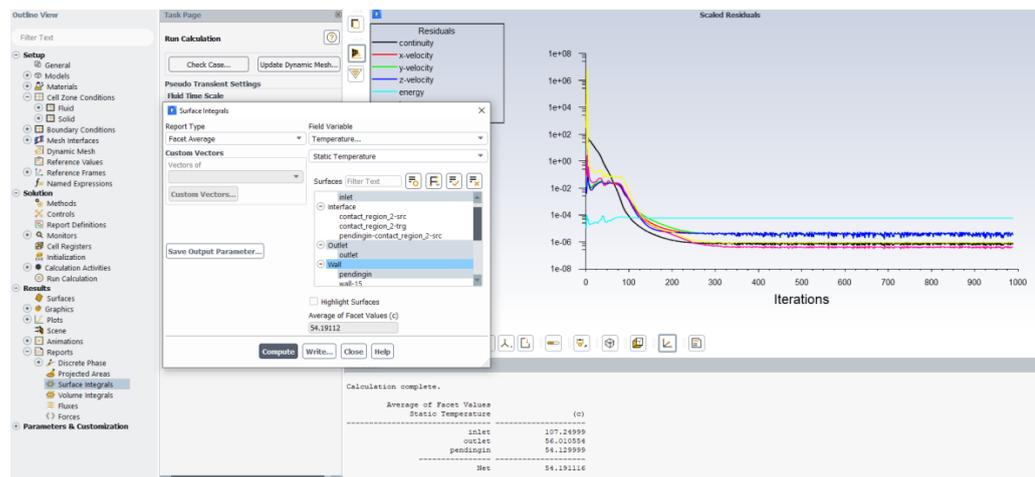
F . 60 menit

Gambar 4.9 Proses simulasi honeycomb material alumunium yang ditampilkan pada waktu per 10 menit

Gambar 4.9 Diatas menjelaskan, proses aliran fluida panas pada honeycomb dengan menggunakan software ansys. Proses masuknya fluida panas dimulai dari pipa yang melengkung lubang inlet (temprature masuk) pada waktu 10 menit pertama honeycomb mulai berwarna merah pada lengkungan pipa inlet menunjukkan bahwa temperature tinggi. Namun pada waktu 60 menit aliran fluida yang melintas honeycomb menunjukkan tempratur semakin tinggi, setelah itu mulai berwarna biru pada keluaran fluida menunjukkan bahwa honeycomb mengalami penurunan temprature akibat efek pendingin dari air.

(Keterangan Warna : Merah menunjukkan bahwa tempratur tinggi dan biru adalah penurunan temprature yang diakibatkan oleh efek pendinginan dari air)

4.2.5 surface integrals



Gambar 4.10 Surface integrals

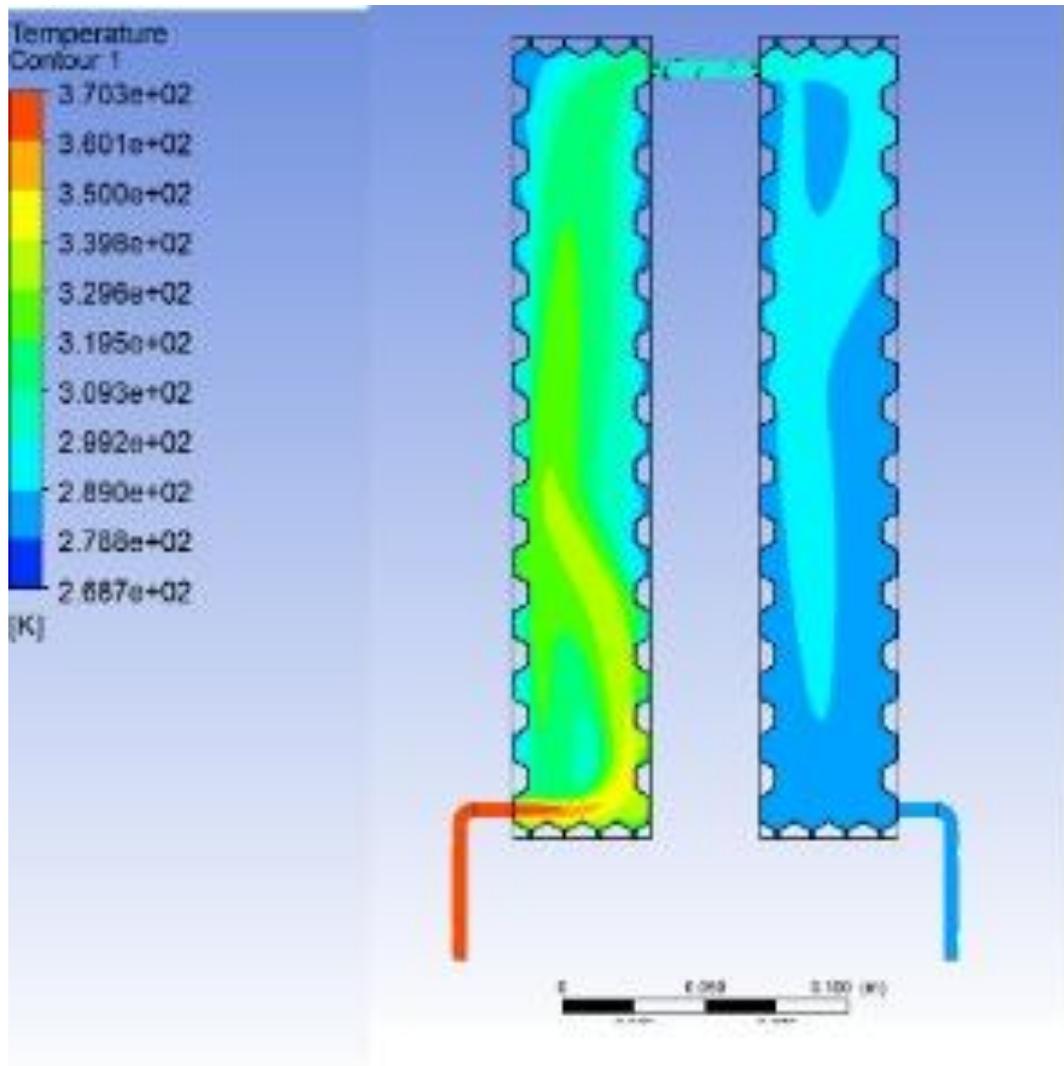
Dari hasil simulasi, kita dapat mengetahui temperatur keluar (outlet) dari Apk sebesar 55.243341 °C. dan temperatur masuk sebesar 125.74999 °C. dari hasil penurunan sebesar

Table 4.2 Perbandingan data experiment dan CFD material aluminium

Kondisi Batas (APK)	Aluminium Temperatur (°C)	
	Ekperimen	CFD
Temperatur Masuk	115,75	125.74999
Temperatur Keluar	67,70	55.243341
Temperatur Air Pendingin	46,25	47.075006

4.3 Kuningan

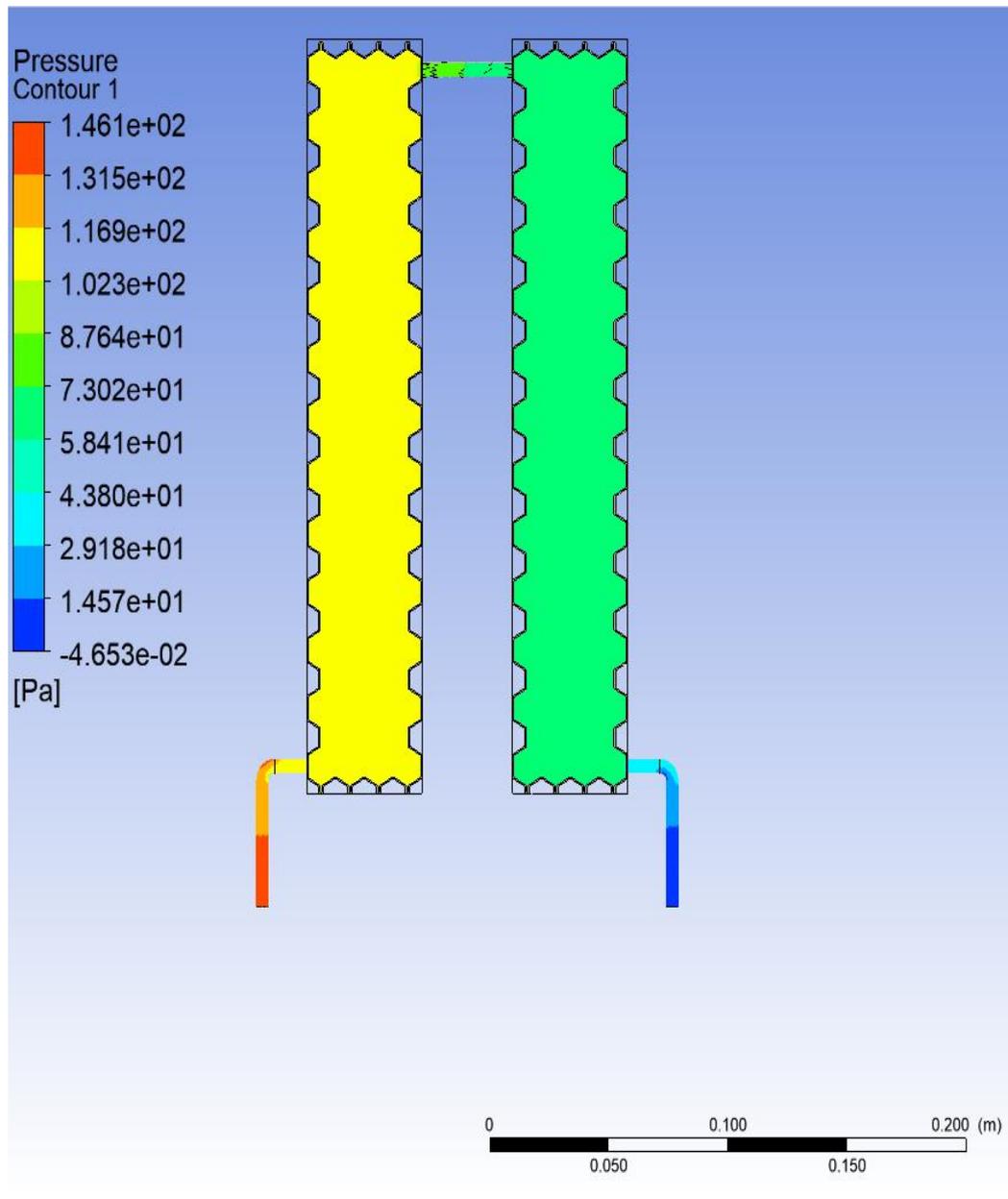
4.3.1 Distribusi temperatur



Gambar 4.11 Simulasi kuningan distribusi temperature

1. Dari hasil simulasi menunjukkan kontur yang ada disepanjang APK, warna menunjukkan perubahan temperatur yang ada di APK, semakin merah suatu titik, maka menunjukkan temperatur semakin tinggi, sebaliknya semakin warna semakin biru, maka titik tersebut mengalami penurunan temperatur
2. Dari hasil simulasi menunjukkan temperatur masuk APK semakin turun akibat efek pendinginan dari Air pendingin

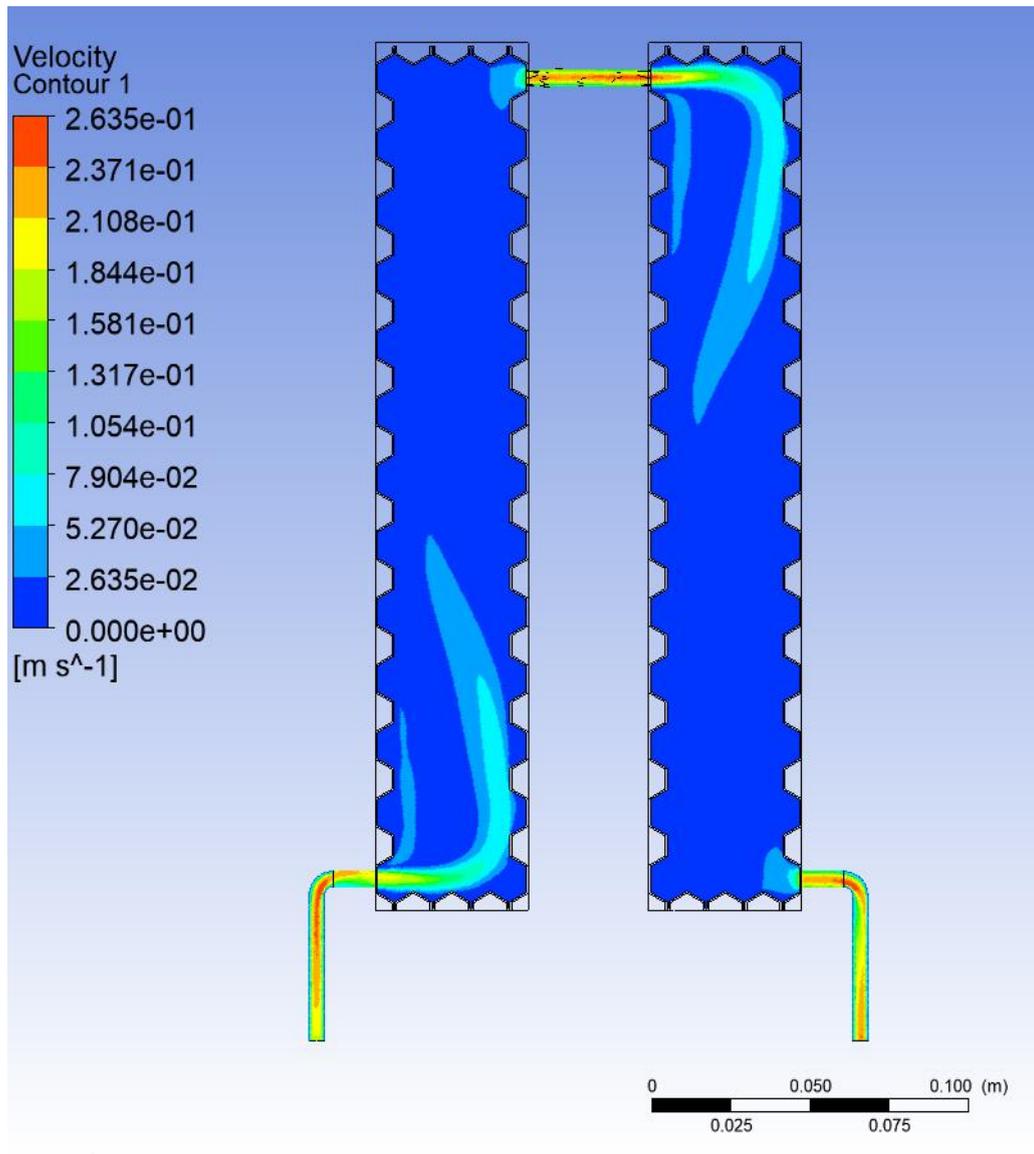
4.3.2. Kontur tekanan



Gambar 4.12 Simulasi kuningan konture tekanan

1. Dari hasil simulasi menunjukkan kontur tekanan yang ada disepanjang APK, warna menunjukkan perubahan tekanan yang ada di APK, semakin merah suatu titik, maka menunjukkan tekanan semakin tinggi, sebaliknya semakin warna semakin biru, maka titik tersebut mengalami penurunan tekanan
2. Hal ini disebabkan adanya proses penurunan tekanan akibat belokan belokan pipa dan adanya efek grafitasi yang menyebabkan penurunan kecepatan aliran

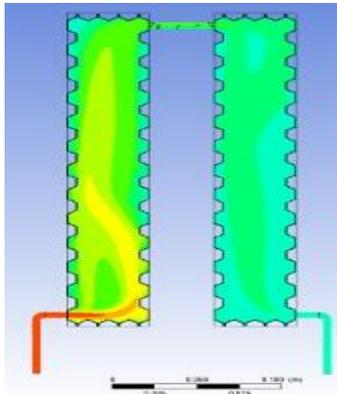
4.3.3. Kontur kecepatan



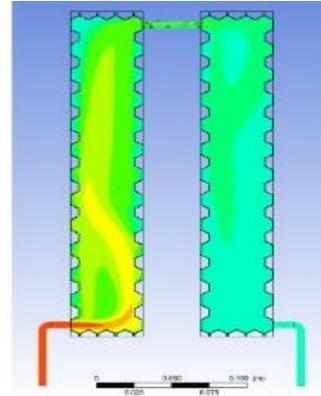
Gambar 4.13 Simulasi kuningan konture kecepatan

1. Dari hasil simulasi menunjukkan kontur kecepatan yang ada disepanjang APK, warna menunjukkan perubahan kecepatan yang ada di APK, semakin merah suatu titik, maka menunjukkan kecepatan semakin tinggi, sebaliknya semakin warna semakin biru, maka titik tersebut mengalami penurunan kecepatan
2. Hal ini menunjukkan kecepatan aliran disepanjang PIPA APK merata disepanjang pipa
3. Hanya beberapa titik belokan yang mengalami perubahan

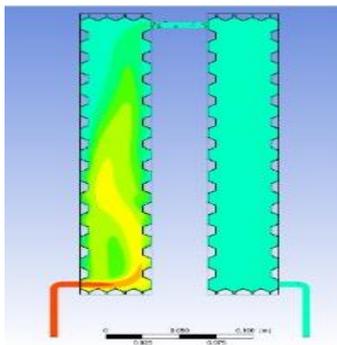
4.3.4 Proses simulasi honeycomb material kuningan yang terekam dapat ditampilkan pada gambar dibawah ini :



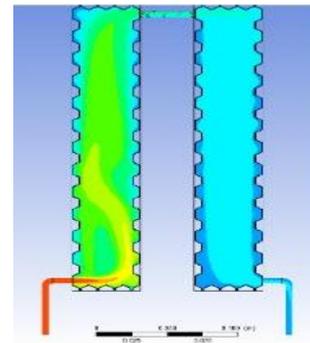
D . 10 Menit



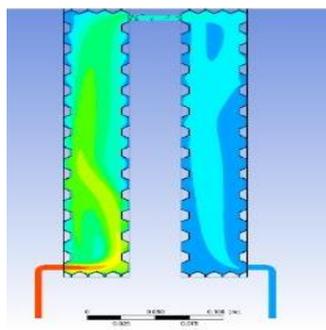
D . 20 Menit



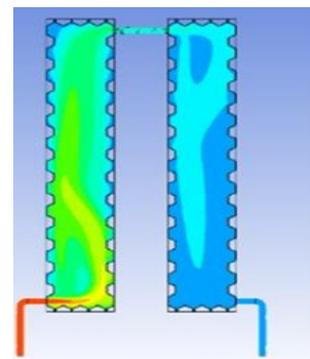
C . 30 Menit



D . 40 Menit



E . 50 Menit



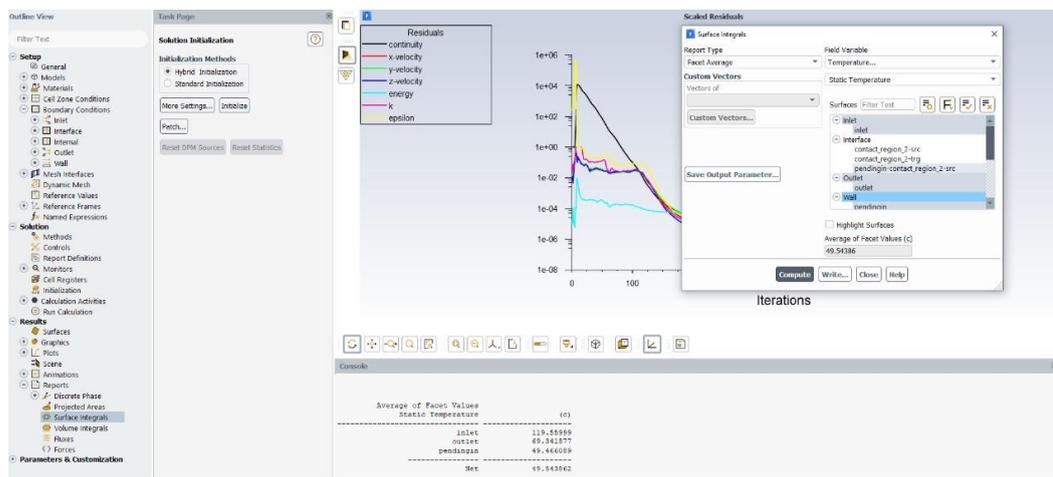
F . 60 Menit

Gambar 4.14 Proses simulasi honeycomb material kuningan yang ditampilkan pada waktu per 10 menit

Gambar 4.3.4 Diatas menjelaskan, proses aliran fluida panas pada honeycomb dengan menggunakan software ansys. Proses masuknya fluida panas dimulai dari pipa yang melengkung lubang inlet (temprature masuk) pada waktu 10 menit pertama honeycomb mulai berwarna merah pada lengkungan pipa inlet menunjukkan bahwa temperature tinggi. Namun pada waktu 60 menit aliran fluida yang melintas honeycomb menunjukkan tempratur semakin tinggi, setelah itu mulai berwarna biru pada keluaran fluida menunjukkan bahwa honeycomb mengalami penurunan temprature akibat efek pendingin dari air.

(Keterangan Warna : Merah menunjukkan bahwa tempratur tinggi dan biru adalah penurunan temprature yang diakibatkan oleh efek pendinginan dari air)

4.3.5 surface integrals



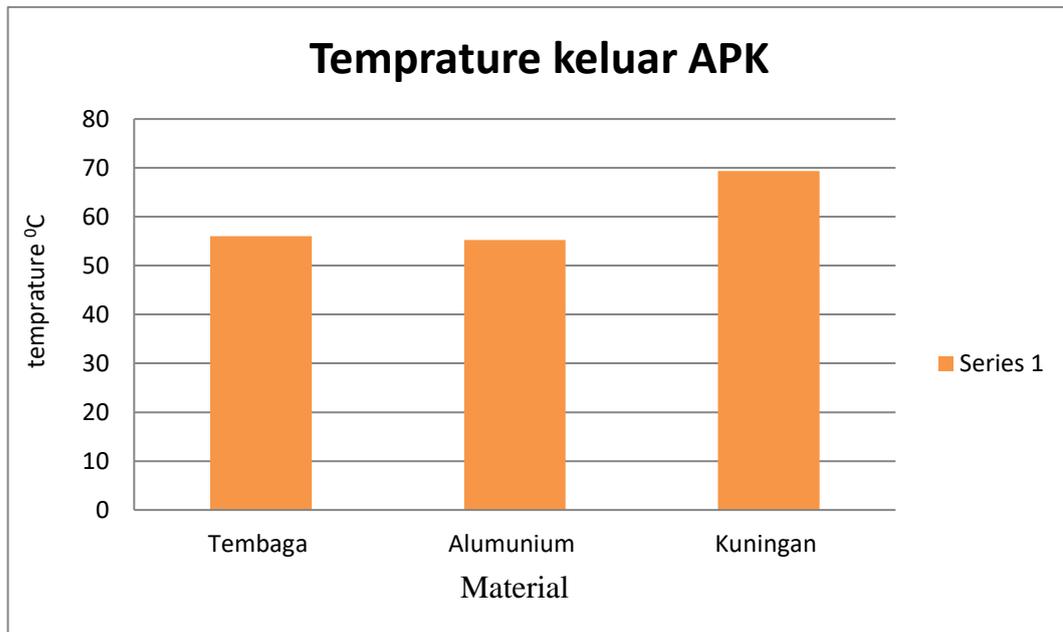
Gambar 4.15 Surface integrals

Dari hasil simulasi, kita dapat mengetahui temperatur keluar (outlet) dari Apk sebesar 69.341577 °C. terjadi penurunan temperatur awal sebesar 119.55999 °C. dari hasil penurunan sebesar

Table 4.3 Perbandingan data experiment dan CFD material kuningan

Kondisi Batas (APK)	Kuningan Temperatur (°C)	
	Ekperimen	CFD
Temperatur Masuk	119,69	119.55999
Temperatur Keluar	60,94	69.341577
Temperatur Air Pendingin	45,31	49.46089

4.4 Grafik Perbandingan Honeycomb



Gambar 4.16 Perbandingan temperature APK

Table menunjukkan hasil temperature keluar APK setiap material. Kuningan mempunyai nilai temperatur yang lebih tinggi dari material tembaga dan alumenium. Dan tembaga mempunyai nilai temperature keluar APk yang lebih rendah dari yang lain. Hal ini menunjukkan penggunaan material tembaga lebih baik dibanding dengan material Alumenium dan kuningan. Tetapi hasil ini tidak menunjukkan hasil yang cukup signifikan, terlihat perbedaan temperature yang tidak terlalu jauh walaupun hasil tembaga lebih baik dibanding dengan material yang lain. Hal ini disebabkan material yang dipakai untuk membuat APk mempunyai nilai konduktivitas yang hampir sama, hal yang lain disebabkan tebal rangka dari APK tidak tebal, sehingga proses perpindahan panas yang terjadi hampir sama setiap material

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari penelitian yang telah dilakukan maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Dari hasil uji simulasi CFD pada APK honeycomb material alumunium diketahui temperature masuk sebesar $107.24999\text{ }^{\circ}\text{C}$ temprature keluar sebesar $56.00302\text{ }^{\circ}\text{C}$ dan temperature air sebesar $54.1911\text{ }^{\circ}\text{C}$
2. Dari hasil uji simulasi CFD pada APK honeycomb material alumunium diketahui temperature masuk sebesar $125.74999\text{ }^{\circ}\text{C}$ temprature keluar sebesar $55.243341\text{ }^{\circ}\text{C}$ dan temperature air sebesar $47.075006\text{ }^{\circ}\text{C}$
3. Dari hasil uji simulasi CFD pada APK honeycomb material kuningan diketahui temperature masuk sebesar $119.55999\text{ }^{\circ}\text{C}$ temprature keluar sebesar $69.341577\text{ }^{\circ}\text{C}$ dan temperature air sebesar $49.46089\text{ }^{\circ}\text{C}$
4. Dari hasil pengujia simulasi dan experemental temperatur keluar simulasi lebih besar kuningan sebesar $69.341577\text{ }^{\circ}\text{C}$ dan temperatur keluar experemental sebesar $60,94\text{ }^{\circ}\text{C}$

5.2 Saran

Adapun saran dan masukan dari penyusun laporan ini adalah sebagai berikut:

1. Bagi penulis yang ingin melanjutkan penelitian ini, sebaiknya dalam pembuatan honeycomb menggunakan plat yang lebih tebal dari 0,4mm
2. Bagi penulis yang ingin melakukan simulasi numerik sebaiknya mempersiapkan computer dengan spesifikasi yang lebih tinggi dari core i5

DAFTAR PUSTAKA

- Aziz, A, 2014, Analisis kinerja Air Conditioning Sekaligus Sebagai Water Heater, Jurusan Teknik Mesin ,Universitas Riau
- Bizzy, I, dan setiadi. R, 2013. Studi perhitungan alat penukar kalor :jurnal teknik mesin, jurusan teknik mesin, Universitas Sriwijaya
- Holman, J P. “Perpindahan Kalor” Terjemahan Ir. E Jasjfi, Msc, Jakarta Erlangga, 1984
- Holman, J. P.(2010)."*Heat Transfer*". New York: *McGraw-Hill*.
- Ichwan nurhalim.2011. Rancangan Bangun Dan Pengujian Unjuk Kerja Alat Penukar Kalor tipe Serpentine Pada split Air Conditioning Water Heater. Skripsi Teknik Mesin
- Febry A, (2020) *penerapan honeycomb surface berbahan kuningan sebagai penukar kalor pada ACWH*, Laporan tugas akhir. Medan : Program Studi Teknik Mesin, UMSU.
- Pratama F,U (2020) *pengaruh diameter honeycomb surface berbahan alumunium terhadap kinerja ACWH*, Laporan tugas akhir. Medan : Program Studi Teknik Mesin, UMSU.
- Rudi Hartono.2008 modul-1.07 Penukar panas. Banten : Laboratorium Operasi Teknik Kimia FT Universitas Sultan Ageng Tirtayasa
- Siregar C.A, dkk. (2016) *Analisa Numerik Peleburan Paraffin Wax Sebagai Thermal Storage*. Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
- Sitompul, Tunggal M. 1993 “*Alat Penukar kalor (Heat Exchanger)*” Jakarta, Rajawali Pres.
- Stoecker, F. Wilbert, 1996. *Refrigerasi dan Pengkondisian Udara*, Penerbit Erlangga, Jakarta.
- Supratman H. 1982. *Refrigerasi dan Pengkondisian Udara*. Erlangga, Jakarta
- Yogi P, (2020) *Upaya peningkatan kerja ACWH (Air Conditioner Water Heater) Dengan memanfaatkan honeycomb surface berbahan tembaga sebagai penukar kalor*. Laporan tugas akhir. Medan : Program Studi Teknik Mesin, UMSU.

LAMPIRAN

Outline View

- Filter Text
- Setup**
 - General
 - Models
 - Materials
 - Cell Zone Conditions
 - Boundary Conditions
 - Mesh Interfaces
 - Dynamic Mesh
 - Reference Values
 - Reference Frames
 - Named Expressions
- Solution**
 - Methods
 - Controls
 - Report Definitions
 - Monitors
 - Cell Registers
 - Initialization
 - Run Calculation Activities
- Results**
 - Surfaces
 - Graphics
 - Mesh
 - Contours
 - contour-1
 - Vectors
 - Pathlines
 - Particle Tracks
- Plots
 - Scene
 - Animations
 - Reports
 - Discrete Phase
 - Projected Areas
 - Surface Integrals
 - Volume Integrals
 - Fluxes
 - Forces
- Parameters & Customization

Task Page

Run Calculation

Check Case... Update Dynamic Mesh...

Pseudo Transient Settings

Fluid Time Scale

Time Step Method Time Scale Factor

Automatic 1

Length Scale Method Verbosity

Conservative 0

Solid Time Scale

Time Step Method Time Scale Factor

Automatic 1

Parameters

Number of Iterations Reporting Interval

500 1

Profile Update Interval

1

Solution Processing

Statistics

Data Sampling for Steady Statistics

Data File Quantities...

Solution Advancement

Calculate

Contours of Static Pressure (pascal)

contour-1
Static Pressure

1.48e+02
1.31e+02
1.17e+02
1.02e+02
8.70e+01
7.30e+01
5.84e+01
4.38e+01
2.92e+01
1.46e+01
-2.04e+02

Surface Integrals

Report Type: Facet Average

Field Variable: Temperature...

Static Temperature

Surfaces: Filter Text

- contact_region_2-src
- contact_region_2-trg
- pendingin-contact_region_2-src
- outlet
- Wall
- pendingin
- wall-15
- wall-15-shadow
- wall-16

Average of Facet Values (c)

Highlight Surfaces

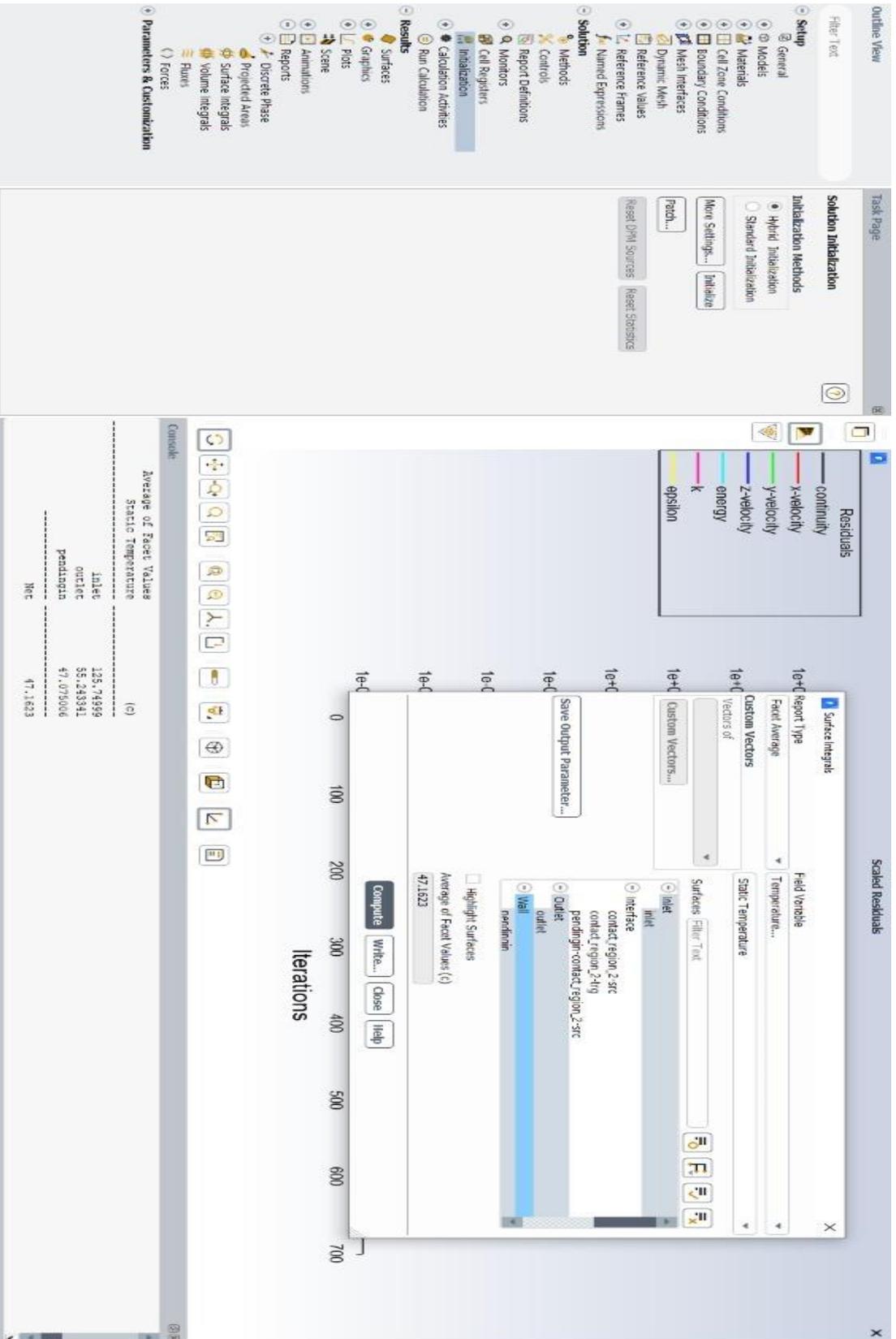
0

Compute Write... Close Help

Console

```

Average of Facet Values
Static Temperature
-----
Net 0.16163405
(c)
inlet 107.24699
outlet 56.00302
pendingin 54.129999
Net 54.191107
  
```



Outline View

- Filter Text
- Setup
 - General
 - Models
 - Materials
 - Cell Zone conditions
 - Boundary Conditions
 - Inlet
 - Interface
 - Internal
 - Outlet
 - Wall
 - Mesh Interfaces
 - Dynamic Mesh
 - Reference Values
 - Reference Frames
 - Named Expressions
- Solution
 - Methods
 - Controls
 - Report Definitions
 - Monitors
 - Cell Registers
 - Initialization
 - Calculation Activities
 - Run Calculation
- Results
 - Surfaces
 - Graphics
 - Plots
 - Scene
 - Animations
 - Reports
 - Discrete Phase
 - Projected Areas
 - Surface Integrals
 - Volume Integrals
 - Fluxes
 - Forces
- Parameters & Customization

Task Page

Solution Initialization

Initialization Methods

- Hybrid Initialization
- Standard Initialization

More Settings... Initialize

Read DPM Sources Read Statistics

Residuals

- continuity
- x-velocity
- y-velocity
- z-velocity
- energy
- k
- epsilon

Console

Average of Face Values

Static Temperature

Surface	Average of Face Values (C)
Inlet	119.55999
outlet	65.341577
pendangin	49.460009
Wtc	49.543862

Scaled Residuals

Surface Integrals

Report Type: Face Average

Field Variable: Temperature...

Static Temperature

Surfaces: Filter Text

- Inlet
- Interface
- Outlet
- Wall

Average of Face Values (C): 49.51336

Iterations

Compute Write... Close Help



UMSU

Unggul | Cerdas | Terpercaya

Bila menjawab surat ini agar disebutkan nomor dan tanggalnya

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

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

• **PENENTUAN TUGAS AKHIR DAN PENGHUJUKAN**
DOSEN PEMBIMBING

Nomor/1825/IL.3AU/UMSU-07/F/2019

Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara, berdasarkan rekomendasi Atas Nama Ketua Program Studi Teknik Mesir. Pada Tanggal 11 November 2019 dengan ini Menetapkan :

Nama : M. KAMALUDDIN WAHDANI
NPM : 1607230075
Program Studi : TEKNIK Mesin
Semester : VII (TUJUH)
Judul Tugas Akhir : ANALISA NUMERIK PERPINDAHAN PANAS PADA ACWH
DENGAN HONEYCOM SEBAGAI PENGHANTAR PANAS

Pembimbing -I : CHANDRA A SIREGAR ST. MT.
Pembimbing II :

Dengan demikian diizinkan untuk menulis tugas akhir dengan ketentuan :

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

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

Ditetapkan di Medan pada Tanggal.
Medan, 14 Rabiul Awal 1441 H
11 Nopember 2019 M



Dekan

Alfansury Siregar ST.MT
NIDN : 0101017202

Cc. File

LEMBAR ASISTENSI TUGAS AKHIR

Analisa Numerik Perpindahan Panas pada ACWH Dengan Honeycomb Sebagai Penghantar Panas

Nama : M. Kamaludin Wahdani
NPM : 1607230075

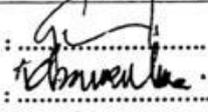
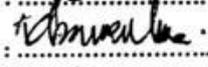
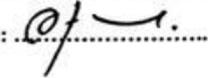
Dosen Pembimbing : Chandra A Siregar, S.T., M.T

No	Hari/Tanggal	Kegiatan	Paraf
1.	Jumat /25-10-2019	Perbaiki bab 1	↑
2.	Selasa /05-11-2019	Tambahkan data-data Hasil experimental	↑
3.	Sabtu /30-11-2019	Lanjutan bab 2 dan 3	↑
4.	Senin /16-12-2019	Perbaiki desain ppa Kapiler	↑
5.	Senin /30-12-2019	Sesuaikan ukuran desain dengan pengujian experimental	↑
6.	Senin /06-01-2020	ACC Seminar proposal	↑
7.	Selasa /15-09-2020	Lanjut Bab 4	↑
8.	Kamis /08-10-2020	Perbaiki Bab 4	↑
9.	Senin /12-10-2020	- perbaiki gambar simulasi - perbaiki kesimpulan	↑
10.	Rabu /11/10-2020	Ac Seminar hasil	↑

DAFTAR HADIR SEMINAR
TUGAS AKHIR TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK – UMSU
TAHUN AKADEMIK 2020 – 2021

Peserta seminar

Nama : M.Kamaluddin Wa'hdani
NPM : 1607230075
Judul Tugas Akhir : Analisa Numerik Perpindahan Panas Pada ACWH Dengan Honeycomb Sebagai Penghantar Panas.

DAFTAR HADIR	TANDA TANGAN
Pembimbing – I : Chandra A 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	1507230237	Ahmad Fahmi	
2	1607230062	Aldi Trisna Irawan	
3	1607230073	RIFKI RAMADANI	
4	1607230072	MUHAMMAD ANWAR	
5			
6			
7			
8			
9			
10			

Medan, 21 Rab. Awal 1442 H
07 Nopember 2020 M



Ketua Prodi. T.Mesin


Affandi.S.T.M.T

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

NAMA : M.Kamaluddin Wahdani
NPM : 1607230075
Judul T.Akhir : Analisa Numerik Perpindahan Panas Pada ACWH Dengan Honeycomb
Sebagai Penghantar Panas.

Dosen Pembimbing - I : Chandra A 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 :
*Ponant keliatan, Teori C.P.D., kondisi
alat, alat lain dapat dilhat
pada catatan juga aktif*
3. Harus mengikuti seminar kembali
Perbaikan :
.....
.....
.....

Medan 21 Rab.Awa 1442H
07 Nopember 2020M

Diketahui :
Ketua Prodi. T.Mesin



Affandi.S.T.M.T

Dosen Pembanding- I

Khairul Umurani.S.T.M.T

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

NAMA : M.Kamaluddin Wahda'ni
NPM : 1607230075
Judul T.Akhir : Analisa Numerik Perpindahan Panas Pada ACWH Dengan Honeycomb
Sebagai Penghantar Panas.

Dosen Pembimbing - I : Chandra A 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 :

.....*libat buku ke catatan*.....
.....
.....

3. Harus mengikuti seminar kembali
Perbaikan :

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

Medan 21 Rab.Awa 1442H
07 Nopember 2020M

Diketahui :
Ketua Prodi. T.Mesin



Affandi.S.T.M.T

Dosen Pembanding- II

Affandi
Affandi.S.T.M.T

DAFTAR RIWAYAT HIDUP



A. DATA PRIBADI

- | | |
|--------------------------|-----------------------------------|
| 1. Nama | : M.KAMALUDIN WAHDANI |
| 2. Jenis Kelamin | : Laki-laki |
| 3. Tempat, Tanggal Lahir | : PANGKALAN SUSU, 13-08-1998 |
| 4. Kewarganegaraan | : Indonesia |
| 5. Status | : Belum Kawin |
| 6. Agama | : Islam |
| 7. Alamat | : Jl.Cokro Aminoto Pangkalan Susu |
| 8. No.Hp | : 0896-3588-3723 |
| 9. Email | : muhammadvkamal889@gmail.com |

B. RIWAYAT PENDIDIKAN

- | | |
|----------------|---|
| 1. 2004 – 2010 | : SDN 050772 |
| 2. 2010 – 2013 | : SMP DHARMA PATRA |
| 3. 2013 – 2016 | : SMA NEGRI 1 PANGKALAN SUSU |
| 4. 2016 – 2020 | : TEKNIK MESIN UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH
SUMATERA UTARA |