

# **TUGAS AKHIR**

## **ANALISA NUMERIK UNJUK KERJA PIPA KAPILER SEBAGAI APK PADA SISTEM ACWH**

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

**Disusun Oleh:**

**ALDI TRISNA IRAWAN**  
**1607230062**



# **UMSU**

Unggul | Cerdas | Terpercaya

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

## HALAMAN PENGESAHAN

Tugas Akhir ini diajukan oleh:

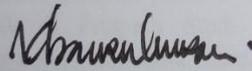
Nama : Aldi Trisna Irawan  
NPM : 1607230062  
Program Studi : Teknik Mesin  
Judul Skripsi : Analisa Numerik Unjuk Kerja Pipa Kapiler Sebagai APK Pada Sistem ACWH  
Bidang Ilmu : Konversi Energi

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

Medan, 13 November 2020

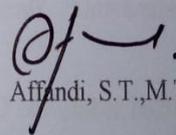
Mengetahui dan menyetujui:

Dosen Penguji



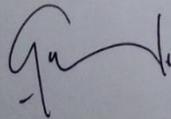
Khairul Umurani, S.T.,M.T

Dosen Peguji



Affandi, S.T.,M.T

Dosen Penguji



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

Program Studi Teknik Mesin



Affandi, S.T.,M.T

## SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama Lengkap : Aldi Trisna Irawan  
Tempat /Tanggal Lahir: Deli Tua/18 Maret 1999  
NPM : 1607230062  
Fakultas : Teknik  
Program Studi : Teknik Mesin

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

**“Analisa Numerik Unjuk Kerja Pipa Kapiler Sebagai APK Pada Sistem ACWH”,**

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

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

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

Medan, 13 November 2020

Saya yang menyatakan,



Aldi Trisna Irawan

## ABSTRAK

Mesin pendingin merupakan suatu peralatan yang dapat dijumpai pada hampir setiap perkantoran, gedung-gedung dan rumah tangga. Pada sistem mesin pendingin terdapat energy panas yang terbuang cukup besar. Hal tersebut dapat dimanfaatkan menjadi pemanas air. Elemen pemanas air tersebut berupa heat exchanger. ACWH adalah pemanas air yang memanfaatkan suhu Freon yang sangat tinggi pada saat keluaran kompresor dengan menggunakan APK untuk memanaskan air. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menganalisis numerik perpindahan panas pada APK pipa kapiler berbentuk *helical coil* yang dialiri refrigerant menggunakan software ansys, untuk membandingkan hasil pengujian eksperimen dengan hasil pengujian simulasi numerik. Pada penelitian ini Menggunakan APK pipa kapiler berbahan tembaga dengan 2 variasi yang berbeda, pertama menggunakan pipa kapiler dengan panjang 8 m dengan jumlah lilitan sebanyak 15 lilitan, kedua menggunakan pipa kapiler dengan panjang 16 m dengan jumlah lilitan sebanyak 30 lilitan. Perancangan desain pipa kapiler menggunakan software solidworks dan untuk pengujian simulasi menggunakan software ansys. Dari hasil simulasi temperatur yang dihasilkan pada APK 15 lilitan lebih tinggi dibandingkan dengan APK 30 lilitan. Dapat dilihat bahwa APK 15 lilitan lebih cepat mengantarkan panas ke air. Hasil uji simulasi pipa kapiler 15 lilitan dan pipa kapiler 30 lilitan pada pengujian 60 menit temperatur yang dihasilkan tidak berbeda jauh dengan hasil pengujian eksperimen.

Kata kunci : Pipa kapiler, APK, Tembaga, Temperatur

## **ABSTRACT**

*A cooling machine is a piece of equipment that can be found in almost every office, building and household. In the cooling engine system there is a large amount of wasted heat energy. This can be used as a water heater. The water heating element is a heat exchanger. ACWH is a water heater that takes advantage of the very high Freon temperatures at the time of compressor output by using APK to heat water. The purpose of this study was to analyze the numerical heat transfer in the APK of a helical coil capillary pipe fed by refrigerant using ANSYS software, to compare the experimental test results with the results of numerical simulation testing. In this study, using a capillary tube made of copper with 2 different variations, first using a capillary tube with a length of 8 m with a total of 15 turns, second using a capillary tube with a length of 16 m with a number of turns of 30 turns. Capillary tube design using SolidWorks software and for simulation testing using ANSYS software. From the simulation results, the resulting temperature in the APK 15 turns is higher than the APK of 30 turns. It can be seen that the 15-coil APK delivers faster heat to the water. The simulation test results of 15 turns of capillary pipe and 30 turns of capillary pipe in the 60 minute test, the resulting temperature is not much different from the experimental test results.*

*Keywords: Capillary pipe, APK, Copper, Temperature*

## 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 Unjuk Kerja Pipa Kapiler Sebagai APK Pada Sistem 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 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., M.T 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 keteknik mesin kepada penulis.
6. Orang tua penulis: Sutrisno dan Risnawati, 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, Febry Andrean, Fadli Umri Pratama, Yogi Pranata, Andri Kurniawan, Kamaludin Wahdani, Ahmad Fahmi Simamora, Winanda Lestari dan lainnya yang tidak mungkin namanya disebut satu per satu.

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

Medan, 13 November 2020

Aldi Trisna Irawan

## DAFTAR ISI

<b>LEMBAR PENGESAHAN</b>	<b>ii</b>
<b>LEMBAR PERNYATAN KEASLIAN SKRIPSI</b>	<b>iii</b>
<b>ABSTRAK</b>	<b>iv</b>
<b>ABSTRACT</b>	<b>v</b>
<b>KATA PENGANTAR</b>	<b>vi</b>
<b>DAFTAR ISI</b>	<b>viii</b>
<b>DAFTAR TABEL</b>	<b>x</b>
<b>DAFTAR GAMBAR</b>	<b>xi</b>
<b>DAFTAR NOTASI</b>	<b>xiii</b>
<b>BAB 1 PENDAHULUAN</b>	<b>1</b>
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan masalah	2
1.3. Ruang lingkup	2
1.4. Tujuan	3
1.5. Manfaat	3
<b>BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA</b>	<b>4</b>
2.1. Laju Perpindahan Panas	4
2.1.1. Proses Perpindahan Panas	4
2.1.2. Perpindahan Panas Secara Konduksi	4
2.1.3. Perpindahan Panas Secara Konveksi	5
2.1.4. Perpindahan Panas Secara Radiasi	5
2.2. Alat Ekspansi	6
2.2.1. Pipa Kapiler	6
2.2.2. <i>Expansion Valve</i> Otomatis	7
2.2.3. <i>Expansion Valve</i> Termostatik	8
2.3. Alat Penukar Kalor	8
2.3.1. Pengertian Alat Penukar Kalor	8
2.3.2. Klasifikasi Alat Penukar Panas ( <i>Heat Exchanger</i> )	9
2.4. ACWH ( <i>Air Conditioning Water Heater</i> )	15
2.4.1. Prinsip Kerja <i>Air Conditioning Water Heater</i>	16
2.5. Aliran Fluida	16
2.5.1. Bilangan Nusselt	17
2.5.2. Pressure Drop	18
2.6. Pengertian Simulasi	18
2.6.1. Pengertian Numerik	19
2.6.2. Pengertian Simulasi Numerik	19
2.6.3. Klasifikasi Simulasi	19
2.6.4. Terapan Simulasi	19
2.7. Komputasi Fluida Dinamik	20
2.7.1. Meshing	21
2.7.2. Persamaan Dasar CFD	22

<b>BAB 3 METODE PENELITIAN</b>	<b>24</b>
3.1 Tempat dan Waktu	24
3.1.1. Tempat	24
3.1.2. Waktu	24
3.2 Bahan dan Alat	24
3.3 Bagan Alir Penelitian	27
3.4 Perancangan Pipa Kapiler Dengan <i>Software Solidwork 2014</i>	28
3.5 Prosedur Penelitian	31
<b>BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN</b>	<b>51</b>
4.1 Hasil Simulasi Pipa Kapiler 15 Lilitan	51
4.1.1 Hasil Kontur Temperatur Dari Simulasi Pipa Kapiler 15 Lilitan	52
4.1.2 Hasil Kontur Tekanan Dari Simulasi Pipa Kapiler	53
4.1.3 Hasil Kontur Kecepatan Dari Simulasi Pipa Kapiler	54
4.1.4 Proses Simulasi <i>Helical Coil</i> 15 Lilitan Yang Terekam Pada waktu Per 10 Menit	55
4.2 Data Perbandingan Uji Eksperimen Dengan Uji Simulasi CFD Pipa Kapiler 15 Lilitan Pada Pengujian 60 Menit	56
4.3 Hasil Simulasi Pipa Kapiler 30 Lilitan	58
4.3.1 Hasil Kontur Temperatur Dari Simulasi Pipa Kapiler 30 Lilitan	59
4.3.2 Hasil Kontur Tekanan Dari Simulasi Pipa Kapiler 30	60
4.3.3 Hasil Kontur Kecepatan Dari Simulasi Pipa Kapiler 30	61
4.3.4 Proses Simulasi <i>Helical Coil</i> 30 Lilitan Yang Terekam Pada Waktu Per 10 Menit	62
4.4 Data Perbandingan Uji Eksperimen Dengan Simulasi CFD Pipa Kapiler 15 Lilitan Pada Pengujian 60 Menit	63
<b>BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN</b>	<b>65</b>
5.1. Kesimpulan	65
5.2. Saran	65
<b>DAFTAR PUSTAKA</b>	<b>66</b>
<b>LAMPIRAN</b>	
<b>LEMBAR ASISTENSI</b>	
<b>DAFTAR RIWAYAT HIDUP</b>	

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Konduktivitas Termal Berbagai Bahan	4
Tabel 2.2 Skala Kualitas Meshing	22
Tabel 2.3.Kelebihan dan Kelemahan Model Turbulensi CFD	23
Tabel 3.1 Jadwal dan kegiatan saat melakukan Penelitian	24
Tabel 3.3 Tabel Properties Refrigerant R22	36
Tabel 3.3 Tabel Properties Refrigerant R22	36
Tabel 4.1 Data perbandingan eksperimen dan CFD pipa kapiler 15 lilitan	56
Tabel 4.2 Data perbandingan simulasi pipa kapiler 15 lilitan dan 30 lilitan	64

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Pipa kapiler	7
Gambar 2.2 Kondensor	9
Gambar 2.3 <i>Chiller</i>	10
Gambar 2.4 <i>Reboiler</i>	10
Gambar 2.5 <i>Cooler</i>	11
Gambar 2.6 <i>Shell and tube Heat Exchanger</i>	11
Gambar 2.7 <i>Heater</i>	12
Gambar 2.8 <i>Thermosiphon</i>	12
Gambar 2.9 <i>Steam generator</i>	13
Gambar 2.10 <i>WHB (Waste heat boiler)</i>	13
Gambar 2.11 <i>Superheater</i>	14
Gambar 2.12 <i>Evaporator</i>	14
Gambar 2.13 <i>Vaporizer</i>	15
Gambar 2.14 <i>Economizer</i>	15
Gambar 2.15 Prinsip kerja <i>ac water heater</i>	16
Gambar 3.1 Laptop yang digunakan	25
Gambar 3.2 Perangkat lunak <i>solidworks 2014</i>	26
Gambar 3.3 Software <i>ansys</i>	26
Gambar 3.4 Diagram alir penelitian	27
Gambar 3.5 Tampilan awal <i>solidworks 2014</i>	28
Gambar 3.6 Menentukan plane perancangan	28
Gambar 3.7 Menentukan diameter <i>helical coil</i>	29
Gambar 3.8 Desain <i>helical coil</i> setelah di <i>curves</i>	29
Gambar 3.9 Desain <i>helical coil</i> setelah di <i>swept boss/base</i>	30
Gambar 3.10 Menentukan diameter <i>helical coil</i>	30
Gambar 3.11 Desain <i>helical coil</i> setelah di <i>curves</i>	31
Gambar 3.12 Desain <i>helical coil</i> setelah di <i>swept boss/base</i>	31
Gambar 3.13 Desain <i>helical coil</i> 15 lilitan	32
Gambar 3.14 Mengimport data ke <i>ansys</i>	32
Gambar 3.15 Tampilan gambar setelah di import	32
Gambar 3.16 Tampilan gambar setelah di mesh	33
Gambar 3.17 Menentukan kondisi batas simulasi	33
Gambar 3.18 Tahap setup	34
Gambar 3.19 Menentukan kondisi steady dan nilai gravitasi bumi	34
Gambar 3.20 Menentukan model persamaan energi dan jenis aliran	35
Gambar 3.21 Menentukan material fluida	37
Gambar 3.22 Pemilihan material	37
Gambar 3.23 Menentukan nilai temperatur aliran	39
Gambar 3.24 prediksi awal pilih <i>intialization-hybrid-klik initialize</i>	40
Gambar 3.25 Proses simulasi untuk <i>helical coil</i> 15 lilitan	40
Gambar 3.26 Desain <i>helical coil</i> 15 lilitan	41
Gambar 3.27 Mengimport data ke <i>ansys CFD</i>	42
Gambar 3.28 Tampilan gambar setelah di import dan akan di mesh	42
Gambar 3.29 Gambar <i>helical coil</i> 30 lilitan setelah di mesh	43
Gambar 3.30 Menentukan kondisi-kondisi batas simulasi	43
Gambar 3.31 Tahap setup	44

Gambar 3.32 Menentukan kondisi steady dan nilai gravitasi bumi	44
Gambar 3.33 Menentukan model persamaan energi dan jenis aliran	45
Gambar 3.34 Menentukan material dan fluida	46
Gambar 3.35 Pemilihan material	46
Gambar 3.36 Menentukan nilai temperatur aliran	48
Gambar 3.37 prediksi awal pilih <i>intialization-hybrid-klik initialize</i>	49
Gambar 3.38 Proses simulasi untuk helical coil 30 lilitan	49
Gambar 4.1 Hasil simulasi pipa kapiler 15 lilitan	51
Gambar 4.2 Hasil kontur temperatur dari simulasi pipa kapiler 15 lilitan	52
Gambar 4.3 Hasil kontur tekanan dari simulasi pipa kapiler 30 lilitan	53
Gambar 4.4 Hasil kontur kecepatan dari simulasi pipa kapiler 15 lilitan	54
Gambar 4.5 Proses simulasi pipa kapiler 15 lilitan waktu per 10 Menit	55
Gambar 4.6 Hasil perbandingan simulasi CFD dan Eksperimen	56
Gambar 4.7 Garfik perbandingan uji eksperimen dan simulasi CFD	57
Gambar 4.8 Hasil simulasi pipa kapiler 30 lilitan	58
Gambar 4.9 Hasil kontur temperatur dari simulasi pipa kapiler 30 lilitan	59
Gambar 4.10 Hasil kontur tekanan dari simulasi pipa kapiler 30 lilitan	60
Gambar 4.11 Hasil kontur kecepatan dari simulasi pipa kapiler 30 lilitan	61
Gambar 4.12 Proses simulasi pipa kapiler 30 lilitan waktu per 10 menit	62
Gambar 4.13 Hasil perbandingan simulasi CFD dan Eksperimen	63
Gambar 4.14 Garfik perbandingan uji eksperimen dan simulasi CFD	64

## DAFTAR NOTASI

No	Simbol	Besaran	Satuan
1.	$q$	Laju perpindahan panas	Kj/det,W
2.	$k$	Konduktivitas termal	W/m. °C
3.	$A$	Luas Penampang	m <sup>2</sup>
4.	$dt$	Perbedaan Temperatur	°C
5.	$dx$	Perbedaan jarak	m/det
6.	$h_c$	Koefisien konveksi	W/m <sup>2</sup> .K
7.	$t_s$	Suhu permukaan	°C
8.	$t_f$	Suhu flida	°C
9.	$V$	Kecepatan rata-rata fluida	m/s
10.	$D$	Diameter dalam pipa	m
11.	$\rho$	Massa jenis fluida	Kg/m <sup>3</sup>
12.	$\mu$	Viskositas dinamik fluida	Kg/m.s
13.	$Re$	Bilangan Reynold	-
14.	$Pr$	Bilangan Prandlt	-
13.	$\Delta P$	Penurunan tekanan	Kg/m <sup>2</sup>
14.	$g$	Percepatan gravitasi	m/s <sup>2</sup>
15.	$h$	Beda ketinggian fluida	m

# BAB 1 PENDAHULUAN

## 1.1 Latar Belakang

Pada masa ini khususnya di perkotaan, mesin pendingin merupakan suatu peralatan yang dapat dijumpai pada hampir setiap perkantoran, gedung-gedung dan rumah tangga. Mesin pendingin dapat berfungsi sebagai *refrigerator*, *freezer*, *chiller* baik untuk kebutuhan *Air Conditioning* maupun untuk penunjang proses produksi. Gedung-gedung perkantoran dan pusat perbelanjaan yang biasanya merupakan gedung bertingkat yang tidak berjendela sangat memerlukan mesin pendingin untuk mengkondisikan udara dalam gedung.

Komponen utama dari sistem pengkondisian udara terdiri dari 4 komponen yaitu : kompresor, kondensor, katup ekspansi, dan evaporator. Pada system mesin pendingin terdapat energy panas yang terbuang cukup besar. Hal tersebut dapat dimanfaatkan menjadi pemanas air. Elemen pemanas air tersebut berupa *heat exchanger*. *Heat exchanger* tersebut secara skematik diletakkan diantara kompresor dan kondensor. *Heat exchanger* tersebut dialiri oleh refrigerant dalam kondisi *superheated* yang berasal dari keluaran kompresor sehingga dapat dimanfaatkan sebagai pemanas melalui panas yang dipancarkan dari pipa-pipa kapiler pada *heat exchanger*.

Pada sistem mesin pendingin skala kecil, alat ekspansi yang umumnya digunakan adalah pipa kapiler yang merupakan pipa berbentuk koil yang berdiameter sangat kecil, biasanya antara 0,5 sampai 2 mm dan memiliki panjang antara 1 sampai 6 m. Pipa kapiler pada umumnya terbuat dari bahan tembaga. Pipa kapiler adalah pipa tembaga dengan diameter lubang berukuran kecil dan panjang tertentu. Besarnya tekanan pipa kapiler bergantung pada ukuran diameter lubang dan panjang pipa kapiler. Pipa kapiler menghubungkan anatara *condenser* dan *evaporator*. (Erwahyudi dan Abdul Hamid,2017)

Pada penelitian ini akan analisis numerik unjuk kerja pipa kapiler sebagai apk pada sistem acwh menggunakan AC split dengan daya 1 pk. Pipa kapiler yang akan digunakan dalam penelitian ini adalah sebanyak dua pipa kapiler yang bervariasi, pertama pipa kapiler dengan pajang 8 m dengan jumlah lilitan

sebanyak 15 lilitan, kedua menggunakan pipa kapiler dengan panjang 16 m dengan jumlah lilitan sebanyak 30 lilitan.

## 1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, maka perumusan masalah dari penelitian ini adalah bagaimana menganalisis numerik unjuk kerja apk pipa kapiler berbentuk *helical coil* pada sistem ACWH dengan menggunakan software ansys ?

## 1.3 Ruang Lingkup

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

1. Temperatur masuk pipa kapiler 15 lilitan sebesar  $107,75^{\circ}\text{C}$
2. Temperatur masuk pipa kapiler 30 lilitan sebesar  $101^{\circ}\text{C}$
3. Temperatur keluar pipa kapiler 15 lilitan sebesar  $57,38^{\circ}\text{C}$
4. Temperatur keluar pipa kapiler 30 lilitan sebesar  $53,81^{\circ}\text{C}$
5. Menggunakan pipa kapiler dengan diameter luar 6,35 mm dan diameter dalam 5,53 mm dengan panjang 8 m, diameter *helical coil* 150 mm, tinggi *helical coil* 300 mm dengan jumlah lilitan sebanyak 15 lilitan.
6. Menggunakan pipa kapiler dengan diameter luar 6,35 mm dan diameter dalam 5,53 mm dengan panjang 16 m, diameter *helical coil* 150 mm, tinggi *helical coil* 600 mm dengan jumlah lilitan sebanyak 30 lilitan.
7. Pengukuran yang terdapat pada pengujian meliputi pengukuran temperatur air dan temperatur refrigerant dalam sistem AC.
8. Media pemanasan adalah keluaran *refrigerant* kompresor AC.
9. Analisa numerik dilakukan software ansys

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

#### 1.4 Tujuan

Adapun tujuan dari penelitian tugas akhir ini adalah:

1. Untuk menganalisis numerik unjuk kerja (perpindahan panas) pada APK pipa kapiler berbentuk *helical coil* yang dialiri fluida panas pada sistem ACWH dengan menggunakan software ansys.
2. Untuk Membandingkan hasil pengujian eksperimental dengan hasil simulasi untuk mengetahui temperatur masuk, temperatur keluar, dan temperatur air pendingin.

#### 1.5 Manfaat

Adapun manfaat dari penelitian tugas akhir ini adalah:

1. Merupakan salah satu bekal mahasiswa sebelum terjun ke dunia industri, sebagai modal persiapan untuk dapat mengaplikasikan ilmu yang telah diperoleh.
2. Hasil penelitian dapat digunakan sebagai bahan referensi bagi para peneliti lain yang ingin mendalami tentang ACWH (*Air conditioning water heater*).

## BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Laju Perpindahan Panas

#### 2.1.1 Proses Perpindahan panas

Perpindahan panas merupakan ilmu untuk meramalkan perpindahan energi dalam bentuk panas yang terjadi karena adanya perbedaan suhu diantara benda atau material. Dalam proses perpindahan energi tersebut tentu ada kecepatan perpindahan panas yang terjadi, atau yang lebih dikenal dengan laju perpindahan panas. Ilmu perpindahan panas juga merupakan ilmu untuk meramalkan laju perpindahan panas yang terjadi pada kondisi-kondisi tertentu. Perpindahan kalor dapat didefinisikan sebagai suatu proses berpindahnya suatu energi (kalor) dari suatu tempat ke tempat akibat adanya perbedaan temperatur. Ada tiga bentuk mekanisme perpindahan panas yang diketahui, yaitu konduksi, konveksi, dan radiasi. (J.P. Holman, 1994)

#### 2.1.2 Perpindahan Panas Secara Konduksi

Perpindahan kalor secara konduksi adalah proses perpindahan kalor dimana kalor mengalir dari tempat yang bertemperatur tinggi ketempat yang bertemperatur rendah dalam suatu medium (padat, cair atau gas) atau antara medium-medium yang berlainan yang bersinggungan secara langsung sehingga terjadi pertukaran energi dan momentum. (J.P. Holman, 1994)

Laju perpindahan panas yang terjadi pada perpindahan panas konduksi adalah berbanding dengan gradien suhu normal sesuai dengan persamaan berikut :

Persamaan dasar konduksi

$$Q_k = KA \frac{dt}{dx} \quad (2.1)$$

Tabel 2.1. Konduktivitas termal berbagai bahan (W.f. Stoecker, 1996)

Bahan	Suhu, °C	Rapat massa, kg/m <sup>3</sup>	Daya hantar, w/m. °C
Aluminium (murni)	20	2707	204
Tembaga (murni)	20	8954	385
Bata luar (face brick)	20	2000	1,32
Kaca jendela	20	2700	0,78
Air	21	997	0,604
Kayu	23	640	0,147
Udara	22	1,177	0,026

### 2.1.3 Perpindahan Panas Secara Konveksi

Perpindahan kalor secara konveksi yaitu perpindahan panas dari suatu zat ke zat yang lain disertai dengan gerakan partikel atau zat tersebut secara fisik. Panas dipindahkan oleh molekul-molekul yang bergerak (mengalir). Oleh karena adanya dorongan bergerak. Disini kecepatan gerakan (aliran) memegang peranan sangat penting. Konveksi hanya terjadi pada fluida. Besarnya koefisien perpindahan panas bergantung pada: jenis fluida dan keadaan alirannya (tekanan, temperatur, dan kecepatan alirannya). (Thermodinamika Dasar Mesin Konversi Energi, 2015).

Jika suatu plat dibiarkan berada diudara sekitar tanpa ada sumber gerakan dari luar, maka udara itu akan bergerak sebagai akibat terjadinya gradien densitas di dekat plat. Peristiwa ini dinamakan konveksi alamiah atau konveksi bebas, untuk membedakannya dengan konveksi paksa yaitu apabila pada plat udara dihembuskan diatas plat itu dengan kipas. Persamaan laju perpindahan kalor secara konveksi telah diajukan newton pada tahun 1701, bersak dari gejala fisika, yaitu :

$$Q = h_c A (t_s - t_f) \quad (2.2)$$

### 2.1.4 Perpindahan Panas Secara Radiasi

Perpindahan kalor secara radiasi yaitu perpindahan panas tanpa melalui media. Suatu energi dapat dipindahkan dari satu tempat ketempat lainnya (dari benda panas ke benda dingin) dengan pancaran gelombang elektromagnetik dimana tenaga elektromagnetik ini akan berubah menjadi panas jika terserap oleh benda yang lain. Radiasi yang dipancarkan oleh suatu benda karena suhunya dinamakan radiasi termal. (J.P.Holman, 1988).

Pembahasan thermodinamika menunjukkan bahwa radiator (penyinar) ideal, atau benda hitam (*blackbody*), memancarkan energi dengan laju yang sebanding dengan pangkat empat suhu absolut benda itu dan berbanding langsung dengan luas permukaan, jadi :

$$Q_{pancaran} = \sigma AT^4 \quad (2.3)$$

Dimana  $q$  ialah konstanta proporsional dan disebut konstanta stefan boltzman dengan nilai  $5,669 \times 10^{-8} W/m^2.K^4$ . Persamaan diatas disebut hukum stefan boltzman tentang radiasi thermal, dan berlaku hanya untuk benda hitam. Perlu dicatat bahwa persamaan diatas hanya berlaku untuk radiasi thermal saja, radiasi elektromagnetik lain tidaklah sesederhana itu.

## 2.2. Alat Ekspansi

Alat ekspansi berfungsi mengatur jumlah aliran *refrigerant* yang mengalir ke evaporator dengan cara merubah *refrigerant* berbentuk cair dari *condenser* menjadi *refrigerant* bertekanan dan bersuhu rendah dalam wujud kabut. Ada banyak jenis alat ekspansi tiga di antaranya adalah pipa kapiler, *expansion valve* otomatis dan *expansion valve* termostatik. (Erwahyudi dan Abdul Hamid,2017)

### 2.2.1 Pipa Kapiler

Alat ekspansi yang umum digunakan untuk *AC split* adalah pipa kapiler. Pipa kapiler adalah pipa tembaga dengan diameter lubang berukuran kecil dan panjang tertentu. Besarnya tekanan pipa kapiler bergantung pada ukuran diameter lubang dan panjang pipa kapiler. Pipa kapiler menghubungkan antara *condenser* dan *evaporator*. *Refrigerant* yang melalui pipa kapiler akan mulai menguap. Penurunan tekanan pada pipa kapiler terjadi karena dua faktor. Pertama, *refrigerant* harus mampu mengatasi tahanan gesek yang disebabkan oleh dinding tabung, sehingga hal ini menyebabkan beberapa penurunan tekanan.

*Refrigerant* cair yang mengalami evaporasi ke dalam campuran cairan dan uap akan mengurangi tekanannya. Masa jenis uap lebih ringan dari cairan, sehingga masa jenis rata-rata *refrigerant* akan turun saat mengalir di dalam pipa. Kedua, laju aliran masa dan diameter tabung adalah konstan, sehingga kecepatan *refrigerant* meningkat. Peningkatan atau percepatan *refrigerant* akan mengakibatkan penurunan tekanan. Namun, setelah pipa kapiler dengan diameter dan panjang tertentu dipasang dalam sistem pendingin, laju aliran masa yang melaluinya akan berbeda-beda sedemikian rupa sehingga total penurunan tekanan yang melaluinya sesuai dengan perbedaan tekanan antara kondensor dan evaporator. (Azridjal Aziz,2013)



Gambar 2.1 Pipa Kapiler (Erwahyudi dan Abdul Hamid,2017)

Ekadewi, dkk (2002) Meneliti pengaruh pipa kapiler yang dililitkan pada *line suction* terhadap waktu pendinginan dan COP *freezer*. Refrigeran yang digunakan adalah R-406A. Waktu pendinginan didapat dari waktu menurunkan  $1^{\circ}\text{C}$  air garam dari  $6^{\circ}\text{C}$  ÷  $-3^{\circ}\text{C}$ . Dari eksperimen didapat bahwa pipa kapiler yang dililitkan pada *line suction* dapat meningkatkan COP *freezer* sedangkan waktu pendinginan tidak banyak berubah.

Marwan (2005) Melakukan penelitian serupa pada freezer, akan tetapi dengan menggunakan refrigeran R-134A. Hasil yang diperoleh menunjukkan pelilitan pipa kapiler pada *line suction* meningkatkan COP sistem dan waktu yang diperlukan untuk menurunkan  $1^{\circ}\text{C}$  larutan air garam semakin lama untuk temperatur yang makin rendah.

Reyhan Kiay Demak, dkk (2017) melakukan penelitian eksperimen pada perangkat ACWH dengan heat exchanger tipe helical dengan panjang pipa 9 meter. Variasi massa refrigeran 700 gram, 750 gram, 800 gram, dan 850 gram dimana massa refrigeran rekomendasi dari perangkat AC tersebut sebesar 750 gram. Pengujian dilakukan selama 120 menit dengan volume air pada tangki penyimpanan 60 liter. Hasil yang diperoleh bahwa variasi massa refrigeran 800 gram menghasilkan kinerja terbaik dibandingkan dengan massa refrigeran rekomendasi pabrik dan variasi massa refrigerant lainnya untuk COP total, kalor yang dilepaskan pada heat exchanger dan temperatur air panas yang dapat dicapai.

### 2.2.2 *Expansion Valve* Otomatis

Sistem pipa kapiler sesuai digunakan pada sistem dengan beban tetap seperti pada lemari es atau *freezer*. Tetapi dalam beberapa keadaan, untuk beban yang berubah-ubah dengan cepat harus digunakan *expansion valve* yang peka terhadap perubahan beban, antara lain adalah *expansion valve* otomatis yang menjaga agar

tekanan hisap atau tekanan *evaporator* besarnya tetap konstan. (Erwahyudi dan Abdul Hamid,2017)

### 2.2.3 *Expansion Valve* Termostatik

Jika *expansion valve* otomatis bekerja untuk mempertahankan tekanan konstan di evaporator, maka *expansion valve* termostatik adalah *expansion valve* yang mempertahankan besarnya panas lanjut pada uap *refrigerant* di akhir *evaporator* tetap konstan, apapun kondisi beban di *evaporator*. (Erwahyudi dan Abdul Hamid,2017)

## 2.3 Alat Penukar Kalor

### 2.3.1 Pengertian Alat Penukar Kalor

Alat penukar kalor atau *Heat Exchanger* adalah alat yang digunakan untuk menukar atau mengubah temperature fluida atau mengubah fasa fluida dengan cara mempertukarkan kalornya dengan fluida lain. Arti mempertukarkan disini adalah memberikan atau mengambil kalor. Pemahaman teknologi *heat exchanger* membutuhkan pengetahuan dalam bidang ilmu termodinamika, mekanika fluida, *heat transfer*, ilmu material dan ilmu proses produksi.

Peralatan penukar panas adalah suatu peralatan dimana terjadi pertukaran panas dari suatu fluida yang temperaturnya lebih tinggi ke fluida yang temperaturnya lebih rendah. Klasifikasi peralatan penukar panas didasarkan pada:

- a. Proses perpindahan panas
- b. Jumlah fluida yang mengalir
- c. Kompaktidaknyaluas permukaan
- d. Mekanisme perpindahan panas
- e. Konstruksi
- f. Tipe plat
- g. Pengaturan aliran

Pada prinsipnya, energy dalam bentuk panas (biasa disebut kalor) akan berpindah dari suatu media bertemperatur tinggi ke media bertemperatur rendah melalui berbagai bentuk mekanisme (Chandrasa Soekardi, Termodinamika Dasar Mesin Konversnsi Energi, 2015).

(Incroperadan Dewitt, 1981) Efektivitas suatu *heat exchanger* didefenisikan sebagai perbandingan antara perpindahan panas yang diharapkan (nyata) dengan perpindahan panas maksimum yang mungkin terjadi dalam *heat exchanger* tersebut.

Satu bagian dari alat penukar panas adalah permukaan kontak panas. Pada permukaan inilah terjadi perpindahan panas dari satu zat ke zat yang lain. Semakin luas bidang kontak total yang dimiliki alat penukar panas tersebut, maka akan semakin tinggi nilai efisiensi perpindahan panasnya. Komponen tersebut dinamakan sirip.

### 2.3.2 Klasifikasi Alat Penukar Panas (*Heat Exchanger*)

Adapun klasifikasi dari alat penukar panas yaitu:

#### 1. Kondensor

Condenser merupakan alat penukar panas yang digunakan untuk mendinginkan fluida sampai terjadi perubahan fase uap menjadi fase cair seperti pada Gambar 2.2. Media pendingin yang dipakai biasanya air sungai atau air laut dengan suhu udara luar. Gambar kondensor dapat dilihat pada gambar dibawah ini:



Gambar 2.2. Kondensor (Sitompul,1997)

#### 2. Chiller

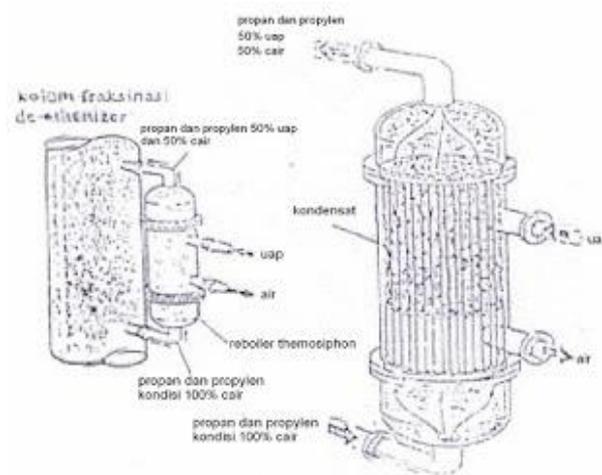
Chiller merupakan alat penukar panas yang digunakan untuk mendinginkan (menurunkan suhu) cairan atau gas pada temperatur yang sangat rendah seperti pada Gambar 2.3. Temperatur pendingin di dalam chiller jauh lebih rendah dibandingkan dengan pendinginan yang dilakukan oleh pendingin air. Media pendingin yang digunakan antara lain freon. Gambar chiller dapat dilihat pada gambar di bawah ini:



Gambar 2.3. *Chiller* (Sitompul,1997)

### 3. Reboiler

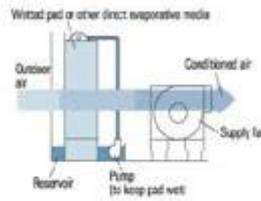
Reboiler merupakan alat penukar panas yang bertugas untuk mendidihkan kembali serta menguapkan sebagian cairan yang diproses seperti pada Gambar 2.4. Media panas yang digunakan antara lain uap (*steam*) dan minyak (*oil*). Alat penukar panas ini biasa digunakan pada peralatan distilasi. Gambar reboiler dapat dilihat pada gambar dibawah ini:



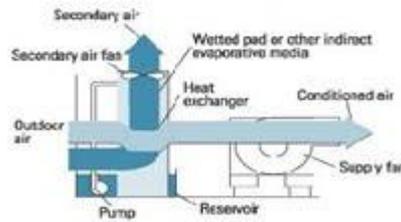
Gambar 2.4. *Reboiler* (J.P.Holman,1994)

### 4. Cooler

Cooler merupakan alat penukar panas yang digunakan untuk mendinginkan (menurunkan suhu) cairan atau gas dengan menggunakan air sebagai media pendingin seperti pada Gambar 2.5. Dengan perkembangan teknologi saat ini, media pendingin cooler menggunakan udara dengan bantuan kipas (fan). Gambar dari cooler dapat dilihat pada gambar dibawah ini :



*Gambar Direct Evaporative cooler*



*Gambar Indirect evaporative Cooler*

Gambar 2.5. Cooler(Sitompul,1997)

## 5. Heat Exchanger

Merupakan alat penukar kalor yang bertujuan memanfaatkan panas suatu fluida untuk pemanasan suatu aliran fluida yang lain seperti pada Gambar 2.6. Dalam hal ini terjadi 2 fungsi sekaligus, yaitu memanaskan fluida yang dingin, mendinginkan fluida yang panas. Gambar heat exchanger dapat dilihat pada gambar dibawah ini:



Gambar 2.6.Shell and Tube Heat Exchanger(J.P.Holman,1994)

## 6. Heater

Merupakan alat penukar panas yang bertujuan untuk memanaskan (menaikkan suhu) suatu fluida proses dengan menggunakan media pemanas seperti pada Gambar 2.7. Media pemanas yang biasa digunakan antara lain uap atau fluida panas lain. Gambar dari heater dapat dilihat pada gambar dibawah ini:



Gambar 2.7 Heater (Sitompul,1997)

#### 7. *Thermosiphon dan Forced Circulation Reboiler*

*Thermosiphon reboiler* merupakan reboiler dimana terjadi sirkulasi fluida yang akan dididihkan dan diuapkan dengan proses sirkulasi alamiah seperti pada Gambar 2.8. Sedangkan *Forced Circulation Reboiler* adalah reboiler yang sirkulasi fluida terjadi akibat adanya pompa sirkulasi sehingga menghasilkan sirkulasi paksaan (*forced circulation*). Gambar dari *thermosiphon* dapat dilihat pada gambar dibawah ini:



Gambar 2.8. *Thermosiphon* (J.P.Holman,1994)

#### 8. *Steam Generator*

Alat ini sering disebut sebagai ketel uap dimana terjadi pembentukan uap dalam unit pembangkit seperti pada Gambar 2.9. Panas hasil pembakaran bahan bakar dalam ketel dipindahkan dengan cara konveksi, konduksi dan radiasi. Berdasarkan sumber panasnya, *steam generator* dibagi 2 macam, yaitu:

- *Steam generator* tipe pipa air  
Tipe ini, fluida yang berada di dalam pipa adalah air ketel, sedangkan pemanas (berupa nyala api dan gas asap) berada di luar pipa. Hasilnya berupa uap dengan tekanan tinggi.
- *Steam generator* tipe pipa api  
Tipe ini, fluida yang berada di dalam pipa adalah nyala api, sedangkan air yang akan diuapkan berada di luar pipa dalam bejana khusus pemanas (berupa nyala api dan gas asap) berada di luar pipa. Gambar dari steam generator dapat dilihat pada gambar dibawah ini:



Gambar 2.9. *Steam Generator* (Sitompul,1997)

#### 9. *WHB (Waste Heat Boiler)*

WHB adalah alat penukar panas sejenis dengan ketel uap tetapi memiliki perbedaan pada sumber panas yang digunakan seperti pada Gambar 2.10. Sumber panas pada ketel uap yaitu hasil pembakaran bahan bakar sedangkan sumber panas pada WHB yaitu memanfaatkan panas dari gas asap pembakaran atau cairan panas yang diperoleh dari reaksi kimia. Gambar waste heat boiler dapat dilihat pada gambar dibawah ini:



Gambar 2.10. *WHB (Waste Heat Boiler)* (Sitompul,1997)

#### 10. *Superheater*

Alat penukar panas jenis ini digunakan untuk mengubah uap basah (*saturated steam*) pada *steam generator* (ketel uap) menjadi uap kering (*superheated steam*) seperti pada Gambar 2.11. Dapat dilihat pada gambar dibawah ini:



Gambar 2.11. *Superheater* (Chengel, Yunus 202)

#### 11. *Evaporator*

*Evaporator* adalah alat penukar panas yang digunakan untuk menguapkan cairan yang ada pada larutan sehingga diperoleh larutan yang lebih pekat (*mother liquor*) seperti pada Gambar 2.12. Dapat dilihat pada gambar dibawah ini:



Gambar 2.12. *Evaporator* (Sitompul, 1997)

#### 12. *Vaporizer*

Alat penukar panas ini digunakan untuk menguapkan suatu cairan sehingga fasenya berubah dari cair menjadi gas seperti pada Gambar 2.13. Dapat dilihat pada gambar dibawah ini:



Gambar 2.13. *Vaporizer* (J.P.Holman,1994)

### 13. Ekonomizer

Ekonomizer digunakan untuk menaikkan suhu air sebelum air masuk ke dalam ketel uap seperti pada Gambar 2.1. Tujuannya untuk meringankan beban ketel. Gambar ekonomizer dapat dilihat pada gambar dibawah ini:



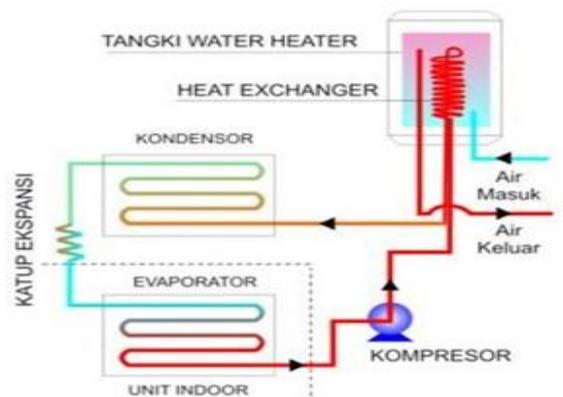
Gambar 2.14. *Economizer* (Sitompul,1997)

### 2.4. ACWH (*Air Conditioning Water Heater*)

ACWH adalah sistem yang memanfaatkan panas buang dari sistem AC untuk memanaskan air. Sebagian kalor dari refrigerant yang sudah dikompresikan oleh kompresor digunakan untuk memanaskan air dengan bantuan alat penukar kalor. Penukar kalor inilah yang sangat menentukan kinerja dari ACWH. Sistem pemanas air pada ACWH merupakan perangkat *heat exchanger* yang bekerja dengan cara memindahkan kalor dari refrigeran bertemperatur tinggi yang keluar dari kompresor ke media air yang akan di panaskan, desain dan dimensi dari *heat exchanger* tersebut bervariasi dengan kinerja yang berbeda beda. Reyhan Kiay Demak, dkk (2017)

### 2.4.1 Prinsip Kerja Air Conditioning Water Heater

Air conditioning water heater adalah pemanas air yang memanfaatkan suhu *freon* yang sangat tinggi pada saat keluar dari kompresor. Pada Ac biasa, suhu tersebut akan diturunkan lagi (dibuang) oleh kondensator dengan cara ditiup dengan kipas. Sebelum masuk kondensator, aliran panas *freon* tersebut dibelokkan kedalam tangki yang berisi air dingin. Didalam tangki ada pipa spiral yang disebut *heat exchanger*. Sehingga terjadi kontak antara *freon* panas dan air dingin pada *heat exchanger*. Air yang semula dingin perlahan memanas sesuai dengan suhu *freon*. Sebaliknya semula *freon* yang sangat panas akan sedikit menurun temperaturnya sebagai hasil kontak dengan air dingin tersebut. Gambar dari prinsip kerja ACWH dapat dilihat pada gambar dibawah ini :



Gambar 2.15. Prinsip Kerja Ac Water Heater (Stoecker,1992)

### 2.5 Aliran Fluida

Menurut hukum newton sebuah aliran fluida jika dilihat dari pergerakannya dapat dibedakan menjadi tiga aliran yaitu aliran laminar, aliran turbulen dan transisi. Aliran laminar adalah sebuah aliran dengan fluida yang bergerak dalam lapisan-lapisan atau lamina-lamina dengan satu lapisan meluncur secara lancar. Dalam aliran laminar ini viskositas berfungsi untuk meredam kecenderungan terjadinya gerakan relatif antara lapisan. Sedangkan aliran turbulen adalah aliran dimana pergerakan dari partikel-partikel fluida sangat tidak menentu karena mengalami pencampuran serta putaran partikel antara lapisan yang mengakibatkan saling tukar momentum dari satu bagian fluida ke bagian fluida

yang lain dalam skala yang besar. Sedangkan aliran transisi merupakan aliran peralihan dari aliran laminar ke aliran turbulen. (Aznam Barun dan Eko Rukmana, 2010).

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.

### 2.5.1 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

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

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

### 2.5.2 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 :

$$\Delta P = \rho \cdot g \cdot \Delta h \quad (2.8)$$

### 2.6 Pengertian Simulasi

Simulasi merupakan suatu teknik meniru operasi-operasi atau proses-proses yang terjadi dalam suatu sistem dengan bantuan perangkat komputer dan dilandasi oleh beberapa asumsi tertentu sehingga sistem tersebut bisa dipelajari secara ilmiah. Dalam simulasi digunakan komputer untuk mempelajari sistem secara numerik, dimana dilakukan pengumpulan data untuk melakukan estimasi statistik untuk mendapatkan karakteristik asli dari sistem. Simulasi merupakan alat yang tepat untuk digunakan terutama jika diharuskan untuk melakukan eksperimen dalam rangka mencari komentar terbaik dari komponen-komponen sistem. Hal ini dikarenakan sangat mahal dan memerlukan waktu yang lama jika eksperimen dicoba secara riil. Dengan melakukan studi simulasi maka dalam waktu singkat dapat ditentukan keputusan yang tepat serta dengan biaya yang tidak terlalu besar karena semuanya cukup dilakukan dengan komputer. Pendekatan simulasi diawali dengan pembangunan model sistem nyata.

Model ini untuk tujuan memahami tingkah laku sistem atau untuk menyusun strategi (dalam suatu batas yang ditentukan oleh sebuah atau beberapa kriteria) sehubungan dengan operasi sistem tersebut. Metode simulasi dapat menjelaskan tingkah laku dari sebuah sistem dalam beberapa waktu dengan mengamati tingkah laku dari sebuah model matematika yang dibuat sesuai dengan karakter sistem yang asli sehingga seorang analis bisa mengambil

kesimpulan tentang tingkah laku dari sistem dunia nyata. (sumber : STIKOMP Digital Library)

#### 2.6.1 Pengertian Numerik

Numerik atau biasa dikenal dengan metode numerik adalah teknik-teknik yang digunakan untuk memformulasikan masalah matematis agar dapat dipecahkan dengan operasi perhitungan.

#### 2.6.2 Pengertian Simulasi Numerik

Simulasi numerik adalah simulasi yang digunakan dengan menggunakan suatu teknik untuk melakukan percobaan, yang melibatkan variabel-variabel fungsi matematika dan logika untuk menjelaskan tingkah laku dan struktur suatu sistem nyata kompleks. Simulasi numerik dapat digunakan untuk merancang, menganalisa, dan menilai suatu sistem.

#### 2.6.3 Klasifikasi Simulasi

Klasifikasi simulasi dalam tiga dimensi :

1. Model simulasi statik vs dinamik model statik : representasi sistem pada waktu tertentu. Waktu tidak berperan disini. Contoh : model Monte Carlo. Model dinamik : sistem dalam perubahannya terhadap waktu. Contoh : sistem conveyor dipabrik.
2. Model simulasi deterministik vs stokastik model deterministik : tidak memiliki komponen probabilistik (random). Model stokastik : memiliki komponen input random, dan menghasilkan output yang random pula.
3. Model simulasi kontinu vs diskrit model kontinu : status berubah secara kontinu terhadap waktu. Contoh : gerakan pesawat terbang. Model diskrit : status berubah secara instan pada titik-titik waktu yang terpisah. Contoh : jumlah customer di bank.
4. Model simulasi sudu kincir angin pada model naca tertentu memiliki input model naca yang diinginkan, misal model naca 2410. Contoh : kincir angin pada PLTA. (Sumber : Artificial intelligence and Multimedia.pdf)

#### 2.6.4 Terapan Simulasi

Contoh-contoh area aplikasi simulasi :

1. Sistem antrian.
2. Perancangan dan analisis sistem manufacturing.

3. Evaluasi persyaratan hardware dan software untuk sistem komputer.
4. Evaluasi sistem senjata atau taktik militer yang baru.
5. Perancangan sistem komunikasi dan message protocol.
6. Perancangan dan pengoperasian fasilitas transportasi, mis, jalan tol, bandara, rel kereta, atau pelabuhan.
7. Analisis sistem keuangan atau ekonomi. (Sumber : Simulasi\_07.ppt)

## 2.7 Komputasi Fluida Dinamik

CFD adalah suatu teknik menganalisis sistem yang melibatkan aliran fluida, perpindahan panas ataupun reaksi kimia menggunakan simulasi komputer. Ada tiga 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

$$\begin{aligned} \frac{\partial(Er)}{\partial t} + \frac{\partial(uE)}{\partial x} + \frac{\partial(vEr)}{\partial y} A + \frac{\partial(wEr)}{\partial z} = - \frac{\partial(...u)}{\partial x} - \frac{\partial(...w)}{\partial z} - \\ \frac{1}{Re Pr} \left( \frac{\partial q_x}{\partial x} + \frac{\partial q_y}{\partial y} + \frac{\partial q_z}{\partial z} \right) + \frac{1}{Re} \left( \frac{\partial}{\partial x} (u\tau_{xx} + v\tau_{xy} + w\tau_{yz}) + \frac{\partial}{\partial y} (u\tau_{xy} + \right. \\ \left. v\tau_{yy} + w\tau_{yz}) + \frac{\partial}{\partial z} (u\tau_{xz} + v\tau_{yz} + w\tau_{zz}) \right) \end{aligned} \quad (2.11)$$

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.

#### 2.7.1 *Meshing*

Proses *meshing* bertujuan untuk membagi *solution domain* menjadi bagian-bagian yang lebih kecil lagi yang disebut dengan *cell*. Keakuratan dan perhitungan tergantung dari dan ukuran serta struktur *cell*. Proses perhitungan yaitu melalui iterasi diantara *cell-cell* dalam *mesh*. Jumlah pembagian mesh ini nantinya akan menentukan keakuratan dari hasil komputasi numerik yang dilakukan. Semakin halus hasil *meshing* maka hasil komputasi numerik akan semakin akurat, namun waktu proses komputasi numerik akan menjadi lebih lama. *Software Ansys Fluent flow* akan menyeimbangkan gaya dan aliran-aliran massa pada setiap *cell* hingga *error* dapat diprediksi dan diperkecil. Kualitas *meshing* dapat diukur menggunakan *mesh metric*. Skala kualitas *meshing* untuk *mesh metric skewness* ditunjukkan pada Tabel 2.2

Tabel 2.2 Skala Kulit *Meshing*

<i>Value of Skewness</i>	0 – 0,25	0,25 – 0,5	0,5 -0,8	0,8 – 0,95	0,95 – 0,98	0,98 – 1,00
<i>Quality</i>	<i>Excellent</i>	<i>Very Good</i>	<i>Good</i>	<i>Acceptable</i>	<i>Bad</i>	<i>Unacceptable</i>

### 2.7.2 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 Pipa Kapiler.

#### 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:

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

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

Sehingga persamaan diubah menjadi:

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

#### 2. Persamaan momentum

Hukum Newton Kedua menyebutkan bahwa gerakan pada sistem merupakan laju perubahan momentum linear pada sistem sama dengan jumlah seluruh gaya luar yang bekerja pada sistem. *Incompressible Navier-Stoke Equation* merupakan persamaan momentum yang digunakan dalam sistem CFD. Persamaan *Navier-Stoke* untuk fluida *incompressible* dapat ditulis sebagai berikut:

$$\rho = \left( \frac{\delta u}{\delta t} + u \frac{\delta u}{\delta x} + v \frac{\delta u}{\delta y} \right) = \rho g x - \frac{\delta p}{\delta x} + \mu \left( \frac{\delta^2 u}{\delta x^2} + \frac{\delta^2 u}{\delta y^2} \right) \quad (2.14)$$

$$\rho = \left( \frac{\delta v}{\delta t} + u \frac{\delta v}{\delta x} + v \frac{\delta v}{\delta y} \right) = \rho g y - \frac{\delta p}{\delta x} + \mu \left( \frac{\delta^2 u}{\delta x^2} + \frac{\delta^2 u}{\delta y^2} \right)$$

### 3. Turbulensi

Turbulensi merupakan fenomena aliran fluida yang sering ditemukan dalam berbagai aplikasi industri. Kelebihan dan kelemahan model turbulensi CFD dapat dilihat pada Tabel 2.3.

Tabel 2.3. Kelebihan dan Kelemahan Model Turbulensi CFD

Model Turbulensi	Kelebihan	Kelemahan
<i>Realizable k-<math>\epsilon</math> model</i>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Lebih akurat untuk memprediksi laju penyebaran fluida</li> <li>2. bagus untuk aliran yang melibatkan putaran, lapisan batas gradien tekanan yang besar, separasi, dan resirkulasi.</li> </ol>	Terbentuknya viskositas turbulen non-fisik pada kasus domain dimana perhitungan mengandung zona fluida yang diam dan berputar.
<i>k-<math>\omega</math> model</i>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Tidak membutuhkan fungsi dinding</li> <li>2. Berfungsi baik pada aliran terpisah.</li> </ol>	Butuh <i>mesh</i> yang baik pada daerah dekat dinding.
<i>Shear Stress Transport (SST) model</i>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Menggunakan <i>k-<math>\epsilon</math> model</i> pada aliran bebas dan <i>k-<math>\omega</math></i> pada daerah dekat dinding</li> <li>2. Berfungsi sangat baik pada tekanan terpisah</li> <li>3. Banyak disarankan untuk menggantikan <i>k-<math>\epsilon</math> model</i>.</li> </ol>	Butuh <i>mesh</i> yang baik pada daerah yang dekat dengan dinding.

## BAB 3 METODE PENELITIAN

### 3.1 Tempat dan Waktu

#### 3.1.1 Tempat

Tempat pelaksanaan penelitian ini dilakukan di Laboratorium Komputer Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara Jalan Kapten Muchtar Basri No.3 Medan.

#### 3.1.2 Waktu

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

Tabel 3.1 jadwal dan kegiatan saat melakukan penelitian

No	Kegiatan	Waktu (Bulan)					
		1	2	3	4	5	6
1.	Penyediaan alat dan bahan						
2.	Studi literatur						
3.	Penulisan proposal						
4.	Desain helical coil						
5.	Pengujian dan pengambilan data						
6.	Analisa data						
7.	Penulisan laporan akhir						
8.	Seminar hasil dan sidang sarjana						

### 3.2 Alat dan Bahan

Adapun alat yang digunakan sebagai berikut:

#### 1. Laptop

Spesifikasi laptop yang digunakan dalam analisa numerik ini adalah sebagai berikut :

- a. Prosesor : AMDA A8-6410 processor (up to 2.40 GHz, 2M chace)
- b. Ram : 4 GB DDR3

- c. Operasi System : Windows 10 pre-sales request available



Gambar 3.1. laptop yang digunakan

Bahan yang digunakan :

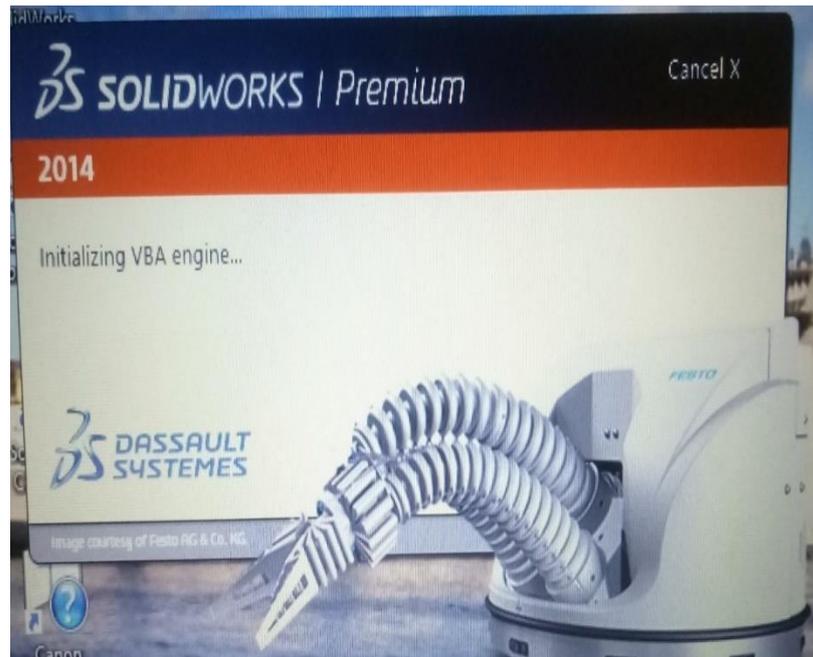
## 2. *Software Solidworks*

*Software solidworks* yang sudah terinstal pada laptop adalah solidworks 2014 dengan persyaratan sistem pada komputer.

### a. Perangkat lunak *solidworks* 2014

Program solidworks merupakan program komputer yang berfungsi untuk melakukan desain dan analisa kekuatan. Program tersebut dapat membantu kita dalam membuat desain. Dengan demikian, selain biaya yang dikeluarkan berkurang, waktu market dari benda pun dapat dipercepat. *Solidworks* dibuat dengan berdasarkan pada teori yang terdapat dalam perumusan metode elemen hingga. Parameter mengacu pada kendala yang nilainya menentukan bentuk atau geometri dari model atau perakitan. Parameter dapat berupa parameter numerik, seperti panjang garis atau diameter lingkaran, atau parameter geometris, tangen paralel, paralel konsentris, horizontal atau vertikal parameter (Prabowo,2009).

Dibawah ini adalah contoh gambar tampilan dari *Solidworks* 2014



Gambar 3.2. Perangkat lunak *solidworks* 2014

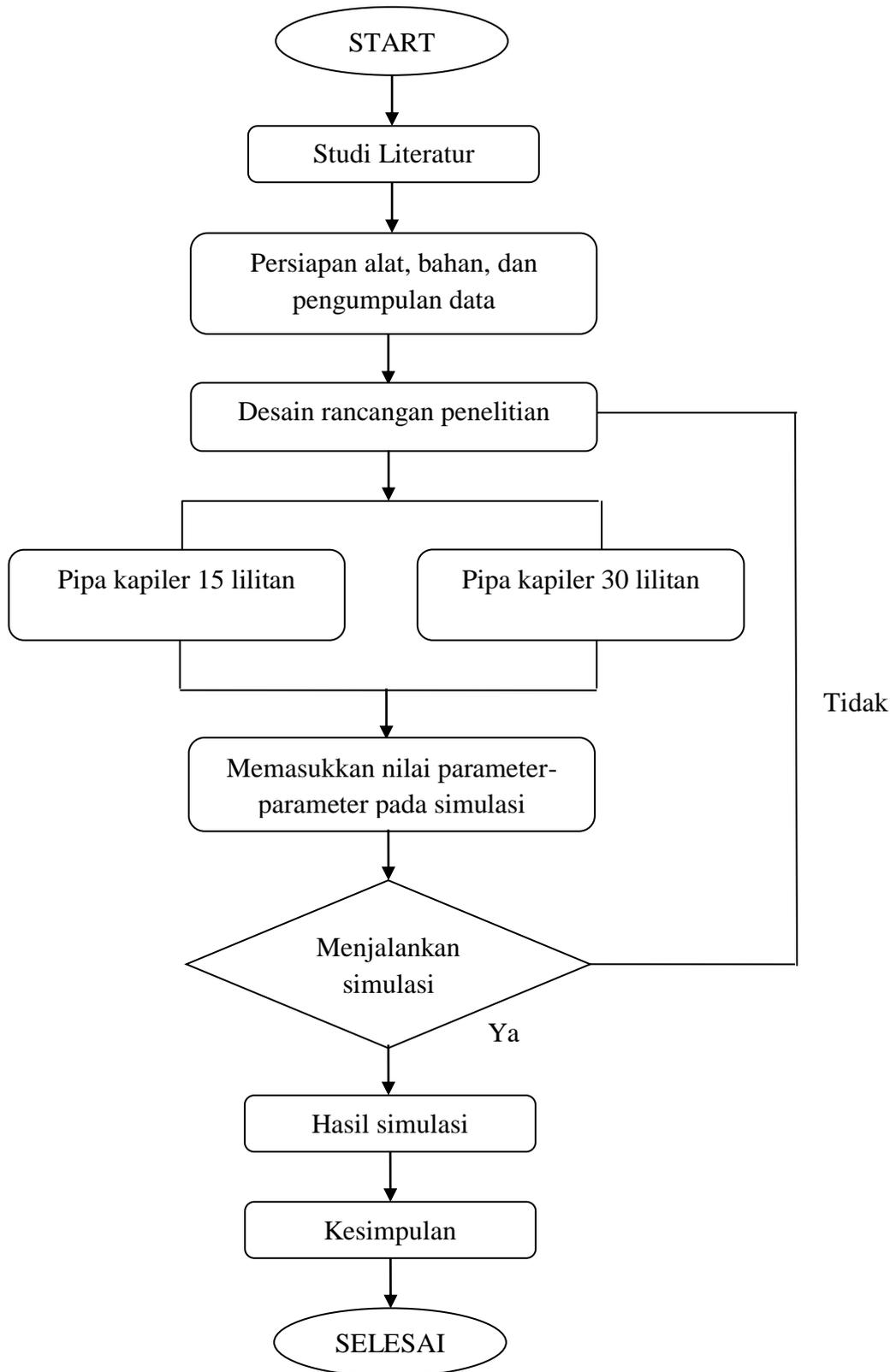
### 3. Software ansys



Gambar 3.3 Software ansys

Software ansys digunakan untuk mensimulasikan alat penukar kalor pada sistem ACWH yang berbentuk *helical coil*.

### 3.3 Diagram Alir Penelitian

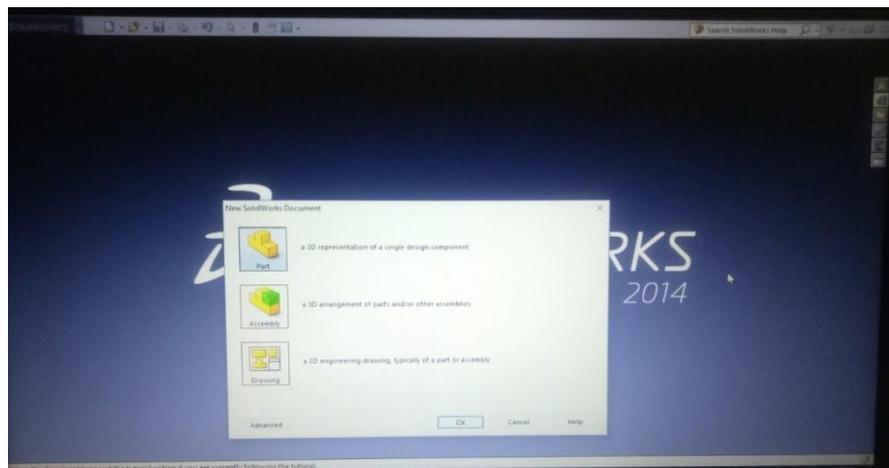


Gambar 3.4 Diagram alir penelitian

### 3.4 Perancangan Pipa Kapiler Dengan *Software Solidwork 2014*

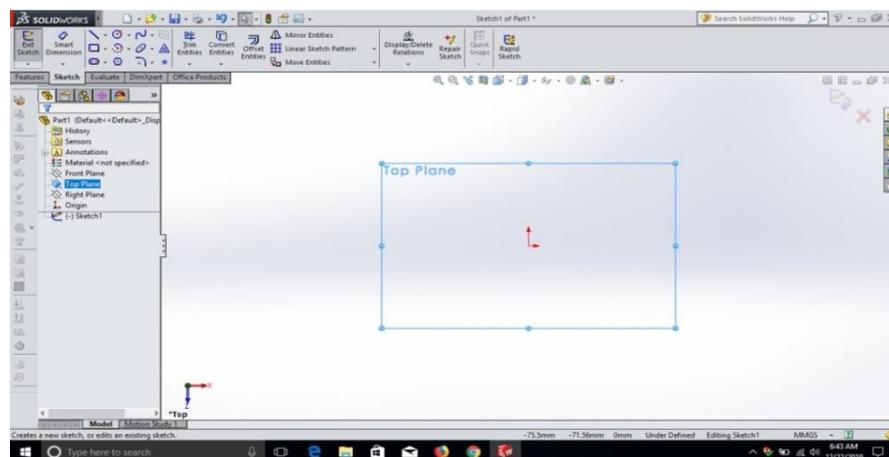
Model pipa kapiler yang akan dirancang adalah pipa kapiler dengan panjang 8 m dengan jumlah lilitan sebanyak 15 lilitan dan pipa kapiler dengan panjang 16 m dengan jumlah lilitan sebanyak 30 lilitan. Berikut adalah langkah-langkah perancangan model dengan menggunakan *software solidworks 2014*.

1. Nyalakan komputer yang akan digunakan untuk merancang desain pipa yang akan dibuat.
2. Buka *software solidworks 2014* pada komputer.
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”.

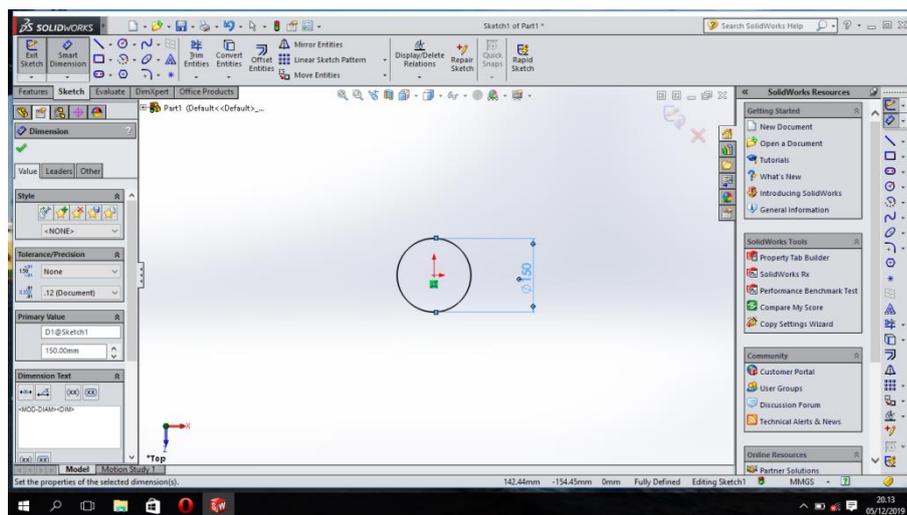


Gambar3.6 Menentukanplane perancangan

5. Membuat desain pipa kapiler 15 lilitan

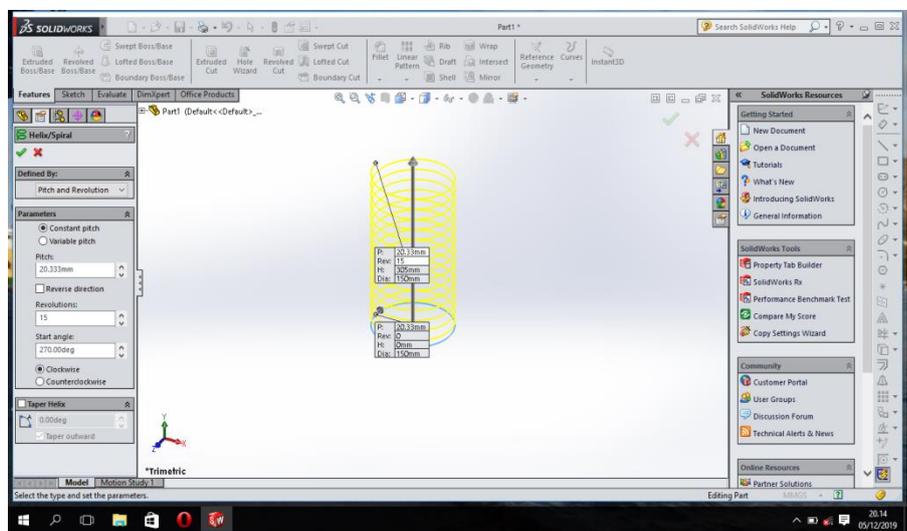
Pipa kapiler yang akan di rencanakan memiliki ukuran sebagai berikut :

- Diameter *helical coil* : 150 mm
- Diameter luar : 6,35 mm
- Diameter dalam : 5,53 mm
- Tinggi *helical coil* : 300 mm
- Panjang pipa : 8 m
- Jumlah lilitan : 15 lilitan
- Menggunakan pipa berbahan tembaga



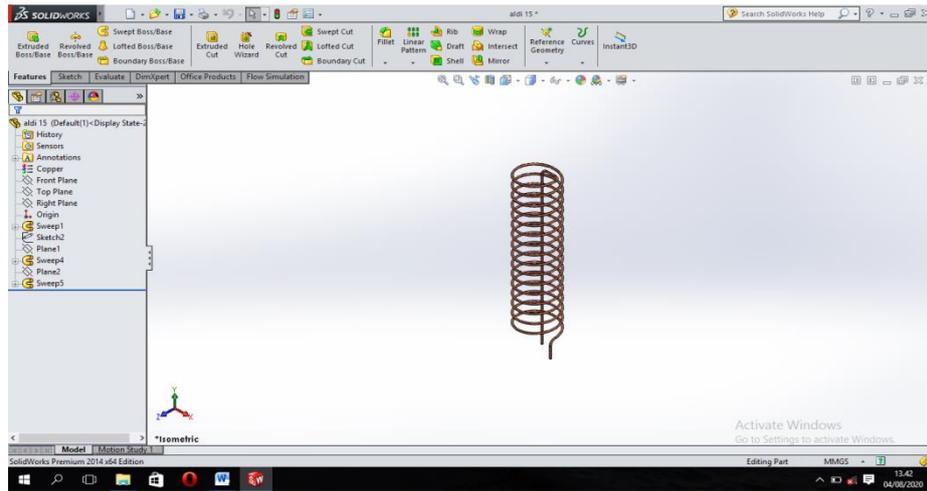
Gambar 3.7 Menentukan ukuran diameter helical coil

6. Setelah membuat ukuran diameter, kemudian pilih “Curves”



Gambar 3.8 Desain helical coil setelah di “curves”

7. Setelah melakukan “curves” kemudian pilih “swept boss/base”.

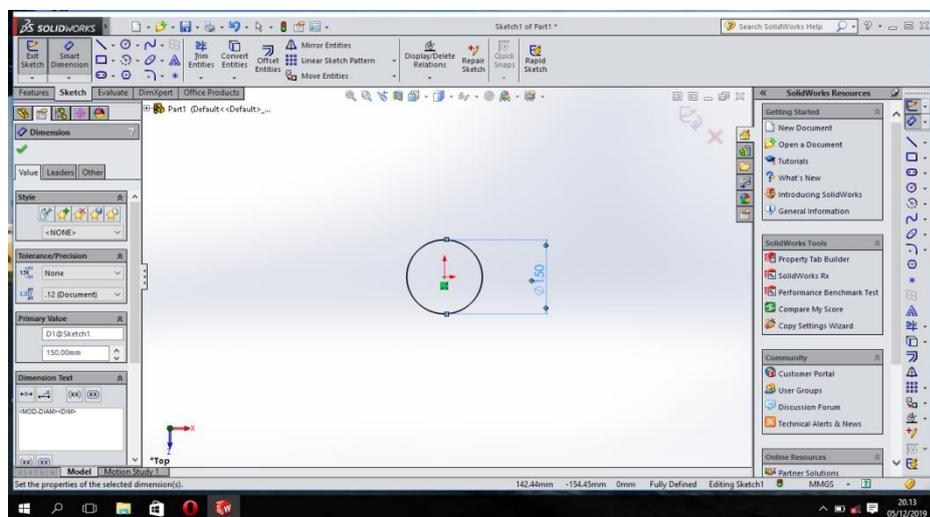


Gambar 3.9 Desain helical coil setelah di “swept boss/base”.

8. Membuat desain pipa kapiler 30 lilitan

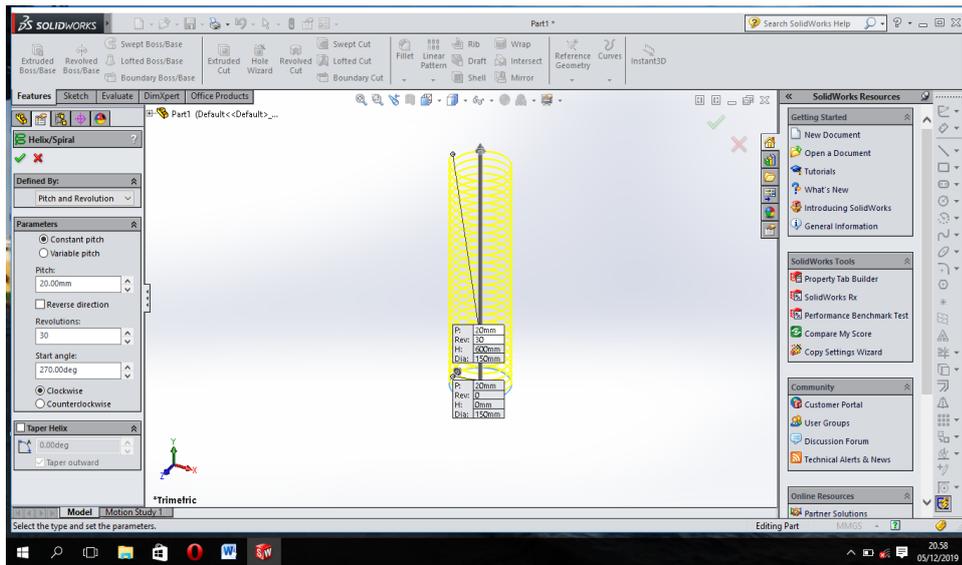
Pipa kapiler yang akan di rencanakan memiliki ukuran sebagai berikut :

- Diameter helical coil : 150 mm
- Diameter luar : 6,35 mm
- Diameter dalam : 5,53 mm
- Tinggi helical coil : 600 mm
- Panjang pipa : 16 m
- Jumlah lilitan : 30 lilitan
- Menggunakan pipa berbahan tembaga



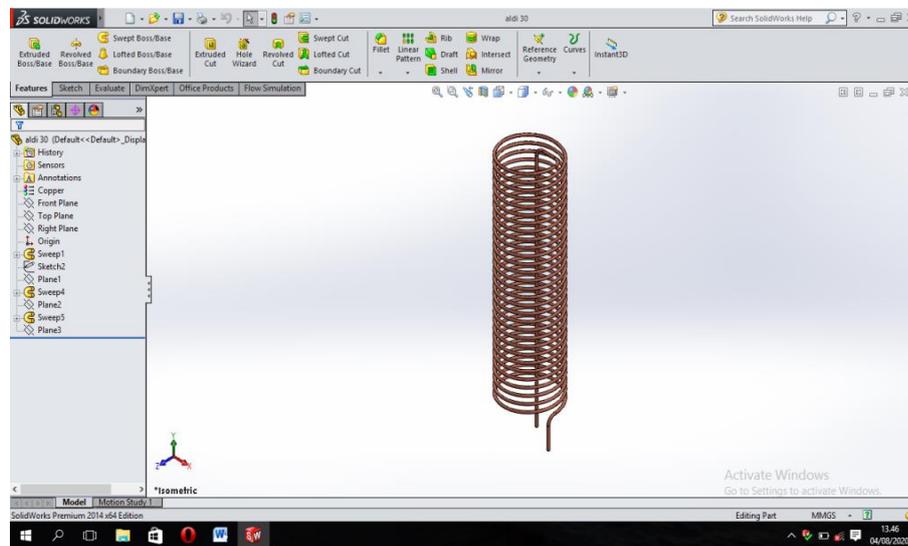
Gambar 3.10 Menentukan ukuran diameter helical coil

9. Setelah membuat ukuran diameter helical coil kemudian pilih “*curves*”



Gambar 3.11 Desain helical coil setelah di “*curves*”

10. Setelah melakukan “*curves*” lalu pilih “*swept boss/base*”

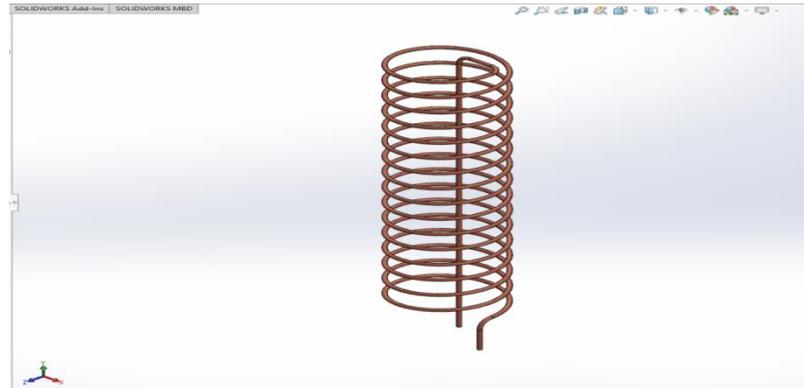


Gambar 3.12 Desain helical coil setelah di “*swept boss/base*”

### 3.5 Prosedur Penelitian

Adapun langkah-langkah dalam melakukan simulasi helical coil 15 lilitan adalah sebagai berikut:

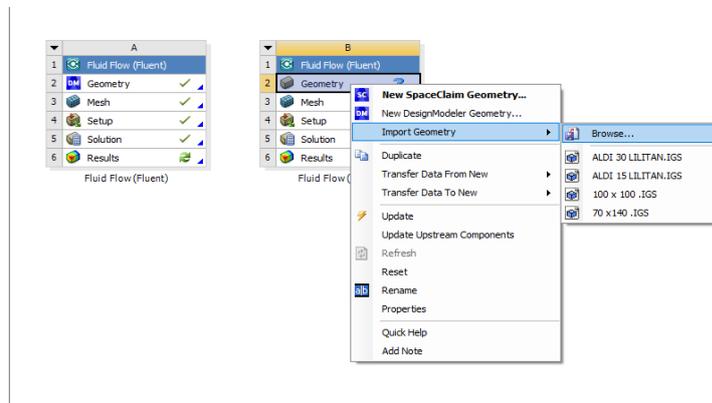
1. Membuat desain geometri pipa kapiler sebanyak 15 lilitan di software solidwork.



Gambar 3.13 Desain helical coil 15 lilitan

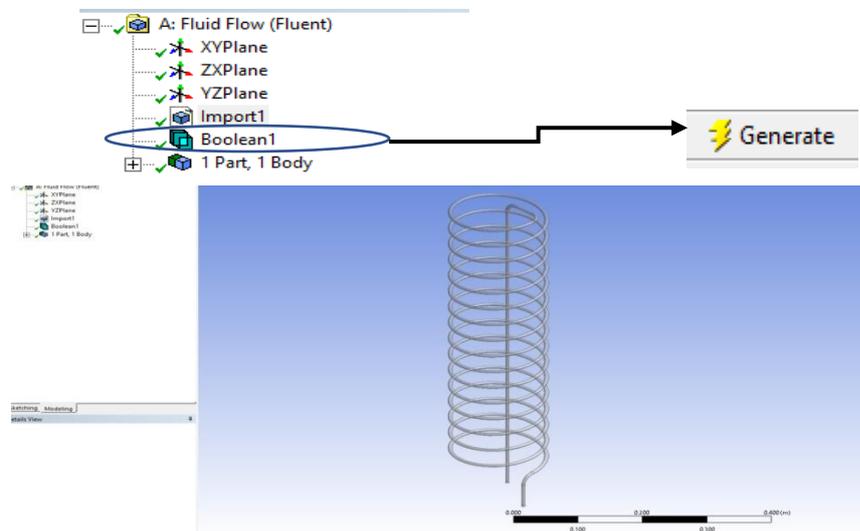
setelah membuat geometri di solidwork, maka file disimpan dalam bentuk IGES

2. Import data ke Ansys CFD, Setelah file disimpan dalam bentuk IGES, lalu import data ke ansys CFD.



Gambar 3.14 Mengimport data ke ansys CFD

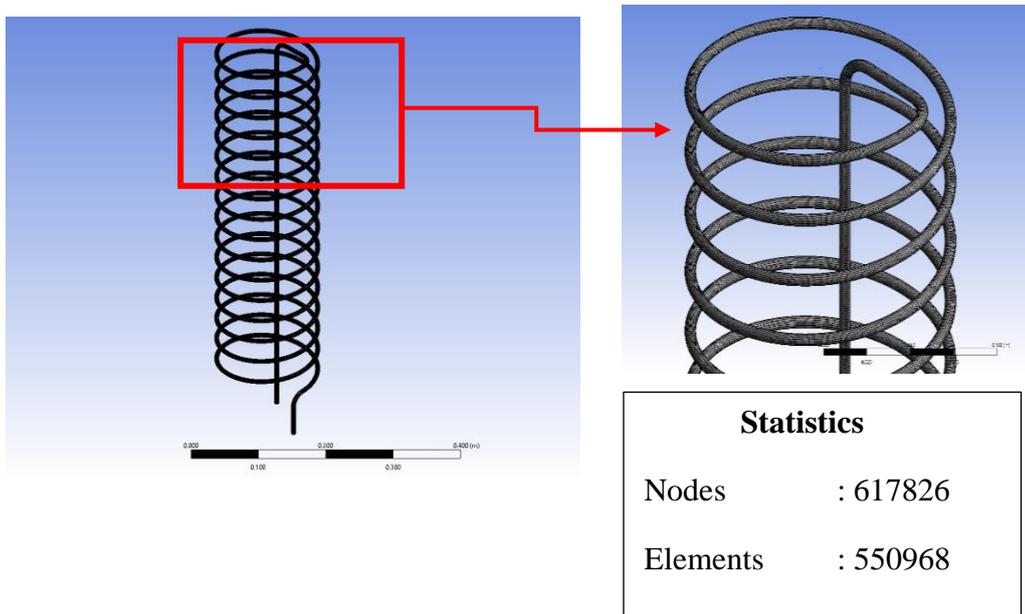
Setelah data diimport, maka tekan generate untuk menginput data import ke dalam ansys.



Gambar 3.15 Tampilan gambar setelah di import

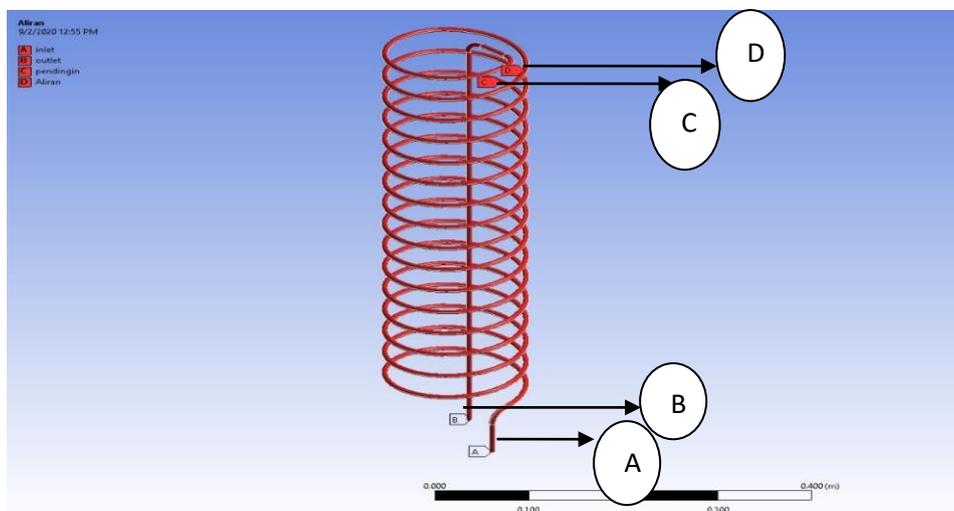
3. Mesh, setelah gambar di import lalu di mesh

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. Jenis mesh menggunakan model hexahedron.



Gambar 3.16 Tampilan gambar setelah di mesh

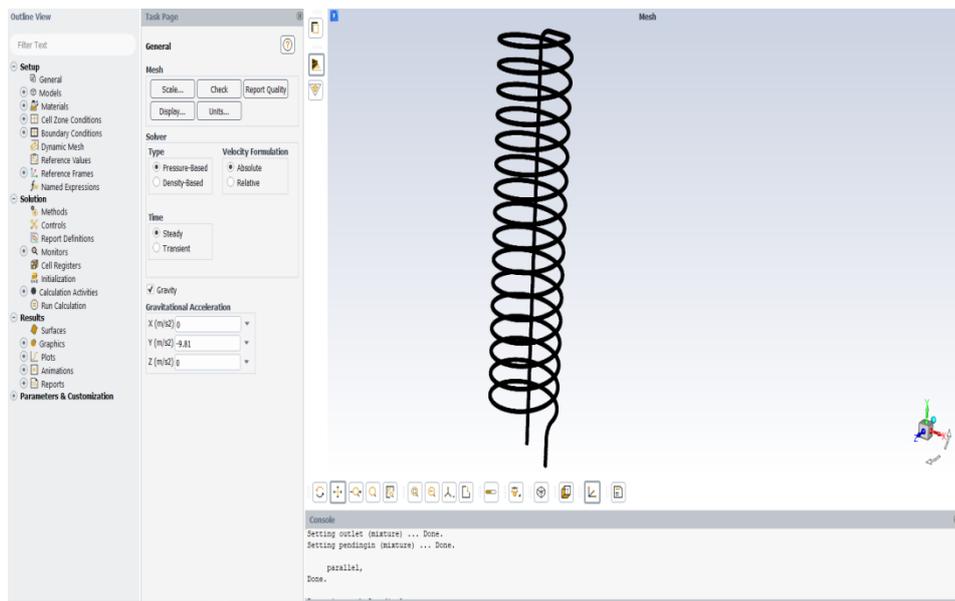
4. Menentukan kondisi-kondisi batas simulasi



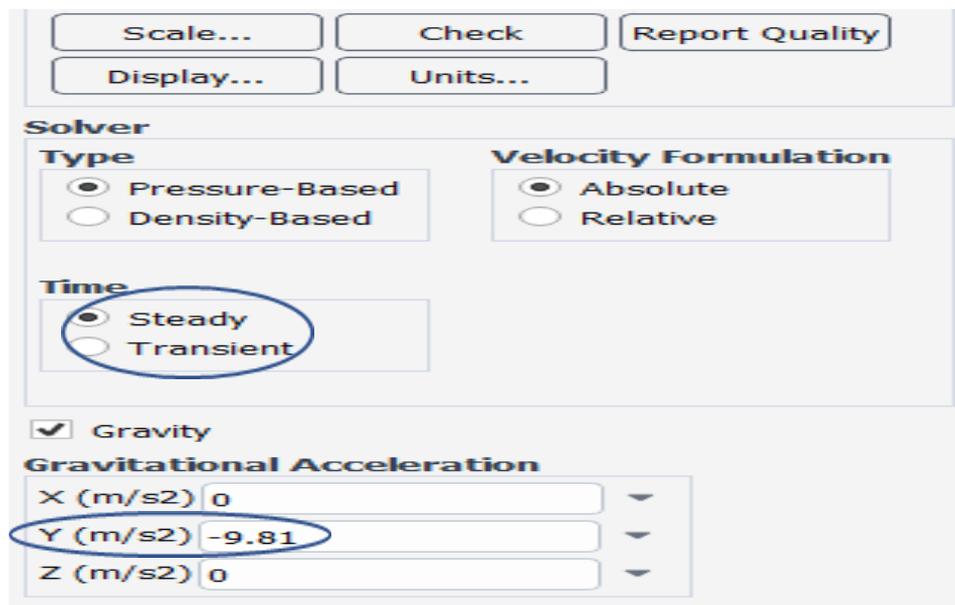
Gambar 3.17 Menentukan kondisi batas simulasi

- A. Inlet (Aliran refrigeran masuk APK)
- B. Outlet (Aliran refrigeran keluar APK)
- C. Kondisi batas pendingin (air pendingin sesuai dengan hasil eksperimen) diasumsikan permukaan pipa bagian luar bersinggungan dengan air pendingin.
- D. Jalur aliran fluida (refrigeran) sepanjang pipa.

5. Selanjutnya langkah Setup



Gambar 3.18 Tahap setup

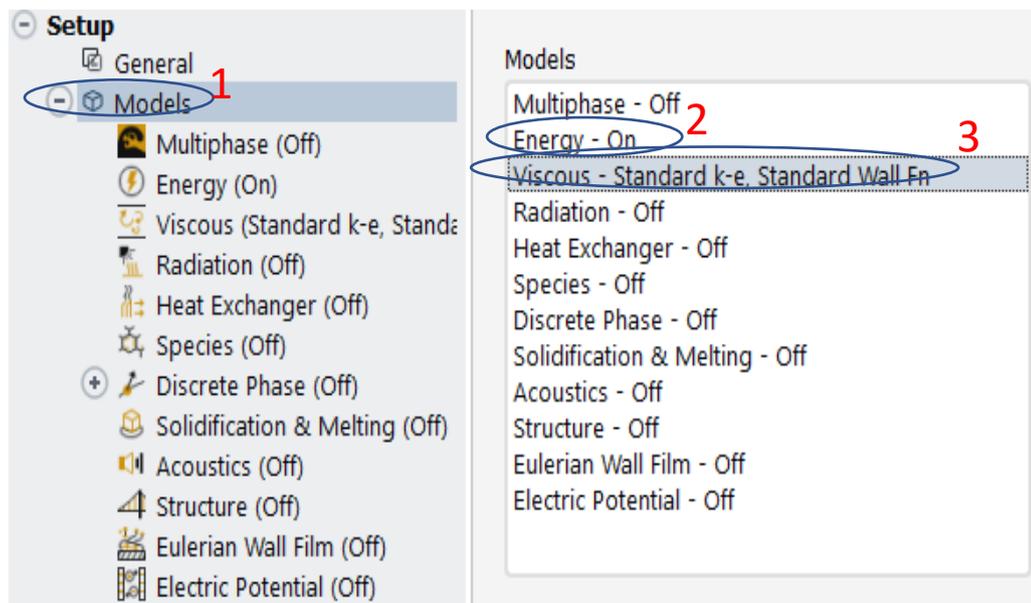


Gambar 3.19 Menentukan kondisi steady dan nilai gravitasi di bumi

Steady kondisi sewaktu sifat-sifat suatu system 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.

#### 6. Menentukan model persamaan energi dan jenis aliran pada simulasi



Gambar 3.20 Menentukan model persamaan energi dan jenis aliran pada simulasi

1. Klik **models**
2. Pilih energi-pilih on (dengan mengaktifkan energi, maka simulasi akan memperhitungkan proses dengan perubahan energi).
3. Viscous – pilih standard k-e, maka disimulasi akan diasumsikan aliran adalah laminar, hal ini karena aliran mempunyai bilangan reynold  $1160 < 2300$

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  $\rho_{freon}$

Tabel 3.2. Properties refrigerant R22

T	$\rho_{freon}$
80	893,7
81,97	876,1
85	844,8

Intpolasi nilai  $\rho_{freon}$  :

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

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

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

Setelah mencari interpolasi  $\rho_{freon}$  , maka selanjutnya intepolasi  $\mu_{freon}$

Tabel 3.3. Properties refrigerant R22

T	$\mu$
80	17,55
81,97	17,77
85	18,71

Interpolasi nilai  $\mu_{freon}$  :

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

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

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

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

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

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

Maka bilangan reynold (Re) :

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

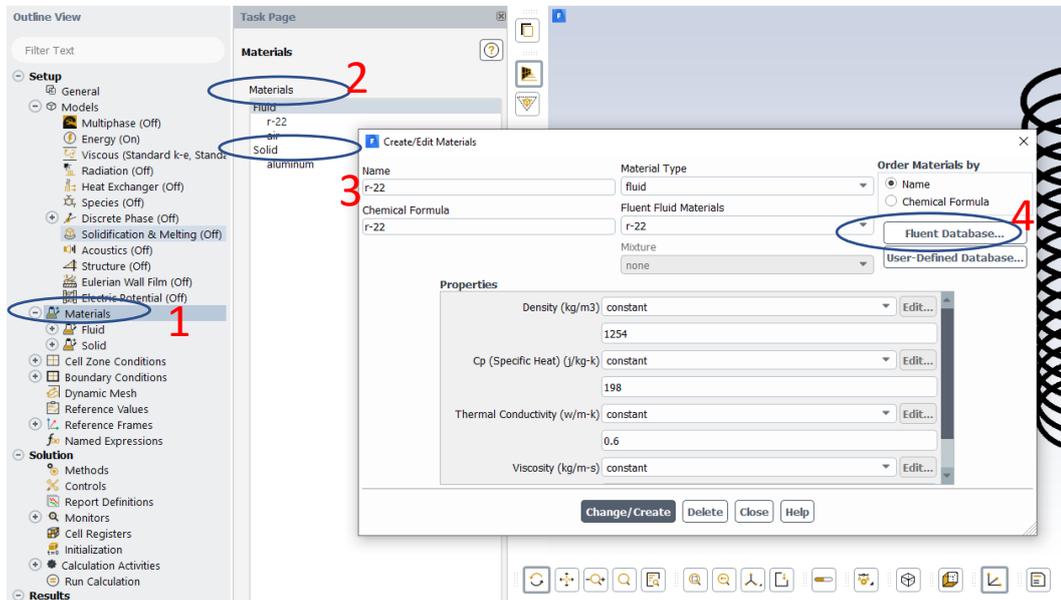
$$Re = \frac{0,4 \text{ m/s} \times 0,00553 \text{ m}}{0,020 \text{ m.s}}$$

= 0,1106

= 1106 × 10<sup>1</sup>

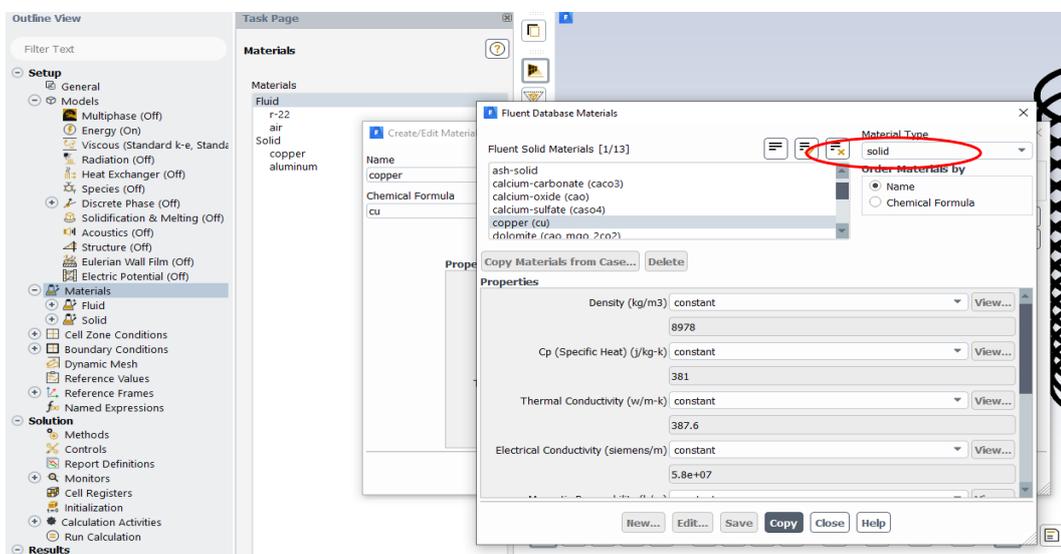
= 1106 < 2300 Laminar

## 7. Menentukan material fluida dan pipa



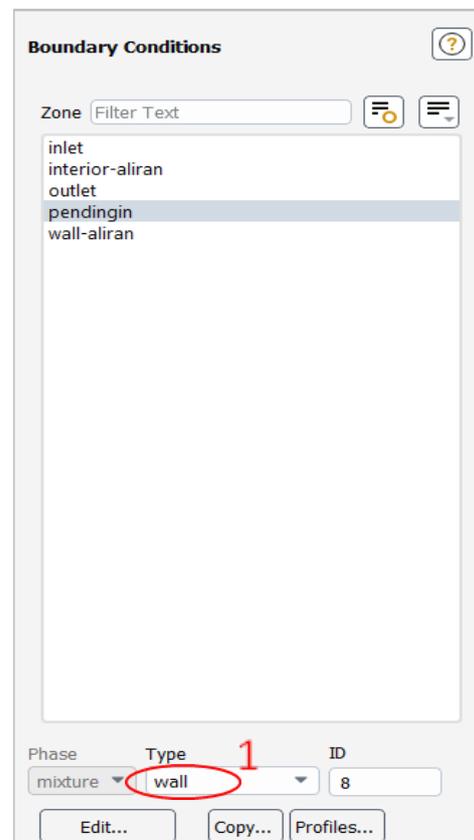
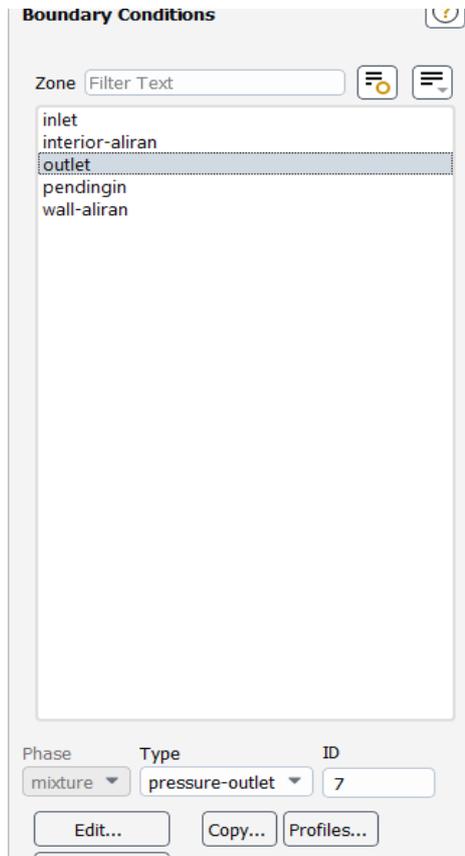
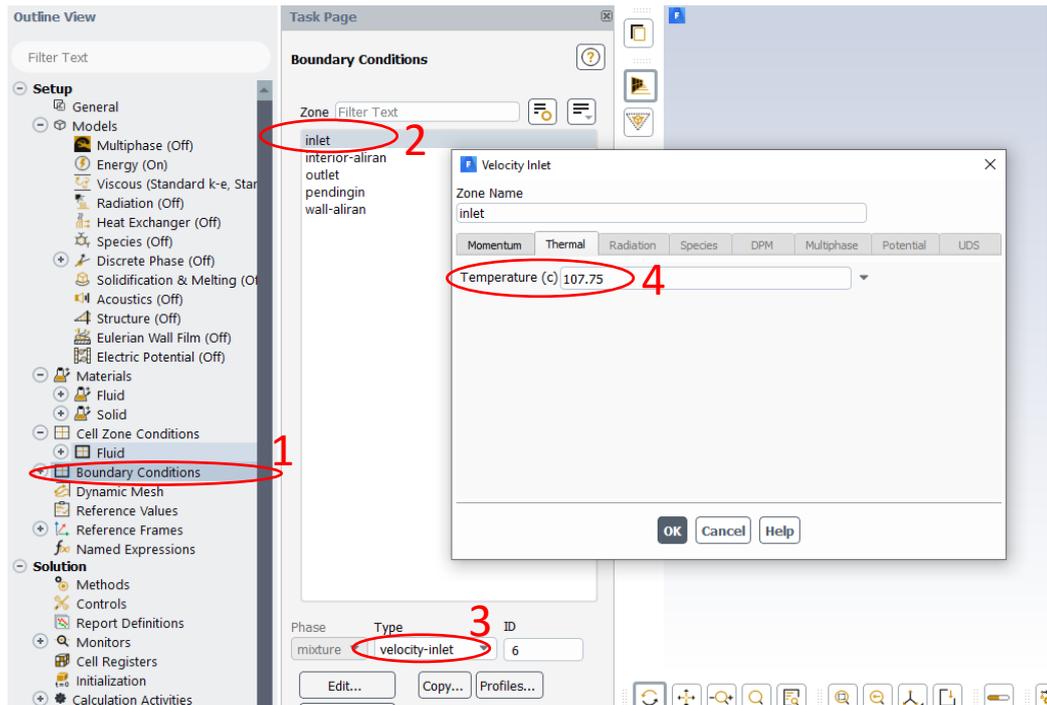
Gambar 3.21 Menentukan material dan fluida

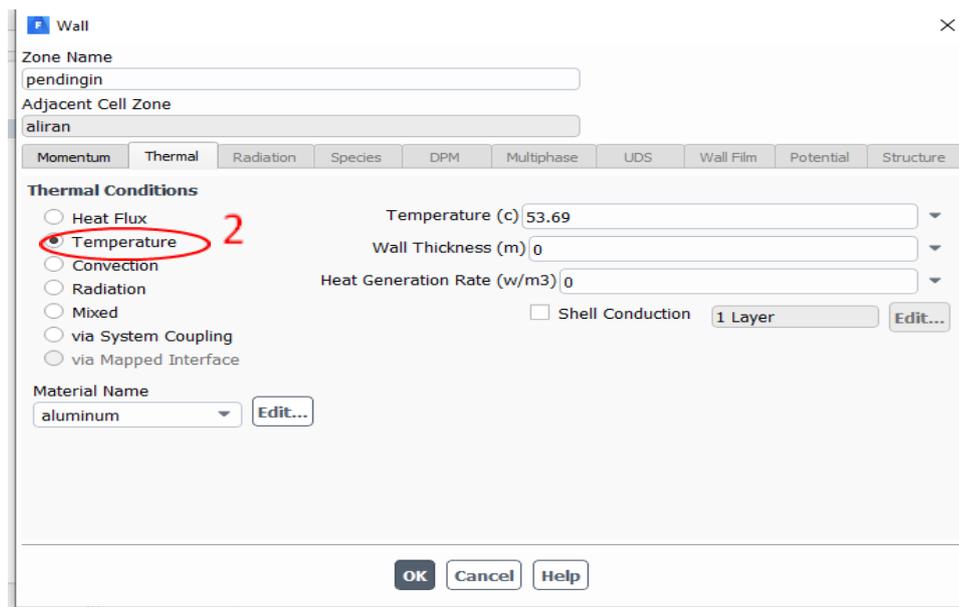
Untuk menentukan material fluida dan pipa maka pilih material – pilih fluid pemilihan fluid artinya untuk melihat data base dari CFD yang sesuai dengan kondisi simulasi, untuk memilih jenis material logam (solid) maka pilih solid dan pilih material yang diinginkan.



Gambar 3.22 Pemilihan material

## 8. Menentukan nilai temperatur aliran





Gambar 3.23 Menentukan nilai temperatur aliran

Menentukan nilai temperatur aliran :

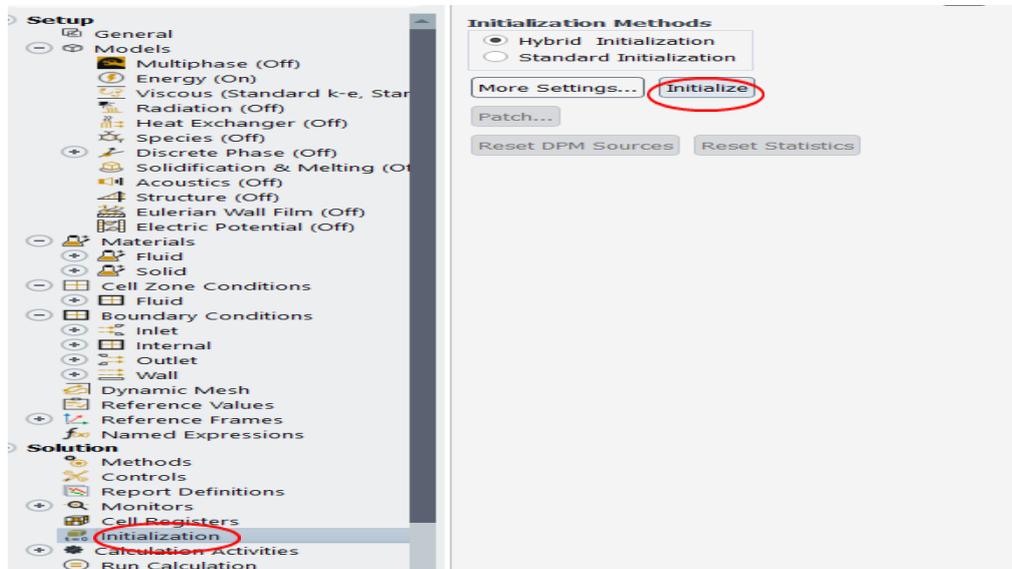
1. Pilih boundary kondisi batas, hal ini sangat penting karena sebagai parameter input dalam simulasi.
  2. Ada 3 parameter input yang diberikan untuk simulasi ini pertama inlet (sumber aliran masuk fluida di APK), outlet (arah keluar fluida kerja di APK) dan pendinginan (kondisi permukaan pipa yang diberi pendinginan).
  3. Pemilihan type yang sesuai untuk kondisi batas :
    - a. Inlet (velocity inlet / pressure inlet)
 

Velocity inlet	: 0,4 m/s
Turbulent intensity	: 0,05
Turbulent viscosity ratio	: 10
Temperatur	: 107,74 °C
    - b. Outlet (pressure outflow)
 

Temperatur	: 56,20 °C
------------	------------
    - c. Pendinginan (wall)
 

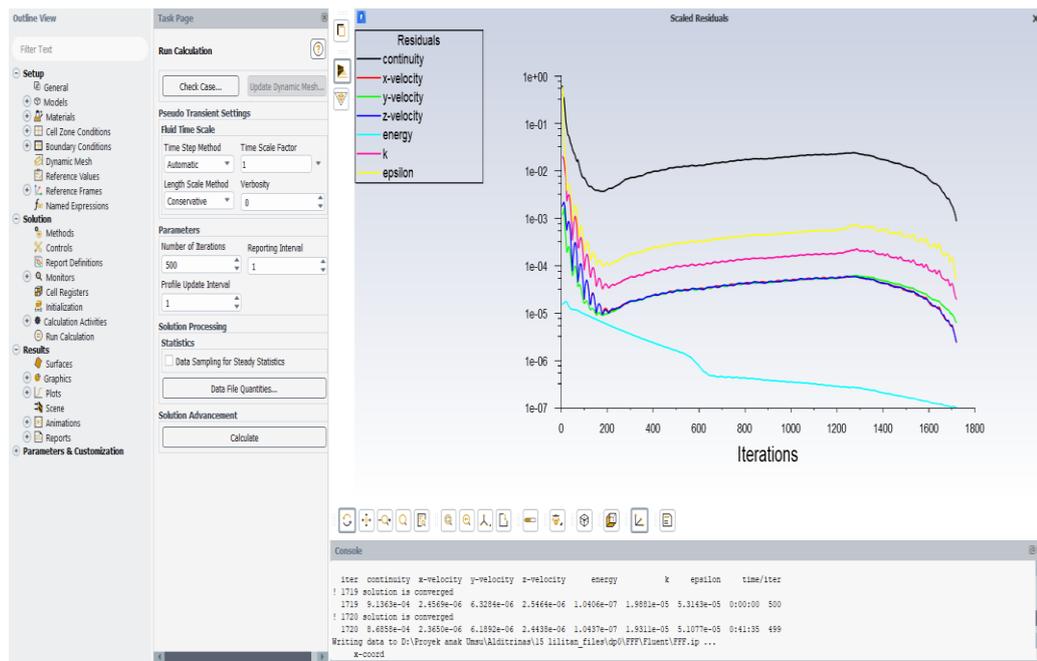
Temperatur	: 53,68 0C
------------	------------
9. Sebelum menjalankan simulasi maka perlu dilihat prediksi awal, hal ini bertujuan untuk melihat apakah langkah-langkah yang telah kita lakukan tidak ada yang mempengaruhi kondisi pada saat simulasi berjalan. Hal ini sangat penting untuk mendapatkan hasil yang baik.

Selanjutnya pilih *intialization-hybrid-klik initialize* tunggu sampai proses selesai, apabila kondisi menunjukkan tidak ada kondisi yang bermasalah/selesai (done), maka proses simulasi bisa dilanjutkan. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar dibawah ini



Gambar 3.24 prediksi awal pilih *intialization-hybrid-klik initialize*

## 10. Proses simulasi



Gambar 3.25 proses simulasi untuk helical coil 15 lilitan

Untuk menjalankan simulasi maka pilih :

1. RUN

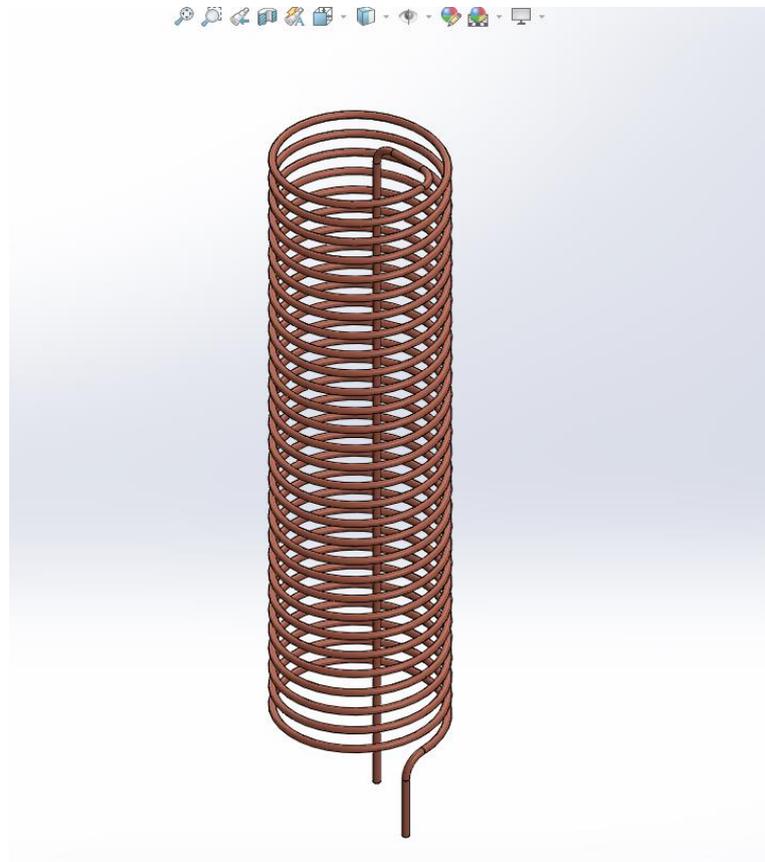
2. Tentukan jumlah iterasi
3. Calculate dan grafik simulasi terlihat, proses simulasi akan berlangsung sampai kondisi seimbang akan didapat.

Untuk kasus 15 lilitan, jumlah iterasi yang dilakukan ada 1700 iterasi sehingga kondisi yang diinginkan tercapai yaitu converged, kondisi ini menunjukkan hasil yang tidak akan berubah kembali. Setiap 1 proses iterasi memakan waktu sekitar 2 menit, sehingga waktu yang digunakan untuk menyelesaikan 1 proses simulasi adalah sekitar 57 jam kerja simulasi.

11. Selesai.

Selanjutnya langkah-langkah dalam melakukan simulasi helical coil 30 lilitan adalah sebagai berikut:

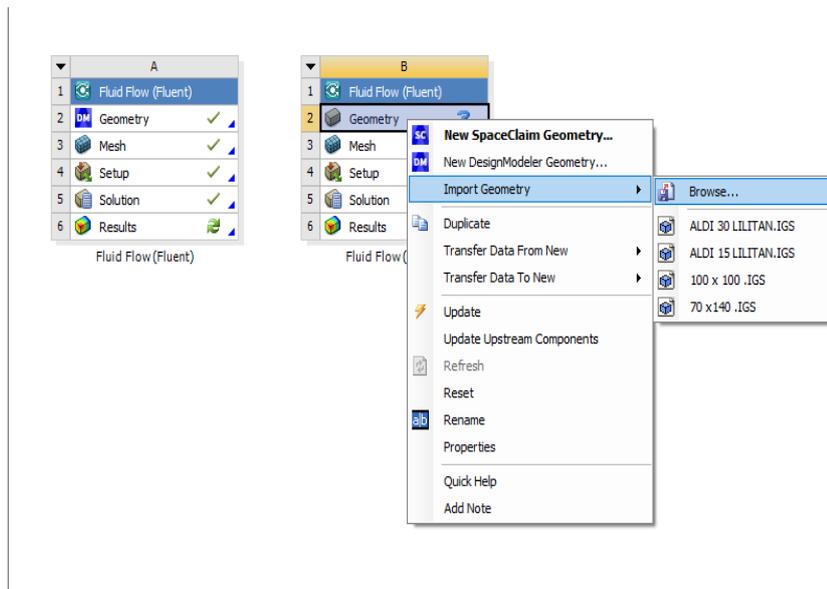
1. Membuat desain geometri pipa kapiler sebanyak 30 lilitan di software solidwork.



Gambar 3.26 Desain helical coil 30 lilitan

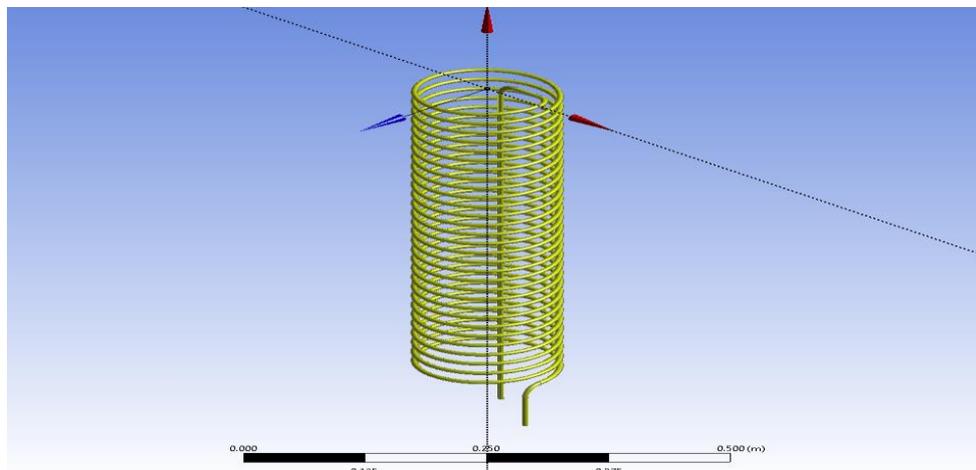
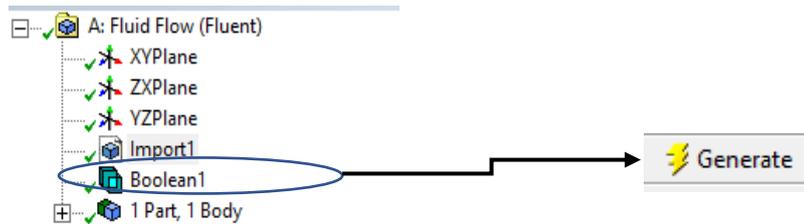
setelah membuat geometri di solidwork, maka file disimpan dalam bentuk IGES

2. Import data ke Ansys CFD, Setelah file disimpan dalam bentuk IGES, lalu import data ke ansys CFD.



Gambar 3.27 Mengimport data ke ansys CFD

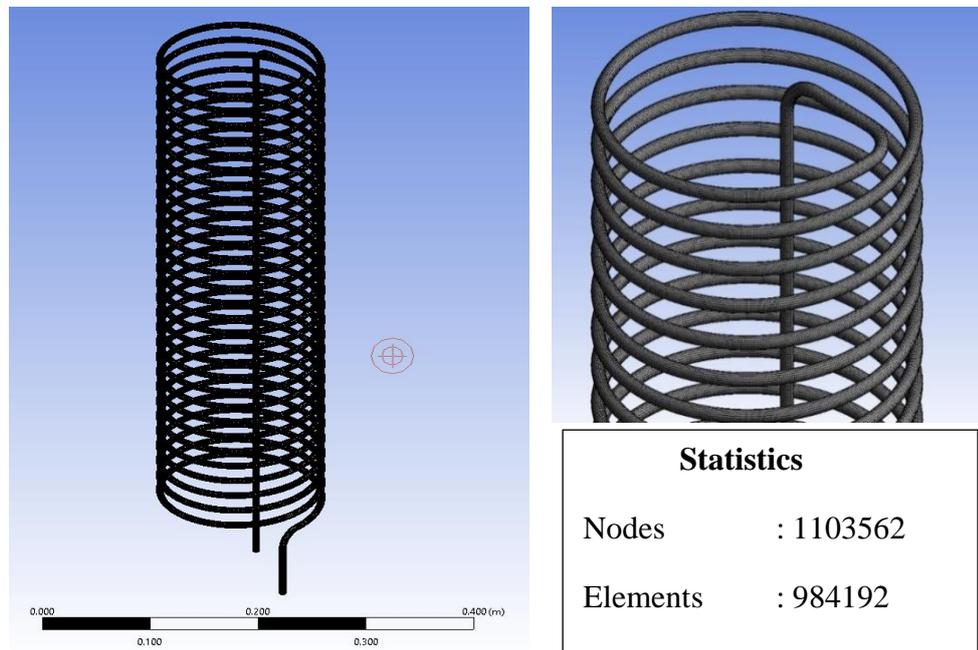
Setelah data diimport, maka tekan generate untuk menginput data import ke dalam ansys.



Gambar 3.28 Tampilan gambar setelah di import dan akan di mesh

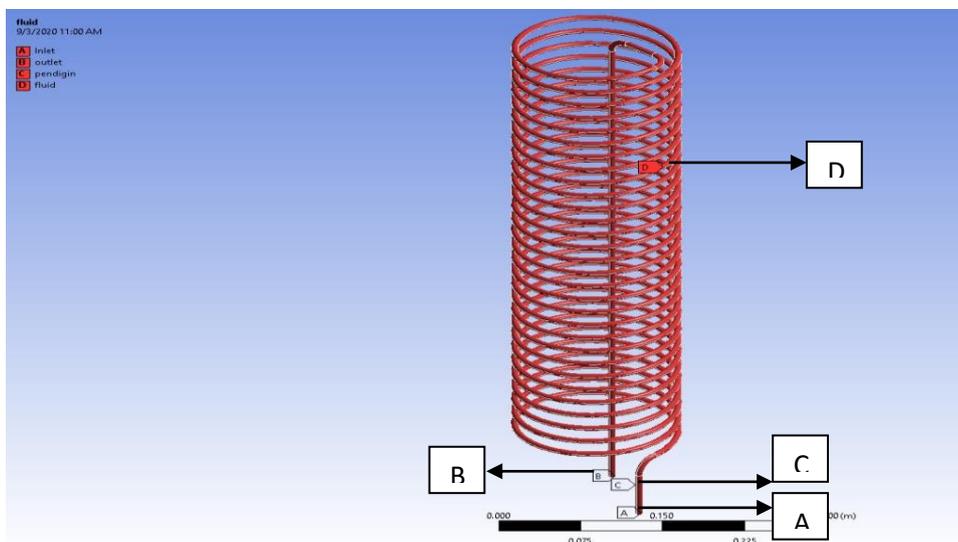
### 3. Mesh

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



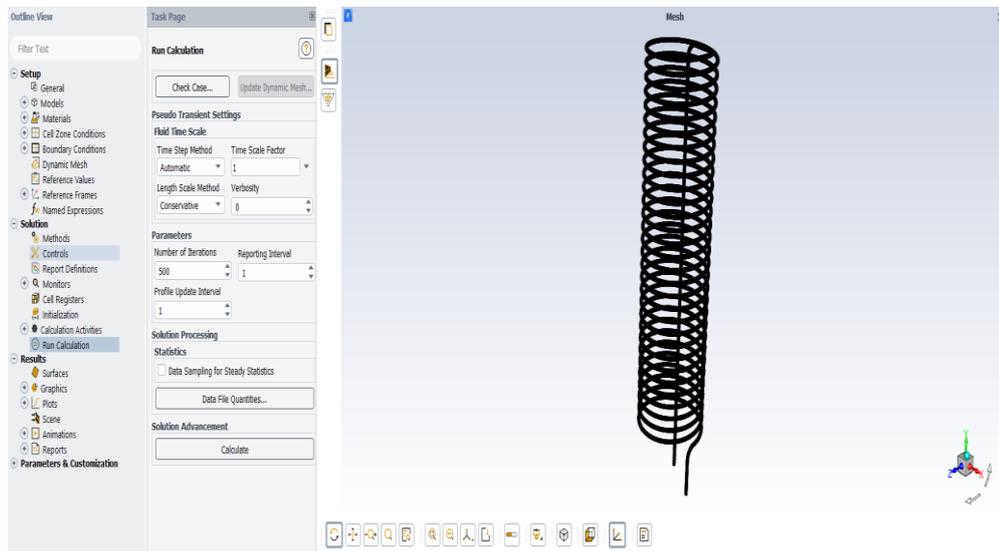
Gambar 3.29 Gambar helical coil 30 lilitan setelah dimesh

### 4. Menentukan kondisi-kondisi batas simulasi

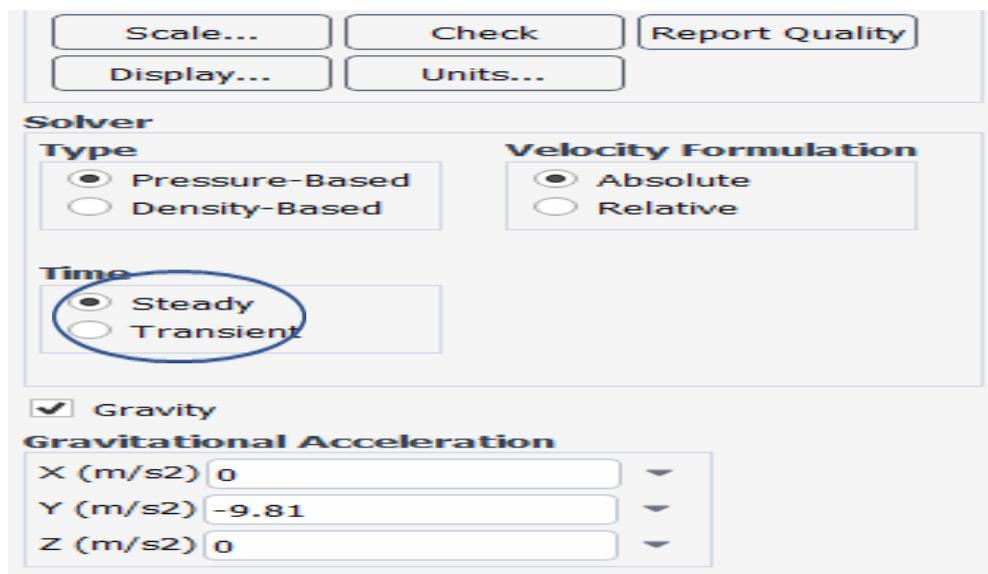


Gambar 3.30 menentukan kondisi-kondisi batas simulasi

- A. Inlet (aliran refrigeran masuk APK)
  - B. Outlet (aliran refrigeran keluar APK)
  - C. Kondisi batas pendingin (air pendingin sesuai dengan hasil eksperimen) diasumsikan permukaan pipa bagian luar bersinggungan dengan air pendingin.
  - D. Jalur aliran fluida (refrigeran) sepanjang pipa.
5. Selanjutnya langkah setup



Gambar 3.31 Tahap setup

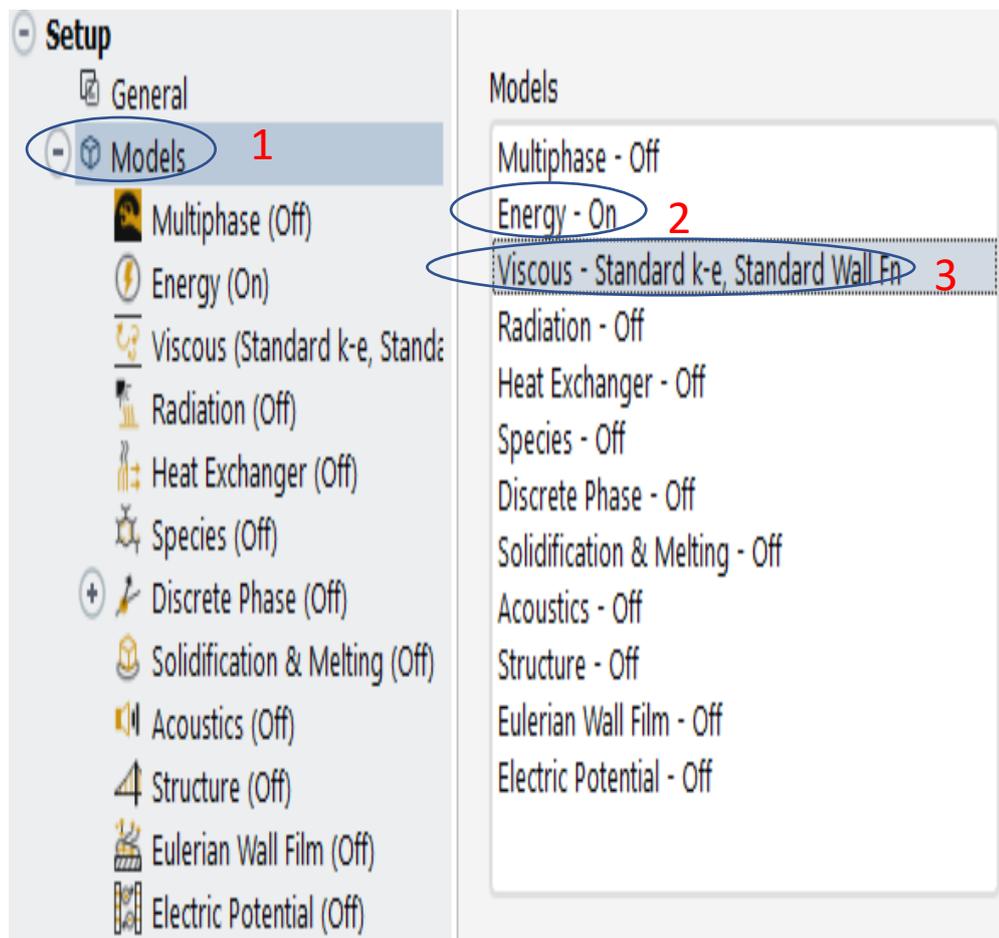


Gambar 3.32 Menentukan kondisi steady dan nilai gravitasi di bumi

Steady kondisi sewaktu sifat-sifat suatu system 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

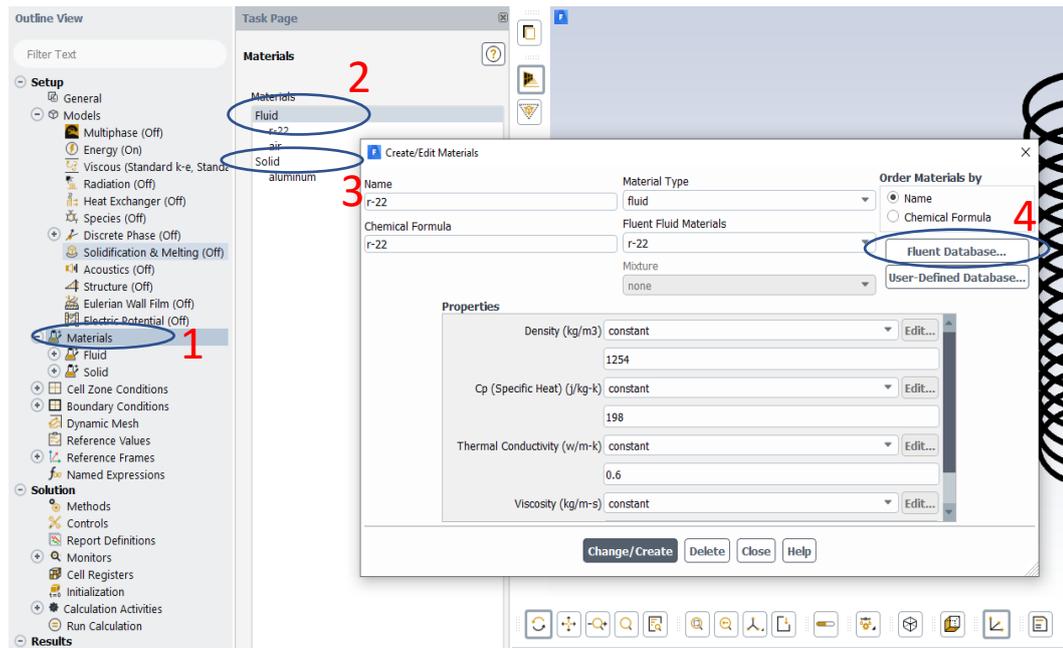
6. Menentukan model persamaan energi dan jenis aliran pada simulasi



Gambar 3.33 Menentukan model persamaan energi dan jenis aliran pada simulasi

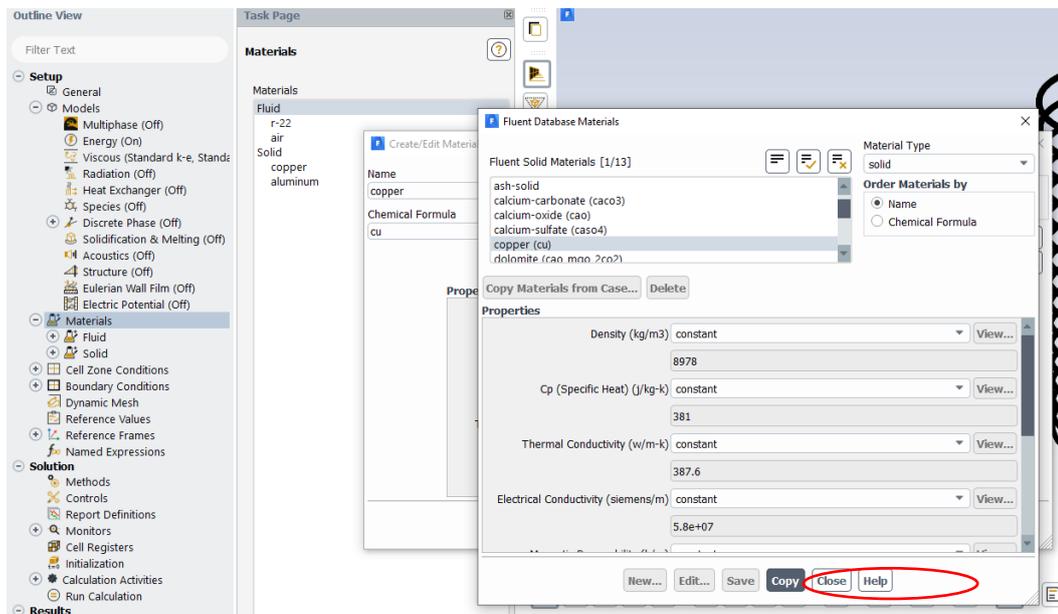
1. Klik Model
2. Pilih Energi – Pilih ON ( dengan mengaktifkan energi, maka simulasi akan memperhitungkan proses dengan perubahan energi
3. Viscous – pilih Standar k-e, maka disimulasi akan diasumsikan aliran adalah laminar, hal ini karena aliran mempunyai bilangan reynold  $1106 < 2300$

## 7. Menentukan material fluida dan pipa



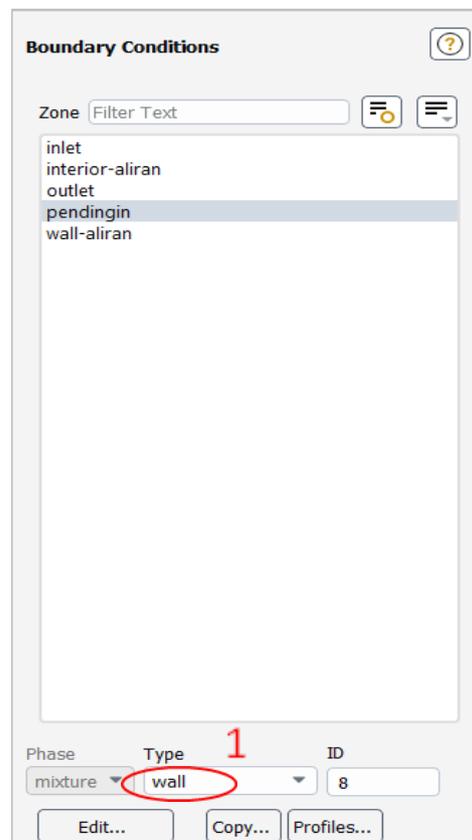
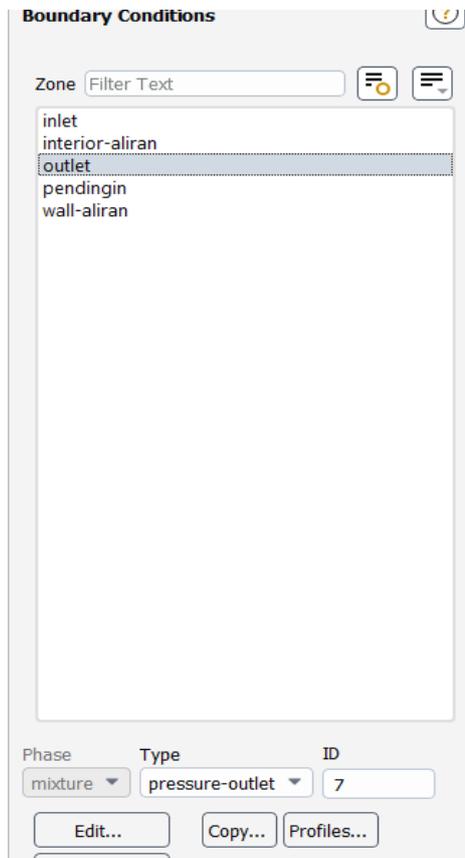
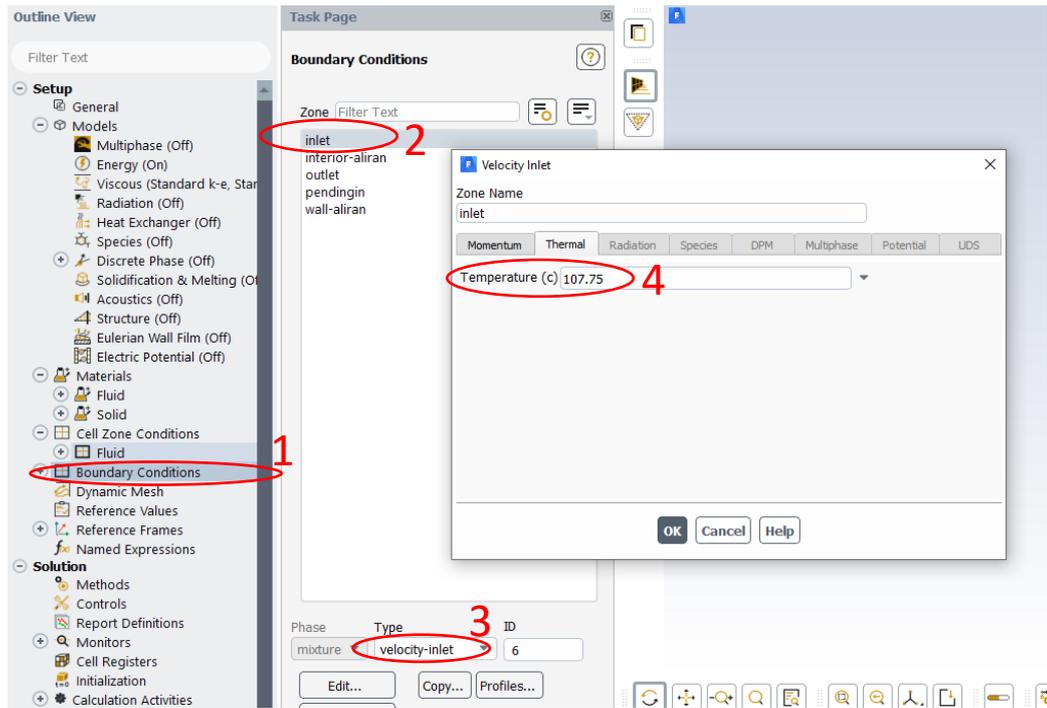
Gambar 3.34 Menentukan material dan fluida

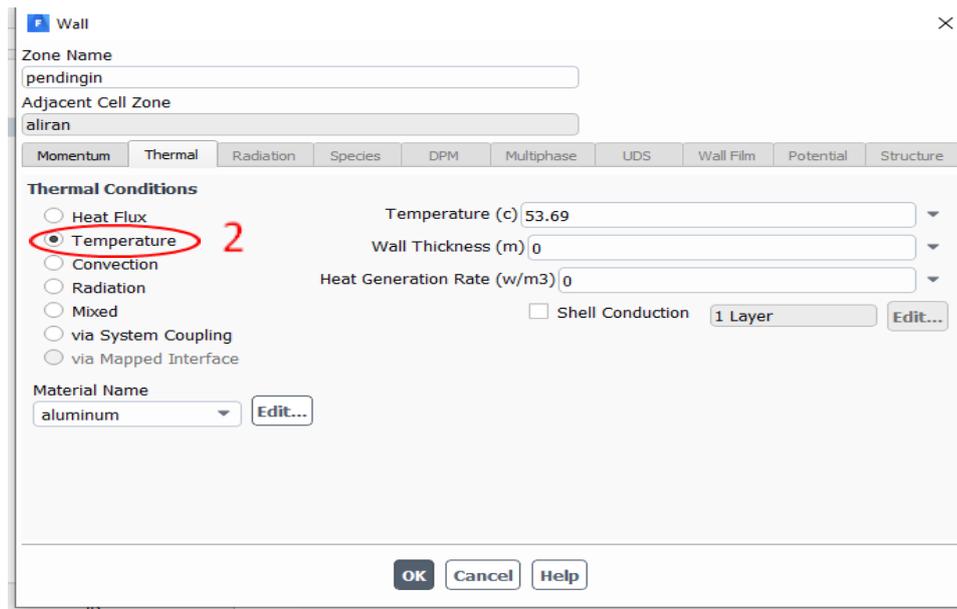
Untuk menentukan material fluida dan pipa maka pilih material – pilih fluid pemilihan fluid artinya untuk melihat data base dari CFD yang sesuai dengan kondisi simulasi, untuk memilih jenis material logam (solid) maka pilih solid dan pilih material yang diinginkan.



Gambar 3.35 Pemilihan material

## 8. Menentukan nilai temperatur aliran





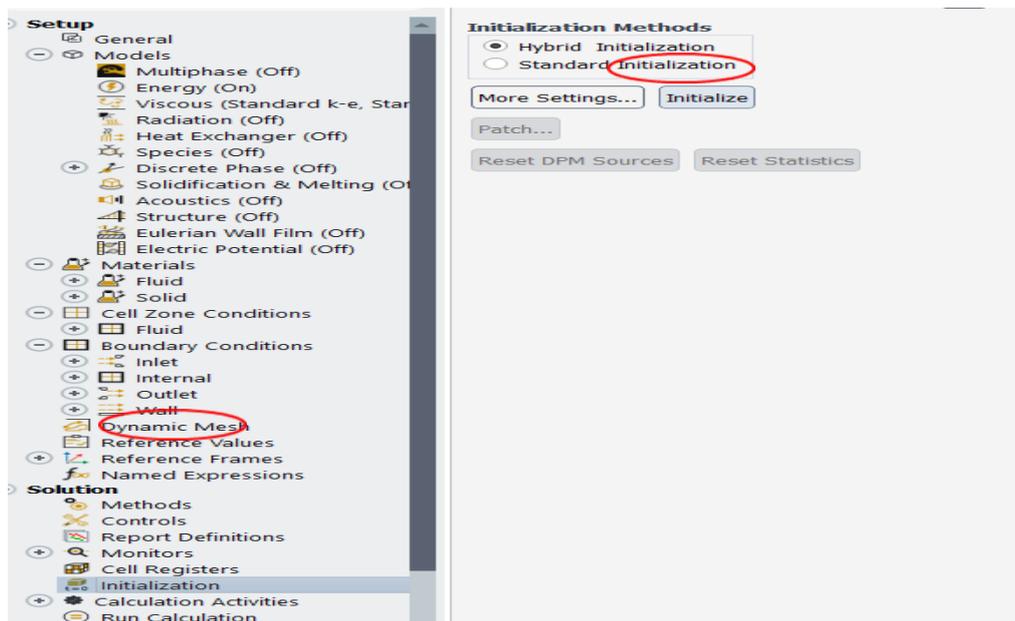
Gambar 3.36 Menentukan nilai temperatur aliran

Menentukan nilai temperatur aliran :

1. Pilih boundary kondisi batas, hal ini sangat penting karena 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 :
    - a. Inlet (velocity inlet / pressure inlet)
      - Velocity inlet : 0,4 m/s
      - Turbulent intensity : 0,05
      - Turbulent viscosity ratio : 10
      - Temperatur : 101 °C
    - b. Outlet (pressure outflow)
      - Temperatur : 53,19 °C
    - c. Pendingin (wall) dengan nilai temperatur
      - Temperatur : 52,99 °C
9. Sebelum menjalankan simulasi maka perlu dilihat prediksi awal, hal ini bertujuan untuk melihat apakah langkah-langkah yang telah kita lakukan tidak ada

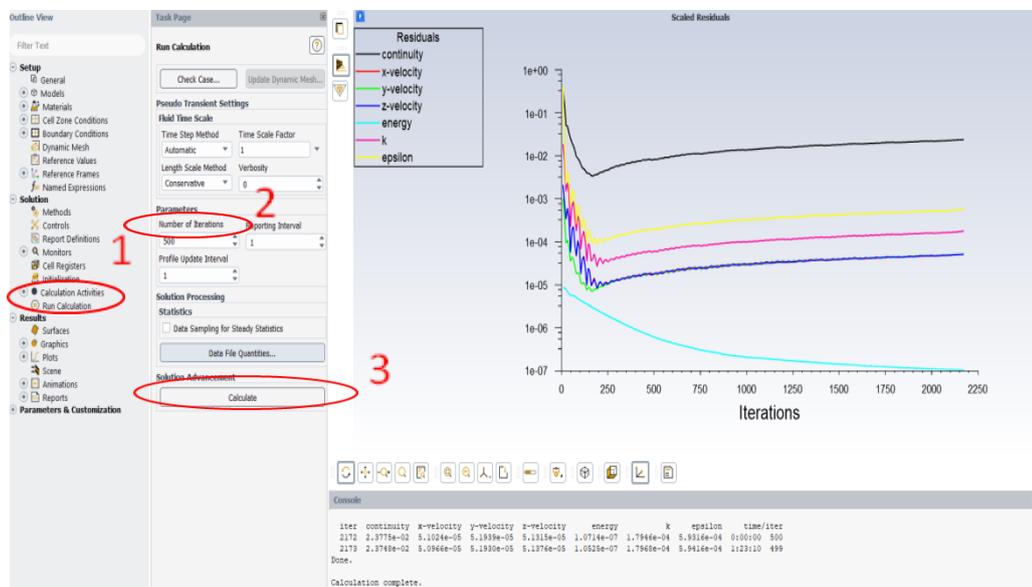
yang mempengaruhi kondisi pada saat simulasi berjalan. Hal ini sangat penting untuk mendapatkan hasil yang baik.

Selanjutnya pilih *intialization-hybrid-klik initialize* tunggu sampai proses selesai, apabila kondisi menunjukkan tidak ada kondisi yang bermasalah/selesai (done), maka proses simulasi bisa dilanjutkan. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar dibawah ini.



Gambar 3.37 prediksi awal pilih *intialization-hybrid-klik initialize*

## 10. Proses simulasi



Gambar 3.38 Proses simulasi untuk helical coil 30 lilitan

Untuk menjalankan simulasi maka pilih :

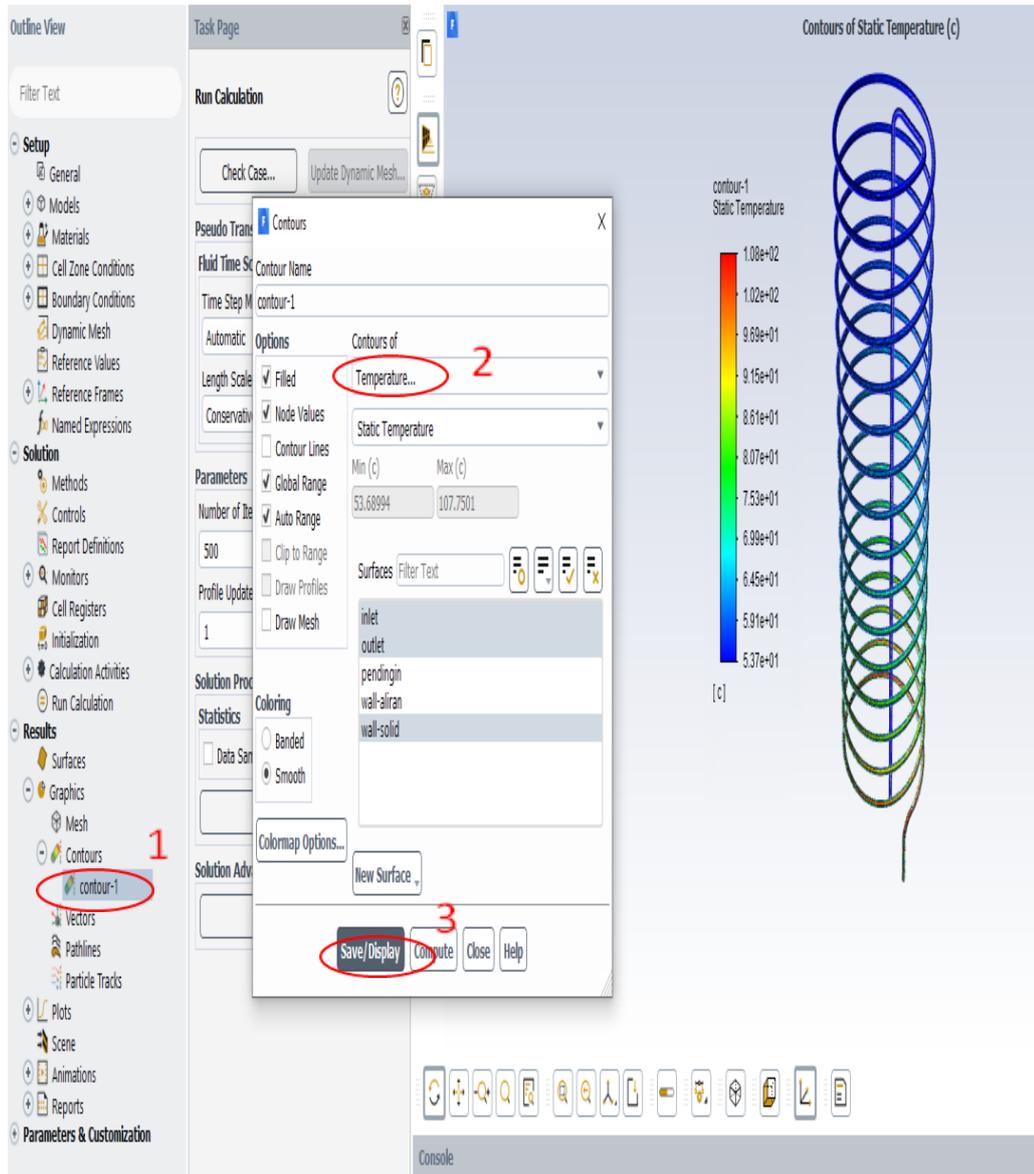
1. RUN
2. Tentukan jumlah iterasi
3. Calculate dan grafik simulasi terlihat, proses simulasi akan berlangsung sampai kondisi seimbang akan didapat.

Untuk kasus 30 lilitan, jumlah iterasi yang dilakukan ada 2000 iterasi sehingga kondisi yang diinginkan tercapai yaitu converged, kondisi ini menunjukkan hasil yang tidak akan berubah kembali. Setiap 1 proses iterasi memakan waktu sekitar 2 menit, sehingga waktu yang digunakan untuk menyelesaikan 1 proses simulasi adalah sekitar 65 jam kerja simulasi.

11. Selesai.

## BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN

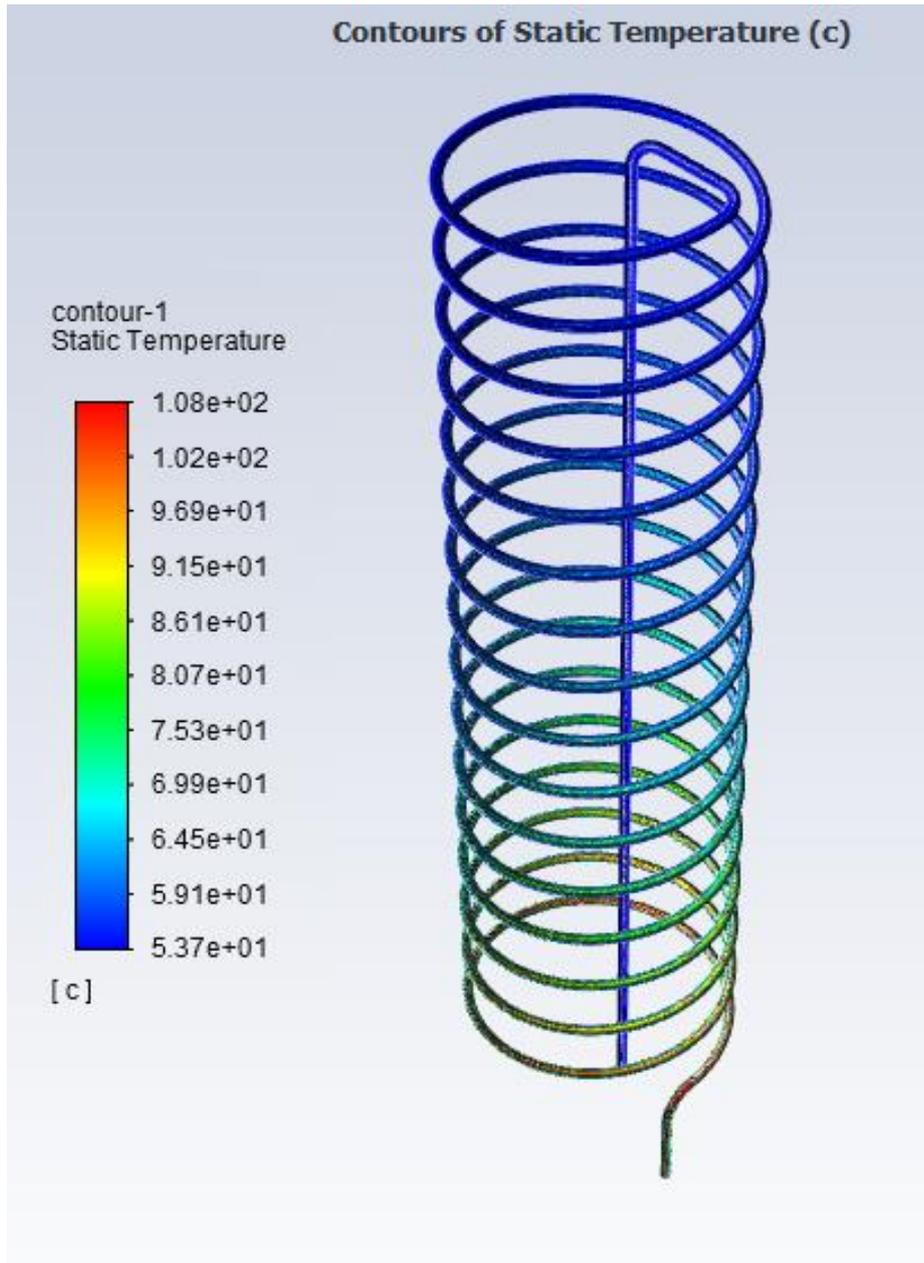
### 4.1 Hasil simulasi pipa kapiler 15 lilitan



Gambar 4.1 Hasil simulasi pipa kapiler 15 lilitan

1. Untuk mendapatkan hasil dari simulasi maka pilih countur (countur untuk memperlihatkan countur dari parameter yang diamati.
2. Pilih parameter yang diamati, seperti temperatur.
3. Pilih display untuk memperlihatkan hasil dari countur temperatur.

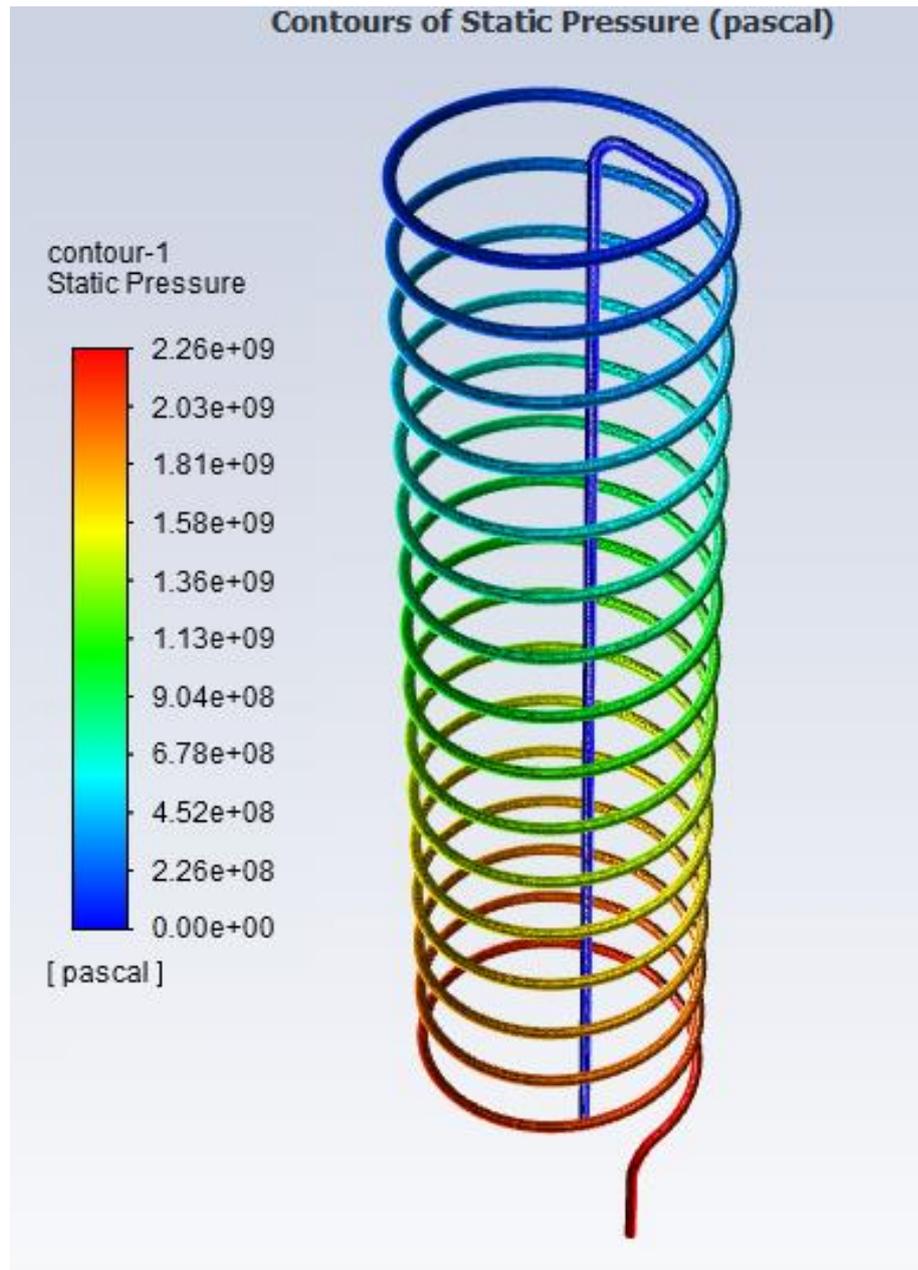
#### 4.1.1 Hasil kontur temperatur dari simulasi pipa kapiler 15 lilitan



Gambar 4.2 Hasil kontur temperatur dari simulasi pipa kapiler 15 lilitan

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

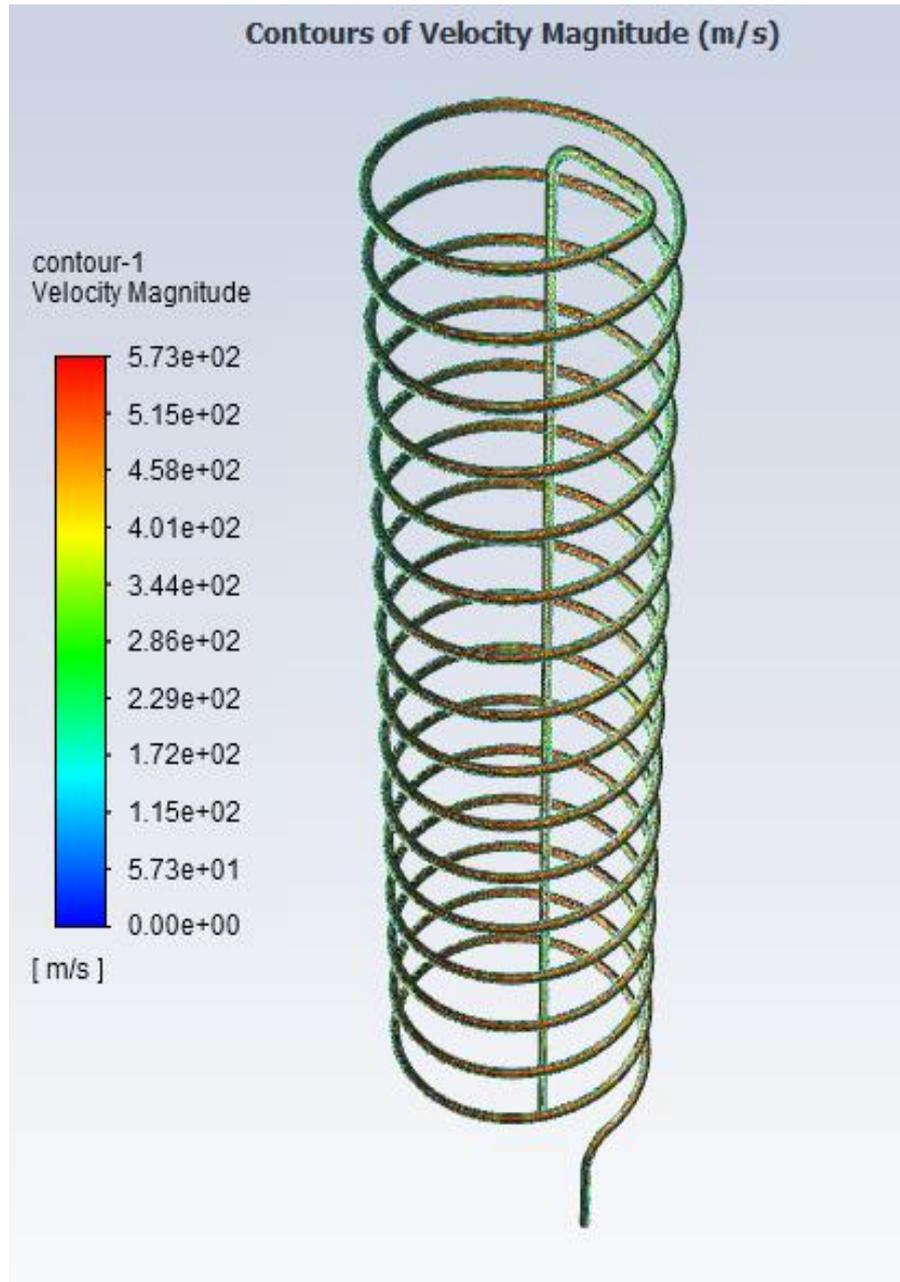
#### 4.1.2 Hasil kontur tekanan dari simulasi pipa kapiler 15 lilitan



Gambar 4.3 Hasil kontur Tekanan dari simulasi pipa kapiler 15 lilitan

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 warna yang semakin biru maka titik tersebut mengalami penurunan tekanan.
2. Hal yang menyebabkan adanya proses penurunan tekanan diakibatkan oleh belokan-belokan pipa dan adanya efek gravitasi.

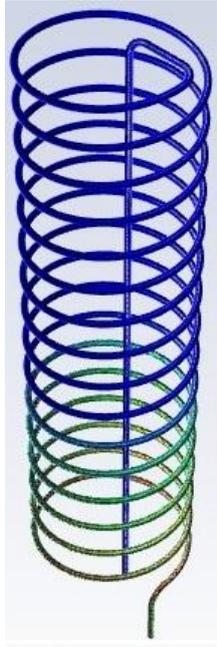
#### 4.1.3 Hasil kontur kecepatan dari simulasi pipa kapiler 15 lilitan



Gambar 4.4 Hasil kontur kecepatan dari simulasi pipaa kapiler 15 lilitan

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 warna yang semakin biru, maka titik tersebut mengalami penurunan kecepatan.
2. Hal ini menunjukkan kecepatan aliran disepanjang pipa APK merata disepanjang pipa.

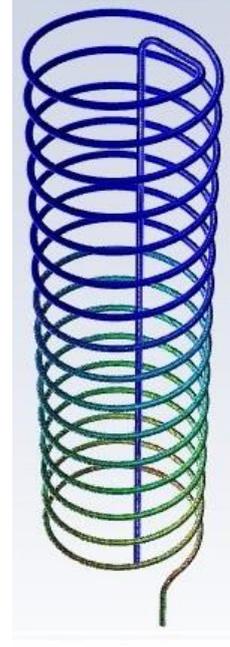
4.1.4 Proses simulasi helical coil 15 lilitan yang terekam dapat ditampilkan pada gambar dibawah ini :



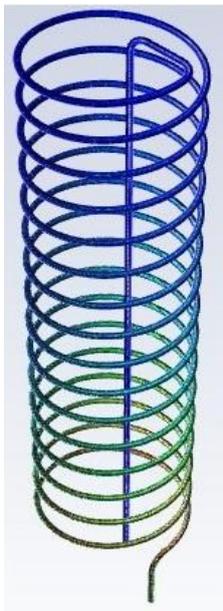
a. 10 menit



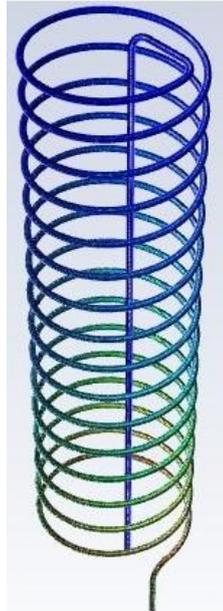
b. 20 menit



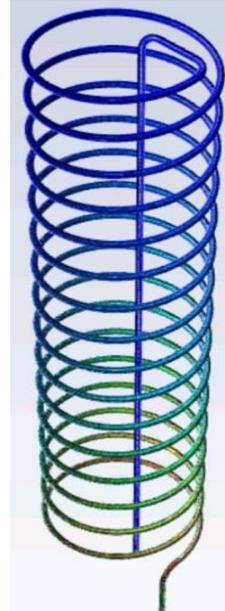
c. 30 menit



d. 40 menit



e. 50 menit

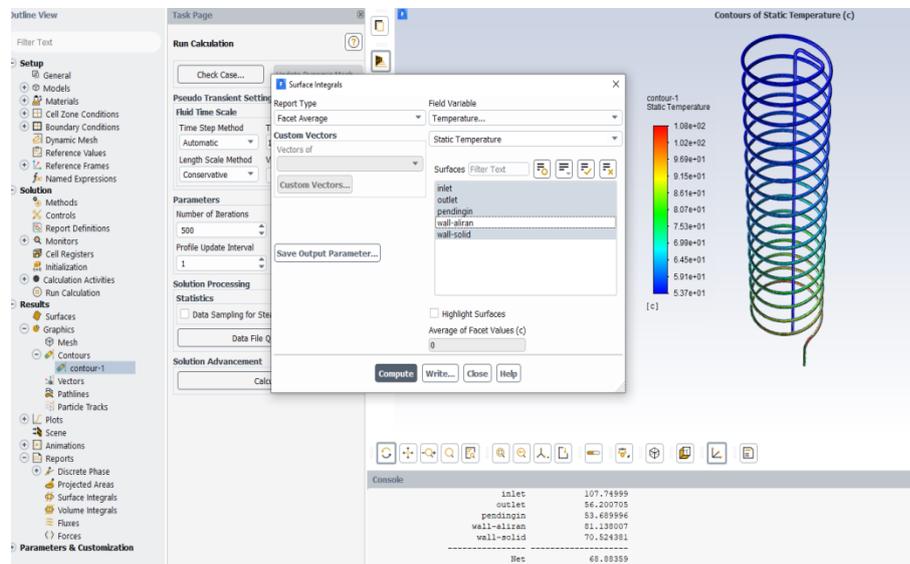


f. 60 menit

Gambar 4.5 Proses simulasi pipa kapiler 15 lilitan yang ditampilkan pada waktu per 10 menit

Gambar 4.5 diatas menjelaskan, proses aliran fluida panas pada pipa kapiler 15 lilitan dengan menggunakan software ansys. Proses masuknya aliran fluida panas dimulai dari pipa yang melengkung lubang inlet (temperatur masuk). Pada waktu 10 menit pertama pipa kapiler (lubang inlet) mulai berwarna merah pada beberapa lilitan menunjukkan bahwa temperatur tinggi. Namun pada waktu 60 menit aliran fluida yang melintasi pipa kapiler menunjukkan temperatur semakin tinggi, setelah itu mulai berwarna biru pada keluaran fluida (outlet) menunjukkan bahwa pipa kapiler mengalami penurunan temperatur akibat efek pendinginan dari air. (keterangan warna : merah = temperatur tinggi, biru = penurunan temperatur yang diakibatkan oleh efek pendinginan dari air).

#### 4.2 Data perbandingan uji eksperimen dengan simulasi CFD pipa kapiler 15 lilitan pada pengujian 60 menit



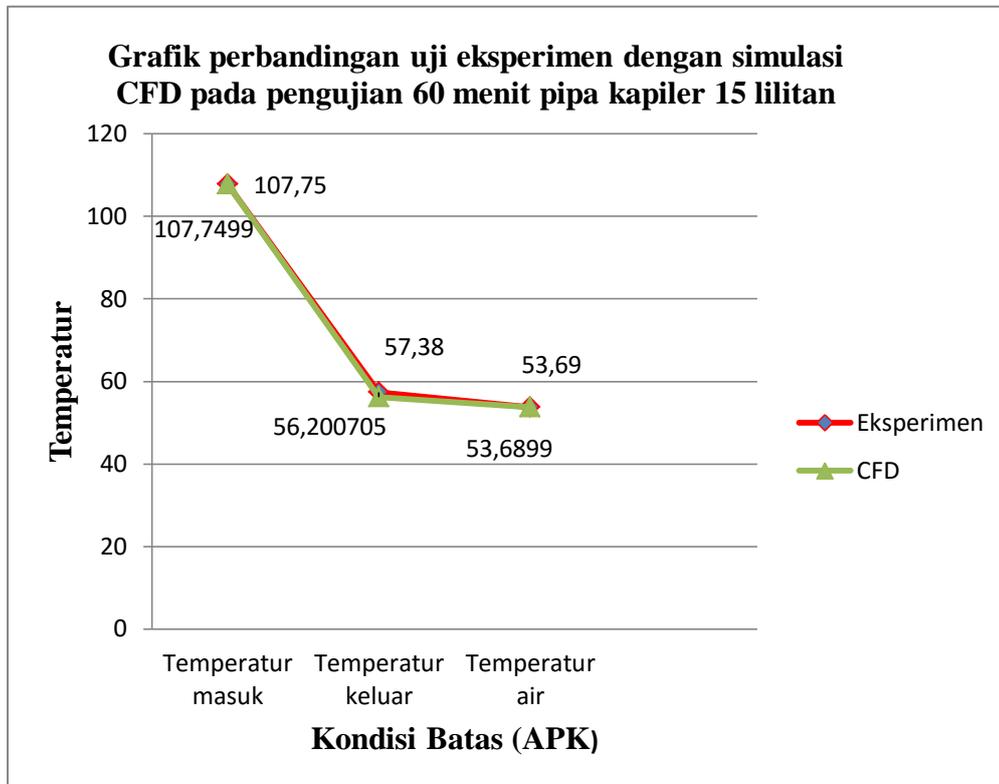
Gambar 4.6 Hasil perbandingan simulasi CFD dengan uji eksperimen pipa kapiler 15 lilitan

Tabel 4.1 Data perbandingan uji eksperimen dengan simulasi CFD pipa kapiler 15 lilitan pada pengujian 60 menit.

Kondisi Batas (APK)	Temperatur (°C)	
	Ekperimen (setiawan Hadi,2019)	Simulasi
TemperaturMasuk	107.75	107.7499
TemperaturKeluar	57.38	56.200705
Temperatur Air Pendingin	53.69	53.6899

Dari hasil perbandingan menunjukkan perbedaan sekitar  $1.179295^{\circ}\text{C}$  lebih rendah hasil Simulasi atau sekitar 2.055 % eror hasil perbandingan simulasi dan eksperimen.

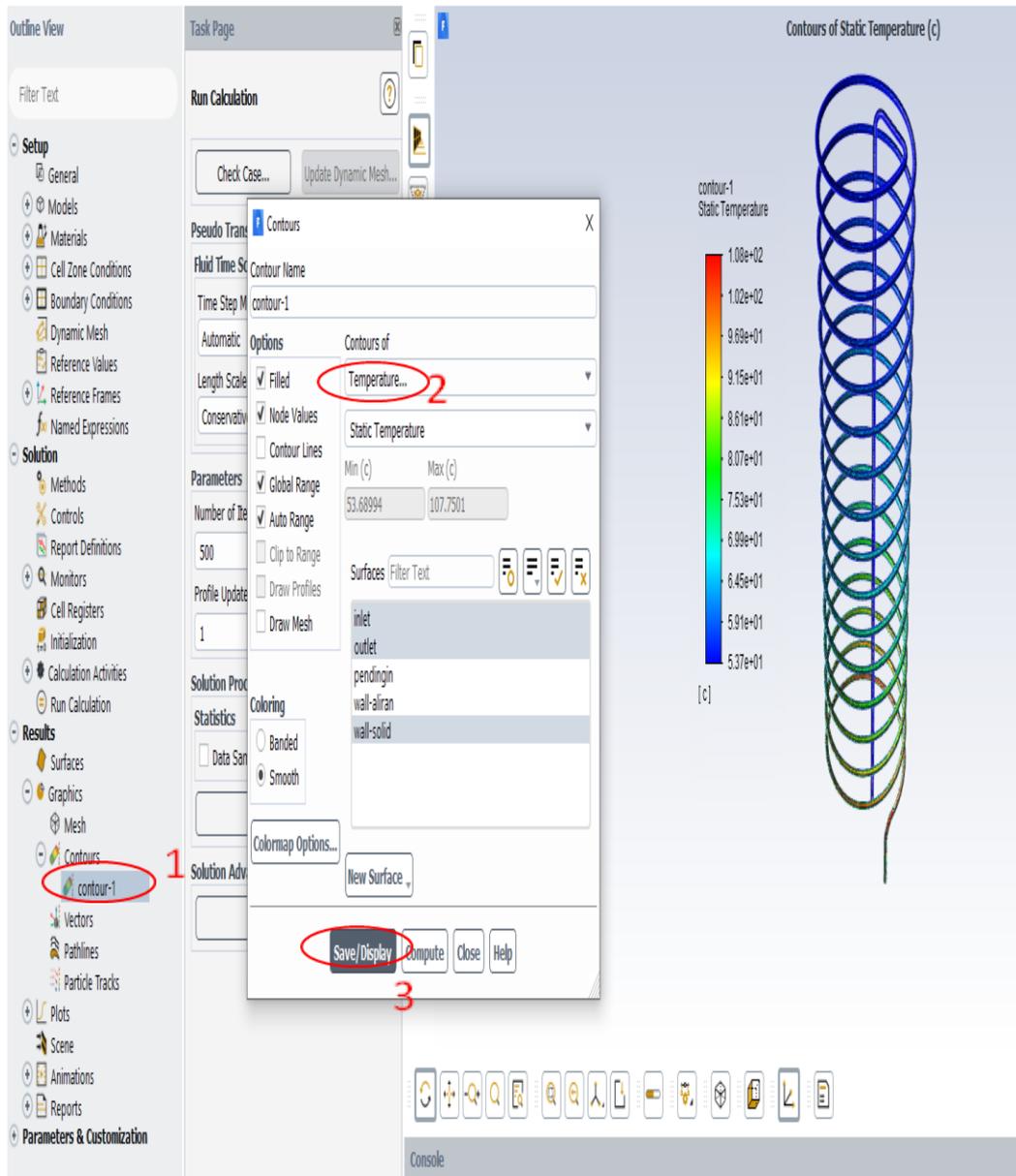
$$\begin{aligned} \text{Persen eror} &= \frac{57.38 - 56.200705}{57.38} \times 100 \\ &= 2.055 \% \end{aligned}$$



Gambar 4.7 Grafik perbandingan uji eksperimental dengan simulasi CFD pada pengujian 60 menit pipa kapiler 15 lilitan.

Pada gambar grafik diatas terlihat bahwa pada perbandingan uji eksperimental dan simulasi CFD tidak terjadi perbedaan yang cukup jauh. Hasil perbandingan menunjukkan perbedaan sekitar  $1.179295^{\circ}\text{C}$  lebih rendah hasil CFD atau sekitar 2.055 % eror hasil perbandingan simulasi dan eksperimen.

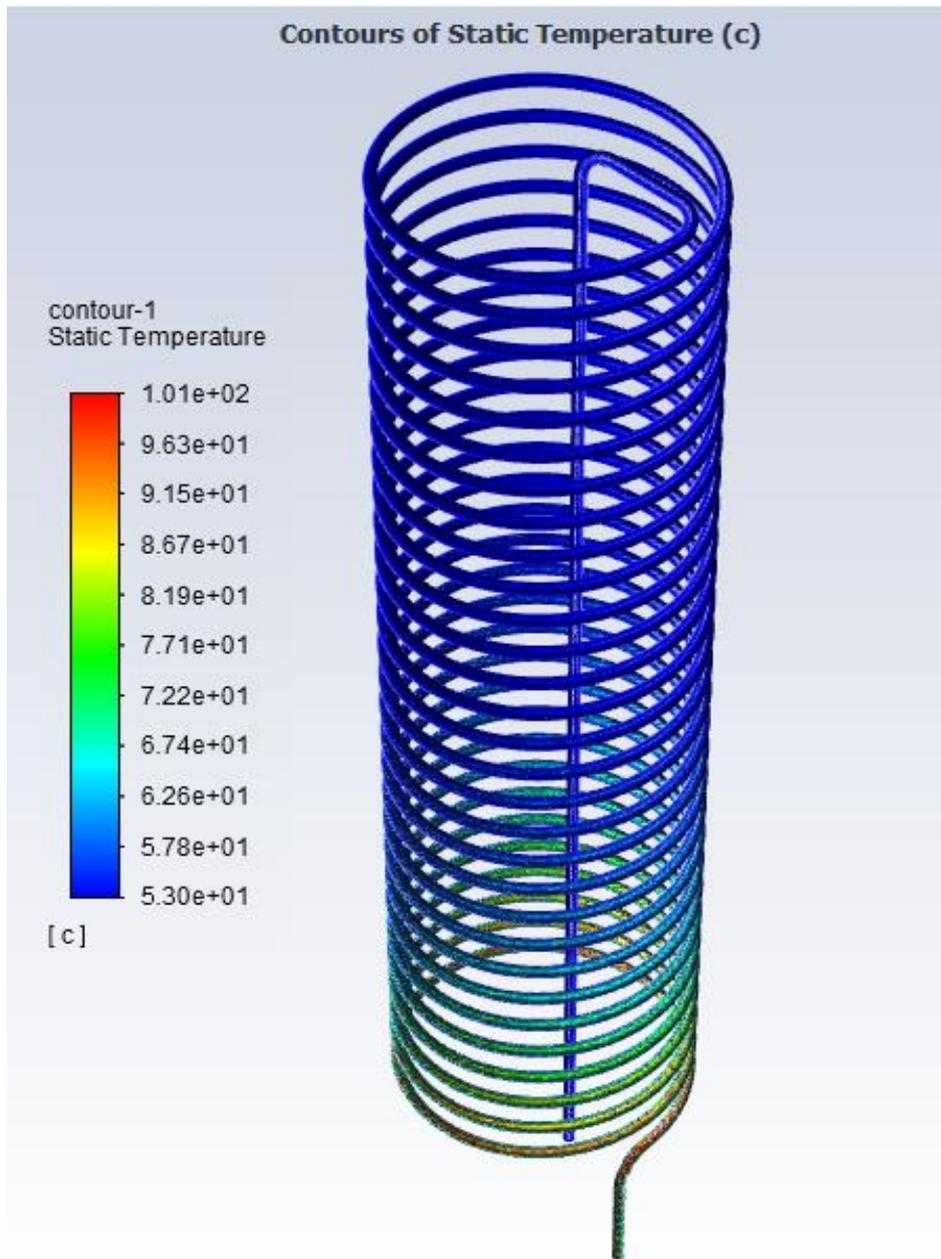
### 4.3 Hasil simulasi pipa kapiler 30 lilitan



Gambar 4.8 Hasil simulasi pipa kapiler 30 lilitan

1. Untuk mendapatkan hasil dari simulasi maka pilih countur (countur untuk memperlihatkan kontur dari parameter yang diamati)
2. Pilih parameter yang diamati, seperti temperatur.
3. Pilih display untuk memperlihatkan hasil dari countur temperatur.

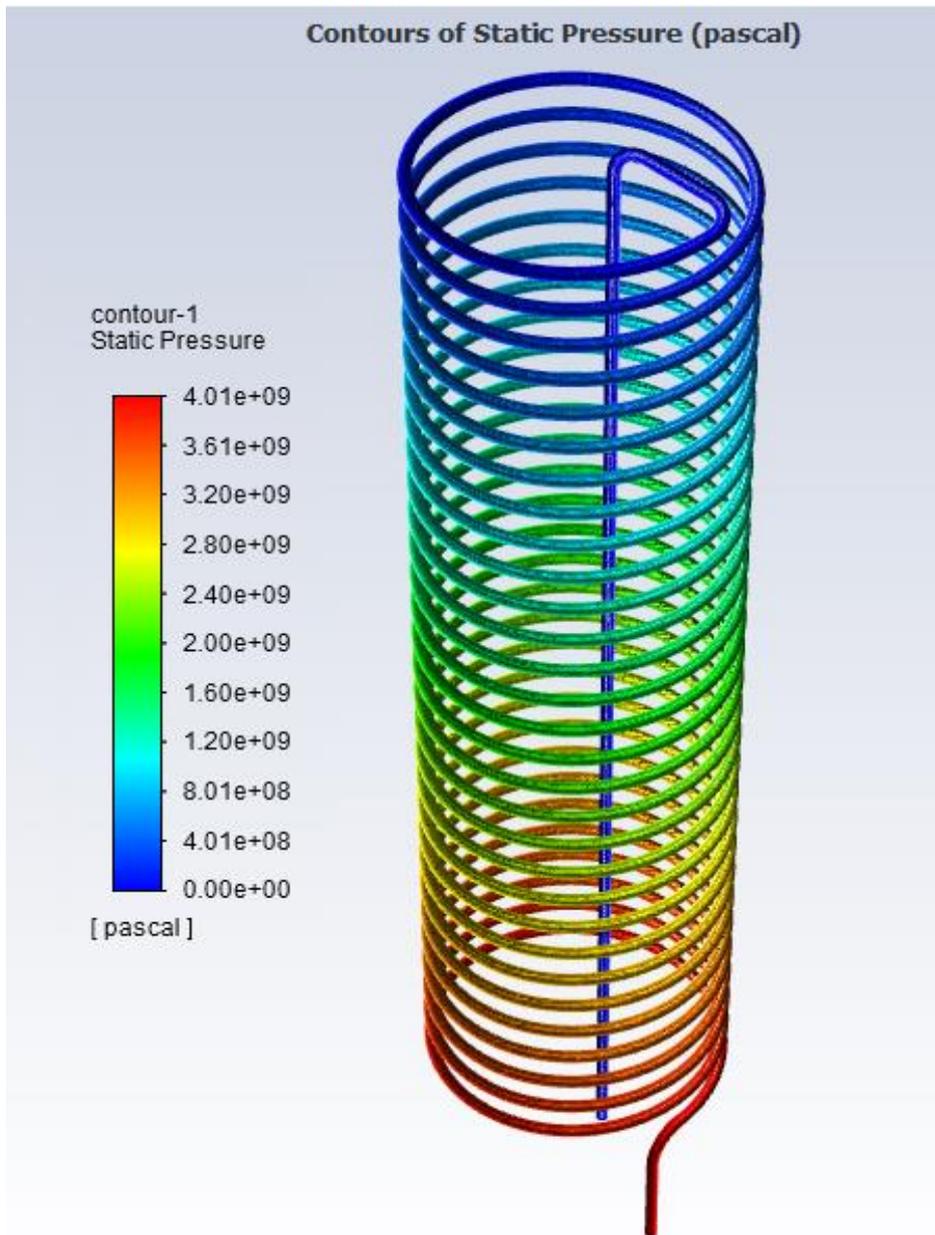
#### 4.3.1 Hasil kontur temperatur dari simulasi pipa kapiler 30 lilitan



Gambar 4.9 Hasil kontur temperatur dari simulasi pipa kapiler 30 lilitan

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 warna yang semakin biru maka titik tersebut mengalami penurunan temperatur.
2. Dari hasil simulasi menunjukkan temperatur masuk APK semakin turun akibat efek pendinginan dari air.

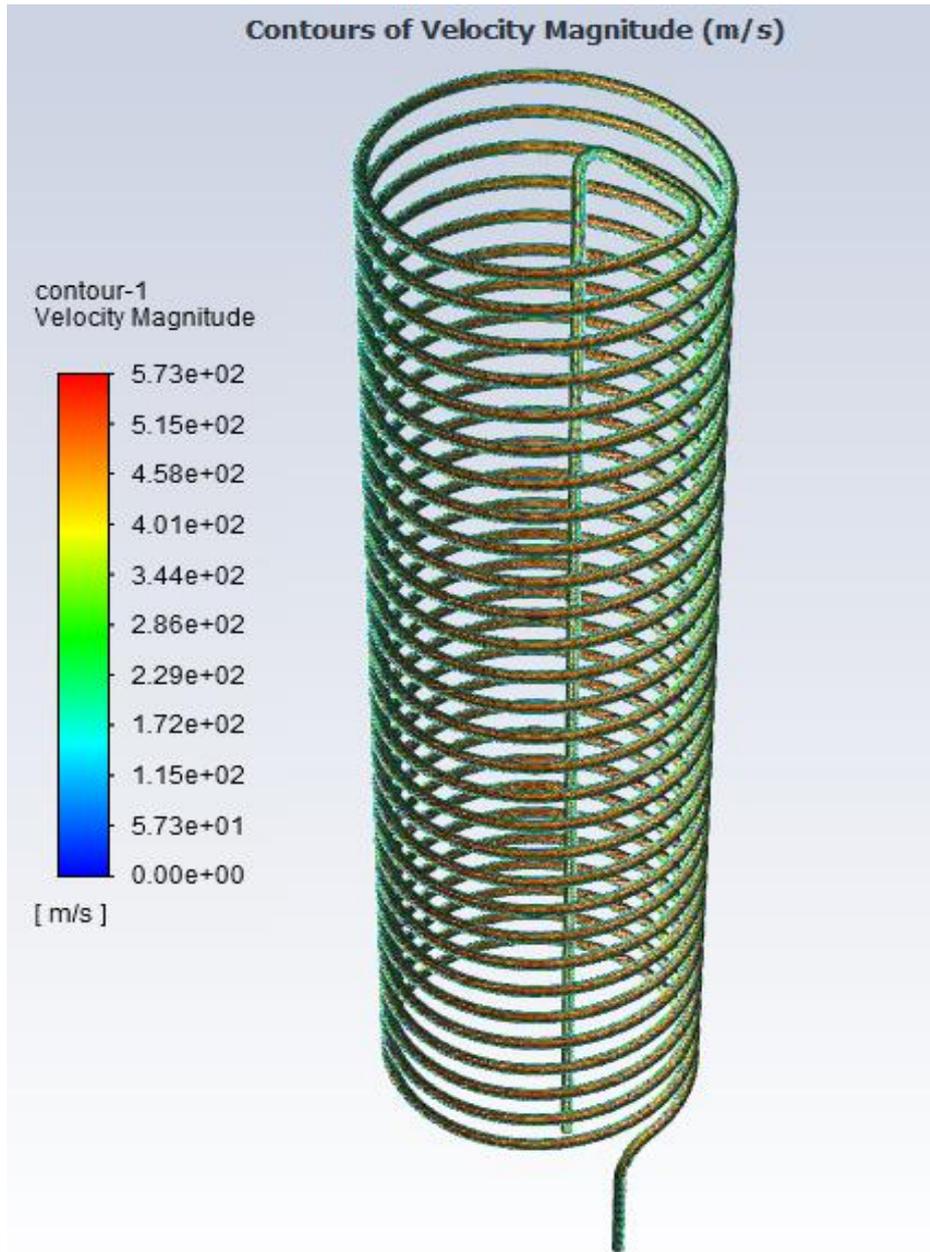
#### 4.3.2 Hasil kontur tekanan dari simulasi pipa kapiler 30 lilitan



Gambar 4.10 Hasil kontur tekanan dari simulasi pipa kapiler 30 lilitan

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 warna yang semakin biru, maka titik tersebut mengalami penurunan tekanan.
2. Hal ini di sebabkan adanya proses penurunan tekanan akibat belokan pipa dan adanya efek gravitasi.

#### 4.3.3 Hasil kontur kecepatan dari simulasi pipa kapiler 30 lilitan



Gambar 4.11 Hasil kontur kecepatan dari simulasi pipa kapiler 30 lilitan

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 warna yang semakin biru, maka titik tersebut mengalami penurunan kecepatan.
2. Hal ini menunjukkan kecepatan aliran disepanjang pipa APK merata disepanjang pipa.

4.3.4 Proses simulasi helical coil 30 lilitan yang terekam dapat ditampilkan pada gambar dibawah ini :



a. 10 menit



b. 20 menit



c. 30 menit



d. 40 menit



e. 50 menit



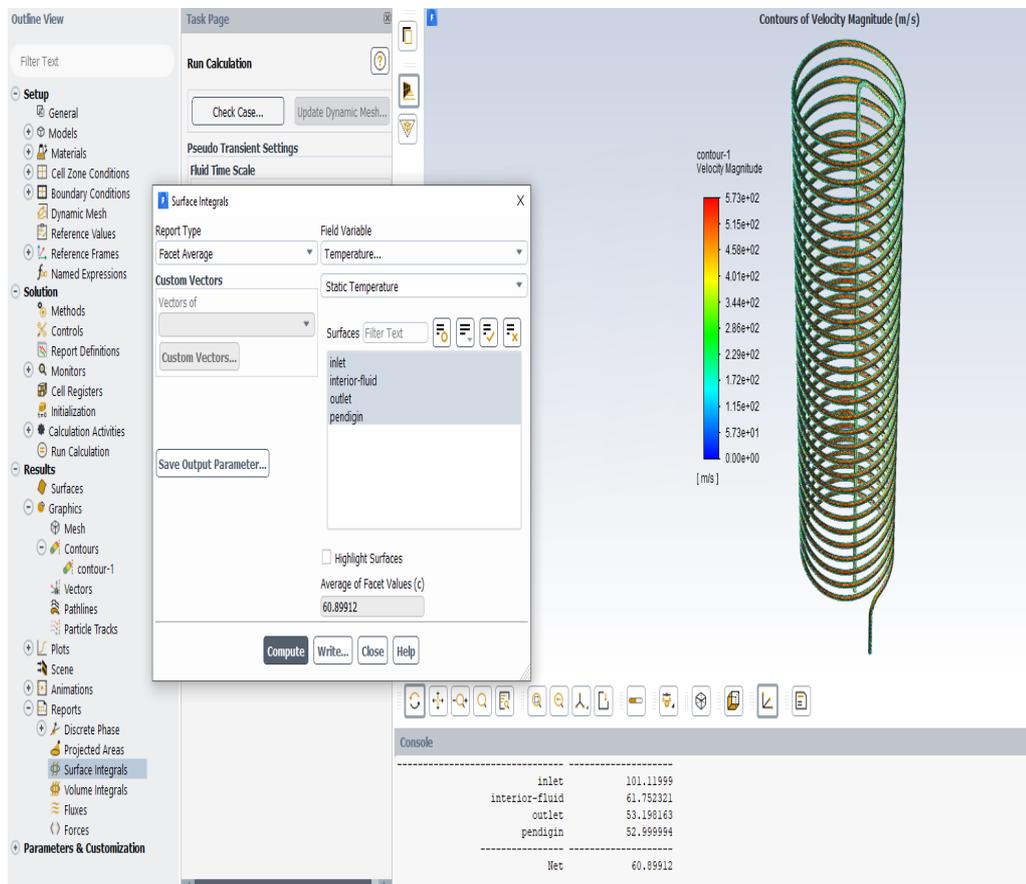
f. 60 menit

Gambar 4.12 Proses simulasi pipa kapiler 30 lilitan yang ditampilkan pada waktu per 10 menit

Gambar 4.12 diatas menjelaskan, proses aliran fluida panas pada pipa kapiler 30 lilitan dengan menggunakan software ansys. Proses masuknya aliran fluida panas dimulai dari pipa yang melengkung lubang inlet (temperatur masuk). Pada waktu 10 menit pertama pipa kapiler(lubang inlet) mulai berwarna merah pada beberapa lilitan menunjukkan bahwa temperatur tinggi. Namun pada waktu 60 menit aliran fluida yang melintasi pipa kapiler sampai ke lubang outlet (keluaran fluida) mulai berwarna biru menunjukkan bahwa pipa kapiler mengalami penurunan temperatur akibat efek pendinginan dari air.

(keterangan warna : merah = temperatur yang semakin tinggi, biru = penurunan temperatur yang diakibatkan oleh efek pendinginan dari air).

#### 4.4 Data perbandingan uji eksperimen dengan simulasi CFD pipa kapiler 30 lilitanpada pengujian 60 menit



Gambar 4.13 Hasil perbandingan simulasi CFD dengan uji eksperimen pipa kapiler 30 lilitan.

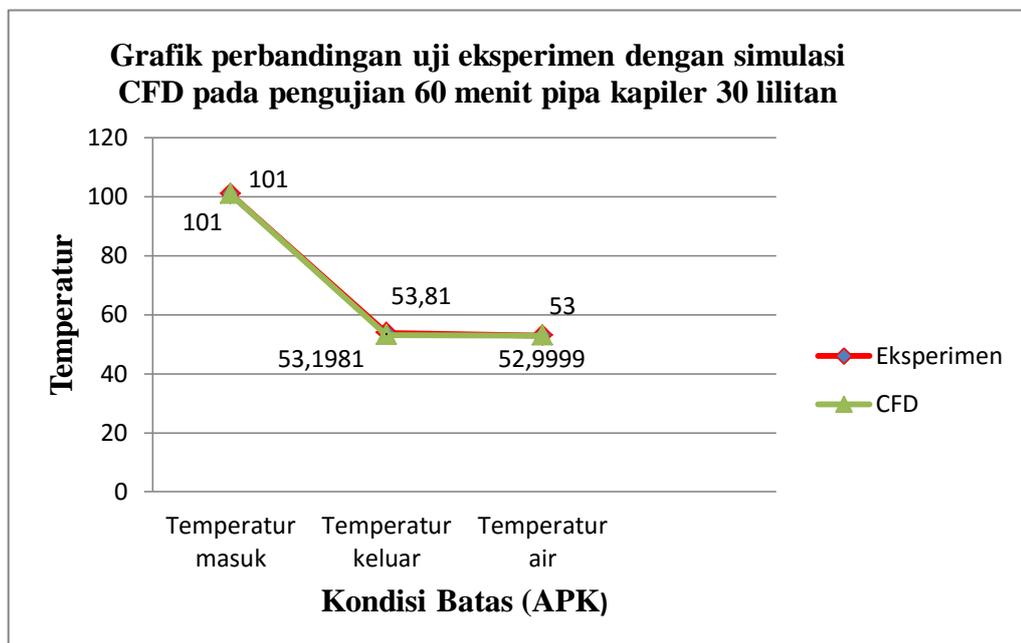
Tabel 4.2 Data perbandingan uji eksperimen dengan simulasi CFD 30 lilitan pada pengujian 60 menit.

Kondisi Batas (APK)	Temperatur (°C)	
	Eksperimen (Andri Kurniawan,2019)	Simulasi
TemperaturMasuk	101	101
TemperaturKeluar	53.81	53.1981
Temperatur Air Pendingin	53	52.9999

Dari hasil perbandingan menunjukkan perbedaan sekitar 0.6119 °C lebih rendah hasil simulasi atau sekitar 1.1371 % eror hasil perbandingan simulasi dan eksperimen.

$$\text{Persen eror} = \frac{53.81 - 53.1981}{53.81} \times 100$$

$$= 1.1371 \%$$



Gambar 4.14 Grafik perbandingan uji eksperimen dengan simulasi CFD pada pengujian 60 menit pipa kapiler 30 lilitan.

Pada gambar grafik diatas terlihat bahwa pada perbandingan uji eksperimental dan simulasi CFD tidak terjadi perbedaan yang cukup jauh. Hasil perbandingan menunjukkan perbedaan sekitar 0.6119 °C lebih rendah hasil CFD atau sekitar 1.1371 % eror hasil perbandingan simulasi dan eksperimen.

## **BAB 5**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### 5.1 Kesimpulan

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

1. Dari hasil simulasi temperatur yang dihasilkan pada APK pipa kapiler 15 lilitan lebih tinggi dibandingkan dengan APK 30 lilitan. Dapat dilihat bahwa APK 15 lilitan lebih cepat mengantarkan panas ke air.
2. Hasil uji simulasi pipa kapiler 15 lilitan pada pengujian 60 menit temperatur masuk sebesar  $107,7499\text{ }^{\circ}\text{C}$ , temperatur keluar  $56,200705\text{ }^{\circ}\text{C}$ , temperatur air pendingin  $53,6899\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Hasil uji simulasi tidak berbeda jauh dengan hasil uji eksperimen yang telah dilakukan oleh Setiawan Hadi pada tahun 2019.
3. Hasil uji simulasi pipa kapiler 30 lilitan pada pengujian 60 menit temperatur masuk sebesar  $101\text{ }^{\circ}\text{C}$ , temperatur keluar  $53,1981\text{ }^{\circ}\text{C}$ , temperatur air pendingin  $52,9999\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Hasil uji simulasi tidak berbeda jauh dengan hasil uji eksperimen yang telah dilakukan oleh Andri Kurniawan pada tahun 2019

#### 5.2 Saran

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

1. Lakukan simulasi minimal sebanyak 2 kali pada setiap percobaan agar mendapatkan keakuratan data dan hasil yang diinginkan.
2. Demi penyempurnaan alat dan riset, maka diperlukan penelitian-penelitian lanjutan untuk dikembangkan mengenai ACWH dan APK dengan bentuk-bentuk yang bervariasi lainnya.

## Daftar Pustaka

- Aziz, A. (2013) *Komparasi Katup Ekspansi Termostatik dan Pipa Kapiler Terhadap Temperatur dan Tekanan Mesin Pendingin*. Program Studi Teknik Mesin, Universitas Riau.
- Barun, A dan Rukmana, E. (2010) *Analisis Performance Pada Heat Exchanger Jenis Sheel And Tube Tipe Bem Dengan Menggnakan Perubahan Laju Aliran Massa Fluida Panas (Mh)*. Program Studi Teknik Mesin, Universitas Muhammadiyah Jakarta.
- Demak Kiay R, dkk. (2017) *pengaruh variasi massa refrigeran terhadap kinerja air conditioner water heater (ACWH)*. Universitas Tadulako.
- Ekadewi, dkk. (2002) *Analisa pengaruh pipa kapiler yang dililitkan pada line suction terhadap performasi mesin pendingin*. Jurnal Teknik Mesin vol.4 No.2.
- Hadi, S. (2020) *Rancang Bangun ACWH (Air Conditioner Water Heater) Dengan Alat Penukar Kalor Tipe Shell Helical Coil*. Laporan tugas akhir. Medan : Program Studi Teknik Mesin, UMSU.
- Hamid, A dan Erwahyudi, (2017) *Perancangan Alat Simulasi Air Conditioner Split Wall ½ Pk Terhadap Beban Panas Di Dalam Ruangan*. Batam : Program Studi Teknik Mesin, Universitas Batam
- Handoyo, A dan Lukito, A. (2002) *Analisis Pengaruh Pipa Kapiler Yang Dililitkan Pada Line Suction Terhadap Performasi Mesin Pendingin*. Program Studi Teknik Mesin, Universitas Kristen Petra.
- Holman, Jack P, (Terj. Jasjfi, E). 1993 “*Perpindahan Panas, Cetakan 3*” Jakarta, Erlangga.
- Kurniawan,A.(2020)*Pengaruh Panjang Pipa Kapiler Terhadap Efektivitas Alat Penukar Kalor Tipe Shell Helical Coil*. Laporan Tugas Akhir. Medan : Program Studi Teknik Mesin, UMSU.
- Kuswary, R. (2019) *Simulasi Numerik Kerugian Energi Pada Belokan Pipa*. Laporan Tugas Akhir. Medan : Program Studi Teknik Mesin, UMSU.
- Marwan.(2005) *Usaha peningkatan prestasi freezer dengan melilitkan pipa kapiler pada line suction*. Jurusan Teknik Mesin. Fakultas Teknik Universitas Tadulako. Palu,Sulawesi Tengah.

- Santoso AD, (2017) *Analisa Koefisien Perpindahan Panas Konveksi dan Distribusi Temperatur Aliraaan Fluida Pada Heat Exchanger Counterflow Menggunakan Solidworks*. Fakultas Teknologi Industri, Universitas Gunadarma.
- Siregar C.A, dkk. (2016) *Analisa Numerik Peleburan Paraffin Wax Sebagai Thermal Storage*. Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
- Siregar C.A, dan Irfansyah, (2018) *Numerical Study Of Performance Using Winglets In The Compact Type Heat Exchanger*, Vol. 1 No. 1, 20-29
- Sitompul, Tunggal M. 1993 “*Alat Penukar kalor (Heat Exchanger)*” Jakarta, Rajawali Pres.
- Supratman H. 1982. *Refrigerasi dan Pengkondisian Udara*. Erlangga, Jakarta
- Supriadi, B. dkk. (2018) *Analisis Variasi Tipe Kondensor Air Conditioning (AC) Terhadap Besar Peningkatan Suhu Yang Dihasilkan*. Program Studi Pendidikan Fisika FKIP, Universitas Jember.
- Stoecker, F. Wilbert, 1996. *Refrigerasi dan Pengkondisian Udara*, Penerbit Erlangga, Jakarta.

## **LAMPIRAN**



**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://fatek.umsu.ac.id> E-mail : [fatek@umsu.ac.id](mailto:fatek@umsu.ac.id)

**PENENTUAN TUGAS AKHIR DAN PENGHUJUKAN  
DOSEN PEMBIMBING**

Nomor/1826/IL.3AU/UMSU-07/F/2019

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

Nama : ALDI TRISNA IRAWAN  
NPM : 1607230062  
Program Studi : TEKNIK Mesin  
Semester : VII ( TUJUH ))  
Judul Tugas Akhir : ANALISA NUMERIK PERPINDAHAN PANAS PADA ACWH  
DENGAN PIPA KAPILER SEBAGAI PENGHANTAR PANAS.

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

Dengan demikian diizinkan untuk menulis tugas akhir dengan ketentuan :

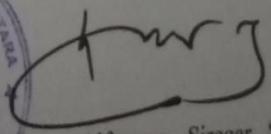
1. Bila judul Tugas Akhir kurang sesuai dapat diganti oleh Dosen Pembimbing setelah mendapat persetujuan dari Program Studi Teknik Mesin
2. Menulis Tugas Akhir dinyatakan batal setelah 1 (satu) Tahun dan tanggal yang telah ditetapkan.

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



  
Munawar Alfansury Siregar ST. MT  
NIDN : 0101017202

Cc. File

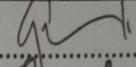
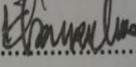
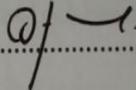
**DAFTAR HADIR SEMINAR  
TUGAS AKHIR TEKNIK MESIN  
FAKULTAS TEKNIK - UMSU  
TAHUN AKADEMIK 2020 - 2021**

Peserta seminar

Nama : Aldi Trisna Irawan

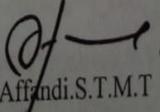
NPM : 1607230062

Judul Tugas Akhir : Analisa Numerik Unjuk kerja Pipa Kapiler sebagai APK Pada Sistem ACWH

DAFTAR HADIR			TANDA TANGAN
Pembimbing - I	: Chandra A Siregar.S.T.M.T	:	
Pemanding - I	: Khairul Umurani.S.T.M.T	:	
Pemanding - II	: Affandi.S.T.M.T	:	
No	NPM	Nama Mahasiswa	Tanda Tangan
1	1502230237	Ahmad Fahmi	
2	1607230062	Aldi Trisna Irawan	
3	1607230034	HARI YANI ADHIA	
4	1607230072	MUHAMMAD ANWAR	
5	1607230073	RIFKI RAMADANI	
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 : Aldi Trisna Irawan  
NPM : 1607230062  
Judul T.Akhir : Analisa Numerik Unjuk Kerja Pipa Kapiler Sebagai APK Pada Sistem ACWH

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

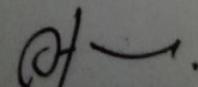
1. Baik dapat diterima ke sidang sarjana ( collogium)
2. Dapat mengikuti sidang sarjana (collogium) setelah selesai melaksanakan perbaikan antara lain :

*Tugas dan Praktek, Metode, dan*

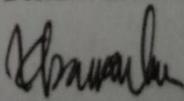
3. Harus mengikuti seminar kembali  
Perbaikan :

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 : Aldi Trisna Irawan  
NPM : 1607230062  
Judul T.Akhir : Analisa Numerik Unjuk Kerja Pipa Kapiler Sebagai APK Pada Sistem ACWH

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 :

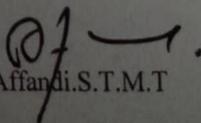
.....  
..... *lihat buku dan catatan* .....  
.....

3. Harus mengikuti seminar kembali  
Perbaikan :

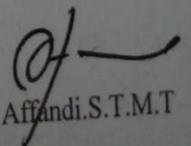
.....  
.....  
.....  
.....

Medan 21 Rab.Awa 1442H  
07 Nopember 2020M

Diketahui :  
Ketua Prodi. T.Mesin

  
Affandi.S.T.M.T

Dosen Pembanding- II

  
Affandi.S.T.M.T

Task Page

Outline View

- Filter Text
- Setup
  - General
  - Models
  - Materials
  - Cell Zone Conditions
  - Boundary Conditions
  - Dynamic Mesh
  - Reference Values
  - Reference Frames
  - Named Expressions
- Solution
  - Methods
  - Controls
  - Report Definitions
  - Monitors
  - Cell Registers
  - Initialization
  - Calculation Activities
  - Run Calculation
- 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

**Run Calculation**

Check Case...

Pseudo Transient Setting

Fluid Time Scale

Time Step Method: Automatic

Length Scale Method: Conservative

Parameters

Number of Iterations: 500

Profile Update Interval: 1

Solution Processing

Statistics

Data Sampling for Steady State

Data File Q

Solution Advancement

Calculation

Surface Integrals

Report Type: Facet Average

Field Variable: Temperature...

Static Temperature

Surfaces: inlet, outlet, pendingin, wall-airan, wall-solid

Filter Text

Save Output Parameter...

Highlight Surfaces

Average of Facet Values (c): 0

Buttons: Compute, Write..., Close, Help

Tools

- Refresh
- Home
- Zoom In
- Zoom Out
- Fit
- Rotate
- Translate
- Scale
- Lock
- Unlock
- Print
- Help

Contours of Static Temperature (c)

contour-1  
Static Temperature [c]

1.08e+02
1.02e+02
9.69e+01
9.15e+01
8.61e+01
8.07e+01
7.53e+01
6.99e+01
6.45e+01
5.91e+01
5.37e+01

Console

inlet	107.74999
outlet	56.200705
pendingin	53.689996
wall-airan	81.138007
wall-solid	70.524381
-----	
Net	68.88359

Task Page

Run Calculation

Check Case...

Pseudo Transient Settings

Fluid Time Scale

Update Dynamic Mesh...

Filter Text

Setup

- General
- Models
- Materials
- Cell Zone Conditions
- Boundary Conditions
- Dynamic Mesh
- Reference Values
- Reference Frames
- Named Expressions

Solution

- Methods
- Controls
- Report Definitions
- Monitors
- Cell Registers
- Initialization
- Calculation Activities
- Run Calculation

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

Field Variable: Temperature...

Static Temperature

Surfaces: inlet, interior-fluid, outlet, pendigin

Highlight Surfaces

Average of Facet Values (c): 60.89912

Compute Write... Close Help

Save Output Parameter...

Contours of Velocity Magnitude (m/s)

contour-1 Velocity Magnitude [m/s]

5.73e+02  
5.15e+02  
4.58e+02  
4.01e+02  
3.44e+02  
2.88e+02  
2.29e+02  
1.72e+02  
1.15e+02  
5.73e+01  
0.00e+00

Console

```

inlet          101.11999
interior-fluid 61.752321
outlet        53.198163
pendigin     52.999994
-----
Net          60.89912

```

ANSYS

Quick Search (Ctrl+F)

File Domain Physics User-Defined Solution Results View Parallel Design

Mesh

Surface Create Manage...

Adapt Refine / Coarsen... More

Mesh Models Dynamic Mesh... Mixing Planes... Turbo Topology...

Interfaces Mesh... Overset...

Zones Combine Delete... Deactivate... Activate... Replace Mesh... Replace Zone...

Scale... Transform Make Polyhedra

Quality

Task Page

Boundary Conditions

Zone Filter Text

inlet interior-allian outlet

Velocity Inlet

Zone Name inlet

Nomenclature Thermal Radiation Species DPM Multiphase Potential UDS

Velocity Specification Method Magnitude, Normal to Boundary

Reference Frame Absolute

Velocity Magnitude (m/s) 0.4

Supersonic/Initial Gauge Pressure (pascal) 0

Turbulence

Specification Method Intensity and Viscosity Ratio

Turbulent Intensity (fraction) 0.05

Turbulent Viscosity Ratio 10

OK Cancel Help

Phase mixture Type velocity-inlet ID 6

Edit... Copy... Profiles...

Parameters... Operating Conditions... Display Mesh... Periodic Conditions...

Highlight Zone

Outline View

Filter Text

- Setup
  - General
  - Models
  - Materials
  - Cell Zone Conditions
  - Boundary Conditions
    - Inlet
    - Internal
    - Outlet
    - Wall
  - 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
- Parameters & Customization

Mesh

Console

```

a11can
Parallel,
Done.
Preparing mesh for display...
Done.
Reading "V\ gunzip -c \D:\Uesu\Aidtrinas\15 lilitan_files\dp0\FFF\Fluent\FFF-16-01719.dat.gz"\vm...
Parallel variables...
Done.
  
```

ANSYS

Quick Search (Ctrl+F)

File Domain Physics User-Defined Solution Results View Parallel Design

Mesh

Surface + Create Manage...

Adapt Refine / Coarsen... More

Mesh Models Dynamic Mesh... Mixing Planes... Turbo Topology...

Interfaces Mesh... Overset...

Zones Combine Delete... Deactivate... Activate... Make Polyhedra

Scale... Transform Quality

Append Replace Mesh... Replace Zone...

Task Page

Boundary Conditions

Zone Filter-Text

inlet interior-allran outlet pendingin wall-allran

Surface Integrals

Report Type

Facet Average

Field Variable Velocity...

Cell Reynolds Number

Surfaces Filter-Text

inlet outlet pendingin wall-allran wall-solid

Highlight Surfaces

Average of Facet Values 26582.75

Save Output Parameter...

Compute Write... Close Help

Phase Type ID

mixture velocity-inlet 6

Edit... Copy... Profiles...

Parameters... Operating Conditions...

Display Mesh... Periodic Conditions...

Highlight Zone

Outline View

Filler-Text

- Setup
  - General
  - Models
  - Materials
  - Cell Zone Conditions
  - Boundary Conditions
  - Inlet
  - Outlet
  - Wall
  - 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

Console

```

-----
Net                               673.01832
-----
Average of Facet Values
Cell Reynolds Number
-----
inlet                               69156.631
outlet                              96.301905
wall-allran                         38.488424
-----
Net                               26582.751
-----

```

Thermophysical Properties of Refrigerants

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

Temp., °C	Pres- sure, MPa	Density, kg/m <sup>3</sup>	Volume, m <sup>3</sup> /kg	Enthalpy, kJ/kg		Entropy, kJ/(kg·K)		Specific Heat c <sub>p</sub> , kJ/(kg·K)		Velocity of Sound, m/s		Viscosity, μPa·s		Thermal Cond., mW/(m·K)		Surface Tension, mN/m	Temp., °C	
				Liquid	Vapor	Liquid	Vapor	Liquid	Vapor	c <sub>p</sub> /c <sub>v</sub>	Liquid	Vapor	Liquid	Vapor	Liquid			Vapor
-100	0.00201	1571.3	8.26600	90.71	358.97	0.5050	2.0543	1.061	0.497	1.243	1127	143.6	845.8	7.25	143.1	4.46	28.12	-100
-90	0.00481	1544.9	3.64480	101.32	363.85	0.5646	1.9980	1.061	0.512	1.237	1080	147.0	699.4	7.67	137.8	4.84	26.36	-90
-80	0.01017	1518.2	1.77870	111.94	368.77	0.6210	1.9508	1.062	0.528	1.233	1033	150.3	591.0	8.09	132.6	5.23	24.83	-80
-70	0.02047	1491.2	0.94342	122.58	373.70	0.6747	1.9108	1.065	0.545	1.231	986	153.3	507.6	8.52	127.6	5.68	22.92	-70
-60	0.03750	1463.7	0.51680	133.27	378.59	0.7260	1.8770	1.071	0.564	1.230	940	156.0	441.4	8.94	122.6	6.12	21.24	-60
-50	0.06453	1435.6	0.32385	144.03	383.42	0.7752	1.8480	1.079	0.585	1.232	893	158.3	387.5	9.36	117.8	6.59	19.58	-50
-48	0.07145	1429.9	0.29453	146.19	384.37	0.7849	1.8428	1.081	0.589	1.233	884	158.7	377.8	9.45	116.9	6.69	19.25	-48
-46	0.07894	1424.2	0.26837	148.36	385.32	0.7944	1.8376	1.083	0.594	1.234	875	159.1	368.6	9.53	115.9	6.79	18.92	-46
-44	0.08705	1418.4	0.24495	150.53	386.26	0.8039	1.8327	1.086	0.599	1.235	865	159.5	359.4	9.62	115.0	6.89	18.59	-44
-42	0.09580	1412.6	0.22402	152.70	387.20	0.8134	1.8278	1.088	0.603	1.236	856	159.9	351.0	9.70	114.0	6.99	18.27	-42
-40.81 <sup>b</sup>	0.10132	1409.2	0.21260	154.00	387.75	0.8189	1.8250	1.090	0.606	1.236	851	160.1	346.0	9.75	113.5	7.05	18.08	-40.81
-40	0.10523	1406.8	0.20521	154.89	388.13	0.8227	1.8231	1.091	0.608	1.237	847	160.3	342.6	9.79	113.1	7.09	17.94	-40
-38	0.11538	1401.0	0.18829	157.07	389.06	0.8320	1.8186	1.093	0.613	1.238	838	160.6	334.5	9.87	112.2	7.19	17.62	-38
-36	0.12628	1395.1	0.17304	159.27	389.97	0.8413	1.8141	1.096	0.619	1.239	828	160.9	326.7	9.96	111.2	7.29	17.30	-36
-34	0.13797	1389.1	0.15927	161.47	390.89	0.8505	1.8098	1.099	0.624	1.241	819	161.2	319.1	10.04	110.3	7.40	16.98	-34
-32	0.15050	1383.2	0.14682	163.67	391.79	0.8596	1.8056	1.102	0.629	1.242	810	161.5	311.7	10.12	109.4	7.51	16.66	-32
-30	0.16389	1377.2	0.13553	165.88	392.69	0.8687	1.8015	1.105	0.635	1.244	800	161.8	304.6	10.21	108.5	7.61	16.34	-30
-28	0.17819	1371.1	0.12528	168.10	393.58	0.8778	1.7975	1.108	0.641	1.246	791	162.0	297.7	10.29	107.5	7.72	16.02	-28
-26	0.19344	1365.0	0.11597	170.33	394.47	0.8868	1.7937	1.112	0.646	1.248	782	162.3	291.0	10.38	106.6	7.83	15.70	-26
-24	0.20968	1358.9	0.10749	172.56	395.34	0.8957	1.7899	1.115	0.653	1.250	772	162.5	284.4	10.46	105.7	7.94	15.39	-24
-22	0.22696	1352.7	0.09975	174.80	396.21	0.9046	1.7862	1.119	0.659	1.253	763	162.7	278.1	10.55	104.8	8.06	15.07	-22
-20	0.24531	1346.5	0.09268	177.04	397.06	0.9135	1.7826	1.123	0.665	1.255	754	162.8	271.9	10.63	103.9	8.17	14.76	-20
-18	0.26479	1340.3	0.08621	179.30	397.91	0.9223	1.7791	1.127	0.672	1.258	744	163.0	265.9	10.72	103.0	8.29	14.45	-18
-16	0.28545	1334.0	0.08029	181.56	398.75	0.9311	1.7757	1.131	0.678	1.261	735	163.1	260.1	10.80	102.1	8.40	14.14	-16
-14	0.30728	1327.6	0.07485	183.83	399.57	0.9398	1.7723	1.135	0.685	1.264	726	163.2	254.4	10.89	101.1	8.52	13.83	-14
-12	0.33038	1321.2	0.06986	186.11	400.39	0.9485	1.7690	1.139	0.692	1.267	716	163.3	248.8	10.98	100.2	8.65	13.52	-12
-10	0.35479	1314.7	0.06527	188.40	401.20	0.9572	1.7658	1.144	0.699	1.270	707	163.3	243.4	11.06	99.3	8.77	13.21	-10
-8	0.38054	1308.2	0.06103	190.70	401.99	0.9658	1.7627	1.149	0.707	1.274	697	163.4	238.1	11.15	98.4	8.89	12.91	-8
-6	0.40769	1301.6	0.05713	193.01	402.77	0.9744	1.7596	1.154	0.715	1.278	688	163.4	233.0	11.24	97.5	9.02	12.60	-6
-4	0.43625	1295.0	0.05352	195.33	403.55	0.9830	1.7566	1.159	0.722	1.282	679	163.4	227.9	11.32	96.6	9.15	12.30	-4
-2	0.46636	1288.3	0.05019	197.66	404.30	0.9915	1.7536	1.164	0.731	1.287	669	163.4	223.0	11.41	95.7	9.28	12.00	-2
0	0.49799	1281.5	0.04710	200.00	405.05	1.0000	1.7507	1.169	0.739	1.291	660	163.3	218.2	11.50	94.8	9.42	11.70	0
2	0.53120	1274.7	0.04424	202.35	405.78	1.0085	1.7478	1.175	0.748	1.296	650	163.2	213.5	11.59	93.9	9.56	11.41	2
4	0.56605	1267.8	0.04159	204.71	406.50	1.0169	1.7450	1.181	0.757	1.301	641	163.1	208.9	11.68	93.1	9.70	11.10	4
6	0.60259	1260.8	0.03913	207.09	407.20	1.0254	1.7422	1.187	0.766	1.307	632	163.0	204.4	11.77	92.2	9.84	10.81	6
8	0.64088	1253.8	0.03683	209.47	407.89	1.0338	1.7395	1.193	0.775	1.313	622	162.8	200.0	11.86	91.3	9.99	10.51	8
10	0.68095	1246.7	0.03470	211.87	408.56	1.0422	1.7368	1.199	0.785	1.319	613	162.6	195.7	11.96	90.4	10.14	10.22	10
12	0.72286	1239.5	0.03271	214.28	409.21	1.0505	1.7341	1.206	0.795	1.326	603	162.4	191.5	12.05	89.5	10.29	9.93	12
14	0.76668	1232.2	0.03086	216.70	409.85	1.0589	1.7315	1.213	0.806	1.333	594	162.2	187.3	12.14	88.6	10.45	9.64	14
16	0.81244	1224.9	0.02912	219.14	410.47	1.0672	1.7289	1.220	0.817	1.340	584	161.9	183.2	12.24	87.7	10.61	9.35	16
18	0.86020	1217.4	0.02750	221.59	411.07	1.0755	1.7263	1.228	0.828	1.348	575	161.6	179.2	12.33	86.8	10.77	9.06	18
20	0.91002	1209.9	0.02599	224.06	411.66	1.0838	1.7238	1.236	0.840	1.357	565	161.3	175.3	12.43	85.9	10.95	8.78	20
22	0.96195	1202.3	0.02457	226.54	412.22	1.0921	1.7212	1.244	0.853	1.366	555	161.0	171.5	12.53	85.0	11.12	8.50	22
24	1.01600	1194.6	0.02324	229.04	412.77	1.1004	1.7187	1.252	0.866	1.375	546	160.6	167.7	12.63	84.1	11.30	8.22	24
26	1.07240	1186.7	0.02199	231.55	413.29	1.1086	1.7162	1.261	0.879	1.385	536	160.2	163.9	12.74	83.2	11.49	7.94	26
28	1.13090	1178.8	0.02082	234.08	413.79	1.1169	1.7136	1.271	0.893	1.396	527	159.7	160.3	12.84	82.3	11.69	7.66	28
30	1.19190	1170.7	0.01972	236.62	414.26	1.1252	1.7111	1.281	0.908	1.408	517	159.2	156.7	12.95	81.4	11.89	7.38	30
32	1.25520	1162.6	0.01869	239.19	414.71	1.1334	1.7086	1.291	0.924	1.420	507	158.7	153.1	13.06	80.5	12.10	7.11	32
34	1.32100	1154.3	0.01771	241.77	415.14	1.1417	1.7061	1.302	0.940	1.434	497	158.2	149.6	13.17	79.6	12.31	6.84	34
36	1.38920	1145.8	0.01679	244.38	415.54	1.1499	1.7036	1.314	0.957	1.448	487	157.6	146.1	13.28	78.7	12.54	6.57	36
38	1.46010	1137.3	0.01593	247.00	415.91	1.1582	1.7010	1.326	0.976	1.463	478	157.0	142.7	13.40	77.8	12.77	6.30	38
40	1.53360	1128.5	0.01511	249.65	416.25	1.1665	1.6985	1.339	0.995	1.480	468	156.4	139.4	13.52	76.9	13.02	6.04	40
42	1.60980	1119.6	0.01433	252.32	416.55	1.1747	1.6959	1.353	1.015	1.498	458	155.7	136.1	13.64	76.0	13.28	5.77	42
44	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	44
46	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	46
48	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	48
50	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	50
52	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	52
54	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	54
56	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	56
58	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	58
60	2.42750																	

## LEMBAR ASISTENSI TUGAS AKHIR

### Analisa Numerik Unjuk Kerja Pipa Kapiler Sebagai APK Pada Sistem ACWH

Nama : Aldi Trisna Irawan  
 NPM : 1607230062

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.	Sbtu / 30-11-2019	Lanjutkan bab 2 dan 3	↑
4.	Senin / 16-12-2019	perbaiki desain pipa kapiler	↑
5.	Senin / 30-12-2019	Sesuaikan ukuran desain dengan pengujian experimental	↑
6.	Senin / 06-01-2020	ACC seminar proposal	↑
7.	Selasa / 15-01-2020	Langut Bab 4	↑
8.	Kamis / 08-10-2020	Perbaiki Bab 4	↑
9.	Senin / 12-10-2020	- perbaiki gambar simulasi - Perbaiki kesimpulan	↑
10.	Rabu / 14-10-2020	Acc seminar hasil	↑

## DAFTAR RIWAYAT HIDUP



### A. DATA PRIBADI

Nama : Aldi Trisna irawan  
Jenis Kelamin : Laki-laki  
Tempat, Tanggal Lahir : Deli Tua, 18 Maret 1999  
Alamat : Jl. Deli Tua Pamah Gg. Amri II  
Agama : Islam  
E-mail : [aldirisnairawan938@gmail.com](mailto:aldirisnairawan938@gmail.com)  
No.Hp : 0812 6423 1403

### B. RIWAYAT PENDIDIKAN

1. SDN 108075	Tahun 2004-2010
2. SMP Swasta Istiqlal Deli Tua	Tahun 2010-2013
3. SMK Swasta Istiqlal Deli Tua	Tahun 2013-2016
4. Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara	Tahun 2016-2020