

TUGAS AKHIR

ANALISIS NUMERIK PELEBURAN MATERIAL BERUBAH PHASA PADA PIPA SEBAGAI *THERMAL STORAGE*

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

Disusun Oleh:

AHMAD SUWANDI
1607230061



UMSU

Unggul | Cerdas | Terpercaya

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

HALAMAN PENGESAHAN

Penelitian Tugas Akhir ini diajukan oleh:

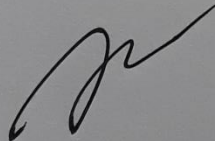
Nama : Ahmad Suwandi
NPM : 1607230061
Program Studi : Teknik Mesin
Judul Tugas Akhir : Analisis Numerik Peleburan
Material Berubah Fasa Pada
Pipa Sebagai *Thermal Storage*
Bidang ilmu : Konversi Energi

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Tim Penguji dan diterima sebagai penelitian tugas akhir untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Medan, 05 Februari 2021

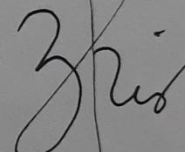
Mengetahui dan menyetujui:

Dosen Penguji



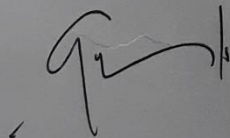
Bekti Suroso, S.T., M.Eng

Dosen Penguji



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

Dosen Penguji



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



Affandi, S.T., M.T

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama Lengkap : Ahmad Suwandi
Tempat /Tanggal Lahir : Medan /17 Januari 1996
NPM : 1607230061
Fakultas : Teknik
Program Studi : Teknik Mesin

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

“Analisis Numerik Peleburan Material Berubah Fasa Pada Pipa Sebagai *Thermal Storage*”

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 ketidak sesuaian 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, 05 Februari 2021

Saya yang menyatakan,

 Ahmad Suwandi

ABSTRAK

Salah satu kelemahan energi panas matahari adalah tidak tersedia sepanjang waktu, yaitu hanya ada pada siang hari saja, itu pun juga berfluktuasi karena cuaca dan lokasi. Maka dari itu perlu disimpan agar bisa digunakan saat malam hari atau saat cuaca tidak mendukung. Salah satu metode yang paling efisien untuk menyimpan energi panas ini adalah disimpan dalam bentuk panas laten. Analisis numerik ini dilakukan pada penyimpanan panas model pipa PVC dengan diameter 0,5 inch posisi vertical menggunakan *Paraffin Wax* dan *Stearic Acid* sebagai material penyimpan panas. Pembuatan geometri menggunakan software ANSYS sedangkan problem solving menggunakan FLUENT. Analisis numerik dilakukan untuk melihat evolusi peleburan *Paraffin Wax* dan *Stearic Acid* yang terjadi selama proses peleburan dengan temperature 90°C, 85°C dan 80°C serta mencari tahu efektifitas *paraffin wax* dan *stearic acid* dalam hal peningkatan kinerja thermal dan penyerapan panas. Dari hasil analisis menunjukkan bahwa proses peleburan diawali pada *Paraffin* dan *Stearic Acid* yang berada dekat dengan dinding pipa dan dekat dengan sumber panas lalu diakhiri pada bagian yang jauh dari sumber panas dan *Stearic Acid* lebih efektif digunakan sebagai *Thermal Storage* (penyimpanan energi) panas dari pada *Paraffin Wax*. Hal ini dibuktikan dengan nilai panas yang tersimpan pada *Stearic Acid* lebih tinggi yaitu 314603.4 j/kg pada temperatur pengujian 90°C jika dibandingkan dengan *Paraffin Wax* 309241.11 j/kg pada temperatur pengujian 90°C.

Kata kunci : Paraffin Wax, Stearic Acid, Thermal Storage, ANSYS

ABSTRACT

One of the disadvantages of solar thermal energy is that it is not available all the time, which is only available during the day, it also fluctuates due to weather and location. Therefore it needs to be stored so that it can be used at night or when the weather is not supportive. One of the most efficient methods for storing this heat energy is stored in the form of latent heat. This numerical analysis is carried out on a heat storage model of a PVC pipe with a diameter of 0.5 inch in vertical position using Paraffin Wax and Stearic Acid as heat storage material. Making geometry uses ANSYS software while problem solving uses FLUENT. Numerical analysis was carried out to see the evolution of the fusion of Paraffin Wax and Stearic Acid that occurred during the melting process with temperatures of 90 °C, 85 °C and 80 °C and to find out the effectiveness of paraffin wax and stearic acid in terms of increasing thermal performance and heat absorption. The results of the analysis show that the melting process begins with Paraffin and Stearic Acid which is close to the pipe wall and close to the heat source and then ends at a part that is far from the heat source and Stearic Acid is more effectively used as a thermal storage (energy storage) of heat than Paraffin. Wax. This is evidenced by the higher heat value stored in Stearic Acid, namely 314603.4 j / kg at 90 90 test temperature when compared to Paraffin Wax 309241.11 j / kg at 90 °C test temperature.

Keywords: Paraffin Wax, Stearic Acid, Thermal Storage, ANSYS

KATA PENGANTAR

Dengan nama Allah Yang Maha Pengasih lagi Maha Penyayang. Segala puji dan syukur penulis panjatkan kehadiran Allah SWT yang telah memberikan karunia dan nikmat yang tiada terkira. Salah satu dari nikmat tersebut adalah keberhasilan penulis dalam menyelesaikan laporan Tugas Akhir ini yang berjudul “Analisis Numerik Peleburan Material Berubah Fasa Pada Pipa Sebagai *Thermal Storage*” 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 Tugas Akhir ini, untuk itu penulis menghaturkan rasa terimakasih yang tulus dan dalam kepada:

1. Bapak Chandra A Siregar S.T., M.T selaku Dosen Pembimbing serta Sekretaris Program Studi Teknik Mesin, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara., yang telah banyak membimbing dan mengarahkan penulis dalam menyelesaikan Proposal Tugas Akhir ini.
2. Bapak Affandi, S.T., M.T sebagai Ketua Program Studi Teknik Mesin, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
3. Bapak Munawar Alfansury Siregar, S.T, MT selaku Dekan Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
4. Seluruh Bapak/Ibu Dosen di Program Studi Teknik Mesin, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara yang telah banyak memberikan ilmu keteknikmesinan kepada penulis.
5. Orang tua penulis: Marzuki dan Siti Aminah Lubis, yang telah bersusah payah membesarkan dan membiayai studi penulis.
6. Bapak/Ibu Staf Administrasi di Biro Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
7. Sahabat-sahabat penulis: Riki Handoko sahabat seperjuangan, Iqbal Azhari sahabat sedari kecil, Rizki Hanhara sahabat tersolid, Mudrikah yang telah setia menemani dari awal penulisan hingga selesai, Yolani Dwi Agustin, Abangda Wahid, Abangda Munawar dan lainnya yang tidak mungkin namanya disebut satu per satu.

Tugas Akhir ini tentunya masih jauh dari kesempurnaan, untuk itu penulis berharap kritik dan masukan yang konstruktif untuk menjadi bahan pembelajaran berkesinambungan penulis di masa depan. Semoga laporan Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi pengembangan ilmu keteknik-mesinan.

Medan, 05 Februari 2021

Ahmad Suwandi

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	ii
LEMBAR PERNYATAN KEASLIAN SKRIPSI	iii
ABSTRAK	iv
ABSTRACT	v
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR TABEL	x
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR NOTASI	xii
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan masalah	3
1.3. Ruang lingkup	3
1.4. Tujuan Penelitian	3
1.5. Manfaat Penelitian	4
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1. <i>Phasa Change Material (PCM)</i>	5
2.2. <i>Klasifikasi Phasa Change Material (PCM)</i>	5
2.2.1. <i>Organic</i>	6
2.2.2. <i>Inorganic</i>	7
2.2.3. <i>Eutectics</i>	7
2.3. <i>Karakteristik PCM</i>	8
2.3.1. <i>Paraffin</i>	9
2.3.1.1. <i>Sifat–Sifat Paraffin</i>	11
2.3.2. <i>PCM Non-paraffin</i>	13
2.3.3. <i>Garam Hidrat</i>	14
2.4. <i>Thermal Energy Storage</i>	15
2.5. <i>Pengertian Simulasi</i>	16
2.5.1. <i>Permodelan Sistem dan Simulasi</i>	17
2.5.2. <i>Pengertian Numerik</i>	18
2.5.3. <i>Pengertian Simulasi Numerik</i>	18
2.5.4. <i>Klasifikasi Model Simulasi</i>	19
2.6. <i>Computational Fluid Dynamic (CFD)</i>	19
2.6.1. <i>Proses Computational Fluid Dynamic</i>	20
2.7. <i>Perpindahan Panas</i>	21
2.7.1. <i>Konduksi</i>	21
2.7.2. <i>Konveksi</i>	21
2.7.3. <i>Radiasi</i>	21
2.8. <i>Metode Peningkatan Laju Perpindahan Kalor PCM</i>	22
BAB 3 METODOLOGI	24
3.1. <i>Tempat dan Waktu</i>	24
3.1.1. <i>Tempat</i>	24

3.1.2. Waktu	24
3.2. Alat	25
3.3. Diagram Alir Penelitian	27
3.4. Prosedur Penelitian Simulasi dengan <i>Software ANSYS</i>	28
3.4.1. Tahapan dan Proses Simulasi dengan <i>Software ANSYS</i>	28
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN	33
4.1. Hasil Simulasi <i>Phase Change Material (PCM)</i>	33
4.1.1. Evolusi Peleburan <i>Paraffin Wax</i>	33
4.1.2. Evolusi Peleburan <i>Stearic Acid</i>	37
4.2. Efektivitas <i>paraffin wax</i> dan <i>stearic acid</i>	41
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN	43
5.1. Kesimpulan	43
5.2. Saran	43
DAFTAR PUSTAKA	44
LAMPIRAN 1	46
LAMPIRAN 2	77
LEMBAR ASISTENSI	108
SK PEMBIMBINGAN	109
BERITA ACARA SEMINAR HASIL	110
DAFTAR RIWAYAT HIDUP	113

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1.	Jenis-jenis Material <i>PCM Eutectic</i> .	7
Tabel 2.2.	Karakteristik PCM.	8
Tabel 2.3.	Sifat-sifat <i>termophysical</i> material berubah fasa yang digunakan dalam penelitian.	10
Tabel 3.1.	Jadwal Kegiatan Penelitian.	24
Tabel 4.1.	Evolusi peleburan <i>paraffin wax</i> pada temperature 90 °C, 85 °C dan 80 °C.	33
Tabel 4.2.	Evolusi peleburan <i>stearic acid</i> pada temperature 90 °C, 85 °C dan 80 °C.	37
Tabel 4.3.	Nilai Total <i>Energy</i> Hasil Simulasi	42

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Klasifikasi Material Berubah <i>Phasa</i>	6
Gambar 2.2.	<i>Paraffin (a) Paraffin</i> Padat (b) <i>Paraffin</i> Cair	9
Gambar 2.3.	Asam Lemak	14
Gambar 3.1.	Laptop	25
Gambar 3.2.	Diagram Alir Penelitian	27
Gambar 4.1.	Grafik Perbandingan Antara Temperatur Pengujian Dengan Total Energi Dari Kedua PCM	42

DAFTAR NOTASI

Simbol	Besaran	Satuan
A	Luas penampang yang terletak pada aliran panas	m^2
dT/dx	Gradien temperatur dalam aliran panas	K/m
h	Koefisien konveksi	w/m^2
Δh	Perubahan entalphy spesifik karena adanya perubahan phasa	w/m^2
K	Konduktifitas thermal	w/m.k
P	Daya	Watt
Q	Laju perpindahan panas	Watt
Ste	Bilangan Stefan	m^3
T	Temperatur permukaan	$^{\circ}C$
$T_m =$	Temperatur lebur (melting point)	$^{\circ}C$
T_{∞}	Temperatur fluida	$^{\circ}C$
V	Tegangan	Volt
γ	Volume fraksi dalam keadaan lebur	$^{\circ}C$

BAB 1 PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Pemanfaatan energi matahari yang banyak digunakan adalah sebagai penyedia energi panas, seperti untuk memasak, distilasi air laut, pemanas air, dan pengering produk makanan. Pemanfaatan energi matahari tersebut dapat dilakukan dengan konversi panas dan konversi pembangkit listrik tenaga surya (*fotovoltaik*).

Pemanfaatan energi matahari melalui konversi panas jauh lebih efisien dari pada dengan menggunakan teknologi *fotovoltaik*. Sistem *fotovoltaik* hanya memiliki efisiensi sekitar 17%, sedangkan efisiensi konversi panas matahari dapat mencapai sekitar 70% (Sane, 2011). Bahkan pada saat langit berawan selalu tersedia energi matahari yang dapat dimanfaatkan. Selain itu, penggunaan energi panas matahari juga tidak menghasilkan polutan dan emisi yang berbahaya baik bagi manusia maupun lingkungan.

Salah satu kelemahan energi panas matahari adalah tidak tersedia sepanjang waktu, yaitu hanya ada pada siang hari saja, itu pun juga berfluktuasi karena cuaca dan lokasi. Maka dari itu perlu disimpan agar bisa digunakan saat malam hari atau saat cuaca tidak mendukung. Salah satu metode yang paling efisien untuk menyimpan energi panas ini adalah disimpan dalam bentuk panas laten .

Pemanfaatan energi panas matahari dapat digunakan untuk berbagai peralatan sehari-hari seperti *solar water heater* (SWH). SWH merupakan salah satu solusi penyedia air panas untuk kebutuhan mandi baik dalam skala rumah tangga maupun komersil. SWH tidak memerlukan energi listrik dalam pemanasan air yang pada akhirnya dapat mengurangi konsumsi energi listrik.

Namun dalam prakteknya, ternyata peralatan ini masih memiliki kelemahan yakni masih membutuhkan energi pemanas tambahan *electric heater* untuk menjaga suhu air didalam tangki tetap konstan. Untuk menghilangkan daya listrik tersebut, beberapa peneliti telah menguji SWH menggunakan *Thermal Energy Storage* (TES) sebagai pengganti pemanas tambahan.

Sebagai penyimpan energi panas dengan memanfaatkan material berubah fasa (*Phase Change Material/PCM*) diyakini merupakan salah satu solusi tidak konsistennya intensitas energi matahari yang diterima oleh bumi. PCM saat ini menjadi tren topik dan mengundang banyak perhatian dari peneliti karena kapasitas penyimpanan panasnya yang besar. Hal ini memungkinkan untuk mengeksploitasi energi surya sebagai salah satu solusi untuk mengatasi krisis energi listrik dan penghematan energi listrik.

PCM dapat mengalami proses reversibel dari proses peleburan (*melting*) maupun pembekuan (*solidifikasi*) yang dapat dimanfaatkan untuk mempertahankan suhu konstan selama periode waktu tertentu, sehingga dapat dimanfaatkan pada aplikasi penyimpanan panas laten seperti pada SWH. Hal tersebut akan mengalami variasi peleburan dan pembekuan. Selama proses perpindahan panas dan proses peleburan material sangat berdampak pada kinerja penyerapan dan transfer panas. (Sharma, 2007)

PCM merupakan suatu zat dengan kapasitas penyimpanan panas laten yang tinggi, melebur dan padat pada suhu tertentu. Memiliki kemampuan menyimpan dan melepaskan energi. PCM dianggap mampu untuk menyerap panas. Kriteria perpindahan panas konduksi dan konveksi memungkinkan PCM untuk menyimpan panas ini sebagai panas laten (Nayak, 2011).

PCM adalah jenis penyimpan kalor laten yang telah dikembangkan sebagai material TES pada sistem pemanasan (Zalba, 2003). Paraffin wax merupakan salah satu PCM yang memiliki sifat antara lain: densitas energinya cukup tinggi (~ 200 kJ/kg) dan konduktivitas termalnya rendah ($\sim 0,2$ W/m. $^{\circ}$ C) (Farid, 2004); sifat termalnya stabil di bawah 500° C (Sharma, 2009); tidak berbahaya dan tidak reaktif (Sagara, 2005) dan temperatur leleh beberapa produk paraffin wax bervariasi antara 8 sampai 106° C (Kenisarin, 2007).

Lilin (*paraffin wax*) merupakan salah satu jenis PCM berfungsi sebagai penyimpanan panas laten pada pemanas air tenaga surya. Hasil percobaan dengan penerapan kolektor surya untuk pemanas air menunjukkan proses penyerapan energi matahari, koefisien perpindahan panas rata-rata meningkat dengan meningkatnya ketebalan lapisan leburan lilin (Mirzaei, 2015). Kegiatan penelitian ini akan melakukan investigasi terhadap perubahan fasa dari *paraffin wax* dan

stearic acid. Sehingga dapat memberikan informasi untuk meningkatkan kinerja thermal pada alat pemanas dengan menggunakan energi matahari.

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah di uraikan, dapat di rumuskan masalah yang terdapat dalam penelitian ini, antara lain :

1. Bagaimana evolusi peleburan *paraffin wax* dan *stearic acid* yang terjadi selama proses peleburan ?
2. Bagaimana efektifitas *paraffin wax* dan *stearic acid* dalam hal peningkatan kinerja thermal dan penyerapan panas ?

1.3. Ruang Lingkup

Pada penulisan penelitian ini ada beberapa pembatasan masalah agar penelitian ini lebih terarah dan sistematis, antara lain :

1. Jenis PCM yang akan diuji adalah *paraffin wax* dan *stearic acid*.
2. Percobaan atau simulasi proses peleburan PCM diamati dengan temperatur 90 °C, 85 °C dan 80 °C.
3. Analisis numerik dilakukan menggunakan *software* ANSYS dengan demikian, maka penelitian ini akan mensimulasikan dan menganalisis numerik dengan data-data diatas.

1.4. Tujuan Penelitian

Secara umum tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui karakteristik dari material berubah fasa yakni *paraffin wax* dan *stearic acid*. Sedangkan secara khusus tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Untuk mengamati evolusi peleburan *paraffin wax* dan *stearic acid* pada saat proses peleburan.
2. Untuk mengetahui perbandingan antara *paraffin wax* dan *stearic acid* dalam hal peningkatan kinerja termal dan penyerapan panas.

1.5. Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini antara lain adalah:

1. Memberikan informasi terkait PCM yang dapat meningkatkan keefektifitasan penyerapan radiasi *thermal* yang digunakan sebagai penyimpan energi panas.
2. Memberikan wawasan tentang pengembangan iptek khususnya dalam bidang konversi energi panas matahari.
3. Memberikan informasi terkait PCM sebagai salah satu teknologi *thermal storage* yang dapat dimanfaatkan untuk meningkatkan efisiensi penggunaan energi listrik pada sistem pemanas air.
4. Sebagai dasar pertimbangan untuk mengambil kebijakan dalam konservasi energi di masa depan.

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. *Phase Change Material (PCM)*

Bahan-bahan berubah fasa atau selanjutnya dikenal sebagai *Phase Change Materials (PCM)* yang juga seringkali disebut sebagai bahan-bahan penyimpan panas laten adalah bahan yang mempunyai kemampuan untuk melepaskan energi panas yang sangat tinggi dalam jangka waktu yang cukup lama tanpa perubahan suhu (Meng 2008) . Perpindahan energi panas terjadi saat bahan berubah bentuk dari padat ke cair atau cair ke padat. Hal ini dinamakan perubahan bentuk atau perubahan fasa. Awalnya pada *PCM* padat - cair ini terjadi hal seperti bahan penyimpan konvensional dimana energi yang dilepaskan sesuai panas yang diserap. Tidak seperti halnya bahan penyimpan energi konvensional, *PCM* dapat menyerap dan melepaskan panas mendekati suhu konstan. *PCM* dapat melepaskan panas lebih 4-5 kali setiap satuan volume dibandingkan bahan penyimpan energi konvensional seperti air atau batu (Sharma *et al.* 2009).

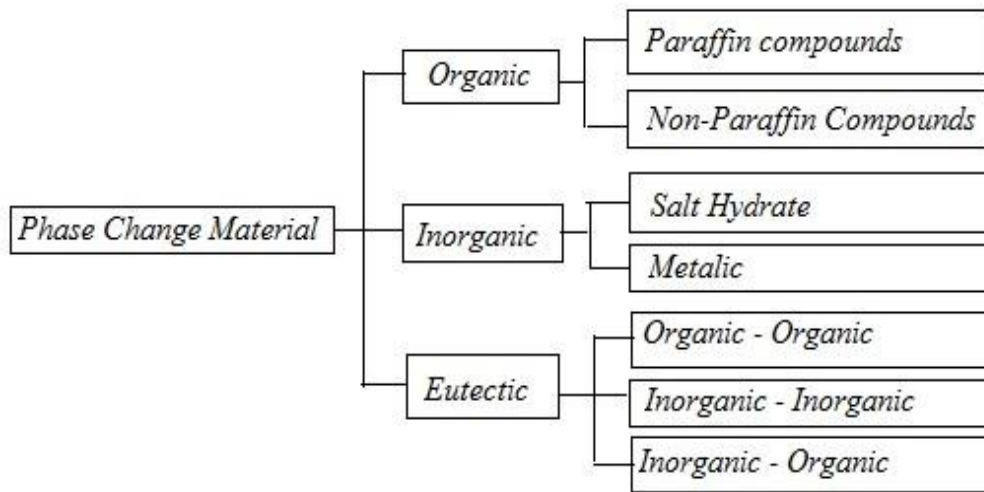
PCM merupakan satu cara penyimpanan energi panas yang paling efisien. *PCM* dapat digunakan untuk penyimpanan energi dan kontrol suhu. *PCM* menjadi menarik karena mempunyai kelebihan yaitu perbandingan yang cukup tinggi antara panas yang dilepaskan dengan variasi suhu.

Dengan cepatnya perkembangan sosial masyarakat, kebutuhan energi akan semakin meningkat. Pada saat yang bersamaan, terjadi krisis sumber energi tak terbarukan (Wang 2008). Karena itu penelitian tentang energi terbarukan banyak mendapat perhatian dan menjadi topik utama penelitian di seluruh dunia.

2.2. *Klasifikasi Phase Change Material (PCM)*

Berdasarkan kondisi perubahan fasanya, *PCM* terbagi menjadi 3 bagian yaitu *solid-liquid*, *liquid-gas* dan *solid-gas*. Diantara jenis-jenis tersebut *PCM solid liquid* merupakan *PCM* yang paling banyak digunakan sebagai *thermal energy storage*. Secara umum *PCM solid-liquid* diklasifikasikan menjadi 3 bagian yaitu *PCM* senyawa organik, senyawa inorganik dan *eutectic* (Zhou, 2011).

Adapun klasifikasi PCM organik, senyawa inorganik dan *eutectic* dapat dilihat pada gambar 2.1.



Gambar 2.1. Klasifikasi Material Berubah Fasa

2.2.1. Organic

Material berubah fasa organik terdiri dari *paraffin* dan *non paraffin*. Bahan organik termasuk bahan yang dapat melebur dan membeku berulang kali tanpa adanya pengurangan volume dan biasanya tidak korosif. Lilin *paraffin* terdiri dari campuran dengan rumus kimia $\text{CH}_3-(\text{CH}_2)_n-\text{CH}_3$. *Paraffin* memenuhi syarat sebagai panas bahan penyimpanan fusi karena ketersediaan mereka dalam berbagai suhu yang besar.

Non-organik *paraffin* adalah yang paling banyak dari bahan fase perubahan dengan sifat yang sangat bervariasi. Masing-masing bahan akan memiliki sifat sendiri tidak seperti *paraffin*, yang memiliki sifat sangat mirip. Hal ini merupakan kategori terbesar bahan kandidat untuk penyimpanan fase perubahan.

2.2.2. Inorganic

Bahan anorganik lebih diklasifikasikan sebagai *salt hydrate* dan *metallics*. *Stearid Acid* ($\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{16}\text{COOH}$) yang menjadi material berubah fasa yang akan di uji dalam penelitian ini termasuk kedalam golongan *Inorganic*.

2.2.3. Eutectics

Eutectics adalah komposisi minimum peleburan dari dua atau lebih komponen, masing-masing melebur dan membeku secara sejalan membentuk campuran darkristal komponen selama proses kristalisasi.

Eutectic dapat dikatakan juga gabungan antara dua material PCM atau lebih untuk menghasilkan material PCM baru. PCM *eutectic* dapat dibuat dengan menggabungkan antara material PCM *organic-organic*, *organic-inorganic*, dan *inorganic-inorganic*. Syarat dari penggabungan kedua material ini yaitu kedua materialnya harus dapat bercampur rata (tidak memisah). Selain itu, gabungan antara dua material tersebut harus memiliki temperatur leleh dan temperatur beku yang sama sehingga pada saat PCM mengalami pembekuan dan peleburan kedua material tersebut dapat berlangsung secara bersamaan.

Tabel 2.1. Jenis-jenis material PCM *eutectic* (Sagara, 2005)

Nama	Komposisi (%)	Titik Leleh (°C)	Panas Laten (kJ/kg)
C14H28O2+C10H20O2	34+66	24	147.7
L ₂			
AlCl ₃ +NaCl+ZrC	79+17+4	68	234
AlCl ₃ +NaCl+KCl	66+20+14	70	209
r			
NH ₂ CONH ₂ +NH ₄ B	66.6+33.4	76	151
AlCl ₃ +NaCl+KCl	60+26+14	93	213
AlCl ₃ +NaCl	66+34	93	213

2.3. Karakteristik PCM

PCM jenis *Eutectics* sering digunakan sebagai penyimpan panas non laten yang tidak tetap. Artinya pada proses perubahan fasa baik proses peleburan maupun pembekuan tidak ditemukan temperatur yang tetap dan selalu berubah-ubah pada rentang waktu tertentu. Temperatur peleburan dan pembekuan berbeda-beda sehingga menyebabkan perbedaan/ayunan temperatur dalam aplikasi energi *thermal*.

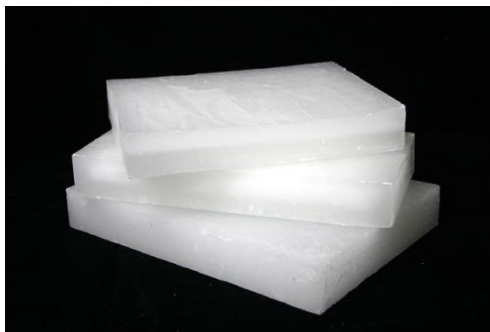
Secara umum, karakteristik PCM ditampilkan pada tabel 2.2 dibawah ini.

Tabel 2.2. Karakteristik PCM (Kalnas, 2015)

Klasifikasi	Kelebihan	Kekurangan
Organik	<ol style="list-style-type: none"> 1. Tersedia secara luas dalam berbagai temperatur operasi 2. Rendah atau tidak mengalami <i>supercooling</i> 3. Mempunyai panas lebur yang tinggi 4. Dapat didaur ulang 5. Tidak korosif 6. dapat dioperasikan dengan berbagai material 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Memiliki konduktifitas termal yang rendah 2. Memiliki perubahan volume yang besar 3. Mudah terbakar
Inorganik	<ol style="list-style-type: none"> 1. Memiliki panas lebur yang tinggi 2. Memiliki konduktifitas termal yang tinggi 3. Memiliki perubahan volume yang rendah 4. Tersedia dengan biaya yang murah 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Mengalami <i>supercooling</i> 2. Mengalami korosi
Eutektik	<ol style="list-style-type: none"> 1. Memiliki temperatur leleh yang tinggi 2. Memiliki densitas termal yang tinggi 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Kurangnya literatur mengenai data-data termal properties

2.3.1. *Paraffin*

Paraffin merupakan bagian dari hidrokarbon alkana dengan formula C_nH_{2n+2} . *Paraffin* didapatkan dari proses destilasi minyak bumi yang mana hasil destilasinya masih banyak mengandung hidrokarbon. *Paraffin* memiliki kandungan atom C yang berbeda-beda, semakin banyak kandungan atom C maka rantai karbonnya akan semakin panjang sehingga fasa *paraffin* akan semakin padat. *Paraffin* dengan kandungan atom C_5 - C_{15} merupakan *paraffin* dengan fasa cair, sedangkan *paraffin* dengan kandungan atom karbon lebih dari C_{15} merupakan *paraffin* dengan fasa padat atau yang biasa disebut *paraffin wax* seperti yang terlihat pada gambar 2.2.



(a)



(b)

Gambar 2.2. *Paraffin* (a) *Paraffin* padat (b) *Paraffin* cair.

Paraffin padat mempunyai temperatur leleh antara 53-59 °C dan mempunyai panas laten yang cukup tinggi antara 160 kJ/kg sehingga sering dimanfaatkan sebagai penyimpan energi termal. Hal tersebut disebabkan karena mudah menyerap, menyimpan, dan melepaskan energi termal yang ditandai dengan perubahan fasa dari bentuk padat menjadi cair atau sebaliknya (Gasia, 2016).

Penggunaan *paraffin* sebagai penyimpan energi termal memiliki kelebihan dan kekurangan. Kelebihan *paraffin* merupakan keuntungan bagi pengguna, sedangkan kekurangan dari pada *paraffin* merupakan masalah yang harus diatasi ketika digunakan sebagai penyimpan energi termal. Oleh sebab itu, pemilihan material PCM sebagai penyimpanan energi termal perlu dipertimbangkan. Berikut adalah kelebihan dan kekurangan *paraffin* sebagai penyimpan energi termal. Sifat-sifat *thermophysical* material berubah fasa seperti ditunjukkan pada tabel 2.3.

Tabel 2.3. Sifat-Sifat *thermophysical* material berubah fasa yang digunakan dalam penelitian.

Sifat-Sifat	<i>Paraffinn Wax</i> (Sane, 2011)	<i>Stearic Acid</i> (Dubovsky, 2008)
<i>Melting Temperatur (°c)</i>	59,8	55,1
<i>Latent heat of Fusion (kJ/kg)</i>	190	160
<i>Density (kg/m³)</i>		
<i>Liquid</i>	910	965
<i>Specific Heat (kJ/kg.°c)</i>	790	848
<i>Solid</i>		
<i>Liquid</i>	2,0	1,6
	2,15	2,2
<i>Thermal Conductivity (W/m.k)</i>		
<i>Solid</i>	0,24	0,36
<i>Liquid</i>	0,22	0,172

a. Kelebihan

Kelebihan *paraffin* sebagai penyimpan energi termal yaitu tidak menunjukkan adanya perubahan *thermal properties* setelah digunakan terus menerus, memiliki panas laten yang tinggi, cenderung tidak mengalami proses *supercooling*, non-reaktif, tidak berbau, secara ekologi tidak berbahaya, tidak beracun, cocok disimpan di dalam kontainer logam, serta cocok diaplikasikan sebagai penyimpan energi termal dengan berbagai tipe (Onder, 2012).

b. Kekurangan

Kekurangan *paraffin* sebagai penyimpan energi termal yaitu memiliki konduktivitas termal yang rendah pada saat fasa padat sehingga menjadi masalah jika digunakan sebagai penyimpan energi termal, akan tetapi masalah ini dapat diatasi dengan penambahan *fin* pada permukaan perpindahan kalor atau dengan menambahkan material logam pada *paraffin* untuk meningkatkan konduktivitas termal. Selain itu *paraffin* mempunyai sifat yang mudah terbakar sehingga perancangan kontainer sebagai penyimpan *paraffin* harus lebih diperhatikan (Sharma, 2005).

2.3.1.1. Sifat – Sifat *Paraffin*

Sifat-sifat *paraffin* merupakan karakteristik fluida yang terdapat pada *paraffin*. Karakteristik tersebut dapat berupa masa jenis, panas spesifik, konduktivitas termal, panas laten hingga temperatur leleh *paraffin*. Beberapa sifat-sifat *paraffin* dijelaskan sebagai berikut.

1. Masa Jenis

Paraffin memiliki masa jenis 880 kg/m^3 pada temperatur 20°C . *Paraffin* dapat mengalami peningkatan masa jenis ketika pada temperatur rendah. Peningkatan masa jenis ini disebabkan karena *paraffin* mengalami penyusutan atau peningkatan kerapatan masa sehingga volume *paraffin* menjadi berkurang. Namun sebaliknya, *paraffin* juga dapat mengalami penurunan masa jenis ketika pada temperatur tinggi. Hal ini disebabkan karena *paraffin* memuai pada temperatur tinggi sehingga volume *paraffin* menjadi meningkat (Inouye, 1934). Oleh sebab itu, penggunaan *paraffin* sebagai *thermal energy storage* perlu diwaspadai terutama mengenai volume *paraffin* pada saat mengalami pemuaian. Volume yang digunakan untuk menyimpan *paraffin* harus dibuat lebih besar sehingga pada saat *paraffin* mengalami kenaikan temperatur, proses pemuaian dapat diantisipasi dengan besarnya volume yang telah disiapkan sehingga tidak mengalami kebocoran.

2. Panas Spesifik

Paraffin memiliki panas spesifik yang cukup tinggi dan cocok digunakan sebagai penyimpanan energi termal. Pada saat fasa padat *paraffin* memiliki panas spesifik $3.78 \text{ J.g}^{-1}.\text{K}^{-1}$ sedangkan pada saat fasa cair *paraffin* memiliki panas spesifik yang lebih besar yaitu $2.95 \text{ J.g}^{-1}.\text{K}^{-1}$. Artinya, jika *paraffin* digunakan sebagai penyimpanan energi termal maka jumlah panas pada bangunan yang dapat diserap oleh *paraffin* cukup besar sesuai dengan jumlah masa *paraffin* yang digunakan. Adapun kelemahannya adalah waktu yang diperlukan untuk melepaskan panas menjadi lebih lama. Hal ini disebabkan karena panas spesifik pada saat fasa cair lebih besar dari pada saat fasa padat (Fischer, 2006).

3. Konduktivitas Termal

Paraffin memiliki nilai konduktivitas termal yang rendah. Nilai konduktivitas termal *paraffin* yaitu 0,232 W/m.K. Rendahnya nilai konduktivitas termal *paraffin* mengakibatkan rendahnya laju perpindahan kalor pada saat proses penyerapan maupun pelepasan kalor. Akibatnya, waktu yang dibutuhkan untuk melelehkan *paraffin* dari fasa padat menjadi cair dan membekukan *paraffin* dari fasa cair menjadi padat menjadi lebih lama. Akan tetapi rendahnya konduktivitas termal pada *paraffin* dapat ditingkatkan dengan mencampurkan material yang memiliki nilai konduktivitas termal yang tinggi pada *paraffin* seperti *metal foam*.

4. Panas Laten

Paraffin merupakan PCM yang memiliki panas laten yang cukup tinggi. Nilai panas laten pada *paraffin* berbeda-beda tergantung dari jumlah ikatan karbonnya. Tingginya panas laten pada *paraffin* merupakan keuntungan sebagai *thermal energy storage* karena pada dasarnya material yang memiliki panas laten yang tinggi dapat menyerap dan menyimpan panas yang lebih banyak tanpa mengalami perubahan temperatur. Beberapa panas laten *paraffin* berdasarkan jumlah ikatan karbon yang berbeda.

5. Temperatur Leleh.

Paraffin memiliki temperatur leleh yang berbeda-beda bergantung pada jumlah ikatan atom karbonnya. *Paraffin* dengan atom karbon C_5-C_{15} merupakan *paraffin* fasa cair sedangkan $>C_{15}$ merupakan *paraffin* fasa padat. Semakin banyak jumlah ikatan karbon pada *paraffin* maka temperatur lelehnya semakin tinggi. Hal ini disebabkan karena jumlah ikatan atom karbon yang banyak memiliki rantai karbon yang semakin panjang dan membentuk molekul yang lurus dan beraturan. Akibatnya, persinggungan antara molekul-molekul semakin luas dan gaya tarik menarik antar molekul semakin kuat sehingga diperlukan energi yang

besar yang dapat dicapai pada temperatur tinggi untuk mengalahkan gaya-gaya tersebut.

2.3.2. PCM Non-*paraffin*

PCM non-*paraffin* merupakan material PCM yang paling beragam diantara material PCM yang lain. Material PCM non-*paraffin* secara umum di antaranya yaitu asam lemak, ester, alkohol dan glikol. PCM non-*Paraffin* memiliki sifat fluida yang beragam di tiap jenisnya baik dari titik lelehnya, masa jenisnya, konduktivitas termalnya hingga panas latennya. Material non-*paraffin* memiliki titik leleh yang berbeda-beda mulai dari yang terkecil yaitu 7,8 °C (*asam formic*) hingga yang terbesar yaitu 187 °C (*asam amino benzoic*). Selain itu, material non-*paraffin* juga memiliki panas laten yang sangat beragam mulai dari yang terendah 126 kJ/kg (*methyl brombenzoate*) hingga yang tertinggi 259 kJ/kg (*caprylone*). Akan tetapi, PCM non-parafin memiliki kekurangan yang cukup menonjol yaitu memiliki sifat yang mudah sekali terbakar (*flammable*) sehingga riskan dalam penggunaannya sebagai *thermal energy storage* (Sharma dan Sagara, 2005).



Gambar 2.3. Asam lemak.

2.3.3. Garam Hidrat

Garam hidrat merupakan salah satu jenis PCM inorganik yang terdiri dari campuran air dan garam, yang mana keduanya berkombinasi membentuk kristal-kristal matrik pada saat mengalami pembekuan. Garam hidrat merupakan jenis PCM yang memiliki beberapa kelebihan dibandingkan dengan PCM lain. Salah satu kelebihan garam hidrat yaitu persediaannya yang melimpah sehingga mudah didapatkan. Selain itu, garam hidrat memiliki nilai ekonomis yang rendah.

sehingga terjangkau oleh semua kalangan. Dari segi termofisiknya garam hidrat memiliki nilai panas laten yang tinggi sehingga dapat menyerap panas lebih banyak tanpa mengalami perubahan temperatur. Tidak hanya itu, garam hidrat juga mengalami proses perubahan fasa yang cepat sehingga tidak membutuhkan waktu yang lama pada proses penyerapan dan pelepasan panas. Hal ini disebabkan karena garam hidrat memiliki nilai konduktifitas termal yang tinggi.

Garam hidrat memiliki beberapa kekurangan sebagai *thermal energy storage*. Salah satunya yaitu sifat garam yang mudah mengendap sehingga dapat mengurangi fungsi utama sebagai *thermal energy storage* karena menurunkan daya penyerapan dan pelepasan panas. Selain itu, garam hidrat menunjukkan adanya *supercooling* pada saat pelepasan panas. akibatnya, garam hidrat hanya dapat digunakan di tempat-tempat tertentu dan tidak dapat digunakan secara luas. Tidak hanya itu, garam hidrat juga memiliki sifat yang korosif terhadap logam yang mana kebanyakan sistem yang digunakan dalam *heat storage* adalah logam sehingga penggunaan garam hidrat sebagai *thermal energy storage* perlu disesuaikan dengan sistemnya sebelum diaplikasikan.

2.4 *Thermal Energy Storage*

Thermal energy storage (TES) merupakan penyimpanan suatu energi dalam sebuah material sebagai energi panas sensibel (*sensible heat storage*), panas laten (*latent heat storage*) dan termokimia (*thermochemical*) atau kombinasi diantara ketiganya (Shukla, Kumar, 2015). Didalam *sensible heat storage* (SHS) energi panas disimpan dalam bentuk peningkatan temperatur pada material padat maupun cair. Sehingga, jumlah panas sensibel yang dapat disimpan bergantung pada besarnya nilai panas spesifik, perubahan temperatur selama proses penyerapan dan pelepasan panas pada material, serta banyaknya material tersimpan di dalam *storage*.

Sistem *thermal energy storage* selain dari pada panas sensibel yaitu panas laten. *Latent heat storage* didasarkan pada seberapa besar panas yang dapat diserap atau dilepaskan ketika material tersimpan mengalami perubahan fasa dari padat menjadi cair atau cair menjadi gas dan sebaliknya. Jumlah panas yang dapat disimpan dalam bentuk panas laten bergantung pada banyaknya masa yang ada dalam suatu sistem. *Latent heat storage* memiliki kelebihan jika dibandingkan

dengan *sensible heat storage* yaitu memiliki jumlah energi yang lebih besar untuk menyerap maupun melepaskan panas.

Setiap sistem penyimpanan energi panas laten harus memiliki setidaknya tiga komponen berikut:

1. Material berubah fasa harus sesuai dengan titik leleh (*melting temperature*) dalam kisaran temperatur yang diinginkan.
2. Pertukaran panas permukaan sesuai.
3. Wadah yang sesuai dan kompatibel dengan material berubah fasa.

Sistem penyimpanan panas laten telah menerima banyak perhatian dalam beberapa tahun karena kepadatan penyimpanan energi yang tinggi dan kemampuannya untuk menyediakan panas pada suhu konstan. Ini berarti bahwa sistem penyimpanan panas laten memerlukan berat jauh lebih kecil dan volume bahan untuk menyimpan sejumlah energi dibandingkan dengan sistem *Sensible heat storage* (Mirzae, 2015).

2.5 Pengertian Simulasi

Simulasi adalah sebagai suatu model sistem dimana komponennya di dipresentasikan oleh professor – professor aritmatika dan logika yang dijalankan komputer untuk memperkirakan sifat – sifat dinamis sistem tersebut (Emshof dan Simun, 1970).

Dalam simulasi digunakan komputer untuk mempelajari sistem secara numerik, dimana dilakukan pengumpulan data untuk melakukan estimasi statistik untuk mendapatkan karakteristik asli dari sistem

Simulasi berhubungan erat dengan sistem dan model. Dalam prakteknya, simulasi biasanya dilakukan menggunakan *software* komersial seperti ANSYS yang memiliki pemodelan yang secara khusus menangkap perilaku dinamis dari sistem. Data – data statistic yang dikumpulkan selama simulasi secara otomatis diringkas untuk dianalisis. *Software* simulasi ini menyediakan animasi grafis yang realistis dari sistem yang dimodelkan.

Membuat simulasi dengan menggunakan aplikasi tersebut memungkinkan pengguna dapat mengatur kecepatan animasi dan mengubah nilai parameter – parameter model, simulasi bahkan menyediakan optimisasi tetapi bukan dengan

sendirinya melainkan dari hasil skenario – skenario yang dibuat oleh pemodel dalam bentuk algoritma – algoritma dari objek yang dimodelkan. Metode ini kadang- kadang dikenal juga dengan metode monte carlo karena memiliki kesamaan yaitu hasilnya yang tidak pasti atau bersifat probalistik.

Arif fatahillah. (2014) melakukan penelitian terhadap profil sedimentasi pasir dengan menggunakan analisa numerik dengan berbantuan *software* FLUENT maka kesimpulan yang didapatkan adalah jika kedua saluran sungai memiliki tingkat tekanan dan kecepatan aliran yang sama maka area sedimentasi pasir berpotensi terjadi didaerah sebelum pertemuan kedua sungai tersebut, sedangkan jika memiliki tingkat pressure dan *velocity* yang berbeda akan berada setelah daerah pertemuan kedua sungai tersebut dengan kondisi ideal yaitu pressure dan velocity anak sungai lebih tinggi daripada induk sungai.

Angger bagus prasetyio,dkk (2019) melakukan analisa numerik perpindahan panas pada mold injeksi plastik dengan menggunakan metode komputasi ini, membuktikan bahwa pentingnya pemilihan *mesh* sebelum melakukan simulasi. Penggunaan jenis mesh sendiri untuk juga mempengaruhi bidang suhu dan profil suhu yang terjadi pada saluran pendingin serta resolusi profil kontur. penelitian yang dilakukan bahwa penggunaan *mesh polyhedral* untuk bentuk geometri yang kompleks mampu meminimalisir waktu iterasi simulasi dan dapat mempercepat konvergen perhitungan, hal tersebut dibuktikan dengan hasil iterasi simulasi pada saluran lurus mampu konvergen pada iterasi ke-268 dari total keseluruhan iterasi sekitar 1000 iterasi dan iterasi simulasi saluran konformal konvergen pada iterasi ke-232 dengan total keseluruhan iterasi sekitar 1000.

Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh A.fikry nur ilmi dkk, (2014) tentang Karakteristik Pemulihan Tekanan Pada Sudden Expansion Chanel dengan menggunakan analisa numerik dengan bantuan *software* ansys 14 diketahui dalam pengujian ini, distribusi tekanan statis berbeda pada sudden expansion antara step , hal tersebut mengakibatkan aliran menjadi berbelok arah menuju tekanan yang lebih rendah dan Semakin tinggi bilangan reynold maka akan sebanding lurus dengan nilai *coefficient pressure*, Hasil visualisasi aliran dengan menggunakan metode skin *friction* didapatkan aliran mengalami pembelokan

dikarenakan tidak mampunya aliran melawan *adverse pressure gradient* dari salah satu sisi.

2.5.1 Permodelan Sistem dan Simulasi

Sistem adalah objek yang saling berinteraksi dan bekerja sama untuk mencapai tujuan logis dalam suatu lingkungan yang kompleks. Objek yang menjadi komponen dari sistem dapat berupa objek terkecil dan bisa juga berupa sub-sistem atau sistem yang lebih kecil lagi. Dalam definisi ini disertakan elemen lingkungan karena lingkungan sistem memberikan peran yang sangat penting terhadap perilaku sistem itu. Bagaimana komponen – komponen sistem itu berinteraksi, hal itu adalah dalam rangka mengantisipasi lingkungan.

Mengamati sistem bukan hanya mendefinisikan komponen – komponen pendukung sistem, tetapi lebih dari itu harus pula mengetahui perilaku dan variabel – variabel yang ada didalamnya. Paling tidak analisis terhadap sistem harus dapat membuat konsepsi tentang sistem itu.

Ada beberapa cara untuk dapat merancang, menganalisis, dan mengoperasikan suatu sistem, salah satunya adalah membuat permodelan, membuat model dari sistem tersebut.

Model adalah alat yang sangat berguna untuk menganalisis maupun merancang sistem. Sebagai alat komunikasi yang sangat efisien, model dapat menunjukkan bagaimana suatu operasi bekerja dan mampu merangsang untuk berfikir bagaimana meningkatkan atau memperbaikinya.

Model didefinisikan sebagai alat deskripsi logis tentang bagaimana sistem bekerja atau komponen- komponen berinteraksi. Dengan membuat model dari suatu sistem maka diharapkan dapat lebih mudah untuk melakukan analisis. Hal ini merupakan prinsip permodelan, yaitu bahwa permodelan bertujuan untuk mempermudah analisa dan pengembangannya.

2.5.2 Pengertian Numerik

Metode numerik adalah teknik penyelesaian permasalahan yang diformulasikan secara matematis dengan cara operasi hitungan. Dalam metode numerik ini dilakukan operasi hitungan dalam jumlah yang banyak dan prosesnya berulang. Sehingga dalam prakteknya perlu bantuan computer untuk

menyelesaikan hitungan tersebut. Tanpa bantuan komputer metode numerik tidak banyak memberi manfaat.

2.5.3 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.

2.5.4 Klasifikasi Model Simulasi

Pada dasarnya model simulasi dikelompokkan dalam tiga dimensi yaitu (Law and Kelton, 1991) :

a. Model Simulasi Statis dengan Model Simulasi Dinamis

Model simulasi statis digunakan untuk mempresentasikan sistem pada saat tertentu atau sistem yang tidak terpengaruh oleh perubahan waktu. Sedangkan model simulasi dinamis digunakan jika sistem yang dikaji dipengaruhi oleh perubahan waktu

b) Model Simulasi Deterministik dengan Model Simulasi Stokastik.

Jika model simulasi yang akan dibentuk tidak mengandung variable yang bersifat random, maka model simulasi tersebut dikatakan sebagai simulasi deterministik. Pada umumnya sistem yang dimodelkan dalam simulasi mengandung beberapa input yang bersifat random, maka pada sistem seperti ini model simulasi yang dibangun disebut model simulasi stokastik. Model simulasi Kontinu dengan Model Simulasi Diskret.

Untuk mengelompokkan suatu model simulasi apakah diskret atau kontinyu, sangat ditentukan oleh sistem yang dikaji. Suatu sistem dikatakan diskret jika variabel sistem yang mencerminkan status sistem berubah pada titik waktu tertentu, sedangkan sistem dikatakan kontinyu jika perubahan variabel sistem berlangsung secara berkelanjutan seiring dengan perubahan waktu.

2.6 *Computational Dynamic Fluida (CFD)*

Computational Fluid Dynamics merupakan suatu program yang dapat digunakan untuk menganalisa aliran fluida beserta karakteristik yang ditimbulkan akibat Bergeraknya suatu benda pada fluida tersebut. Persamaan dasar yang digunakan pada CFD merupakan persamaan yang didasarkan pada dinamika fluida yaitu persamaan kontinuitas, momentum dan energi. Prinsipnya adalah suatu ruang berisi fluida yang akan dilakukan perhitungan dibagi menjadi beberapa bagian. Bagian-bagian ini sering disebut dengan sel dan prosesnya dinamakan *meshing*. Sel merupakan sebuah kontrol perhitungan yang akan dilakukan oleh aplikasi. Pada setiap sel akan dilakukan perhitungan dengan batasan *domain* dan *boundary condition* yang telah ditentukan. Prinsip inilah yang dipakai pada proses perhitungan dengan menggunakan bantuan komputasi komputer. CFD adalah suatu teknik menganalisis sistem yang melibatkan aliran fluida, perpindahan panas ataupun reaksi kimia menggunakan simulasi komputer. 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.

2.6.1 *Proses Computational Fluid Dynamic*

Secara umum proses perhitungan *Computational Fluid Dynamics* (CFD) terdiri atas 3 bagian utama yaitu:

1. *Pre-processing*

Pre-processing adalah langkah awal dalam menganalisa sebuah model CFD. Sebelum sebuah model dianalisa, geometri model harus di definisikan terlebih dahulu menjadi domain komputasi. Kemudian membuat *meshing* yang sesuai dengan geometri dan analisa yang akan dilakukan. Terakhir mendefinisikan kondisi batas dan sifat dari fluida yang akan digunakan.

2. *Solving*

Solving CFD merupakan proses pengolahan dan perhitungan dari kondisi yang telah di tetapkan saat *pre-processing*. Pada tahapan ini dilakukan proses komputasi numerik dengan menggunakan metode numerik berupa pendekatan variabel yang diketahui menjadi fungsi yang lebih sederhana, diskritisasi

dengan substitusi pendekatan kedalam persamaan yang mengatur aliran, serta solusi dari persamaan aljabar.

3. *Post-processing*

Post-processing merupakan tahap akhir dalam analisis CFD. Tahap ini, hasil dari komputasi numerik yang telah dilakukan dibuat visualisasikan dan di dokumentasikan dalam bentuk gambar, kurva, dan animasi. Hasil visualisasi dan dokumentasi akan dibuat untuk melakukan analisa.

2.7. Perpindahan Panas

Panas dapat berpindah dari suatu tempat ke tempat yang lain atau dari suatu benda ke benda yang lain atau dari suatu zat ke zat yang lain karena adanya perbedaan temperatur. Dengan kata lain, panas hanya akan berpindah dari suatu benda ke benda yang lain jika terdapat perbedaan temperatur antara dua benda tersebut. Panas akan berpindah dari temperatur yang lebih tinggi ke temperatur yang lebih rendah (William, 2006).

Hal ini dapat disimpulkan bahwa perbedaan temperatur (Δt) merupakan potensial pendorong bagi proses perpindahan panas. Dalam proses perpindahan panas terdapat tiga jenis metode perpindahan panas yakni konduksi, konveksi dan radiasi.

2.7.1. Konduksi

Konduksi merupakan perpindahan panas antara dua sustansi, dari sustansi yang bersuhu tinggi, panas berpindah ke sustansi yang bersuhu lebih rendah. Penghantaran panas melalui suatu benda dengan cara partikel-partikel dalam benda tersebut mentransfer energi melalui tumbukan.

Panas mengalir secara konduksi dari benda temperatur tinggi ke benda bertemperatur yang lebih rendah. Laju perpindahan panas konduksi dapat dinyatakan dengan Hukum Fourier (Yunus, 2002).

2.7.2. Konveksi

Konveksi adalah proses transfer panas dengan melibatkan perpindahan massa molekul-molekul fluida dari suatu tempat ke tempat yang lain (Gioncoli, 2001). Udara mengalir diatas suatu permukaan logam pada sebuah alat pemanas udara surya dapat dipanasi dengan cara konveksi yakni konveksi paksa dan

konveksi alamiah. Apabila aliran udara disebabkan oleh *blower* maka disebut dengan konveksi paksa, dan apabila disebabkan oleh gradien massa jenis maka disebut konveksi alamiah.

2.7.3. Radiasi

Radiasi merupakan perpindahan panas tanpa melalui media. Bila energi radiasi menimpa suatu media, maka sebagian akan dipantulkan (refleksi) dan sebagian lagi akan diserap (absorpsi) dan sebagian lagi akan diteruskan (ditransmisikan). Kebanyakan benda padat tidak dapat mentransmisikan radiasi *thermal* sehingga penerapan transmisivitas dianggap nol.

Perpindahan panas radiasi adalah proporsional terhadap pangkat keempat dari temperatur absolut, sementara konduksi dan konveksi proporsional terhadap selisih temperatur linear (Ambarita, 2011).

2.8. Metode Peningkatan Laju Perpindahan Kalor PCM

Kebanyakan PCM yang digunakan sebagai penyimpan energi termal memiliki konduktivitas termal yang rendah. Sebagai contoh, *parafin* memiliki konduktivitas termal 0,2 W/m.K sedangkan garam hidrat memiliki konduktivitas termal 0,5 W/m.K. Rendahnya konduktivitas termal PCM memperpanjang waktu yang diperlukan untuk menyerap dan melepaskan panas, misalnya pada saat proses menyerap panas pada siang hari dan melepaskan panas pada malam hari. Rendahnya konduktivitas termal PCM menyebabkan proses penyerapan dan pelepasan panas tidak sempurna sehingga perlu adanya inovasi untuk meningkatkan konduktivitas termal PCM, sehingga waktu yang diperlukan untuk menyerap dan melepaskan panas menjadi lebih cepat. Secara umum, teknik yang digunakan untuk mempercepat perpindahan kalor pada PCM ada dua macam yaitu meningkatkan konduktivitas termal PCM dan menambah luas area permukaan perpindahan kalor.

Peningkatan konduktivitas termal PCM dapat dilakukan dengan mencampurkan PCM secara langsung dengan material yang memiliki konduktivitas termal yang tinggi seperti grafit dan serat karbon. Penelitian mengenai peningkatan laju perpindahan kalor dengan meningkatkan konduktivitas termal PCM *parafin* menggunakan campuran grafit. Hasil penelitiannya menunjukkan bahwa penambahan grafit sebanyak 9% pada *parafin* dapat

meningkatkan konduktivitas termal PCM hingga 2 kali lipat lebih tinggi dari pada *parafin* murni (Liu, 2017).

Teknik yang digunakan untuk mempercepat laju perpindahan kalor pada PCM juga dapat dilakukan dengan penambahan luas area permukaan perpindahan kalor. Teknik ini dapat dilakukan dengan cara memadukan PCM dengan *metal foam*, selain itu dapat juga menambahkan *fin* pada permukaan perpindahan kalor (Pomianowski, 2013). Penelitian mengenai penambahan luas area permukaan dengan *metal foam* pernah dilakukan sebelumnya. Penelitian mengenai perpaduan antara *metal foam* dan PCM dapat mengurangi waktu proses pelepasan termal atau proses pembekuan lebih cepat hingga 28% (Beyne, 2017) . Peningkatan laju perpindahan kalor PCM dengan memperluas area permukaan pada pipa coil dapat meningkatkan performa perpindahan kalor hingga 100%, sehingga proses penyerapan dan pelepasan termal pada PCM menjadi lebih cepat (Kukulka, 2015)

BAB 3 METODOLOGI

3.1. Tempat dan Waktu

3.1.1. Tempat

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Komputer gedung D lantai 3 Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara Jalan Kapten Muchtar Basri No. 3 Medan.

3.1.2. Waktu

Waktu pelaksanaan penelitian ini yaitu dimulai tanggal disahkannya usulan judul penelitian oleh Ketua Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara dan dikerjakan selama 6 bulan sampai dinyatakan selesai.

Tabel 3.1. Jadwal Kegiatan Penelitian

No	Uraian Kegiatan	Waktu					
		Bulan ke-1	Bulan ke-2	Bulan ke-3	Bulan ke-4	Bulan ke-5	Bulan ke-6
	Pengajuan Judul Studi						
	Litelatur Seminar Proposal						
	Simulasi Menggunakan Software ANSYS dan Pengolahan Data						
	Seminar Hasil						
	Penyelesaian Penulisan						
	Sidang						

3.2. Alat

Adapun alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Laptop

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

- a. Processor : Intel (R) Core (TM) i3 CPU-6006U, 2.0GHz
- b. Ram : 4.00 GB
- c. Operating System : Windows 10



Gambar 3.1 Laptop

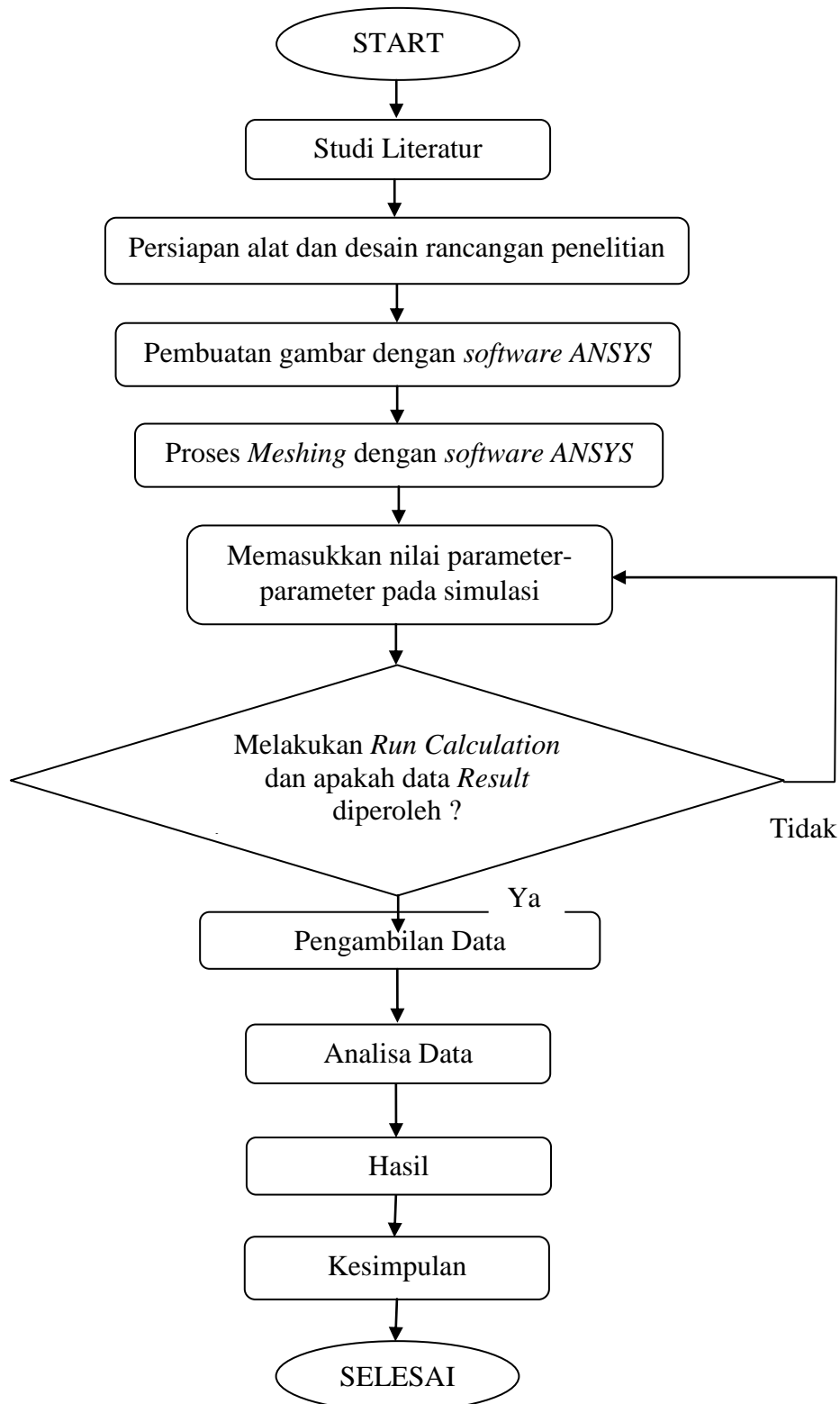
2. *Software ANSYS*

ANSYS adalah salah satu perangkat lunak berbasis metode elemen hingga yang dipakai untuk menganalisis masalah-masalah rekayasa (*engineering*). Di dalam penelitian ini menggunakan *ANSYS 19*. *ANSYS* menyediakan fasilitas untuk berinteraksi antar *solvers* famili *ANSYS*. *ANSYS* juga dapat berintegrasi dengan perangkat lunak CAD. Beberapa perangkat lunak tersebut adalah *catia* dan *solidworks*. *ANSYS* dapat berjalan di platform *Windows dan Linux*.

ANSYS berisi beberapa fasilitas, diantaranya:

1. *Mechanical*, untuk analisis struktur (statik) dan *thermal* (perpindahan panas)
2. *Fluid flow*, yang terdiri dari ANSYS CFX dan *Fluent*, untuk analisis CFD (*komputational fluid dynamics*).
3. *Engineering data*, sebagai database material lengkap dengan propertiesnya.
4. *Design modeler*. Digunakan untuk membangun geometri model yang akan dianalisis. Juga dapat digunakan untuk memodifikasi hasil gambar dari perangkat lunak CAD.
5. *Meshing application*, fasilitas untuk *meshing* baik pada CFD maupun *Explicit Dynamics*.
6. *BladeGen*, untuk membangun geometri *blade* seperti *fan*, *blower*, sudut turbin dan lain-lain.

3.3. Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.2 Diagram alir penelitian

3.4 Prosedur penelitian simulasi dengan *software ANSYS*

3.4.1 Tahapan dan Proses Simulasi Dengan *Software ANSYS*

Secara umum proses simulasi CFD dibagi menjadi 3 tahap yaitu, *Pre-Processing*, *Processing*, dan *Post-Processing*.

1. *Pre-Processing*

Pre-Processing adalah tahap awal yang perlu dilakukan sebelum melakukan simulasi seperti membuat *geometry*, *meshing*, mendefinisikan bidang batas pada *geometry*, dan melakukan pengecekan *mesh*

a. *Geometry*

Geometry dalam penelitian ini berupa pipa berbentuk zig-zag dengan menggunakan material PVC. Wadah pipa didesign terlebih dahulu, *design* dapat dilakukan dengan menggunakan *software* seperti *AutoCAD*, *Catia*, *SolidWorks* serta pada *Geometry Ansys* itu sendiri. Dalam analisis ini, *geometry* dibuat menggunakan *software Ansys Fluent* dikarenakan lebih efektif dalam prosesnya. Adapun diameter PVC yang digunakan yaitu 1 inch.

Membangun *geometry* di *software ANSYS* dengan cara mengklik dua kali pada kolom *geometry*. Pilih unit satuan yakni milimeter(mm). Setelah itu klik *sketching* dan *XYPlane* sebagai aplikasi untuk menggambar model. Setelah itu, proses menggambar dapat dilakukan dengan meng-klik *Rectangle* dan membuat ukuran dengan cara mengklik *Dimensions*. Pada kolom *Dimensions* 4 terdapat keterangan ukuran :

- H2 : 100 mm
- H4 : 100 mm
- V1 : 150 mm
- V2 : 150 mm

Klik *sweep* dan mengisi kolom isian *detail* lalu klik *Generate*. Kemudian ganti nama “*Solid*” pada *tree outline* menjadi “*Paraffin*” dengan cara klik kanan pada “*Solid*” – *rename* – *paraffin* – klik *Generate*.

b. Meshing

Dalam proses ini *geometry* dibagi menjadi bagian-bagian kecil. Ukuran *mesh* yang terdapat pada suatu obyek akan mempengaruhi ketelitian analisis CFD yang akan dilakukan. Semakin kecil ukuran *mesh* pada suatu obyek, maka hasil yang akan didapatkan akan semakin teliti. Pada penelitian ini, *mesh* yang digunakan adalah jenis *Quadrilateral* karena cenderung lebih terstruktur. Kemudian, pada sisi dekat dinding pipa *mesh* diperdetail dengan *inflation*. Setelah melakukan *meshing* dilanjutkan dengan pengidentifikasian bidang batas pada *geometry* atau yang biasa disebut sebagai *name selection*. Bidang yang diidentifikasi adalah *inlet* dan *outlet* pipa.

Hal ini dilakukan dengan cara mengklik dua kali pada *fluid flow(fluent)* . Setelah itu klik dua kali pada kolom *mesh*. Klik kanan pada *mesh* – pilih *generate mesh*. Kemudian ikuti pada *details of mesh*, lalu klik *Update*. Kemudian berikan nama pada sumber panas dengan nama ‘panas’ dan dinding *paraffin* dengan nama ‘*wall*’. Hal ini dilakukan dengan cara mengklik gambar sisi bagian *inlet* - klik kanan – pilih *create named selection* - isi nama dengan ‘*inlet*’ – klik *ok*. Klik *update* maka pada *outline* akan muncul dua *named selection*. Setelah itu klik *Generate Mesh* dan *Close*.

2. Processing

Pada tahap ini ada banyak hal yang harus dilakukan kaitannya dengan penentuan kondisi batas dalam sebuah simulasi CFD. Proses ini merupakan proses paling penting karena hampir semua parameter penelitian di proses dalam tahapan ini seperti *models, materials, cell zone conditions, boundary conditions, solutions initialization*, dan yang terakhir *run calculations*.

a. General

Simulasi ini menggunakan metode solusi *default* berdasarkan tekanan. Kemudian untuk *velocity formulation* menggunakan *absolute*. Aliran dalam system ini bersifat *transient*.

b. *Models*

Pada tahap ini *energy* disetting *on* karena simulasi ini memerlukan penghitungan energi dalam prosesnya. Selanjutnya untuk *viscous* disetting menggunakan *Large Eddy Simulation (LES)* dengan model *WALE*. Pada kasus simulasi ini, *Large Eddy Simulation (LES) WALE* dipilih karena dapat menampilkan hasil simulasi yang lebih baik dibanding dengan model yang lainnya dan cocok untuk aliran yang bersifat *transient*.

c. *Materials*

Material yang digunakan untuk simulasi ini terbagi kedalam dua jenis, yaitu *solid* dan *fluid*. Material *solid* yang digunakan adalah aluminium sedangkan untuk *fluida* nya menggunakan *stearic acid* dan *paraffin*.

d. *Cell Zone Condition*

Cell Zone Condition berisi daftar zona sel yang dibutuhkan. Pada tahap ini masing-masing zona disesuaikan dengan nama dan jenis materialnya. Untuk *Porous Formulation* yang berisi opsi untuk mengatur kecepatan simulasi disetting *default* dengan memilih *Superficial Velocity*.

e. *Boundary Conditions*

Tahap ini merupakan proses untuk memberikan kondisi batas berupa data yang dibutuhkan pada simulasi ini. Data yang dimasukkan adalah data tekanan serta temperatur air pada *inlet* dan *outlet*. Untuk data terkait air, pada *inlet* menggunakan data kecepatan *fluida* dan temperatur.

f. *Solution Initialization*

Initialization methods yang digunakan adalah *Standard Initialization* dengan *reference frame* menggunakan *relative to cell zone*.

g. *Run Calculation*

Pada proses ini akan dilakukan iterasi hingga terjadi konvergensi. *Time step size* adalah langkah waktu yang didapatkan untuk setiap proses kalkulasi yang dilakukan. *Number of time steps* adalah jumlah total *time step* yang ingin dilakukan proses kalkulasi. *Max iteration/Time Step* adalah jumlah maksimal iterasi yang ditentukan untuk satu *time step*.

Proses ini dilakukan dengan cara :

- 1) Klik dua kali pada *Setup*, maka jendela baru akan terbuka.
- 2) Klik *unit*, pilih satuan yang akan digunakan seperti *temperatur* ($^{\circ}\text{C}$), *spesifik heat* ($\text{J/Kg } ^{\circ}\text{C}$) dan konduktivitas *thermal* (W/m.K) – *close*
- 3) Klik *model* lakukan perubahan pada *Multiphase*, *Energy* dan *Solidification & Melting*.
- 4) Kemudian menentukan *materials fluida* dan pipa maka pilih *Material*- pilih *Fluid* (pemilihan *Fluid* artinya untuk melihat *database* dari CFD yang sesuai dengan kondisi simulasi).
- 5) Ubah *Name* dari “*Air*” menjadi *Paraffin*. Isi kolom *Chemical Formula* dengan *Paraffin* . Klik *change/create*. Setelah itu, maka jenis material akan bertambah satu jenis yakni *paraffin wax*.
- 6) Klik *Boundary Conditions* – pilih *inlet* – *edit* - *momentum* – isi *velocity magnitude* dengan angka 2 – pilih *thermal* – isi *temperature* yang diinginkan – klik *OK*
- 7) Masuk ke *Solution Instialization* – klik *initialize*
- 8) Setelah meng klik *initialize*, kemudian klik *patch* – klik *patch*
- 9) Klik *Calculation Activities* – pilih *autosave* - *Ok*
- 10) Klik *Run Calculations* - klik *Calculate*
- 11) Setelah *Run calculate complete* maka klik *OK*. Kemudian klik *Grafik and Animation* – *compute* - *display*

3. *Post-Processing*

Langkah selanjutnya setelah melakukan proses kalkulasi yaitu melihat hasil dari proses kalkulasi. Pada kasus penelitian ini, hasil yang dibutuhkan adalah kontur peleburan yang terbentuk pada system akibat dari fluktuasi beda temperatur. Untuk melakukan *Post-Processing* bisa langsung ke menu *Results*.

Untuk membuat kontur, vector, *pathlines*, dapat menggunakan menu *Graphics* dan *Graphics and Animations*. Menu *Animations* digunakan untuk pembuatan proses animasi simulasi dan dapat digunakan juga untuk memecah animasi menjadi bentuk gambar.

Untuk melihat hasil simulasi volume fraksi *paraffin wax/stearic acid* yang melebur perjam dapat dilihat di proses *result*. Hal ini dilakukan dengan cara :

- 1) Mengklik dua kali *result*, maka jendela baru akan terbuka.
- 2) Klik *icon contour* – klik *ok*
- 3) Mengisi bagian *Detail Of Contour* sesuai yang diinginkan
- 4) Klik *Apply – finish*.

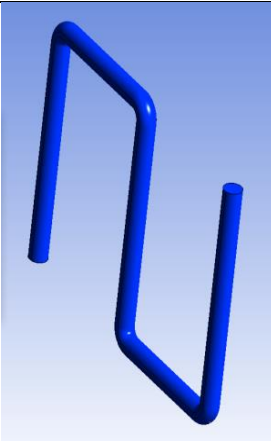
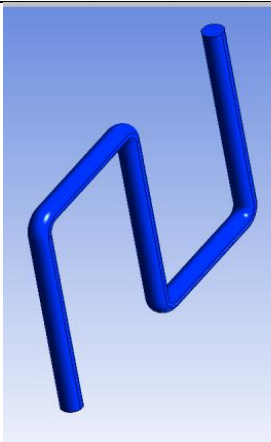
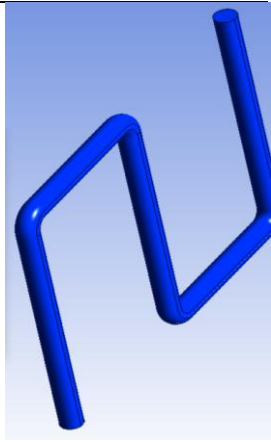
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Hasil Simulasi *Phasa Change Material* (PCM)

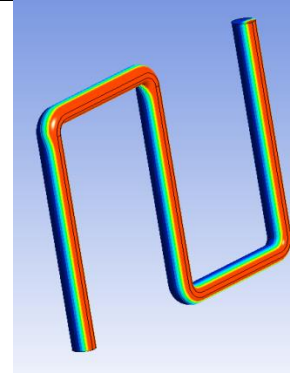
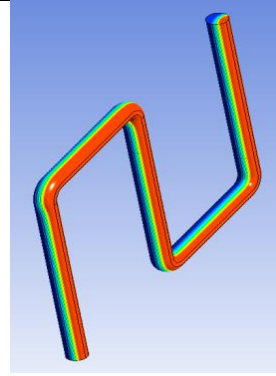
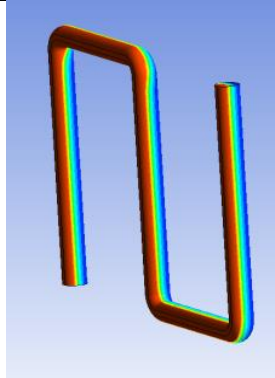
4.1.1. Evolusi Peleburan *Paraffin Wax*

Untuk melihat evolusi peleburan *paraffin wax* dapat dilakukan dengan cara melihat *paraffin* yang melebur perjam dengan meng-klik baris pada tabel kemudian klik *apply*. Pola gerakan proses peleburan dimulai dari sumber panas, kemudian merambat ke bagian atas. Bagian terakhir yang melebur berada pada sisi paling bawah berjauhan dari sumber panas. Hasil simulasi pola peleburan memiliki kesesuaian dengan hasil experimental. Adapun tampilan untuk evolusi peleburan *paraffin wax* pada *temperature* 90 °C, 85 °C, dan 80 °C dapat dilihat pada Tabel 4.1 dibawah ini.

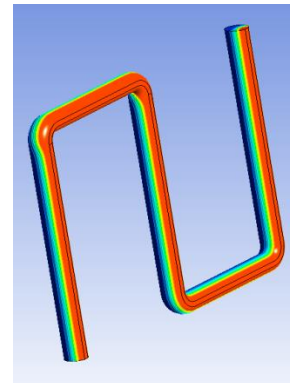
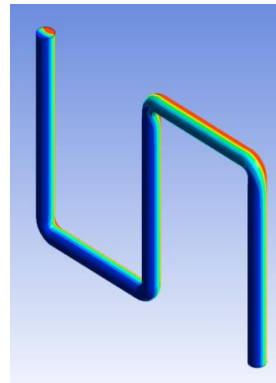
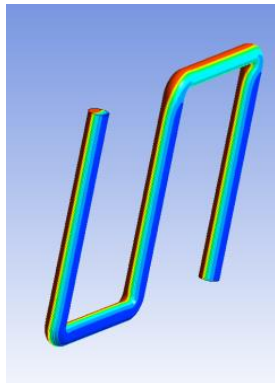
Tabel 4.1 Evolusi peleburan *paraffin wax* pada *temperature* 90°C, 85°C dan 80°C

Waktu u Peleburan (menit)	Temperature 90°C	Temperature 85°C	Temperature 80°C
0			

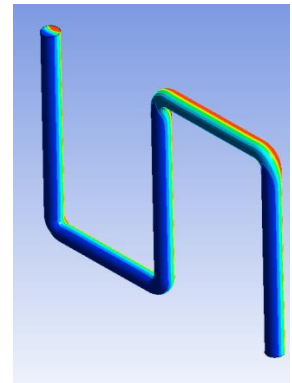
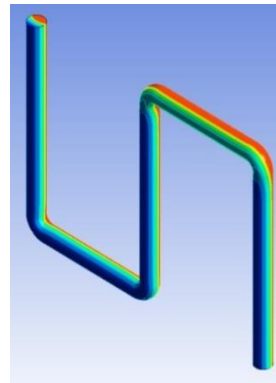
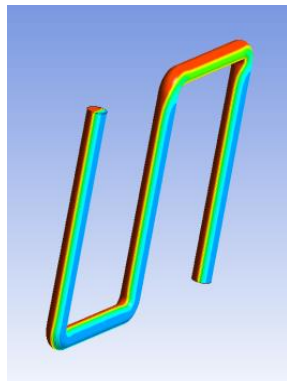
300



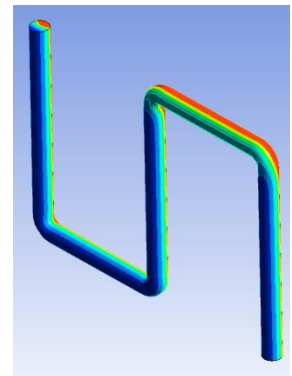
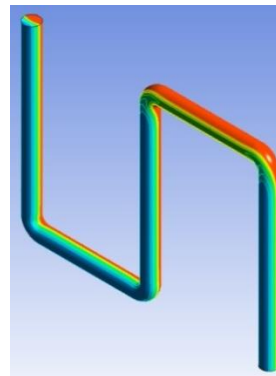
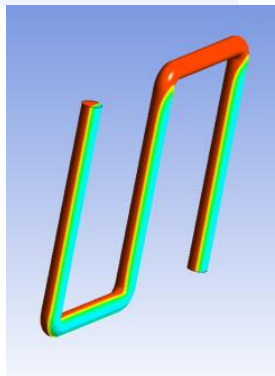
360

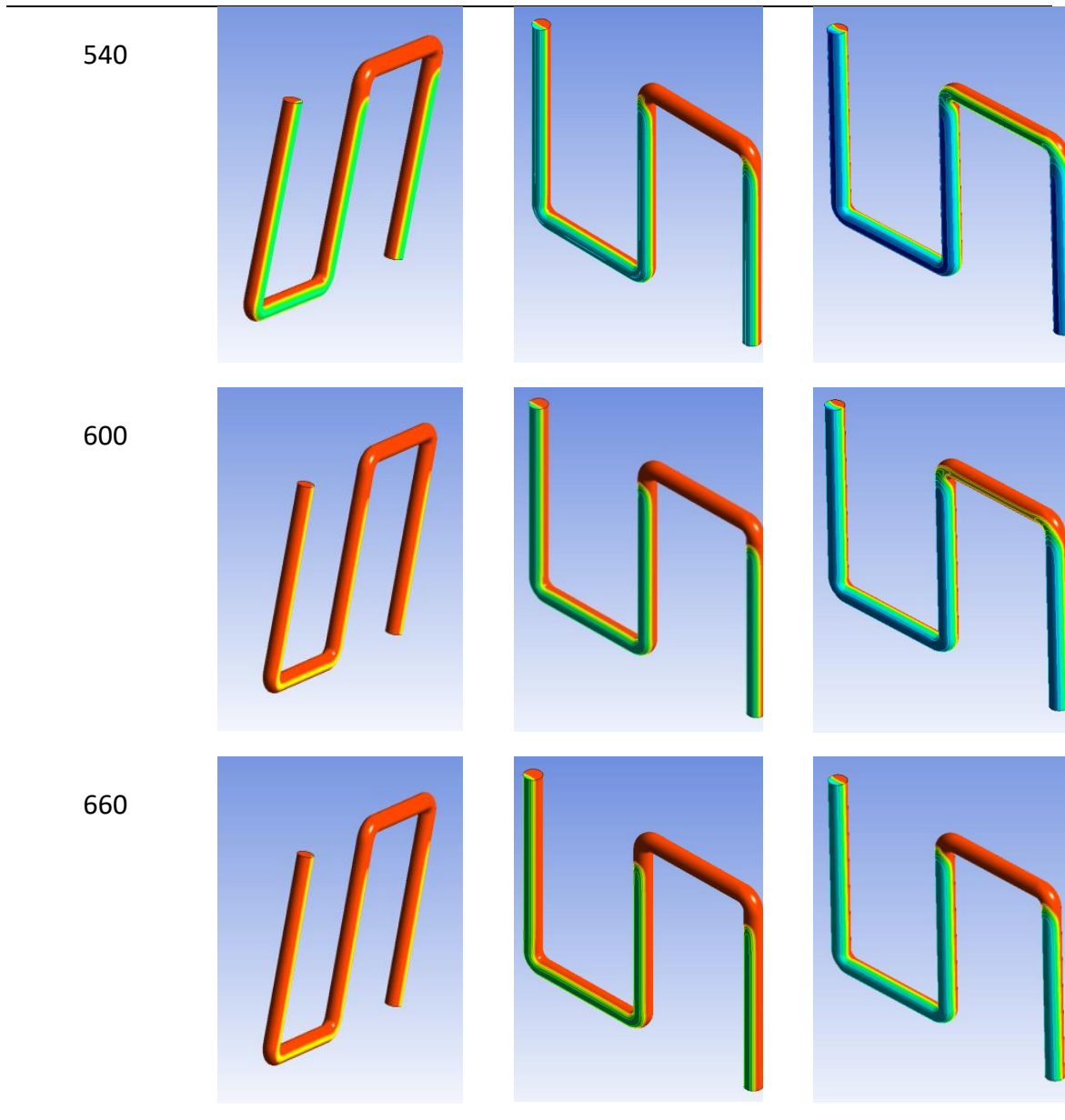


420



480





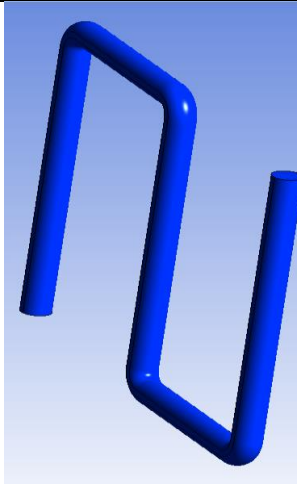
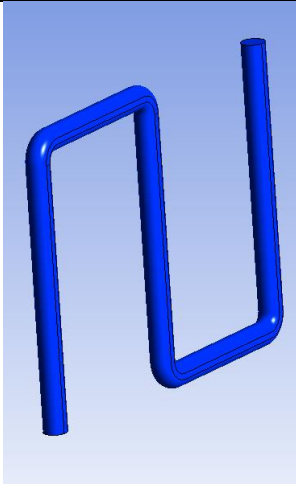
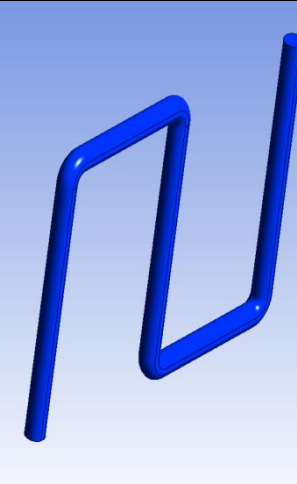
Tabel 4.1 diatas menunjukkan proses peleburan *Paraffin Wax* pada *temperature* 90 °C, 85 °C dan 80 °C dengan waktu dimulai dari 0 menit sampai dengan 660 menit. Proses meleburnya *paraffin wax* dimulai dari bagian pipa yang terdekat dengan sumber panas. Warna merah pada gambar diatas menunjukkan terjadinya peleburan *Paraffin Wax* diikuti dengan warna kuning yaitu material akan mulai melebur dan warna biru menyatakan solid. Proses peleburan *paraffin wax* dengan *temperature* 90 °C diatas dengan durasi 11 jam, terlihat *paraffin wax* hampir melebur sepenuhnya. Sedangkan proses peleburan *paraffin wax* dengan *temperature* 85 °C dan 80 °C diatas dengan durasi 11 jam, terlihat *paraffin wax*

belum melebur sepenuhnya. Hal tersebut dipengaruhi oleh *temperature* dari sumber panas dan juga *temperature* udara sekitar wadah pipa. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada lampiran 1.

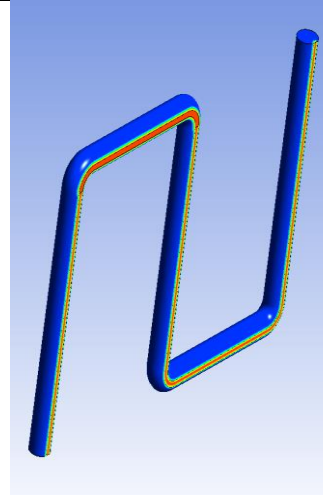
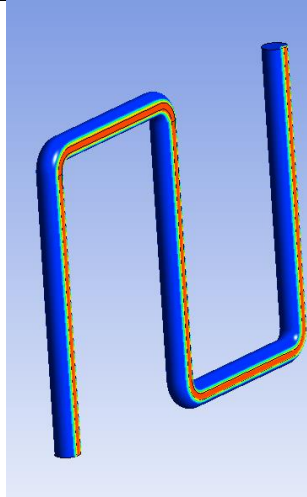
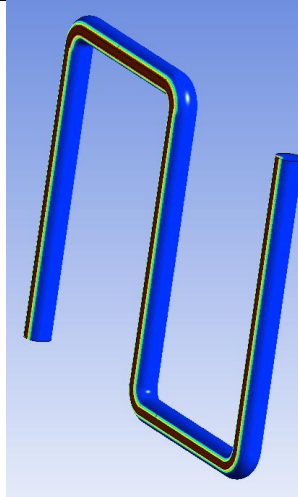
4.1.2. Evolusi Peleburan *Stearic Acid*

Setelah melakukan simulasi *Paraffin Wax* maka selanjutnya melakukan simulasi *Stearic Acid* dengan menggunakan *software* yang sama yaitu ANSYS 19. Untuk melihat evolusi peleburan *stearic acid* dapat dilakukan dengan cara melihat peleburan *stearic acid* perjam dilakukan dengan meng-klik baris pada tabel kemudian klik *apply*. Pola gerakan proses peleburan tidak jauh berbeda dari simulasi *paraffin*. Dari hasil simulasi yang dilakukan *stearic acid* lebih dahulu habis melebur dari pada *paraffin*. Pola gerakan peleburan dimulai dari sumber panas, kemudian merambat ke bagian atas. Bagian terakhir yang melebur berada pada sisi paling bawah berjauhan dari sumber panas. Hasil simulasi pola peleburan memiliki kesesuaian dengan hasil experimental. Adapun tampilan untuk evolusi peleburan *stearic acid* pada *temperature* 90 °C, 85 °C, dan 80 °C dapat dilihat pada Tabel 4.2 dibawah ini.

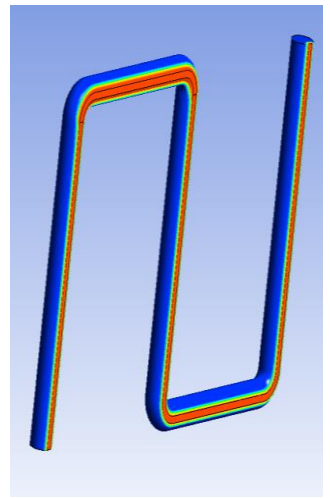
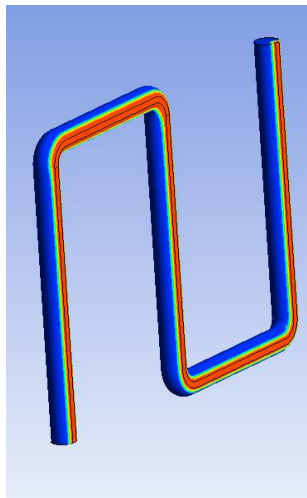
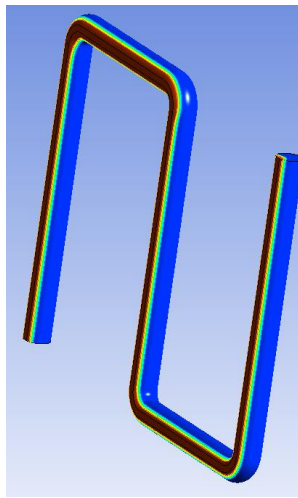
Tabel 4.2 Evolusi peleburan *stearic acid* pada *temperature* 90°C, 85°C dan 80°C

Waktu Peleburan (Menit)	Temperature 90°C	Temperature 85°C	Temperature 80°C
0			

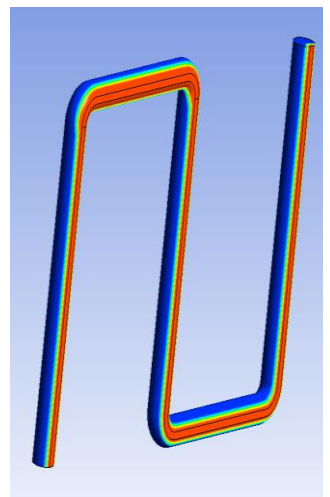
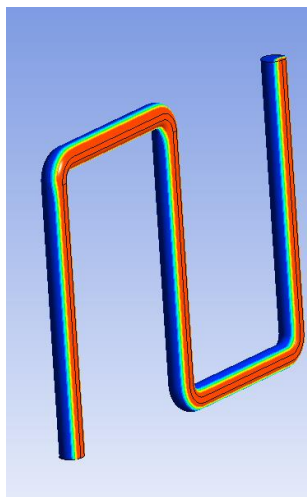
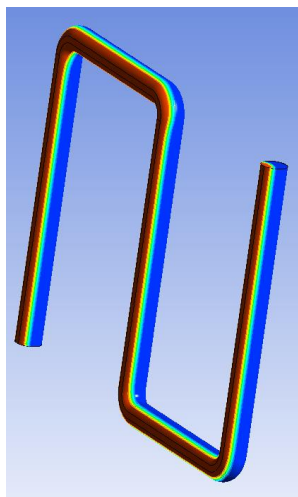
60



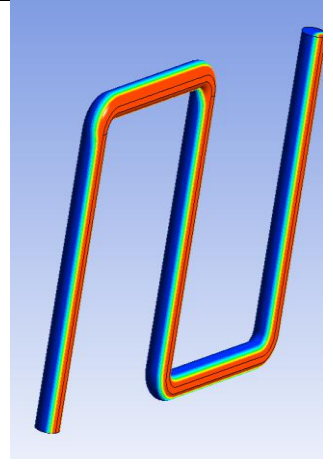
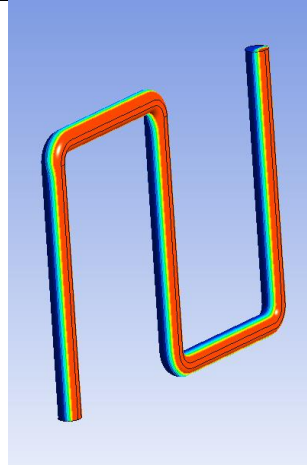
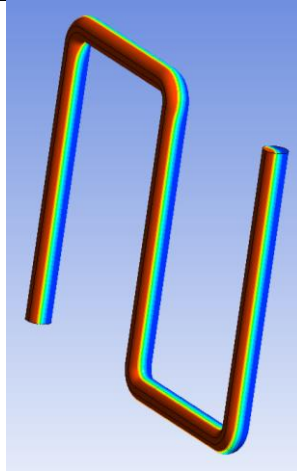
120



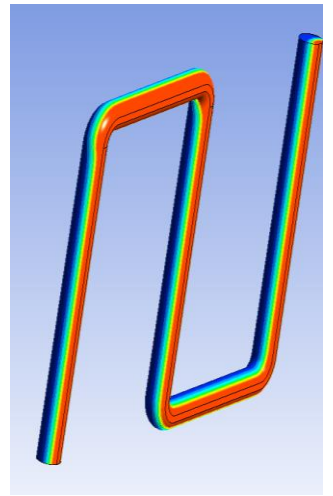
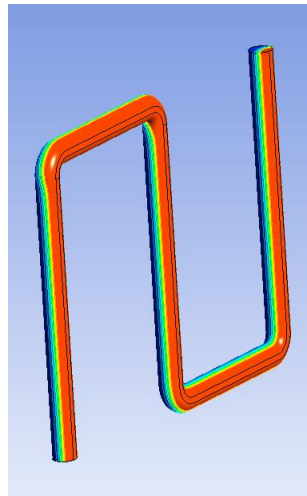
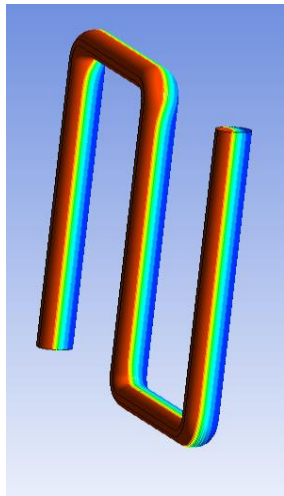
180



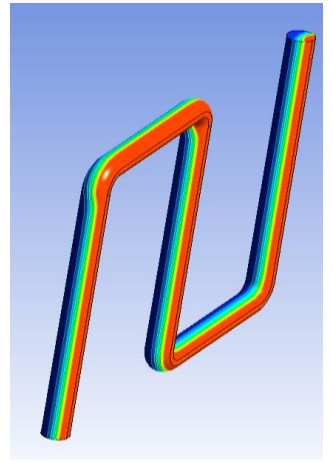
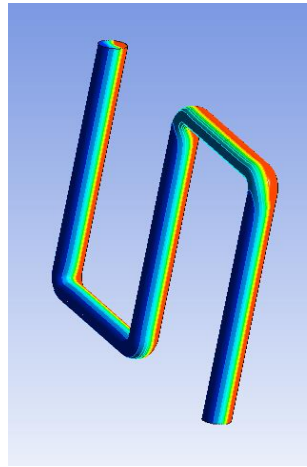
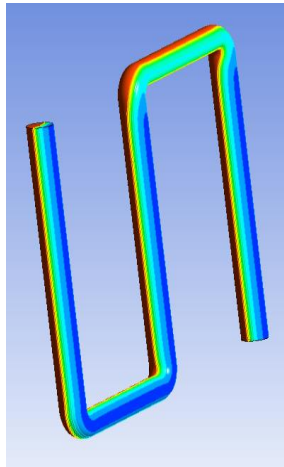
240



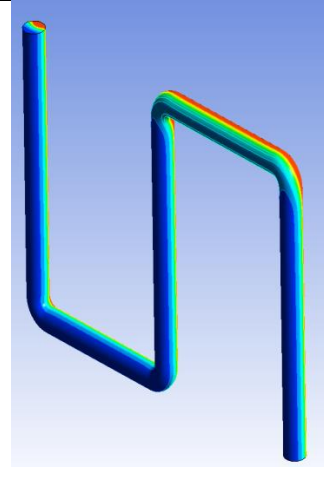
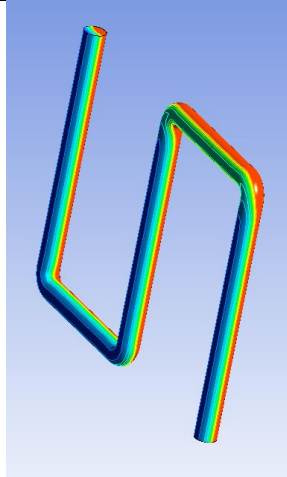
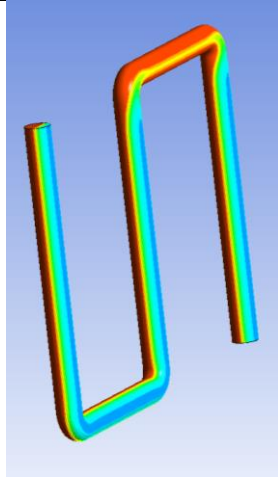
300



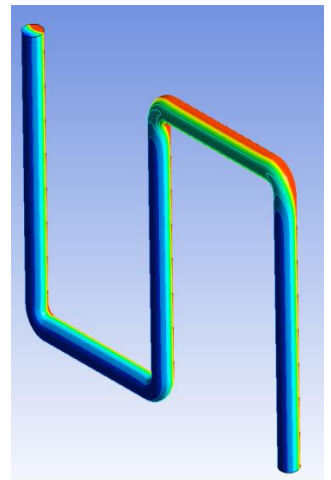
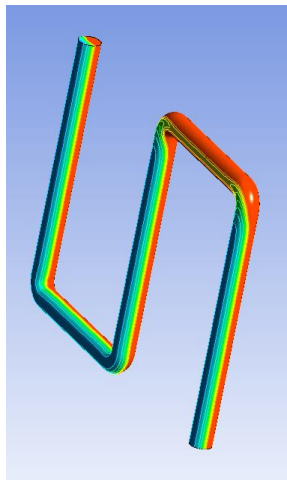
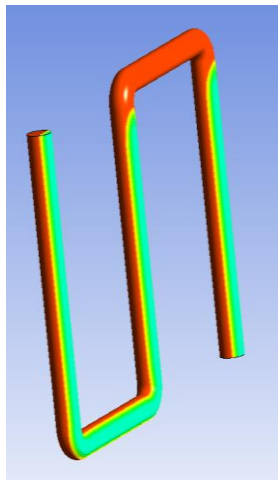
360



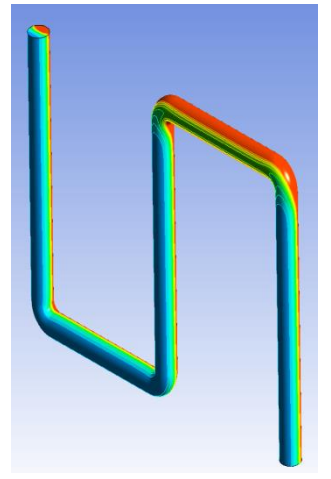
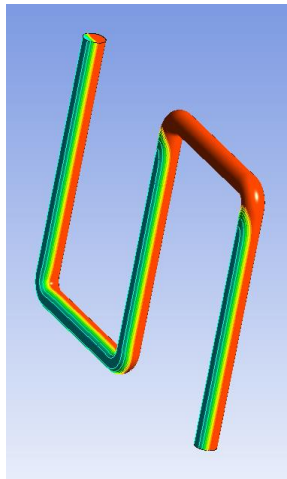
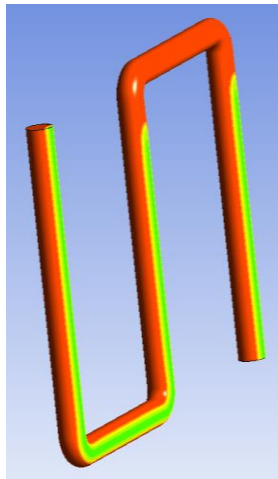
420

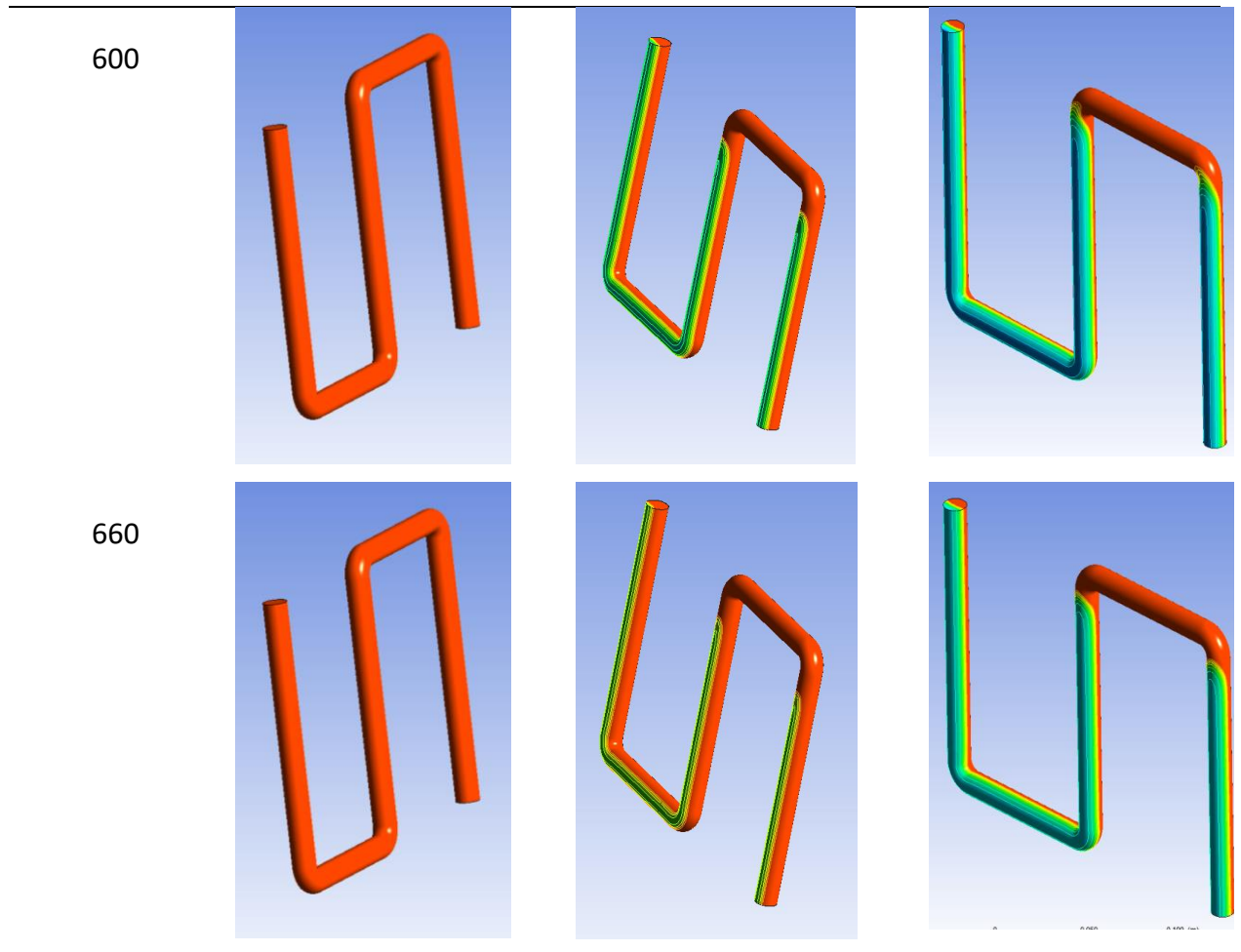


480



540





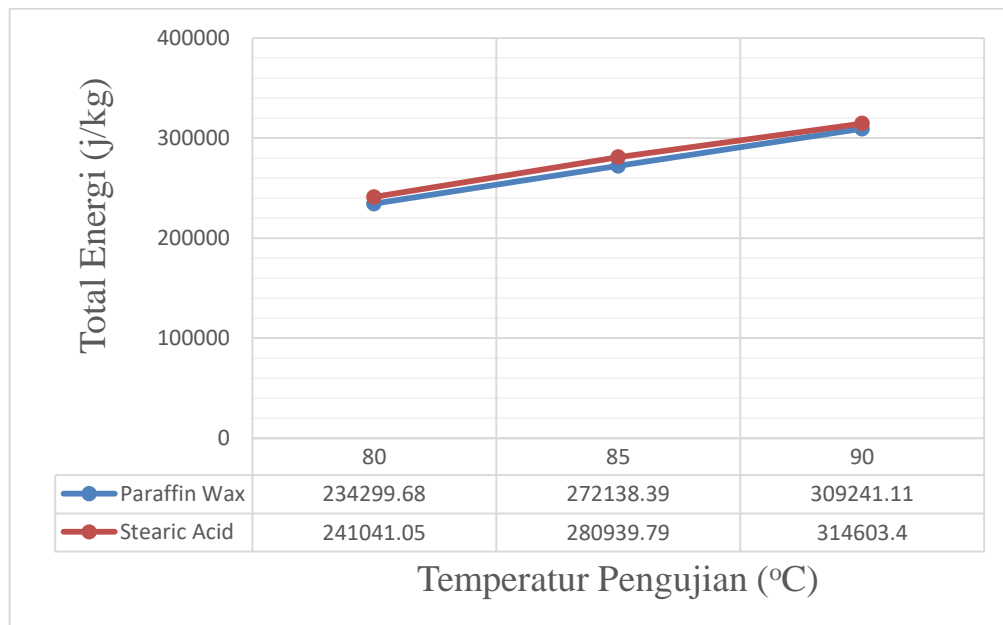
Tabel 4.2 diatas menunjukkan proses peleburan *Stearic Acid* pada *temperature* 90 °C, 85 °C 80 °C dengan waktu dimulai dari 0 menit sampai dengan 660 menit. Proses meleburnya *Stearic Acid* dimulai dari bagian pipa yang terdekat dengan sumber panas. Warna merah pada gambar diatas menunjukkan terjadinya peleburan *Stearic Acid* diikuti dengan warna kuning yaitu material akan mulai melebur dan warna biru menyatakan solid. Proses peleburan *Stearic Acid* dengan *temperature* 90 °C diatas dengan durasi 11 jam, terlihat *Stearic Acid* melebur sepenuhnya. Hal tersebut dipengaruhi oleh tekstur dari *Stearic Acid*, *temperature* sumber panas dan juga *temperature* udara sekitar wadah pipa. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada lampiran 2.

4.2. Efektifitas *Paraffin Wax* dan *Stearic Acid*

Efektifitas *paraffin wax* dan *stearic acid* dalam hal peningkatan kinerja *thermal* dan penyerapan panas dilihat dari hasil total *energy* yang didapat pada saat simulasi. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada tabel dibawah ini.

Tabel 4.3 Nilai total *energy* hasil simulasi

Temperatur Pengujian	Total <i>Energy</i> (J/Kg)	
	<i>Paraffin Wax</i>	<i>Stearic Acid</i>
90	309241.11	314603.4
85	272138.39	280939.79
80	234299.68	241041.05



Gambar 4.1 Grafik perbandingan antara temperatur pengujian dengan total energi dari kedua PCM

Dari hasil nilai total energi yang diperoleh berdasarkan simulasi, dapat disimpulkan bahwa *Stearic Acid* lebih efektif digunakan sebagai *Thermal Storage* (penyimpanan energi) panas dari pada *Paraffin Wax*.

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan Hasil dan Simulasi yang telah dilakukan maka dengan ini dapat di beri kesimpulan sebagai Berikut :

1. Evolusi peleburan *paraffin wax dan stearic acid* yang terjadi selama proses peleburan memiliki kesamaan antara *Paraffin Wax dengan Stearic Acid*. Proses peleburan sama-sama dimulai dari sumber panas kemudian bergerak menuju bagian atas. Durasi peleburan dari kedua material dipengaruhi oleh *temperature* sumber panas dan udara sekitar wadah pipa.
2. Efektifitas *Paraffin Wax* dan *Stearic Acid* dapat dilihat dari nilai total *energy* yang didapat dari hasil simulasi. *Stearic Acid* lebih efektif digunakan sebagai *Thermal Storage* (penyimpanan energi) panas dari pada *Paraffin Wax*. Hal ini dibuktikan dengan nilai panas yang tersimpan pada *Stearic Acid* lebih tinggi yaitu 314603.4 j/kg jika dibandingkan dengan *Paraffin Wax* 309241.11 j/kg.

5.2. Saran

Dalam penelitian ini penulis memberikan saran kepada peneliti berikutnya yakni agar dapat melakukan penelitian dengan jenis PCM anorganik. Selain itu peneliti juga menyarankan agar peneliti selanjutnya memberikan sumber panas yang berasal dari uap. Dengan temperature 85 °C, 90 °C dan 95 °C

DAFTAR PUSTAKA

- Ambarita, Himsar. (2011). *Energi Surya*. Departemen Teknik Mesin, Universitas Sumatera Utara
- Ambarita H, Abdullah I, Siregar C.A, Siregar R.E.T, Ronowikarto A.D. (2017). *Experimental Study on Melting and Solidification of Phase Change Material Thermal Storage*. Universitas Sumatera Utara
- Gioncoli, C. (2001). Fisika. Edisi Kelima. Alih Bahasa Dra Yuhilza Hanum, M.Eng. Penerbit Erlangga, Jakarta.
- Jaisankar S., Ananth J., Thulasi S. Jayasuthakar S.T., and Sheeba, K.N. (2011). Comprehensive Review On Solar Water Heaters. *Renewable and Sustainable Energy Reviews (Elsevier)*, 15 (2011) 3045– 3050.
- Jufrizal. (2014). Studi eksperimental performansi *solar water heater* Jenis kolektor plat datar dengan penambahan *Thermal energy storage*. Thesis, USU
- Korawan.Agus.Dwi. (2019). Analisa Numerik Proses Peleburan Paraffin Pada Penyimpanan Kalor Tipe Tube-and-shell. Seminar Nasional Inovasi dan Aplikasi Teknologi di Industri, Februari 2019 ISSN 2085-4218.
- Mirzaei, Hoosyar., Dadvand, Abdolrahman a, Mohammad, Mastiani., Seyed Sahand and Sina., Kashani. Melting Of A Phase Change Material In A Horizontal Annulus With Discrete Heat Sources. Department of Mechanical Engineering, Urmia University of Technology, Urmia, Iran
- Meng, Q. and Jinlian Hu. (2008). A poly(ethylene glycol)-based smart phase change material. *Solar Energy Materials and Solar Cells* 92: 1260-1268
- Sharma A., Tyagi V.V., Chen C.R., and Buddhi D. (2007). Review on thermal energy storage with phase change materials and applications. *Renewable and Sustainable Energy Reviews (Elsevier)*, 13 (2007) 318–345.

Siregar C.A. (2018) . *Kajian Peleburan Dan Pembekuan Material Berubah Fasa Sebagai Thermal Storage*. Thesis. Universitas Sumatera Utara Vol. 1 No.1 – 2018 ISSN 2654-7031.

Wang, W., X. Yang, Y. Fang, J. Ding. (2008) . Preparation and performance of form stable polyethylenen glycol/silicon dioxide composites as solid-liquid phase change materials. *Applied Energy* 87 (5): 1529-1534.

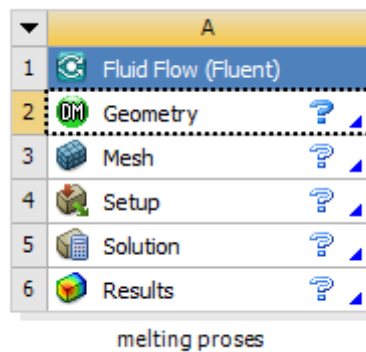
LAMPIRAN 1

PROSES DAN HASIL SIMULASI *PARAFFIN WAX*

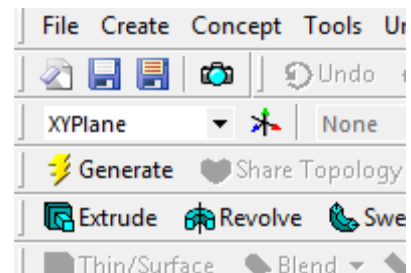
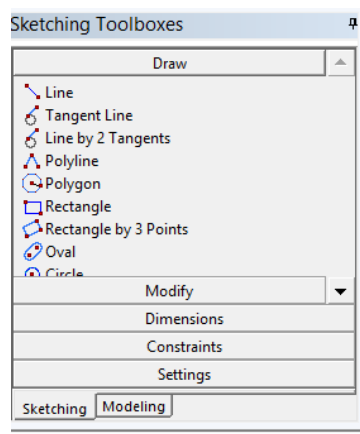
Proses simulasi dilakukan pada Software Ansys 19 R (program *fluid flow/fluent*). Proses simulasi dibagi dalam beberapa tahapan yakni geometri, *mesh*, *setup*, *solution* dan *result*.

1. Proses Pembentukan Geometri

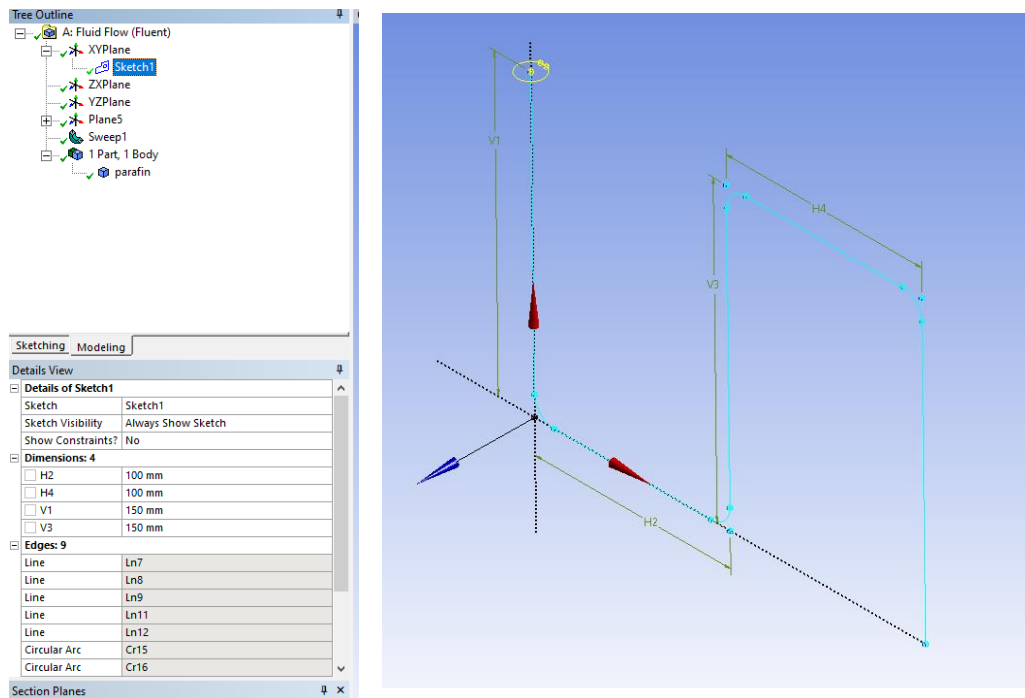
Proses geometri dilakukan untuk menggambar model simulasi. Hal ini dilakukan dengan cara mengklik dua kali pada kolom geometri.



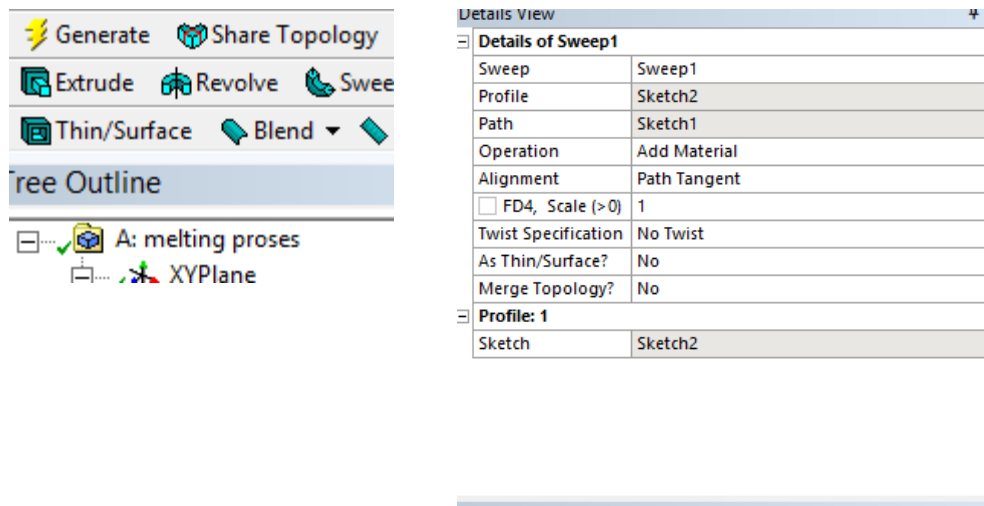
Kemudian akan muncul jendela geometry. Pilih unit satuan yakni milli meter (mm). Setelah itu, klik sketching dan XYPlane sebagai aplikasi untuk menggambar model (lihat gambar dibawah ini).



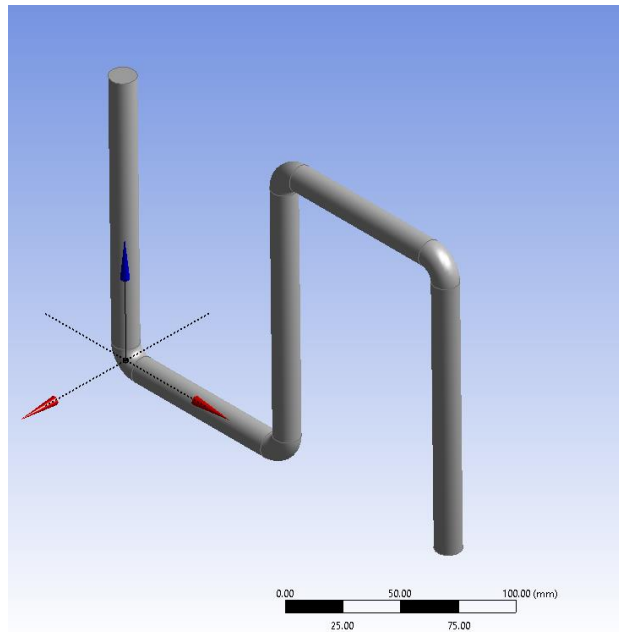
Setelah itu, proses menggambar dapat dilakukan dengan meng-klik Rectangle dan membuat ukuran dengan cara mengklik Dimensions.



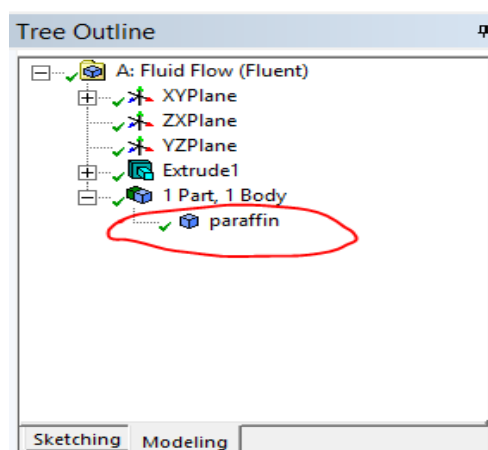
Klik sweep dan mengisi kolom isian detail . Setelah itu klik Generate.



Gambar model akan berubah menjadi

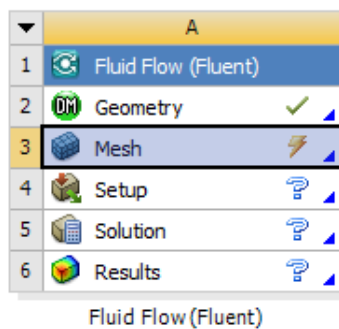


Kemudian ganti nama “Solid” pada tree outline menjadi “Paraffin” dengan cara klik kanan pada “Solid” – rename – paraffin – klik Generate.

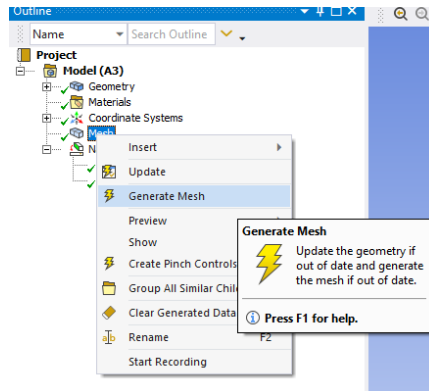


2. Proses Mesh

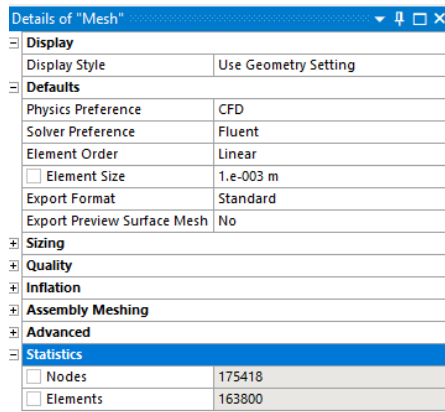
Klik dua kali pada mesh



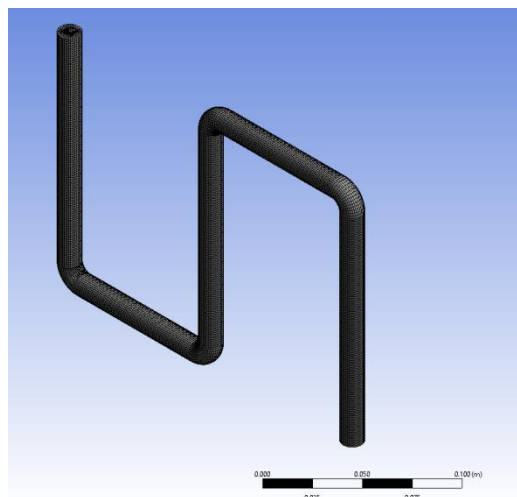
Maka akan muncul jendela mesh. Klik kanan pada mesh – pilih generate mesh.



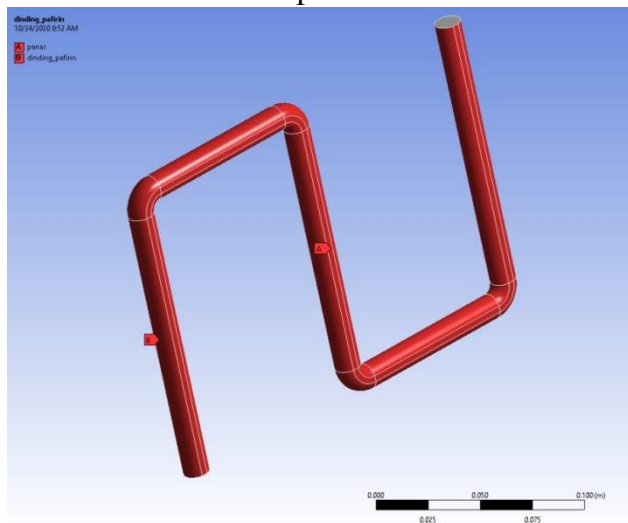
Kemudian ikuti pada details of mesh.



Setelah itu, klik update. Maka gambar akan berubah menjadi

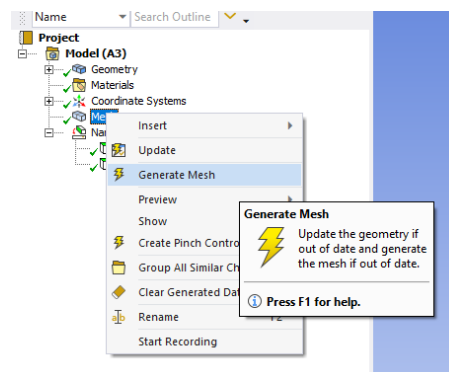


Kemudian berikan nama pada sumber panas dengan nama 'panas' dan dinding paraffin dengan nama 'wall'. Hal ini dilakukan dengan cara mengklik gambar sisi bagian inlet - klik kanan – pilih create named selection - isi nama



dengan 'inlet' – klik ok.

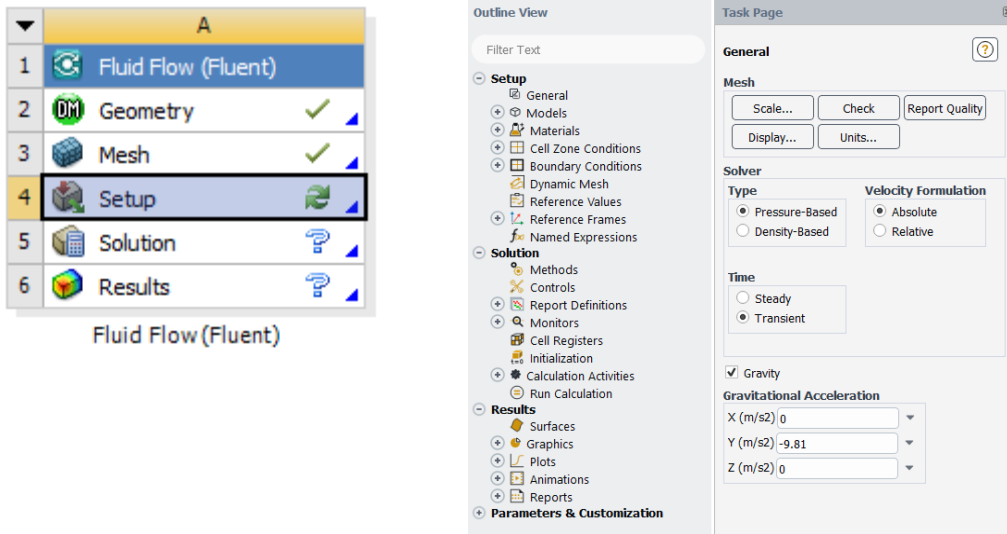
Klik update. Maka pada outline akan muncul dua named selection seperti pada gambar dibawah ini.



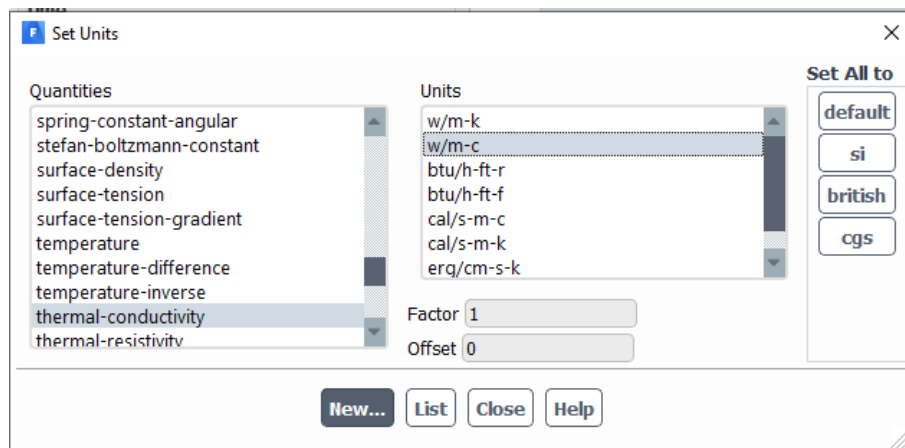
Klik Generate Mesh. Klose

3. Proses Setup dan Solution

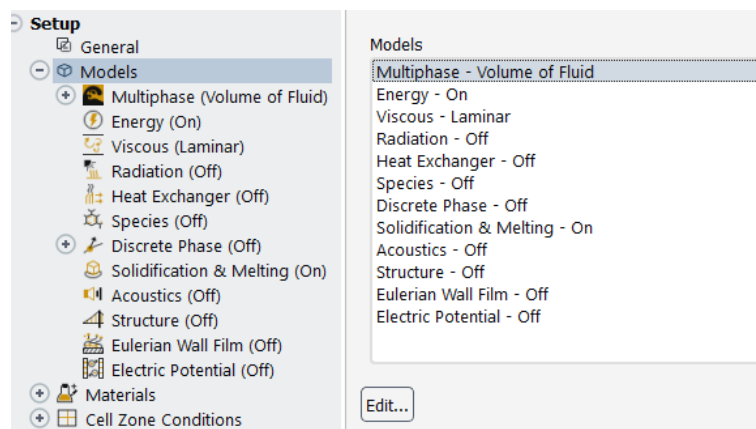
Klik dua kali pada Setup, maka jendela baru akan terbuka dan lakukan isian sesuai gambar



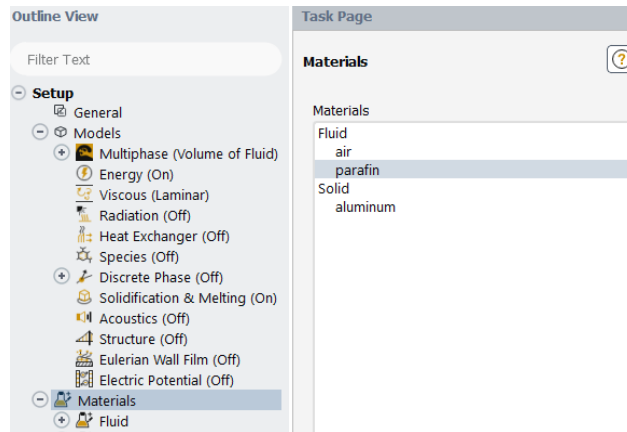
Klik unit, pilih satuan yang akan digunakan seperti temperatur ($^{\circ}\text{C}$), spesifik heat ($\text{J/Kg } ^{\circ}\text{C}$) dan konduktifitas thermal (W/m.K) – close



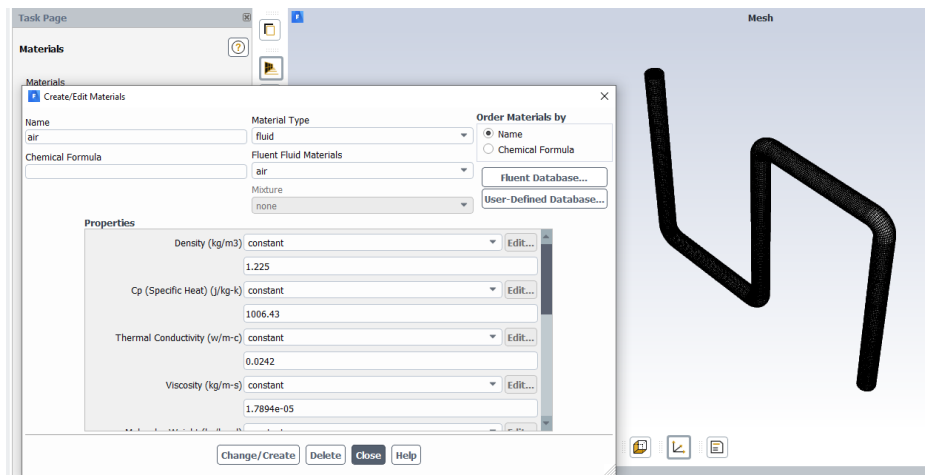
Klik model lakukan perubahan pada Multiphase, Energy dan Solidification & Melting



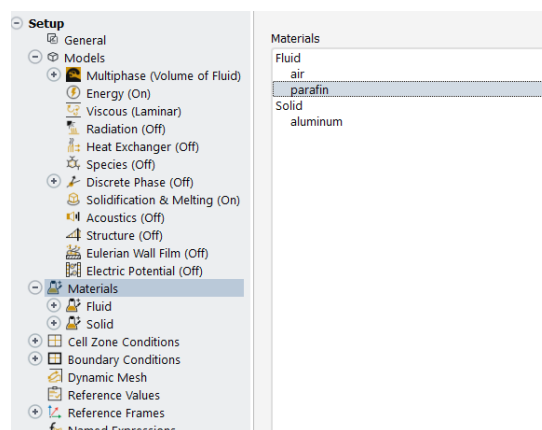
Klik material - create/Edit



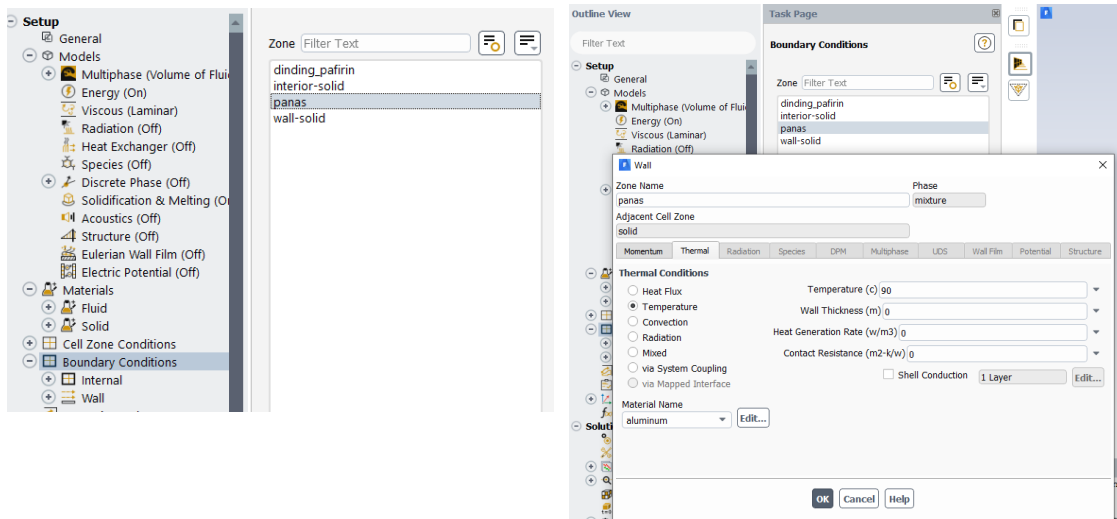
Maka tampilan akan menjadi



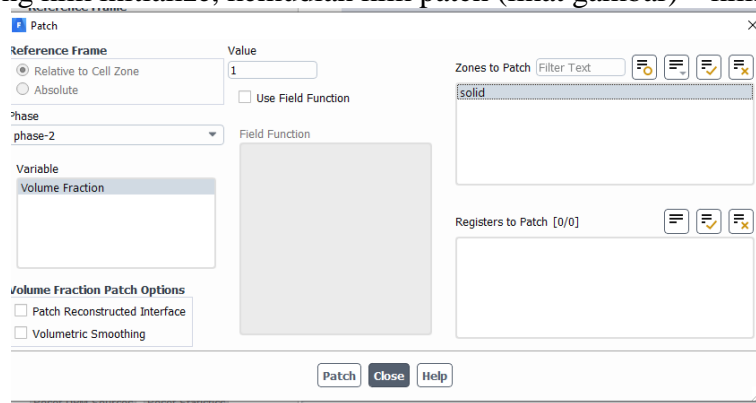
Ganti Name dari 'Air' menjadi Paraffin. Isi kolom Chemical Formula dengan Paraffin. Klik change/create. Setelah itu, maka jenis material akan bertambah satu jenis yakni paraffin wax



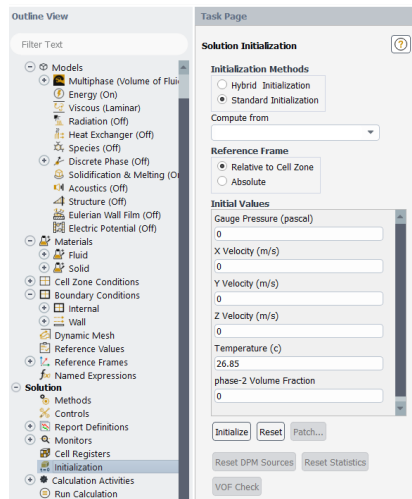
Klik Boundary Conditions – pilih inlet – edit - momentum – isi velocity magnitude dengan angka 2 – pilih thermal – isi tempertur dengan 90 – klik OK

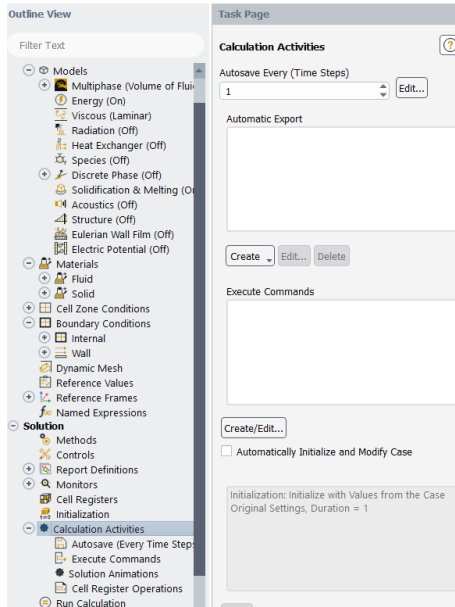


Masuk ke Solution Instialization (lihat gambar) – klik initialize
 Setelah meng klik initialize, kemudian klik patch (lihat gambar) – klik patch

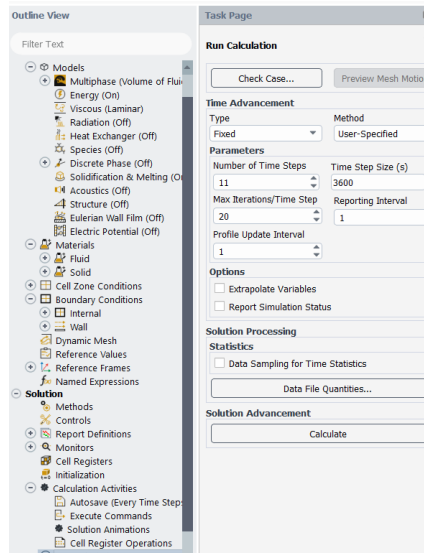


Klik Calculation Aktivities – pilih autosave (lihat gambar) - Ok

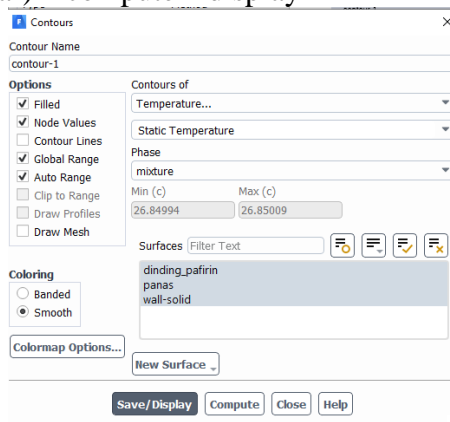


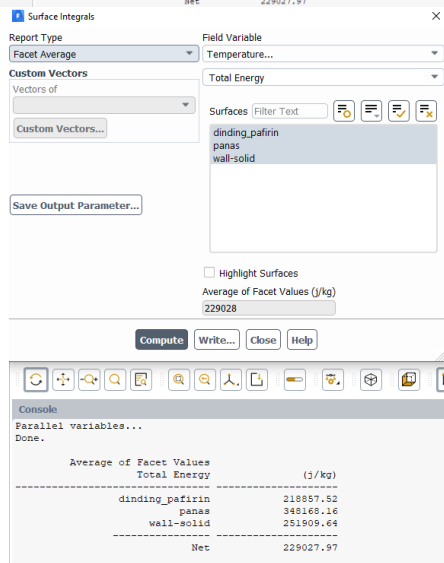
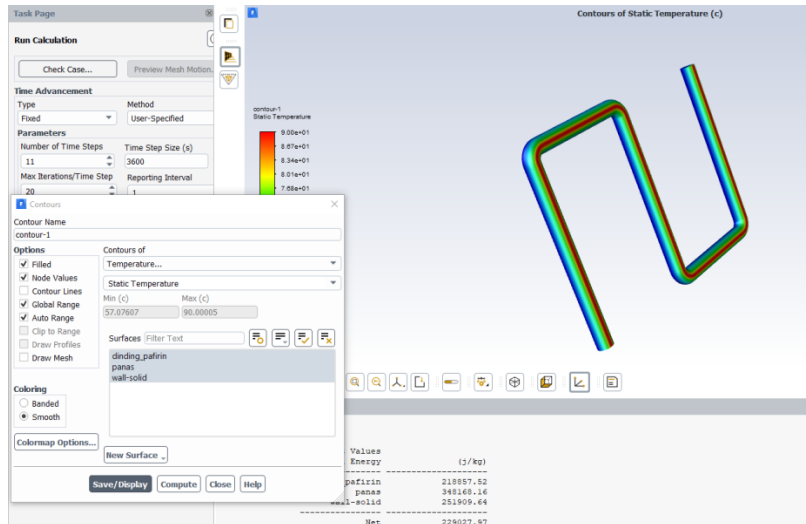


Klik Run Calculations (lihat gambar) - klik Calculate



Setelah Run calculate complete maka klik OK. Kemudian klik Grafik and Animation (lihat gambar) – compute – display

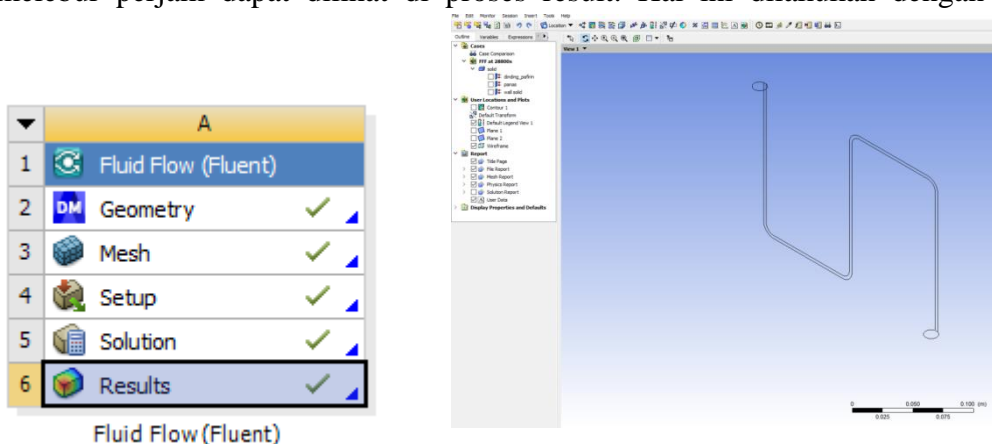




Untuk melihat total energy yang terjadi, dapat dilakukan dengan mengikuti gambar dibawah ini.

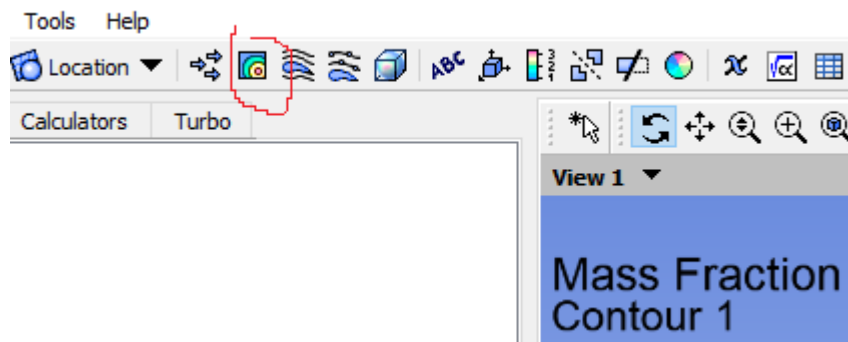
4. Proses Result

Untuk melihat hasil simulasi volume fraksi paraffin wax/stearic acid yang melebur perjam dapat dilihat di proses result. Hal ini dilakukan dengan cara

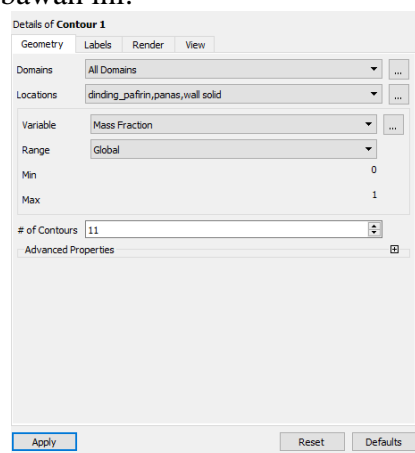


mengklik dua kali result, maka jendela baru akan terbuka

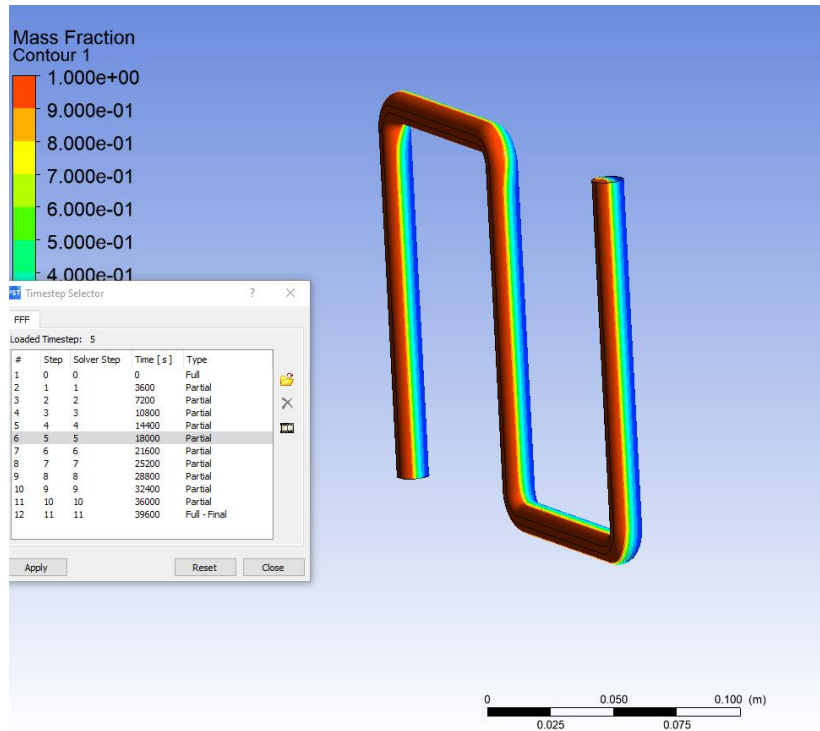
Klik icon contour – klik ok



Kemudian, ikuti isian dibawah ini.



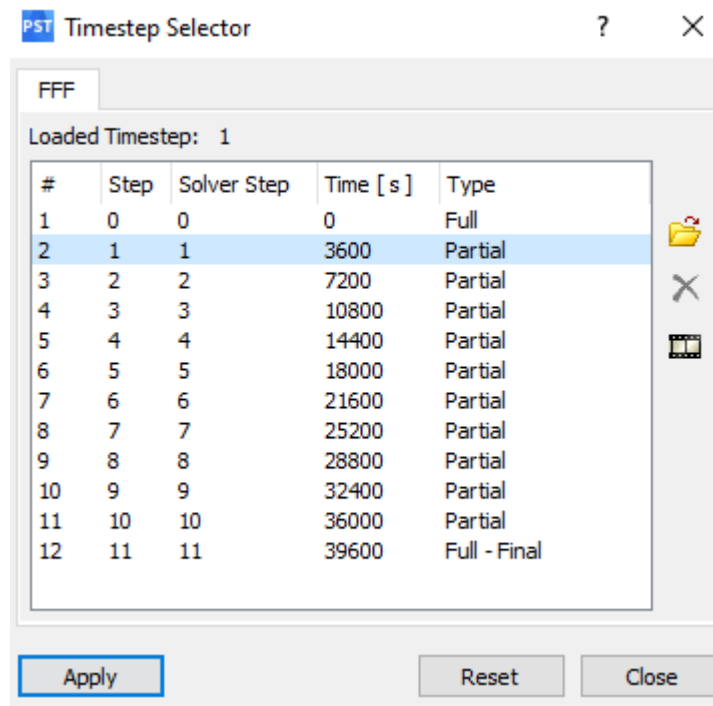
Klik Apply maka hasilnya menjadi



Secara rinci, bentuk – bentuk countur per jam dapat dilihat dengan cara mengklik icon time selector

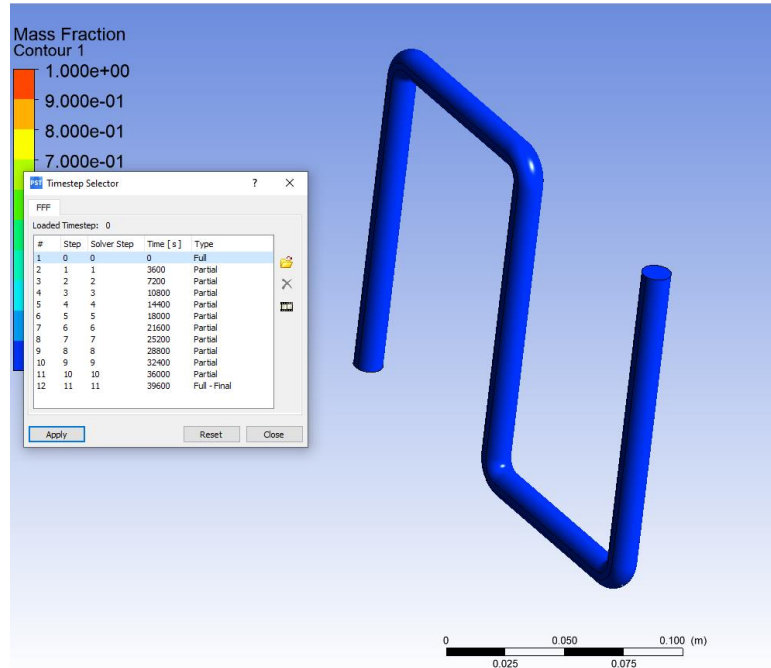


kemudian akan muncul tampilan

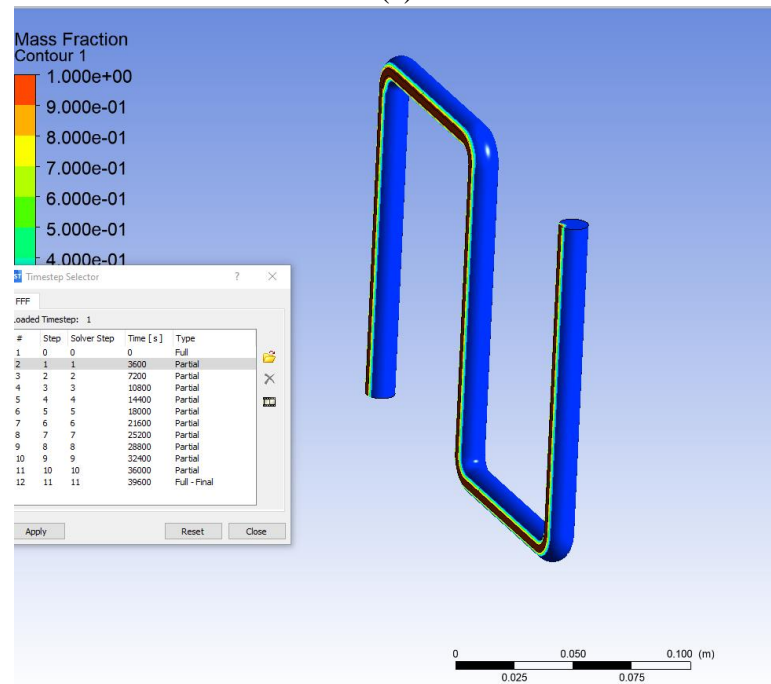


Selanjutnya untuk melihat hasil simulasi volume fraksi yang melebur perjam dapat dilakukan dengan meng-klik baris pada tabel kemudian klik apply.

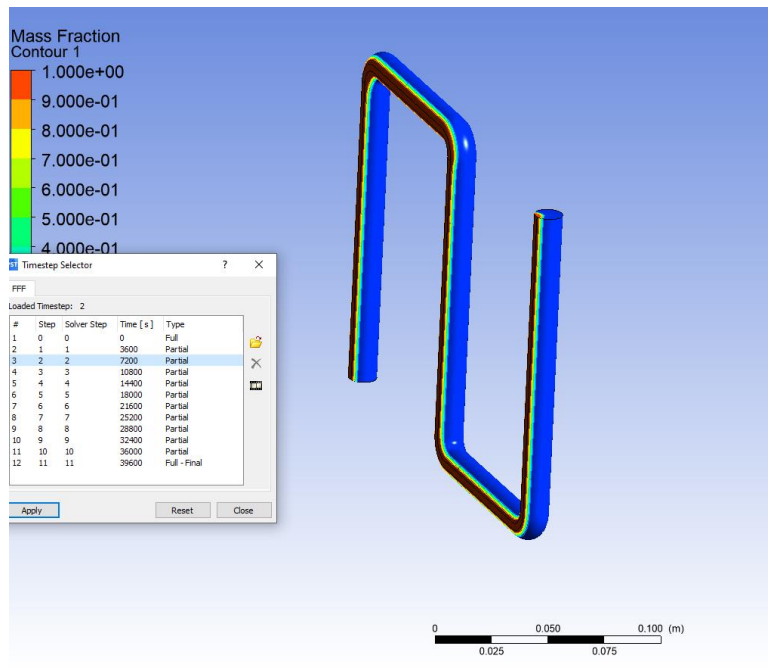
A. Evolusi peleburan *paraffin wax* pada temperature 90 °C



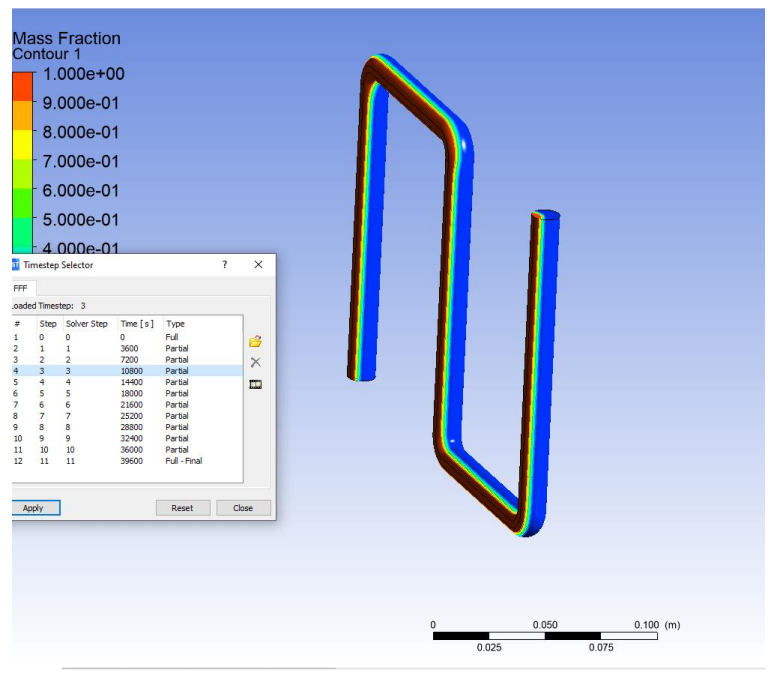
(a)



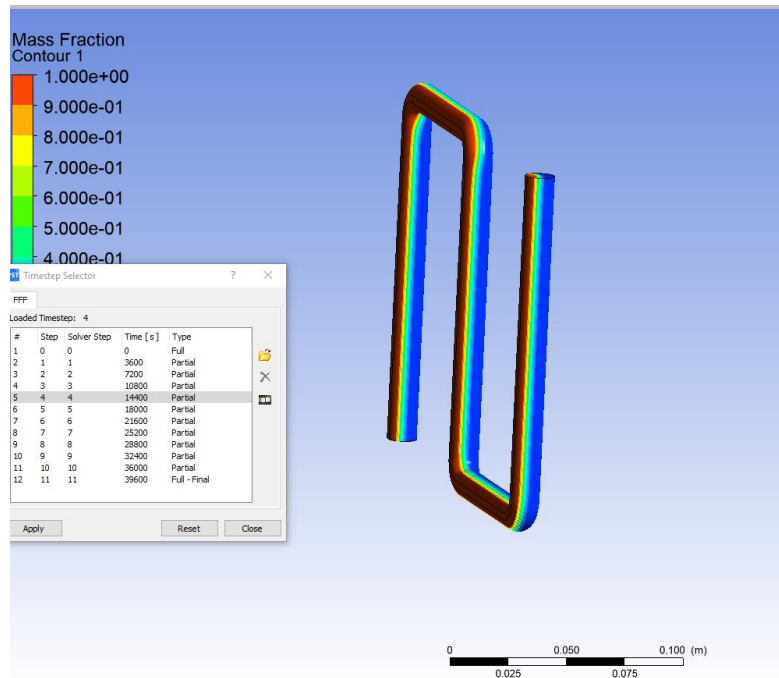
(b)



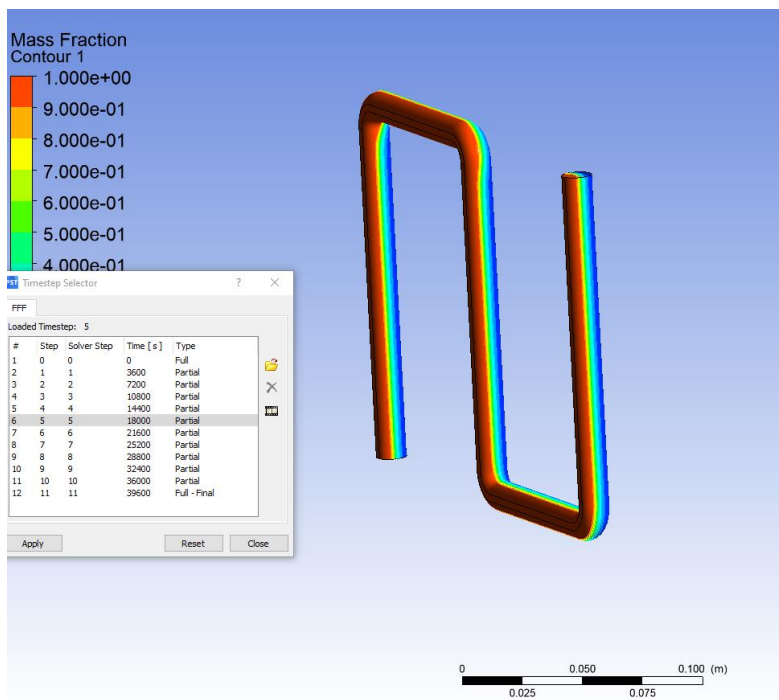
(c)



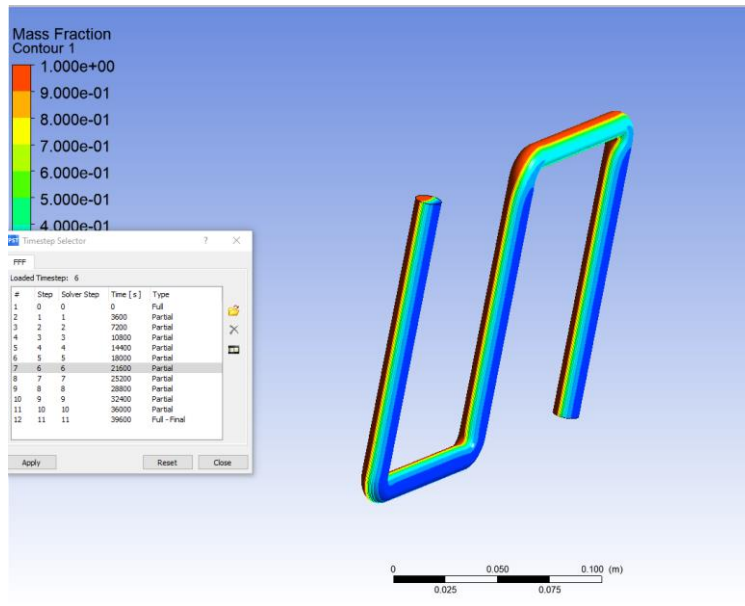
(d)



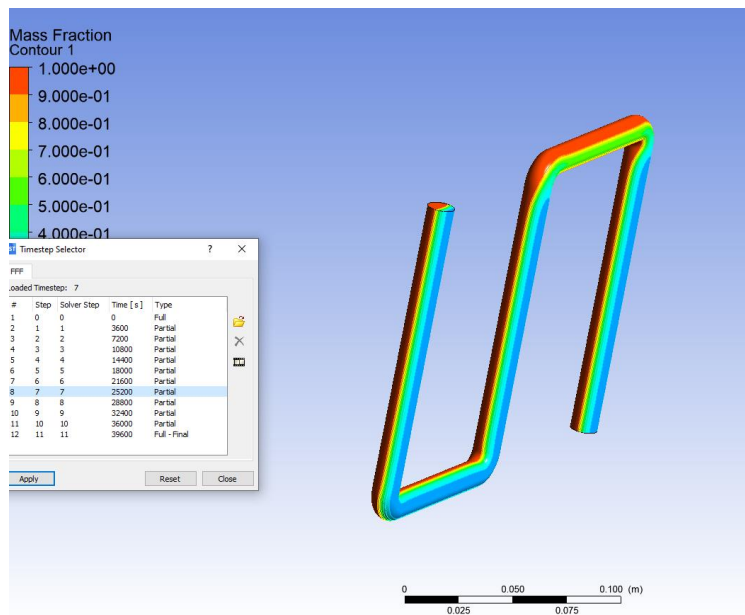
(e)



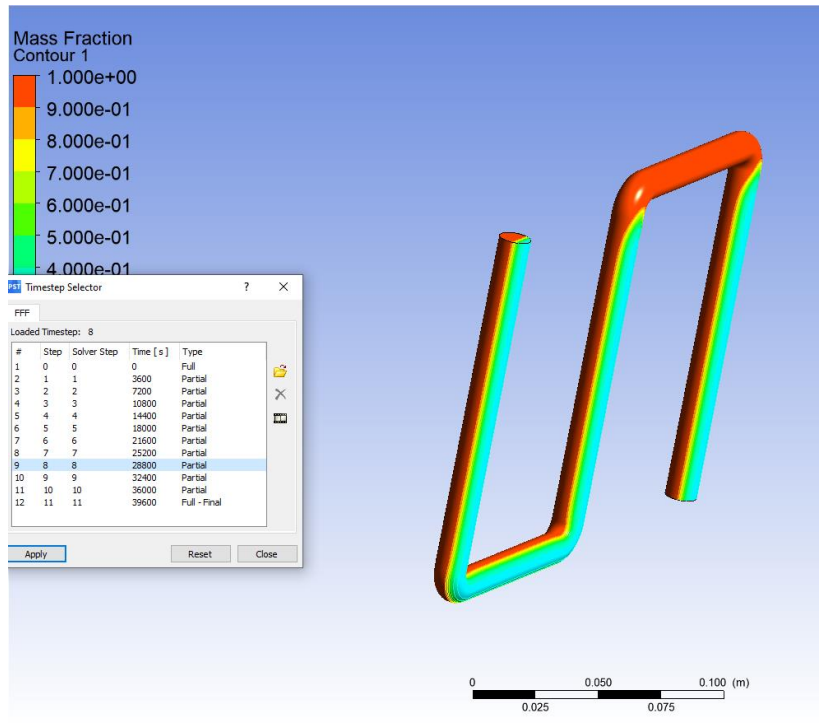
(f)



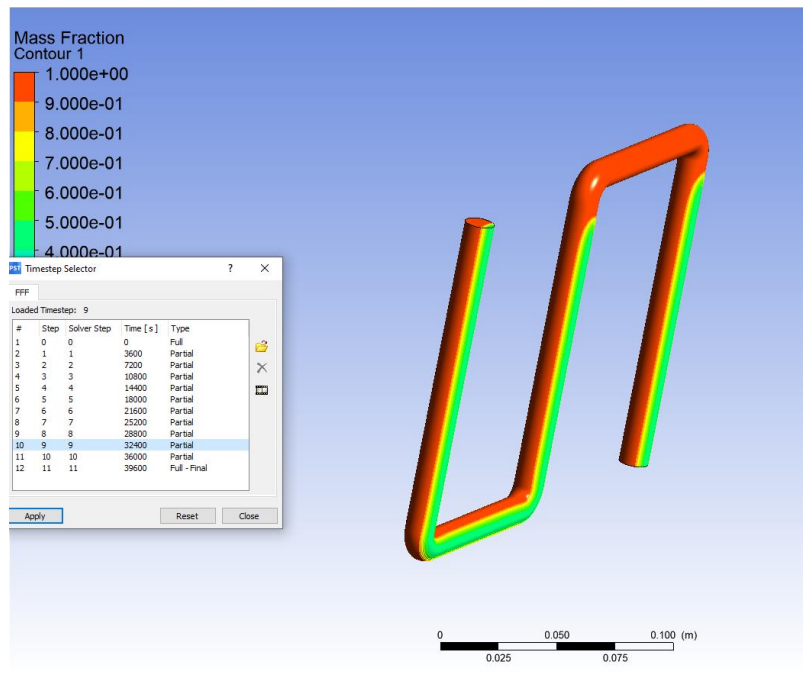
(g)



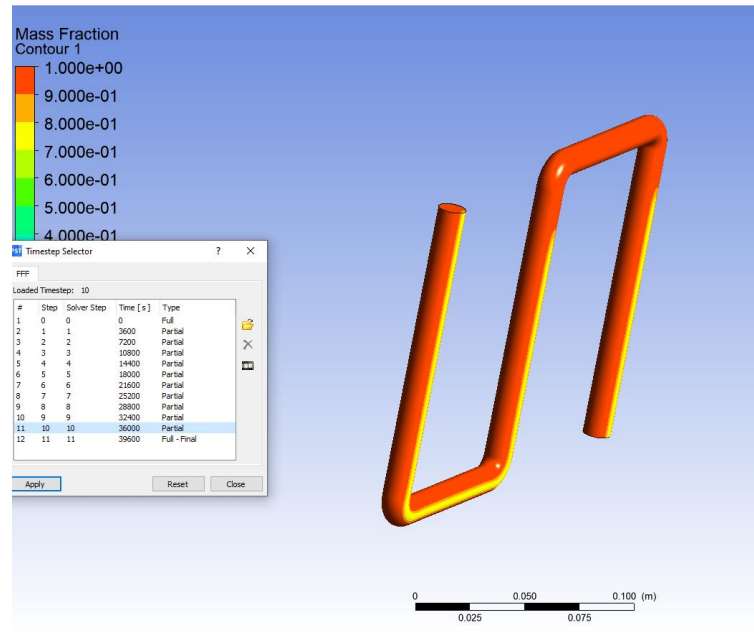
(h)



(i)



(j)

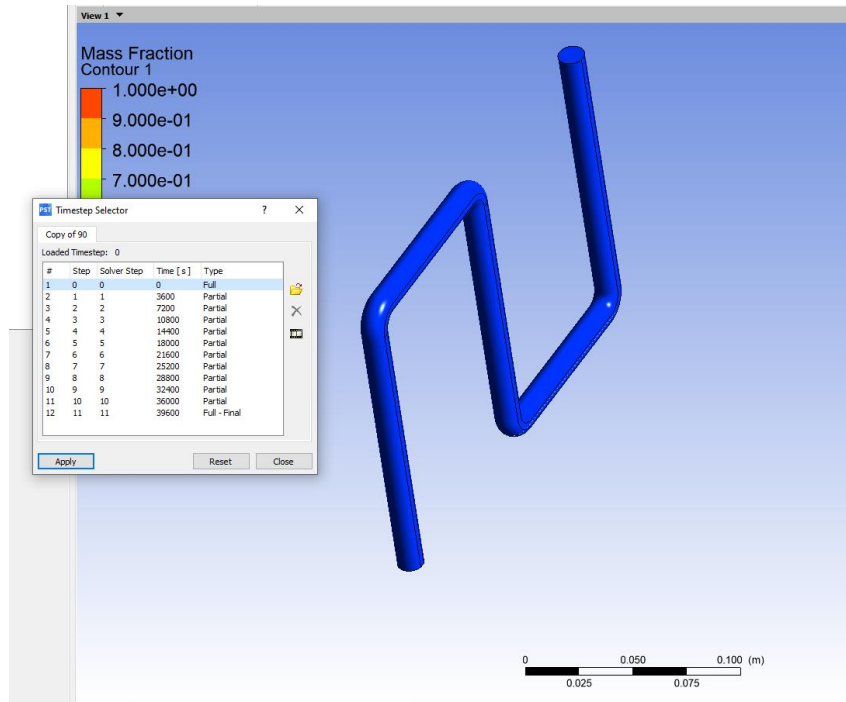


(k)

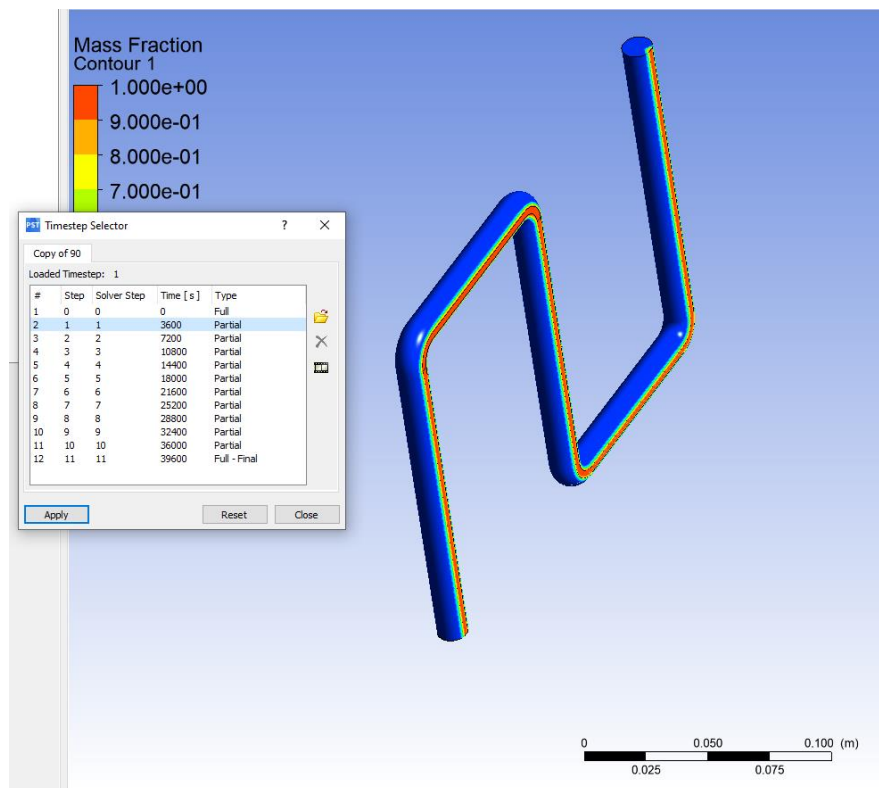
- Proses peleburan pada 0 detik
- Proses peleburan pada 3600 detik (1 jam)
- Proses peleburan pada 7200 detik (2 jam)
- Proses peleburan pada 10800 detik (3 jam)
- Proses peleburan pada 14400 detik (4 jam)
- Proses peleburan pada 18000 detik (5 jam)
- Proses peleburan pada 21600 detik (6 jam)
- Proses peleburan pada 25200 detik (7 jam)
- Proses peleburan pada 28800 detik (8 jam)
- Proses peleburan pada 32400 detik (9 jam)
- Proses peleburan pada 36000 detik (10 jam)

Keterangan : warna biru menyatakan keadaan solid, merah liquid dan warna kuning menyatakan material akan mulai melebur.

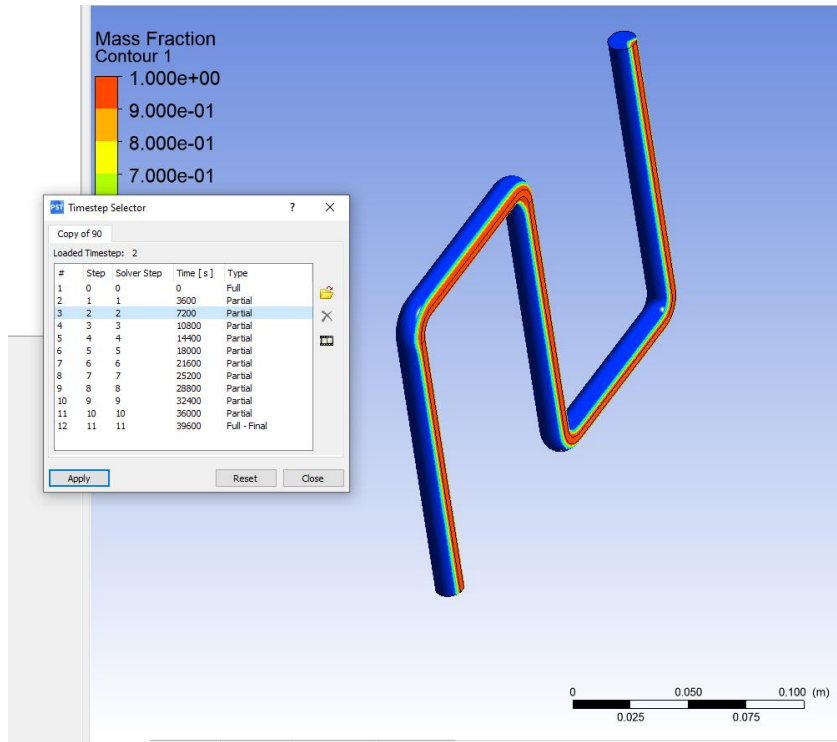
B. Evolusi peleburan *Paraffin Wax* pada *temperature* 85 °C



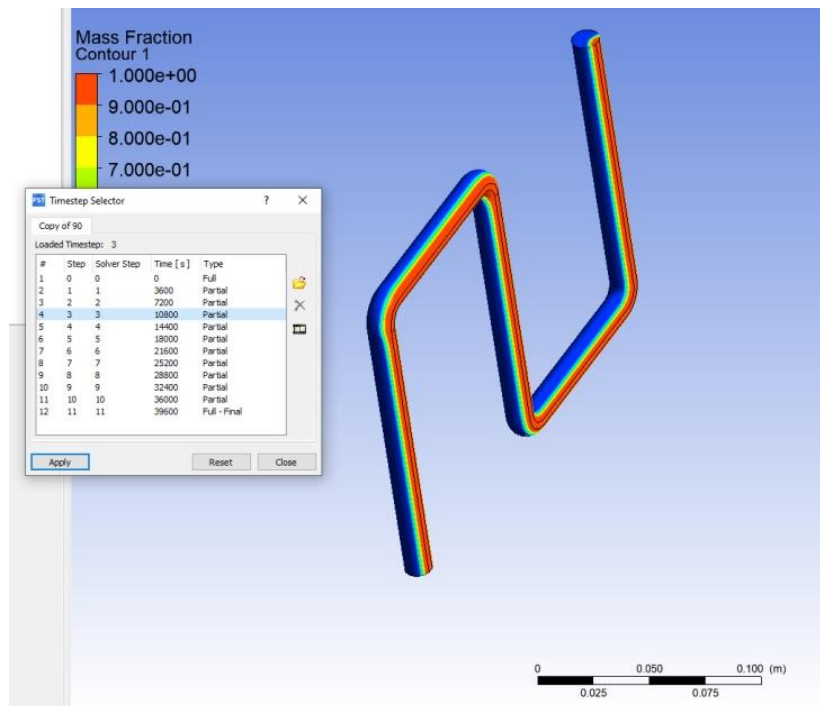
(a)



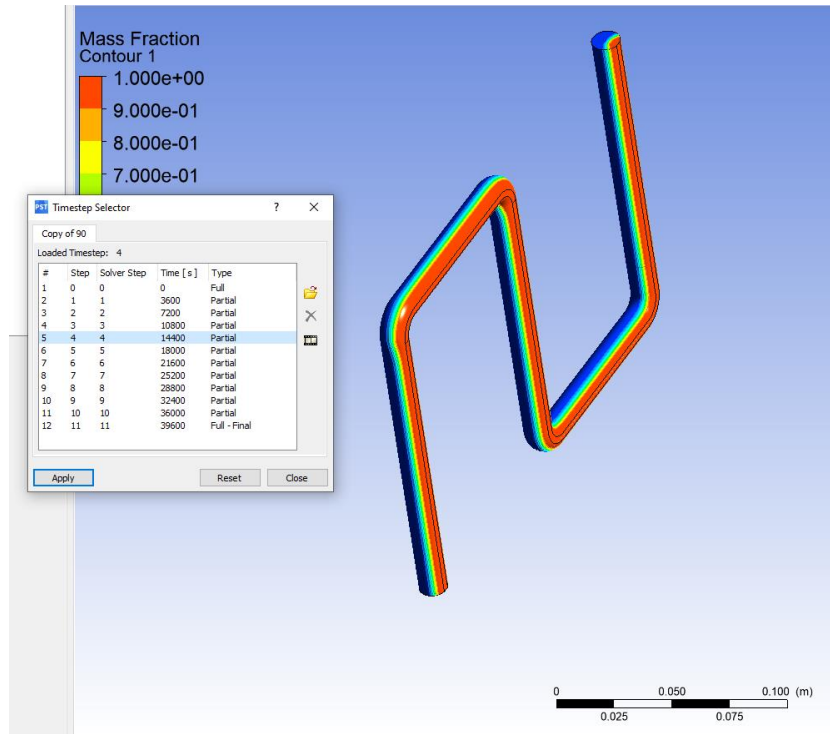
(b)



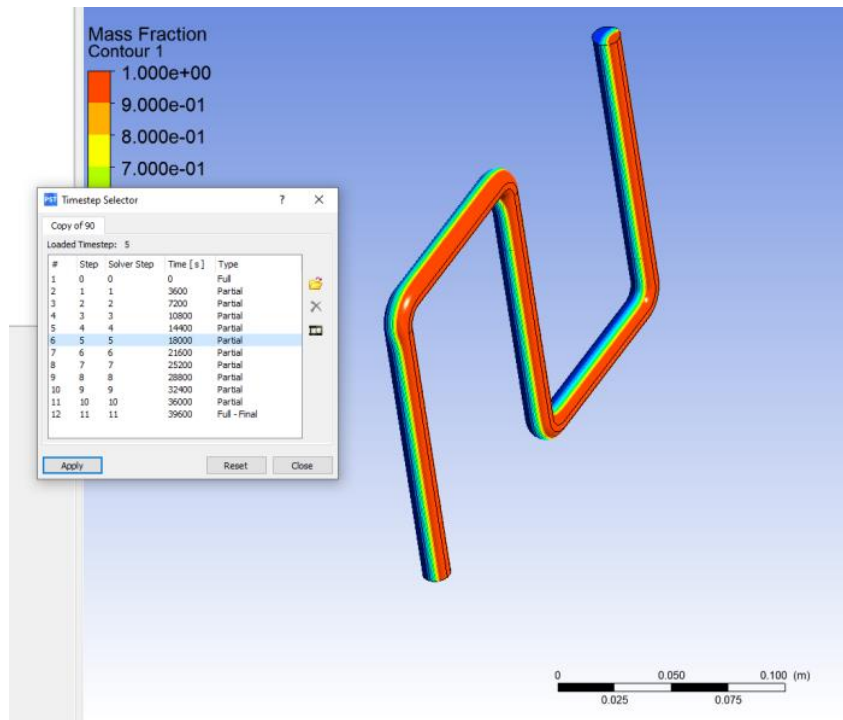
(c)



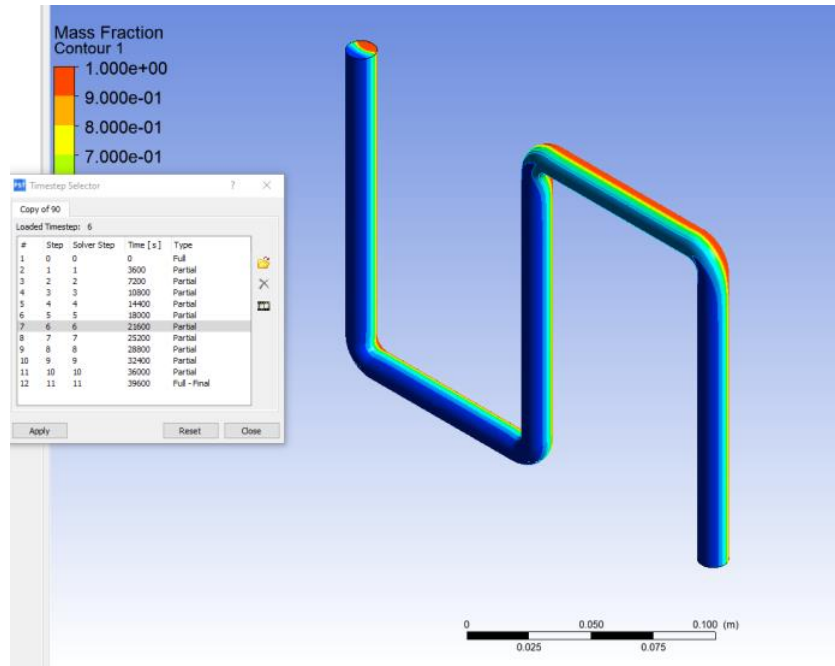
(d)



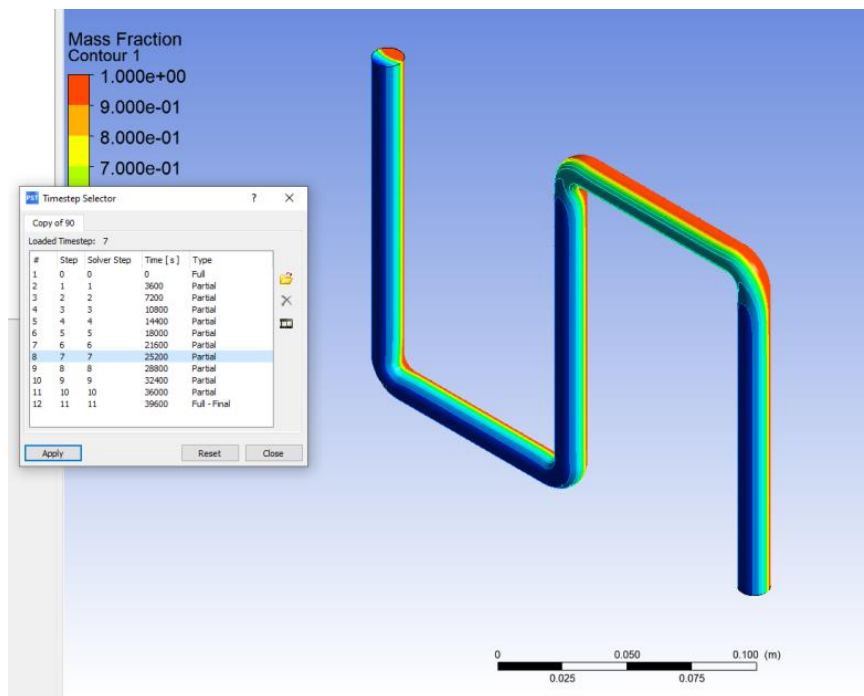
(e)



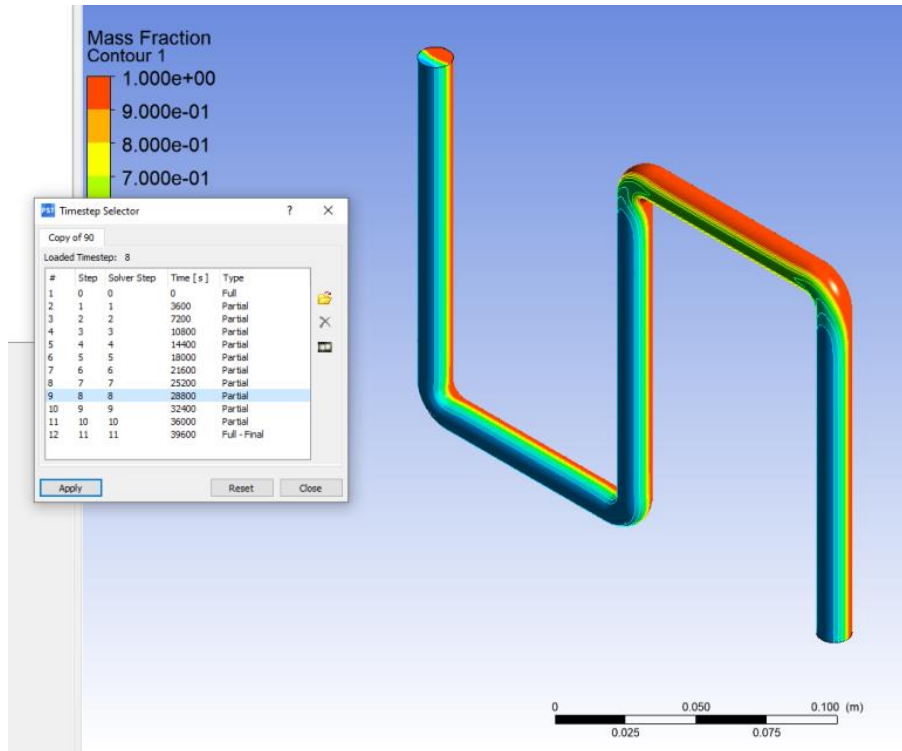
(f)



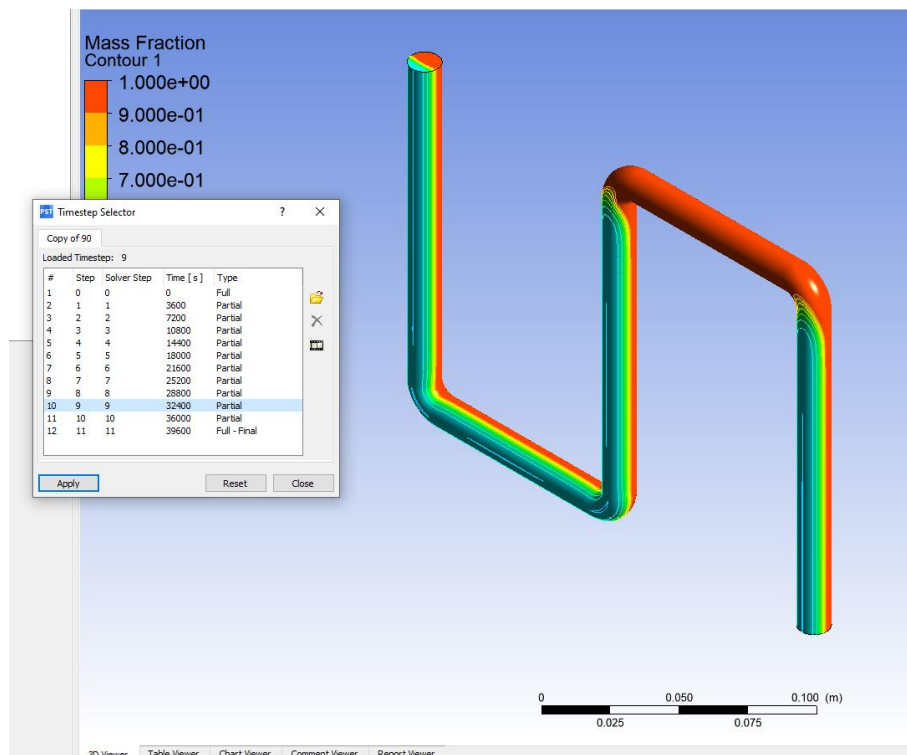
(g)



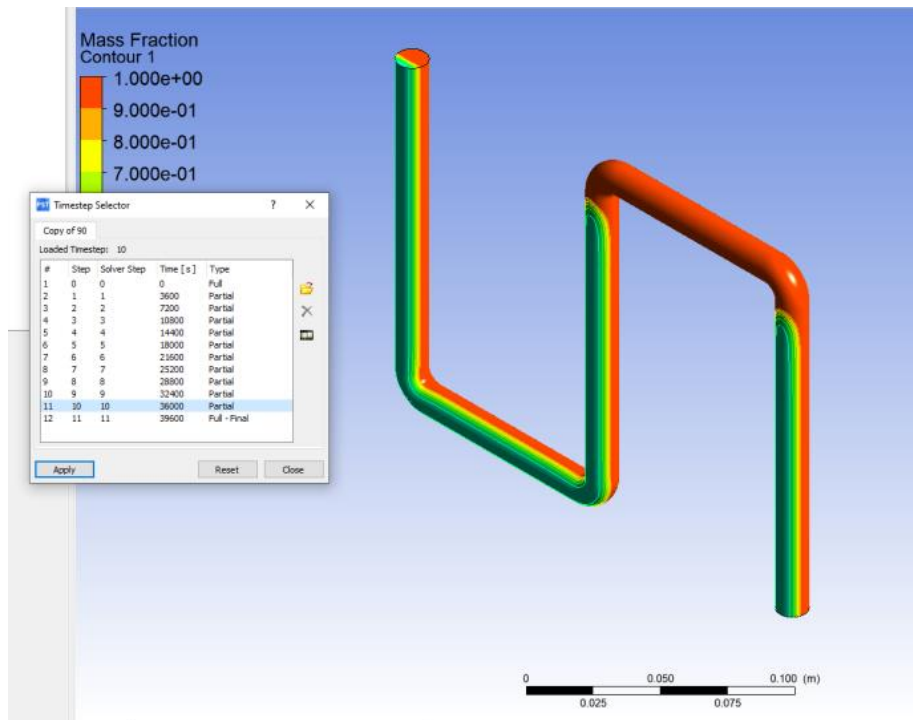
(h)



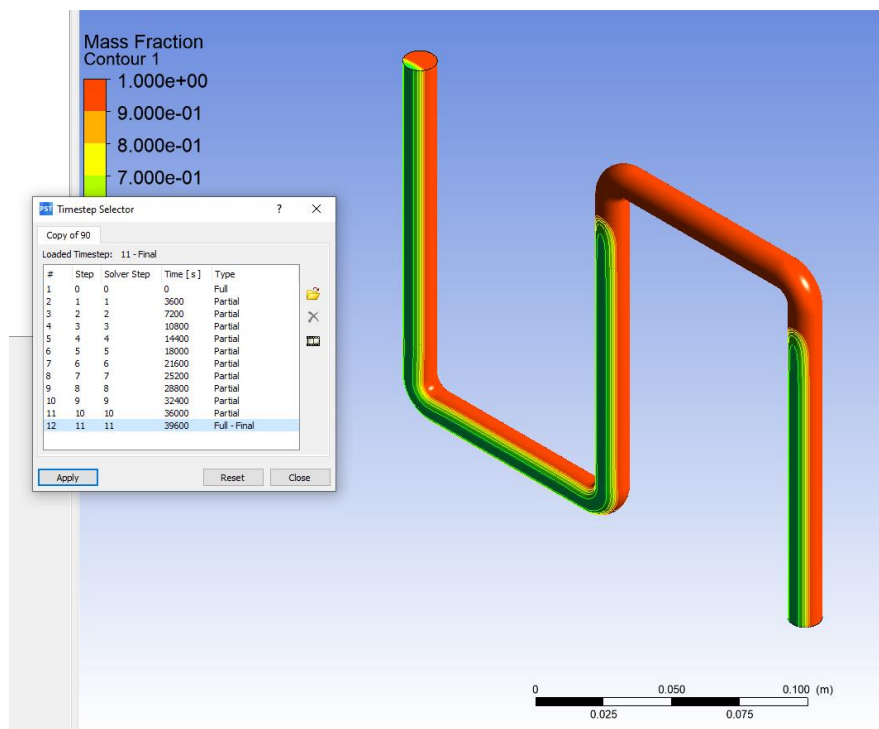
(i)



(j)



(k)

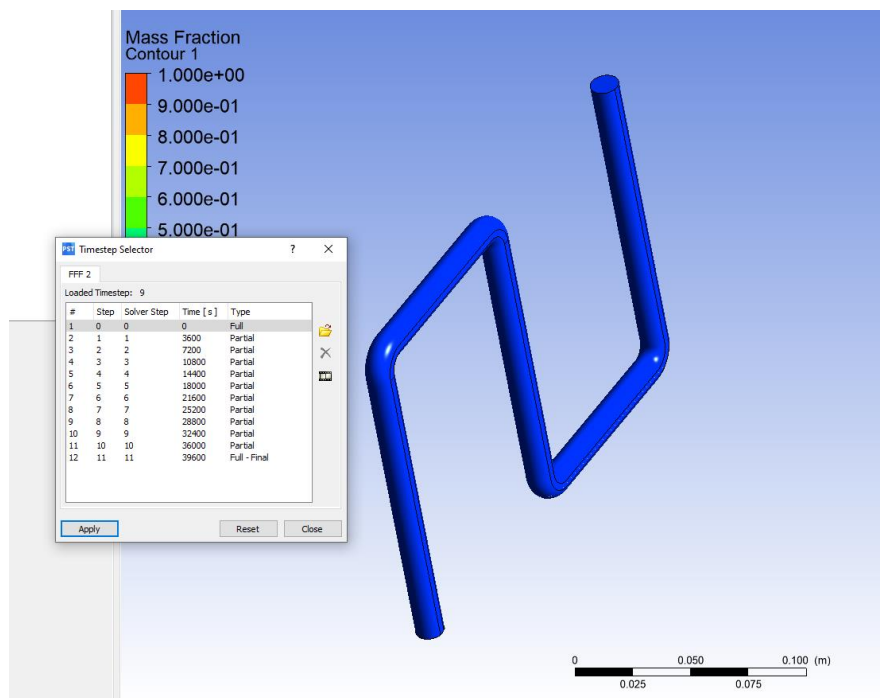


(l)

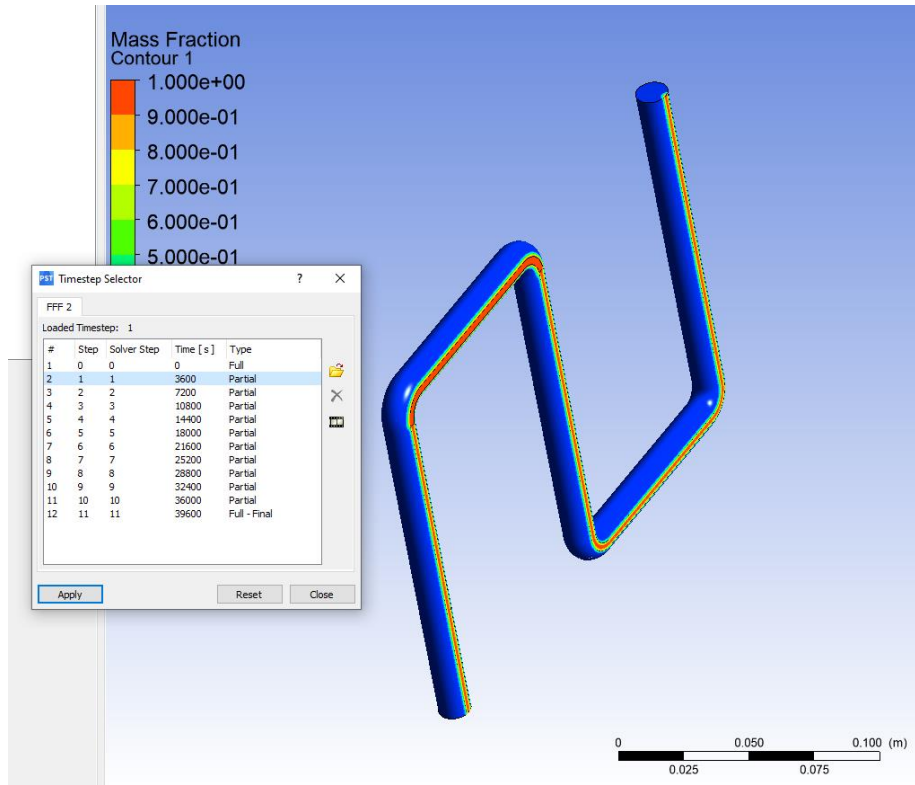
- Proses peleburan pada 0 detik
- Proses peleburan pada 3600 detik (1 jam)
- Proses peleburan pada 7200 detik (2 jam)
- Proses peleburan pada 10800 detik (3 jam)

- e. Proses peleburan pada 14400 detik (4 jam)
- f. Proses peleburan pada 18000 detik (5 jam)
- g. Proses peleburan pada 21600 detik (6 jam)
- h. Proses peleburan pada 25200 detik (7 jam)
- i. Proses peleburan pada 28800 detik (8 jam)
- j. Proses peleburan pada 32400 detik (9 jam)
- k. Proses peleburan pada 36000 detik (10 jam)
- l. Proses peleburan pada 39600 detik (11 jam)

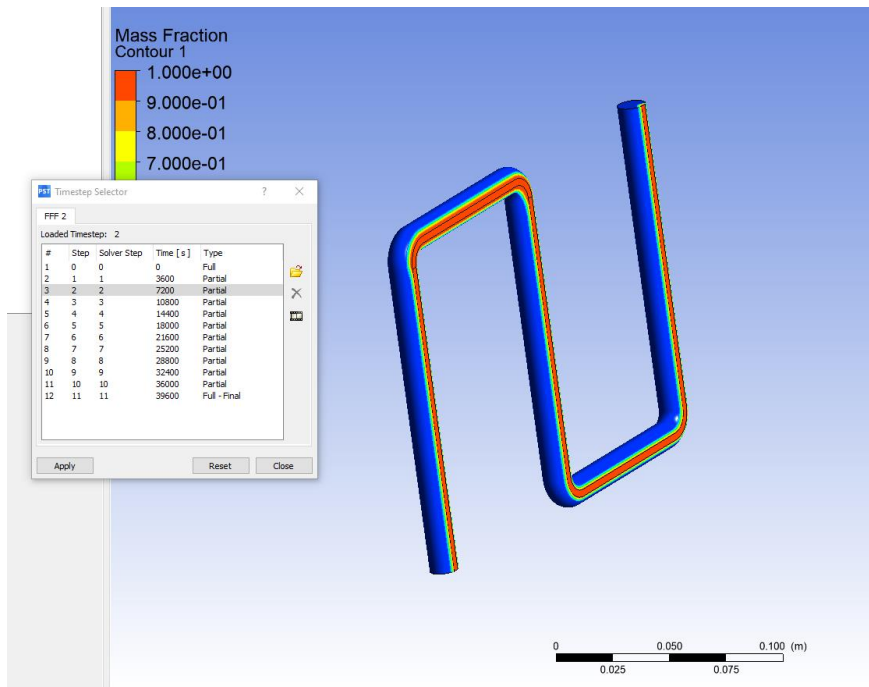
C. Evolusi peleburan *Paraffin Wax* pada *temperature* 80 °C



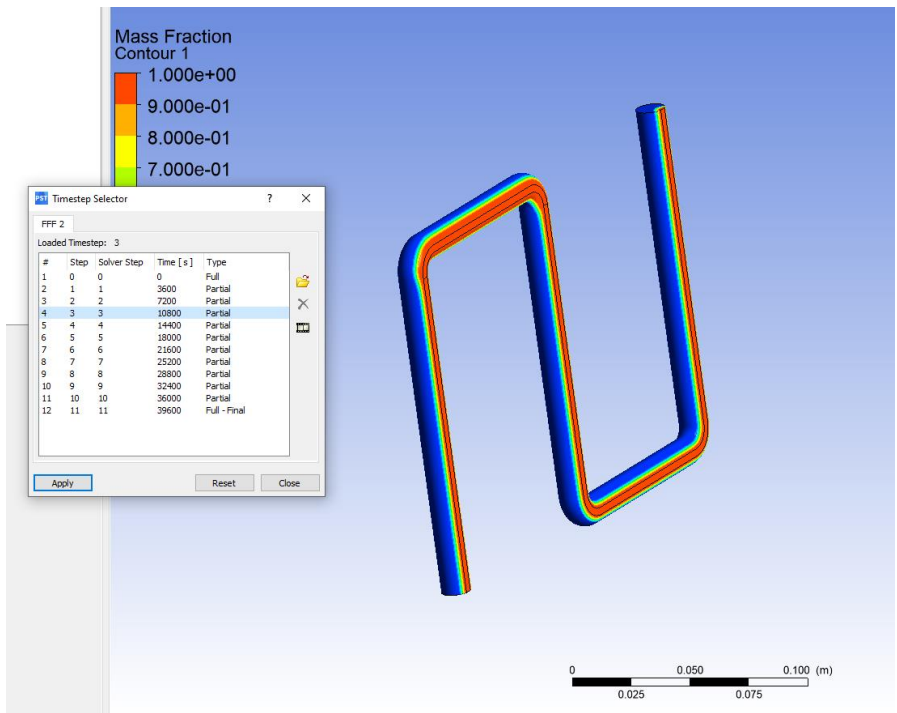
(a)



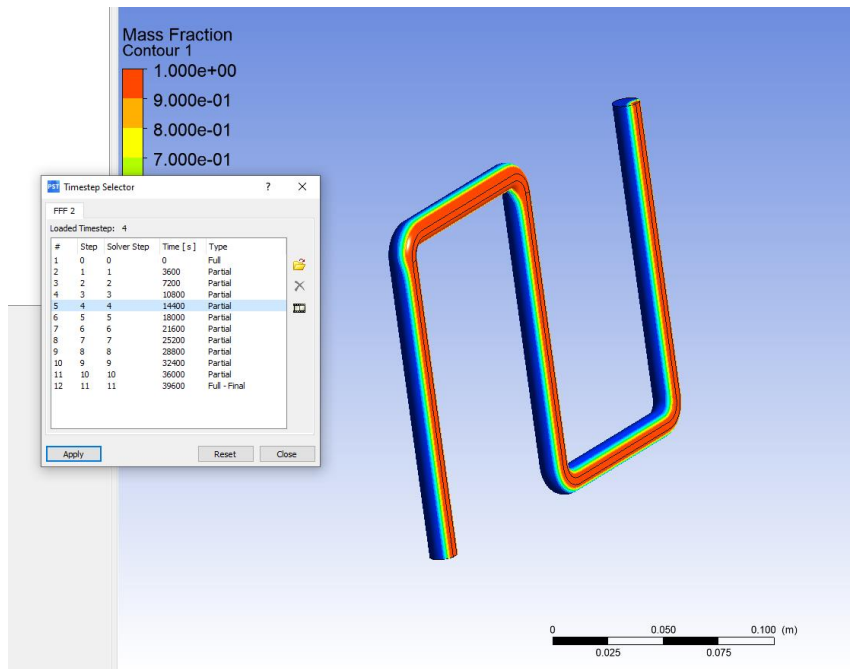
(b)



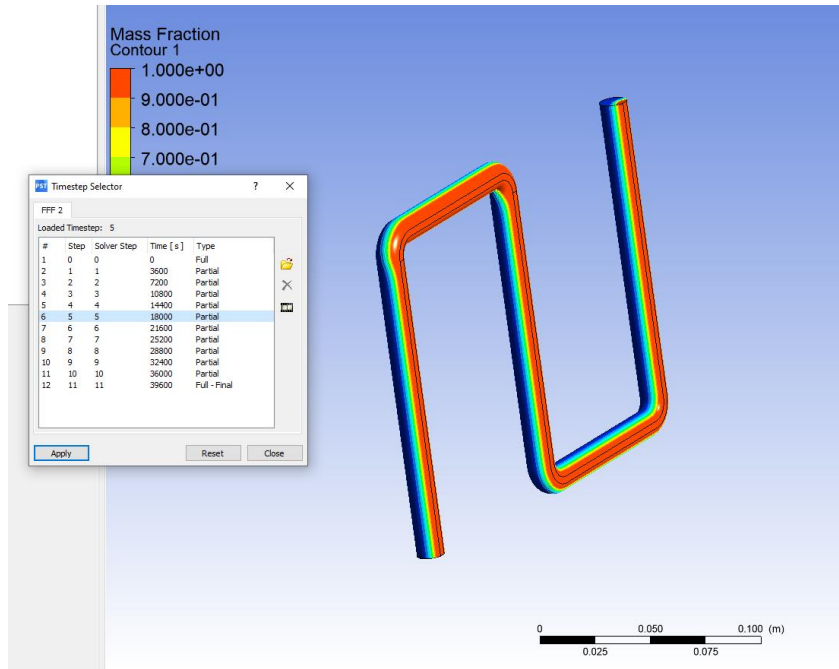
(c)



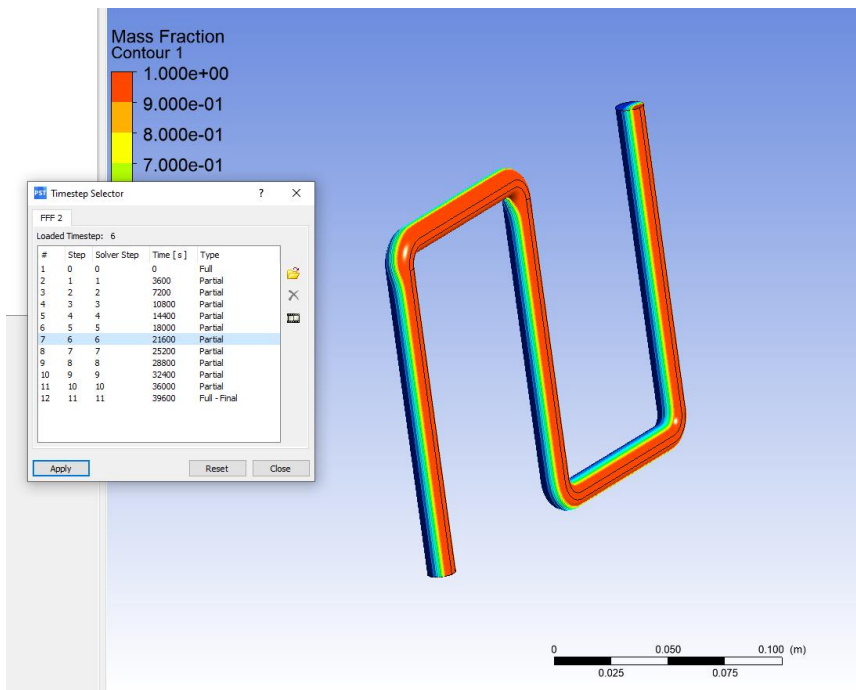
(d)



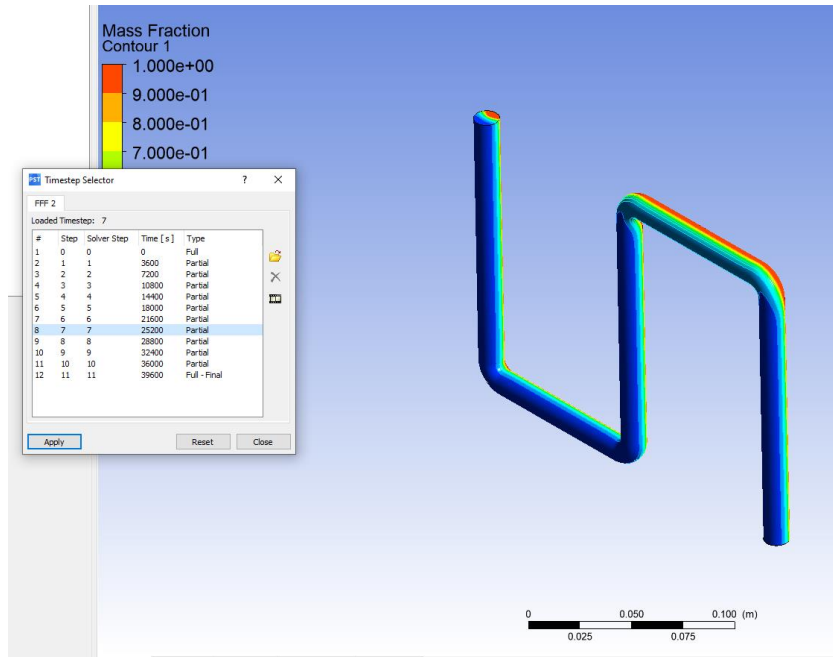
(e)



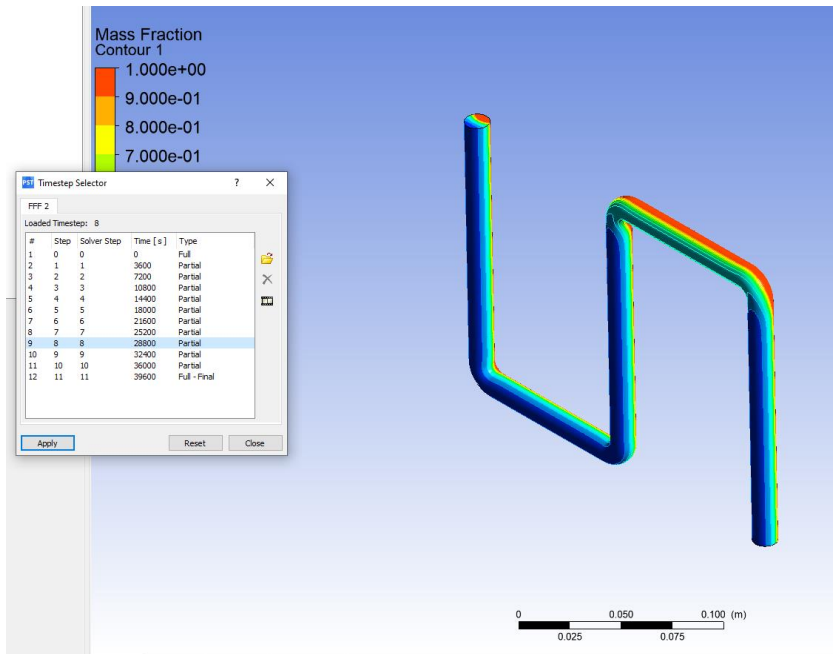
(f)



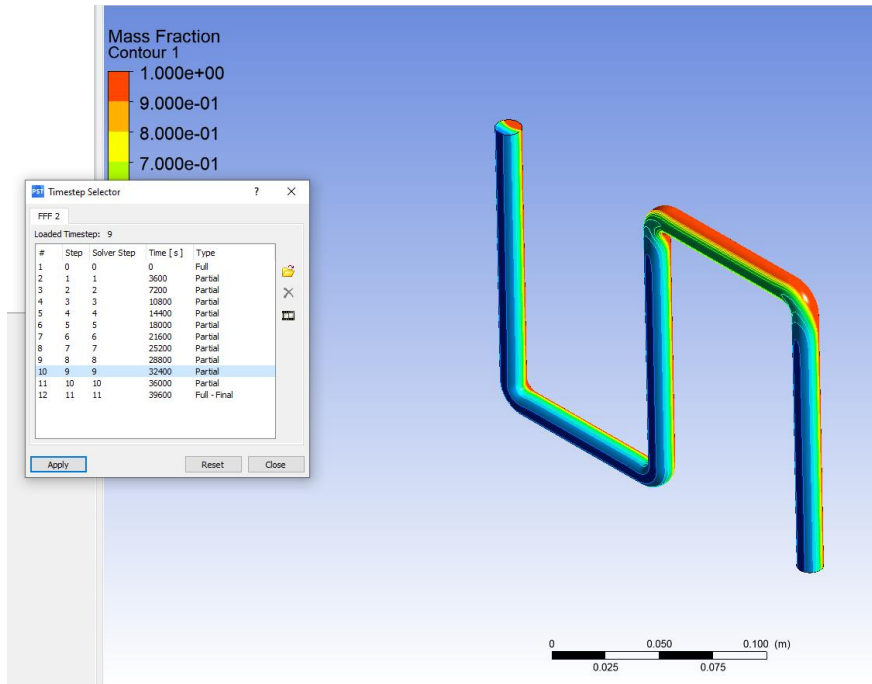
(g)



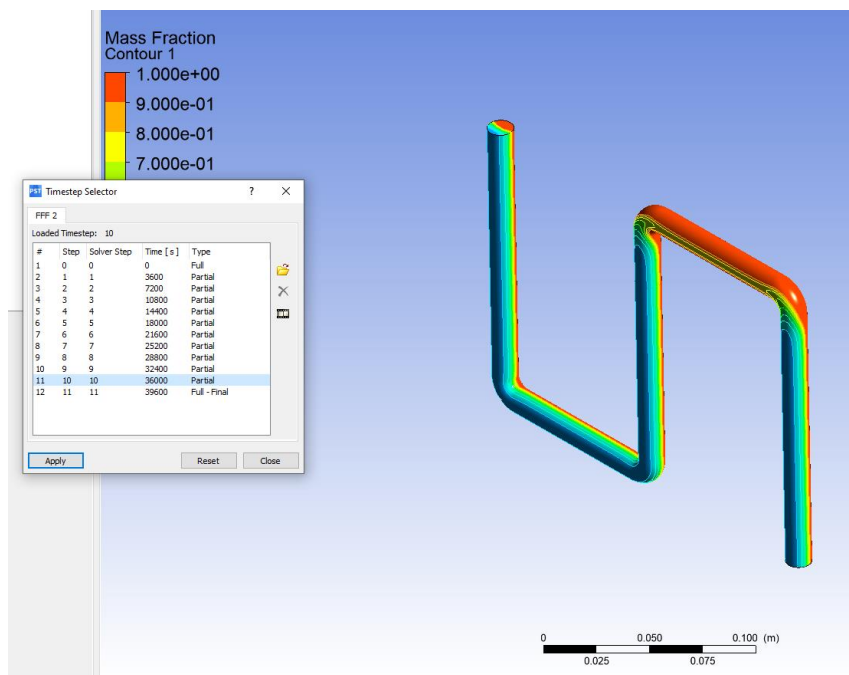
(h)



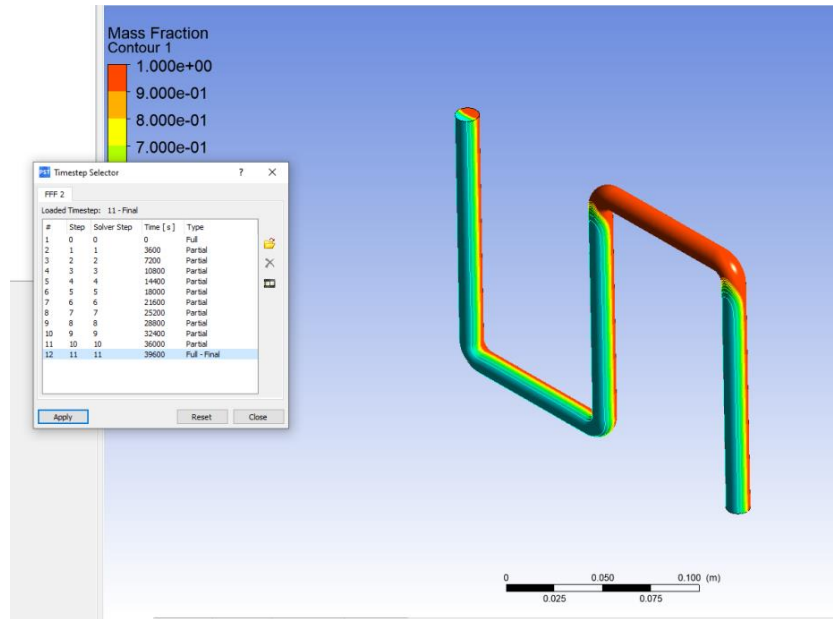
(i)



(j)



(k)



(1)

- a. Proses peleburan pada 0 detik
- b. Proses peleburan pada 3600 detik (1 jam)
- c. Proses peleburan pada 7200 detik (2 jam)
- d. Proses peleburan pada 10800 detik (3 jam)
- e. Proses peleburan pada 14400 detik (4 jam)
- f. Proses peleburan pada 18000 detik (5 jam)
- g. Proses peleburan pada 21600 detik (6 jam)
- h. Proses peleburan pada 25200 detik (7 jam)
- i. Proses peleburan pada 28800 detik (8 jam)
- j. Proses peleburan pada 32400 detik (9 jam)
- k. Proses peleburan pada 36000 detik (10 jam)
- l. Proses peleburan pada 39600 detik (11 jam)

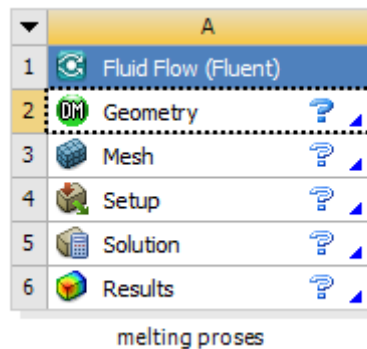
LAMPIRAN 2

PROSES DAN HASIL SIMULASI *STEARIC ACID*

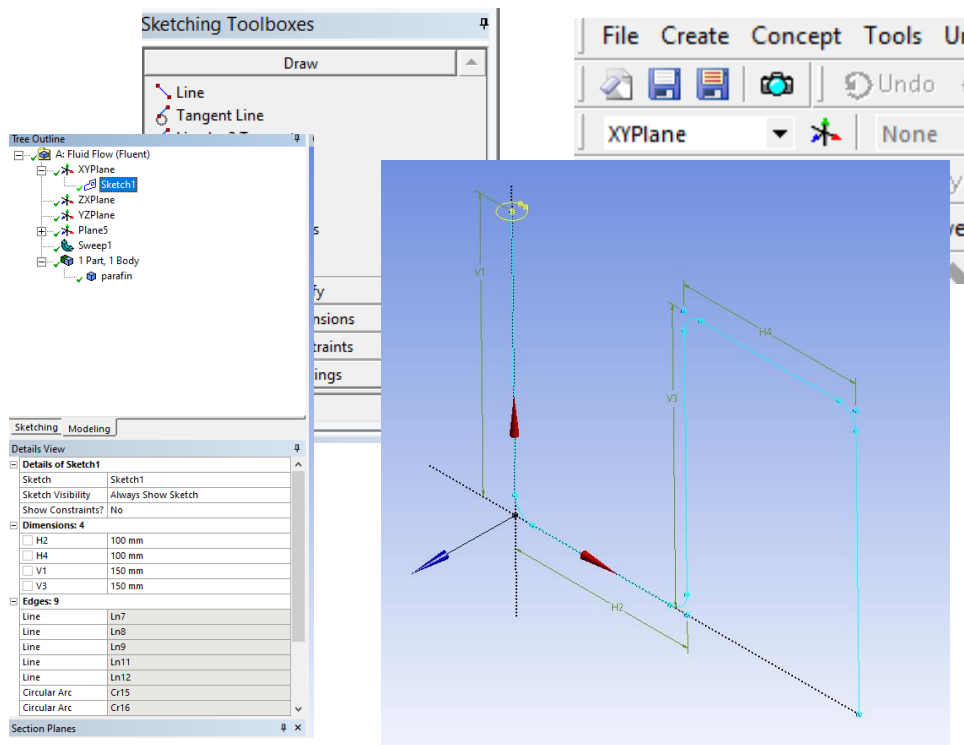
Proses simulasi dilakukan pada Software Ansys 19 R (program *fluid flow/fluent*). Proses simulasi dibagi dalam beberapa tahapan yakni geometri, *mesh*, *setup*, *solution* dan *result*.

1. Proses Pembentukan Geometri

Proses geometri dilakukan untuk menggambar model simulasi. Hal ini dilakukan dengan cara mengklik dua kali pada kolom geometri.

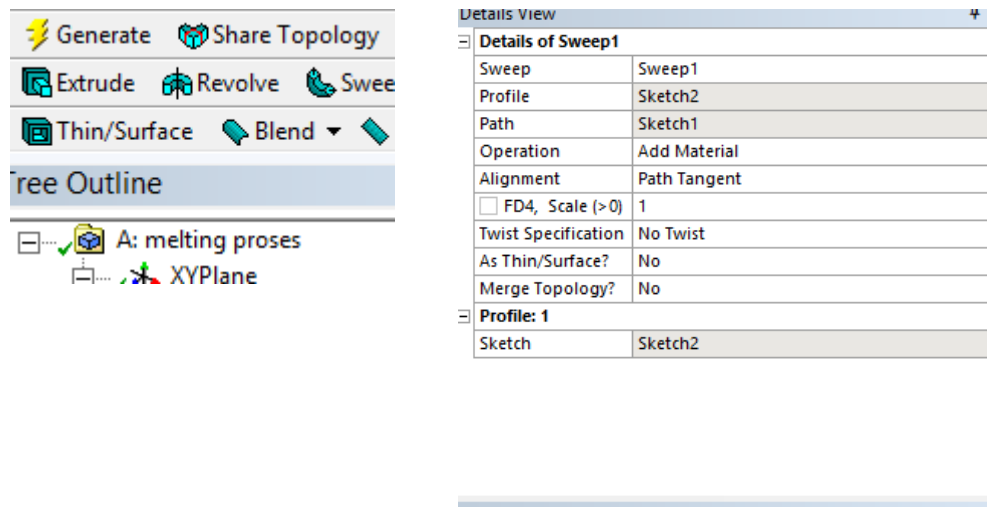


Kemudian akan muncul jendela geometri. Pilih unit satuan yakni milli meter (mm). Setelah itu, klik sketching dan XYPlane sebagai aplikasi untuk menggambar model (lihat gambar dibawah ini).

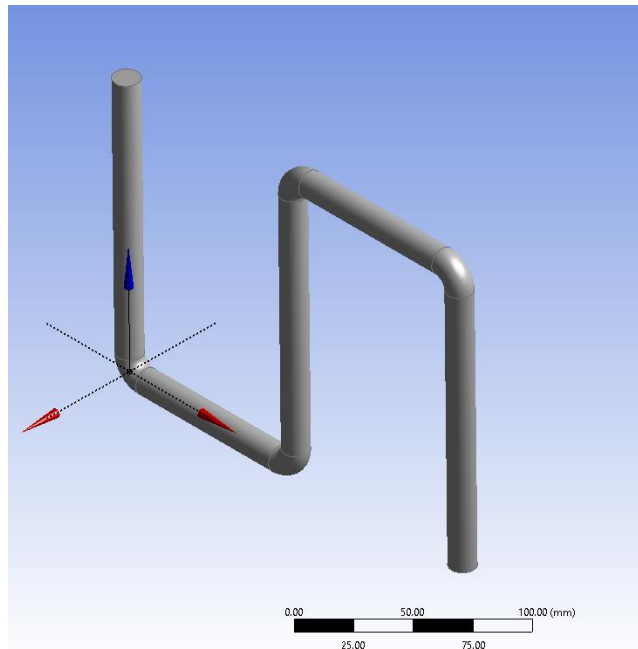


Setelah itu, proses menggambar dapat dilakukan dengan meng-klik Rectangle dan membuat ukuran dengan cara mengklik Dimensions.

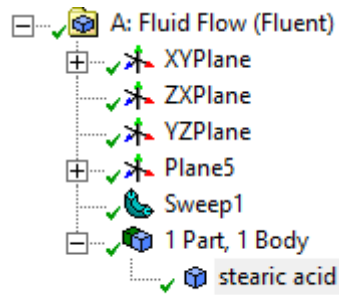
Klik sweep dan mengisi kolom isian detail . Setelah itu klik Generate.



Gambar model akan berubah menjadi

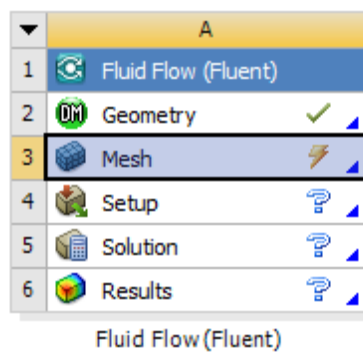


Kemudian ganti nama “Solid” pada tree outline menjadi “Stearic acid” dengan cara klik kanan pada “Solid” – rename – Stearic acid – klik Generate.

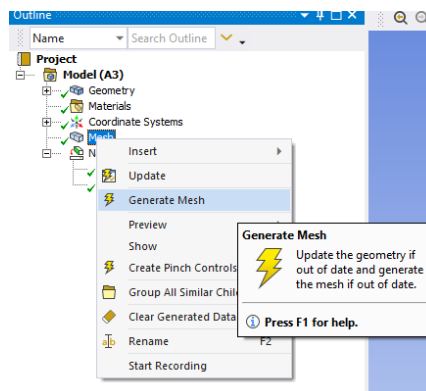


2. Proses Mesh

Klik dua kali pada mesh



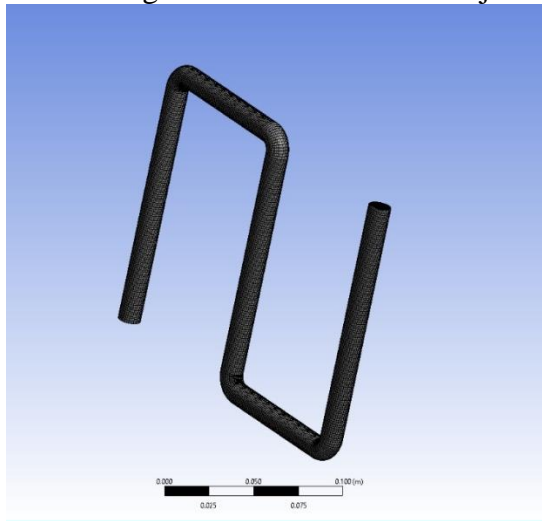
Maka akan muncul jendela mesh. Klik kanan pada mesh – pilih generate mesh.



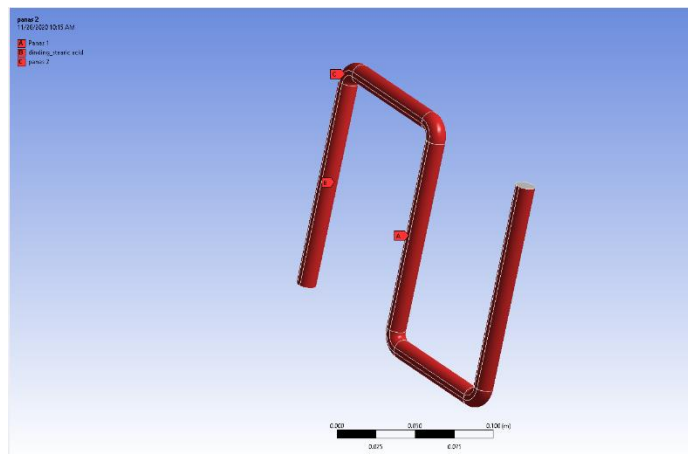
Kemudian ikuti pada details of mesh.

Details of "Mesh"	
Display	
Display Style	Use Geometry Setting
Defaults	
Physics Preference	CFD
Solver Preference	Fluent
Element Order	Linear
<input type="checkbox"/> Element Size	1.e-003 m
Export Format	Standard
Export Preview Surface Mesh	No
Sizing	
Quality	
Inflation	
Assembly Meshing	
Advanced	
Statistics	
<input type="checkbox"/> Nodes	175418
<input type="checkbox"/> Elements	163800

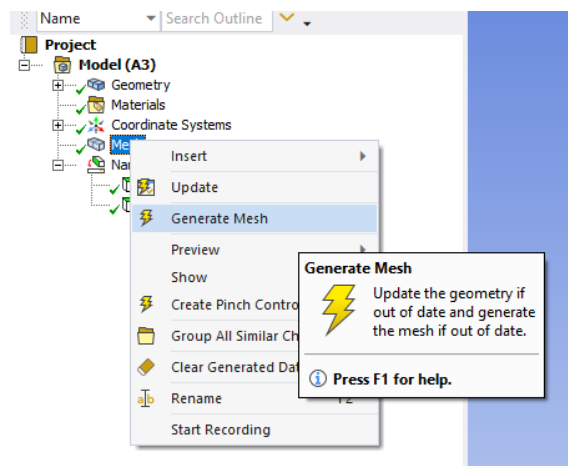
Setelah itu, klik update. Maka gambar akan berubah menjadi



Kemudian berikan nama pada sumber panas dengan nama 'panas' dan dinding stearic acid dengan nama 'wall'. Hal ini dilakukan dengan cara mengklik gambar sisi bagian inlet - klik kanan – pilih create named selection - isi nama dengan 'inlet' – klik ok.



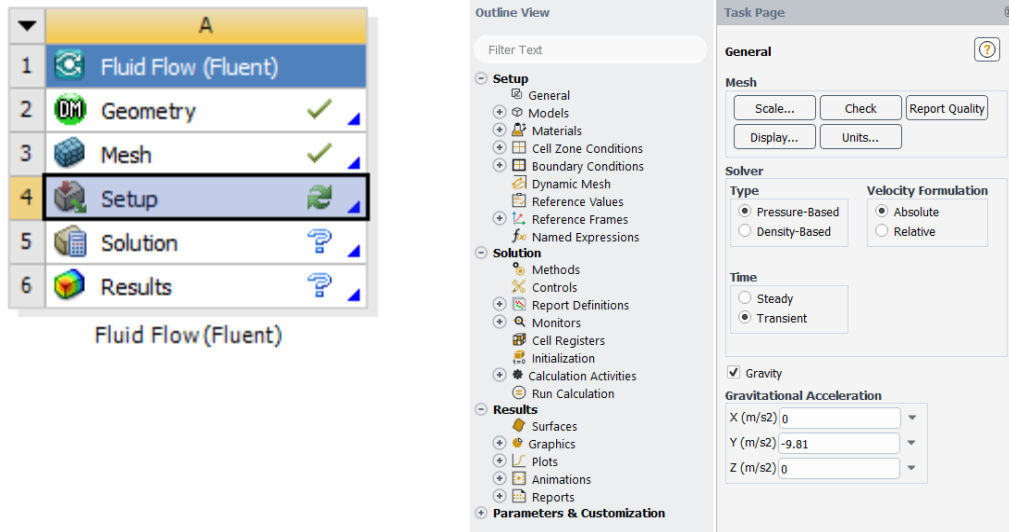
Klik update. Maka pada outline akan muncul dua named selection seperti pada gambar dibawah ini.



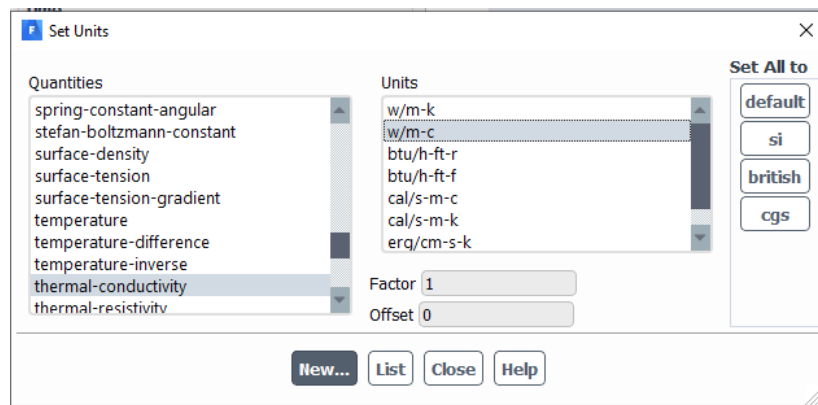
Klik Generate Mesh. Klose

3. Proses Setup dan Solution

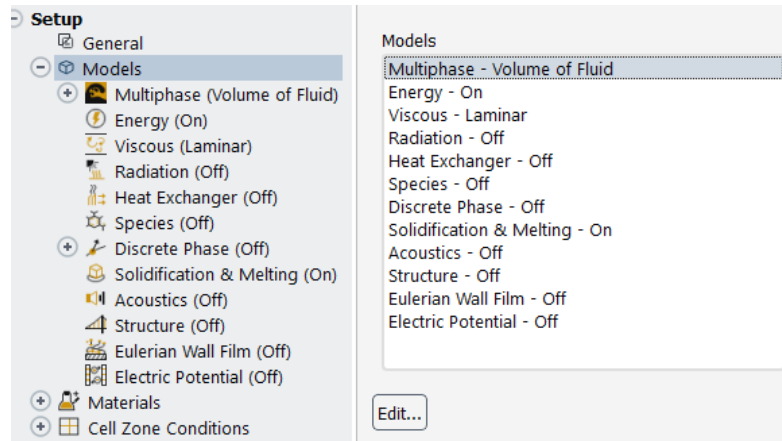
Klik dua kali pada Setup, maka jendela baru akan terbuka dan lakukan isian sesuai gambar



Klik unit, pilih satuan yang akan digunakan seperti temperatur ($^{\circ}\text{C}$), spesifik heat ($\text{J}/\text{Kg } ^{\circ}\text{C}$) dan konduktifitas thermal ($\text{W}/\text{m}\cdot\text{K}$) – close

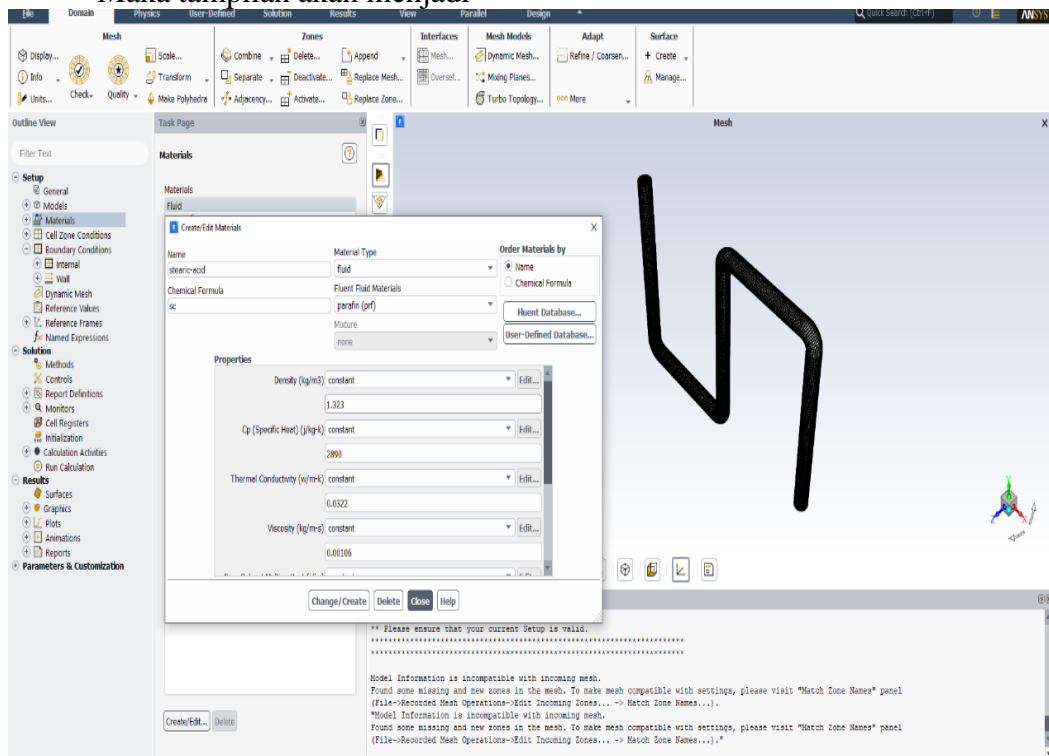


Klik model lakukan perubahan pada Multiphase, Energy dan Solidification & Melting

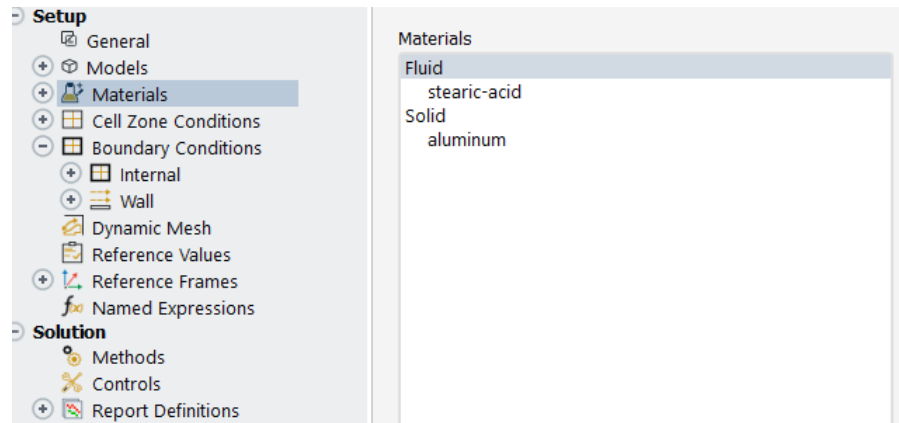


Klik material - create/Edit

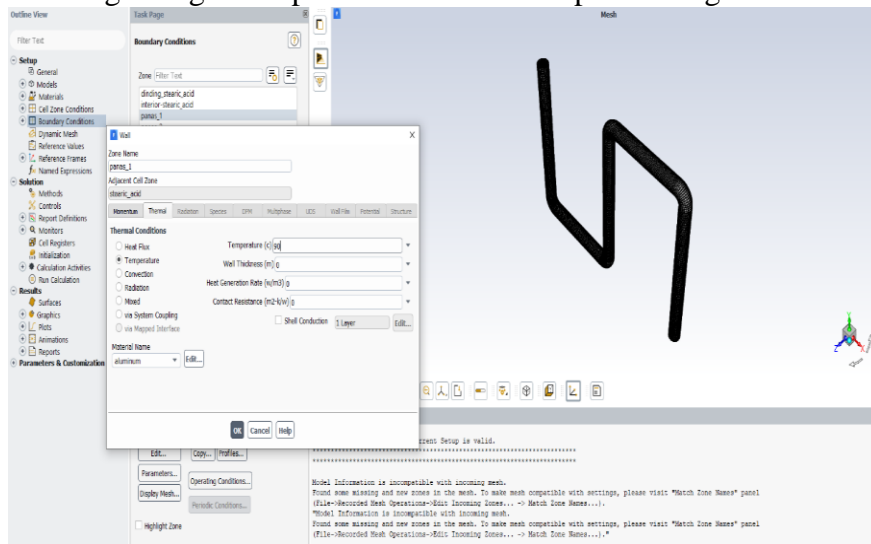
Maka tampilan akan menjadi



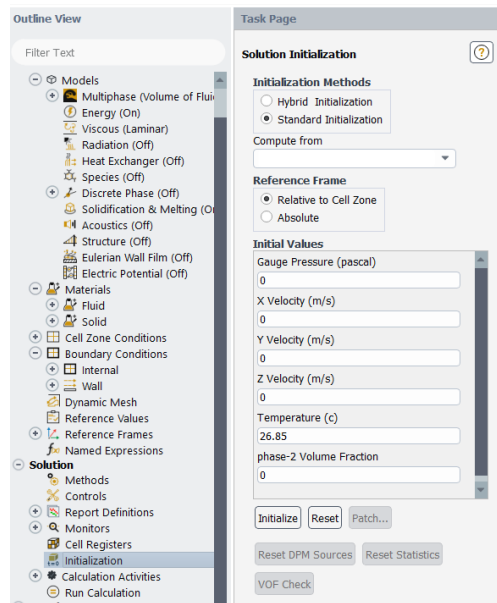
Ganti Name dari 'Air' menjadi stearic acid. Isi kolom Chemical Formula dengan stearic acid. Klik change/create. Setelah itu, maka jenis material akan bertambah satu jenis yakni stearic acid



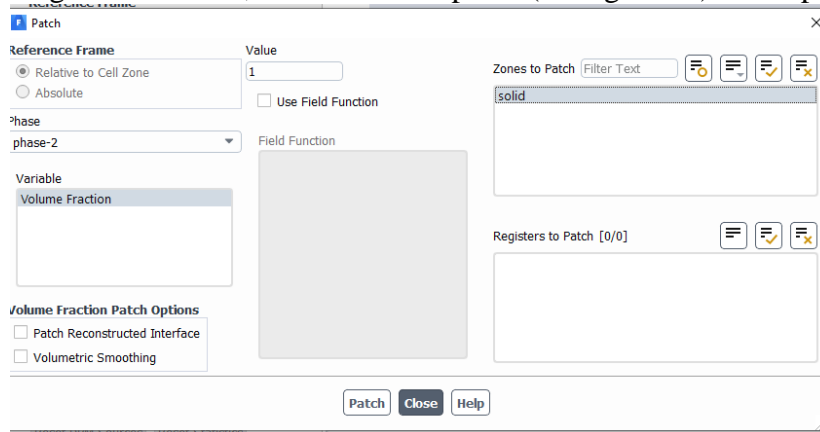
Klik Boundary Conditions – pilih inlet – edit - momentum – isi velocity magnitude dengan angka 2 – pilih thermal – isi tempertur dengan 90 – klik OK



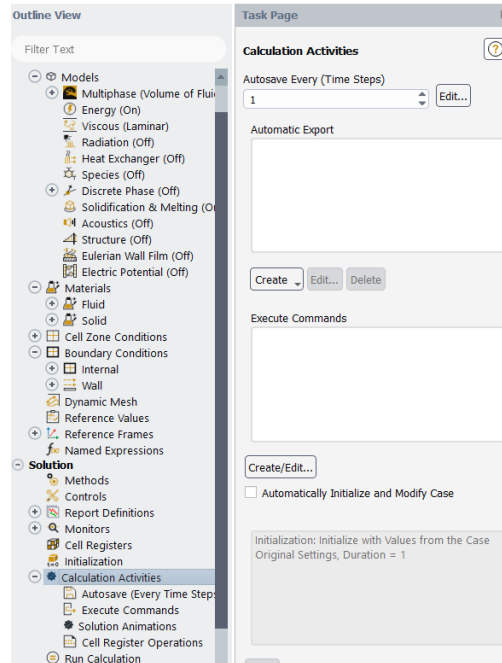
Masuk ke Solution Instialization (lihat gambar) – klik initialize



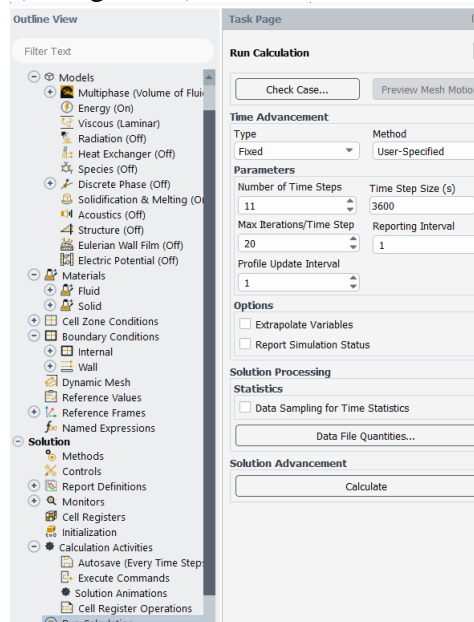
Setelah meng klik initialize, kemudian klik patch (lihat gambar) – klik patch



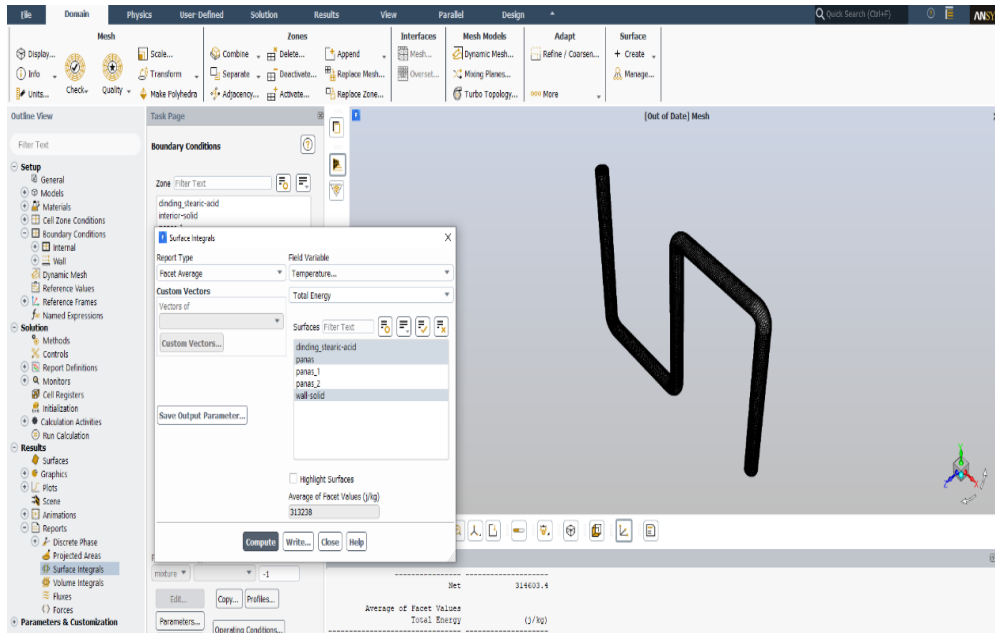
Klik Calculation Activities – pilih autosave (lihat gambar) - Ok



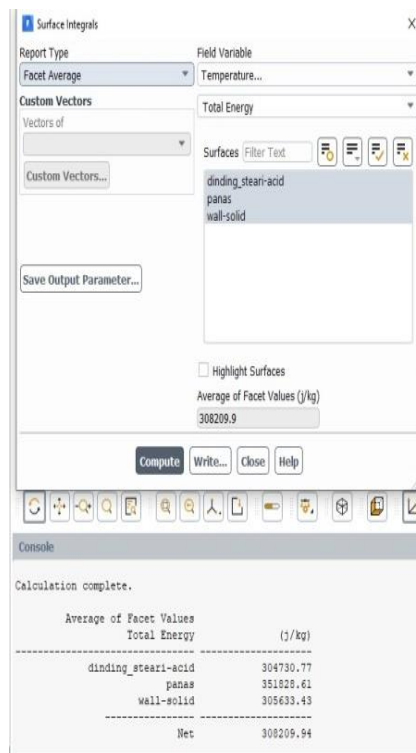
Klik Run Calculations (lihat gambar) - klik Calculate



Setelah Run calculate complete maka klik OK. Kemudian klik Grafik and Animation (lihat gambar) – compute - display



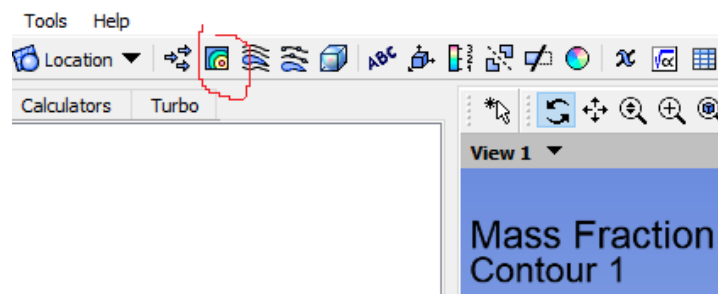
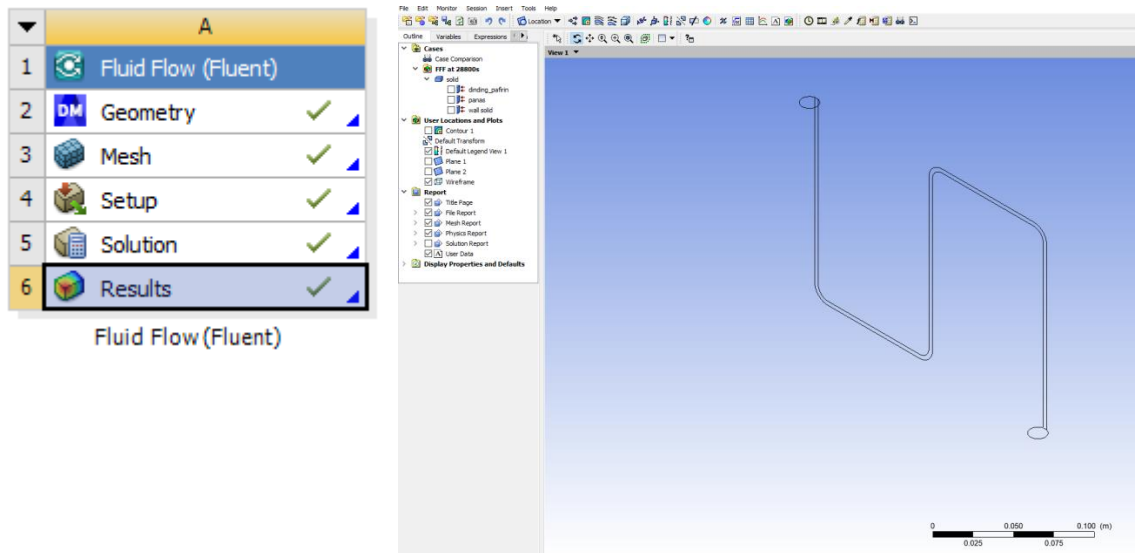
Untuk melihat total energy yang terjadi, dapat dilakukan dengan mengikuti gambar dibawah ini.



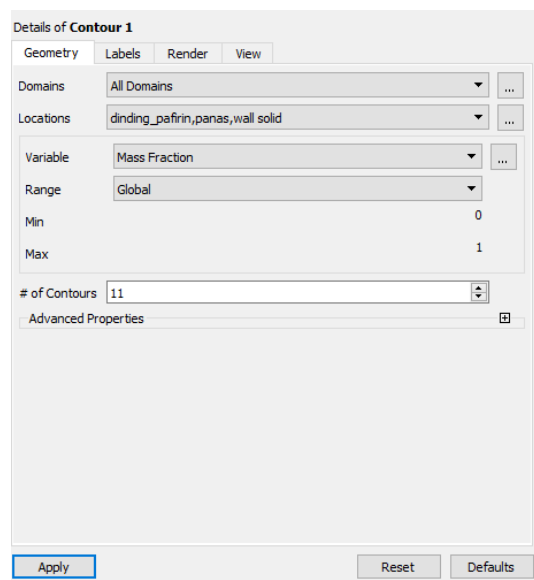
4. Proses Result

Untuk melihat hasil simulasi volume fraksi stearic acid yang melebur perjam dapat dilihat di proses result. Hal ini dilakukan dengan cara mengklik dua kali result, maka jendela baru akan terbuka

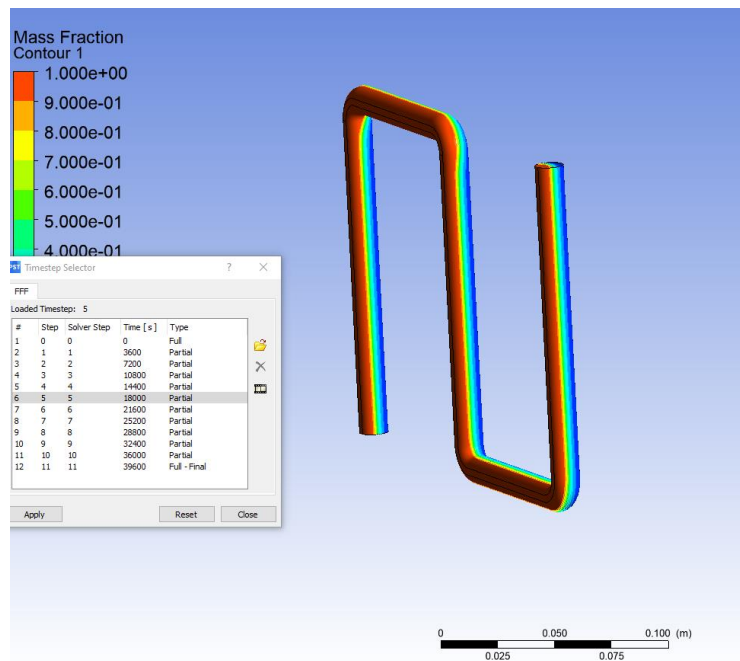
Klik icon contour – klik ok



Kemudian, ikuti isian dibawah ini.



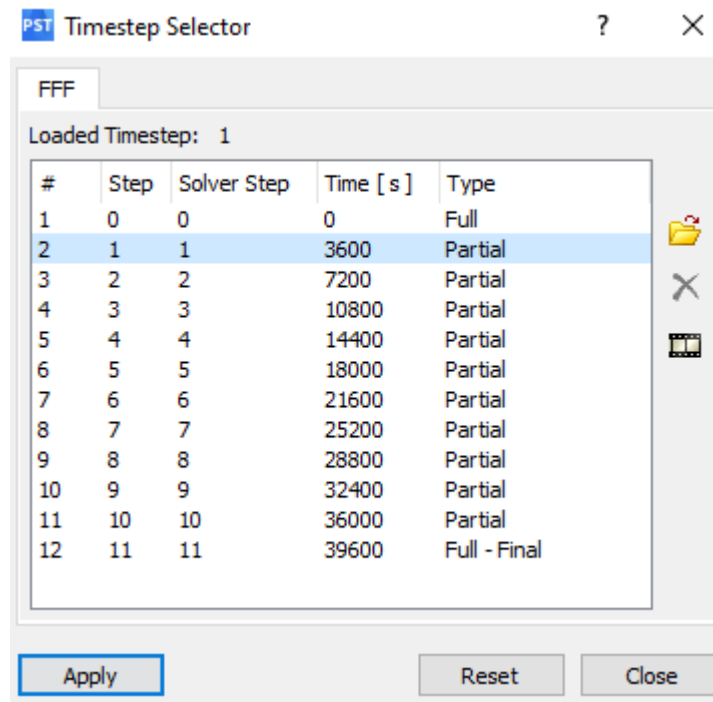
Klik Apply maka hasilnya menjadi



Secara rinci, bentuk – bentuk countur per jam dapat dilihat dengan cara mengklik icon time selector

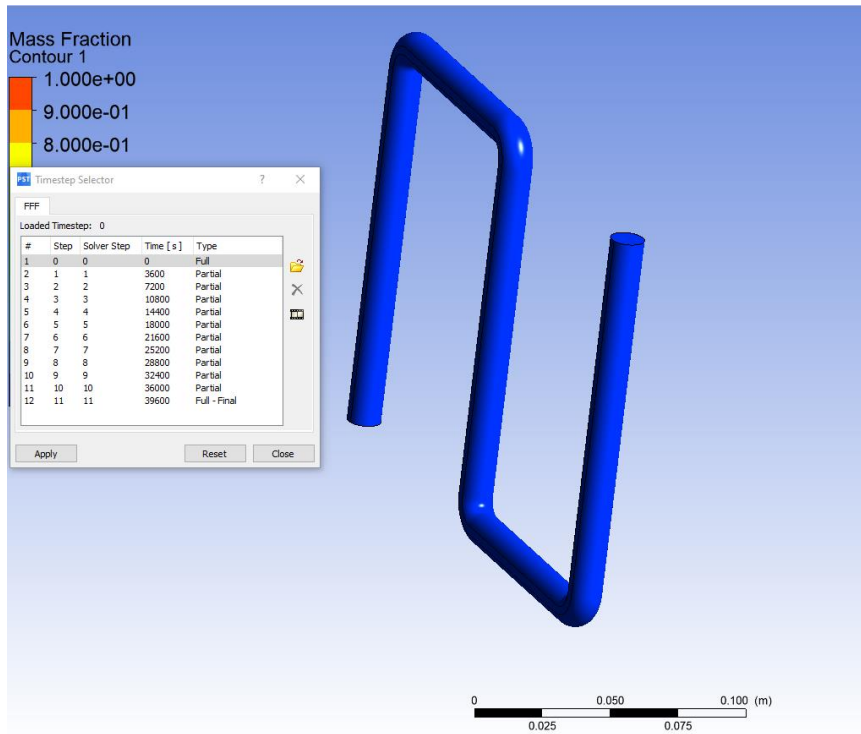


kemudian akan muncul tampilan

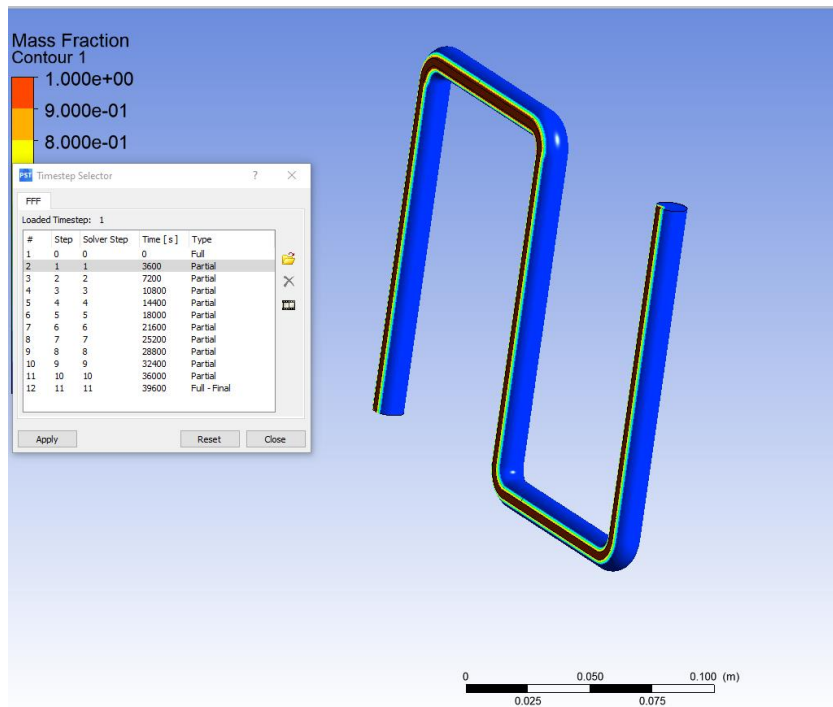


Selanjutnya untuk melihat hasil simulasi volume fraksi yang melebur perjam dapat dilakukan dengan meng-klik baris pada tabel kemudian klik apply.

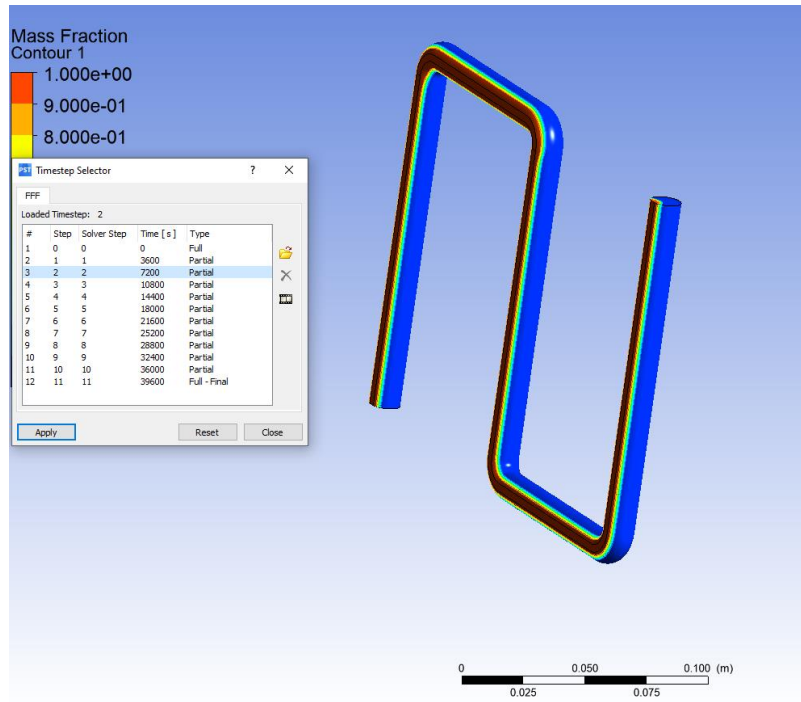
A. Evolusi peleburan *stearic acid* pada *temperature* 90 °C



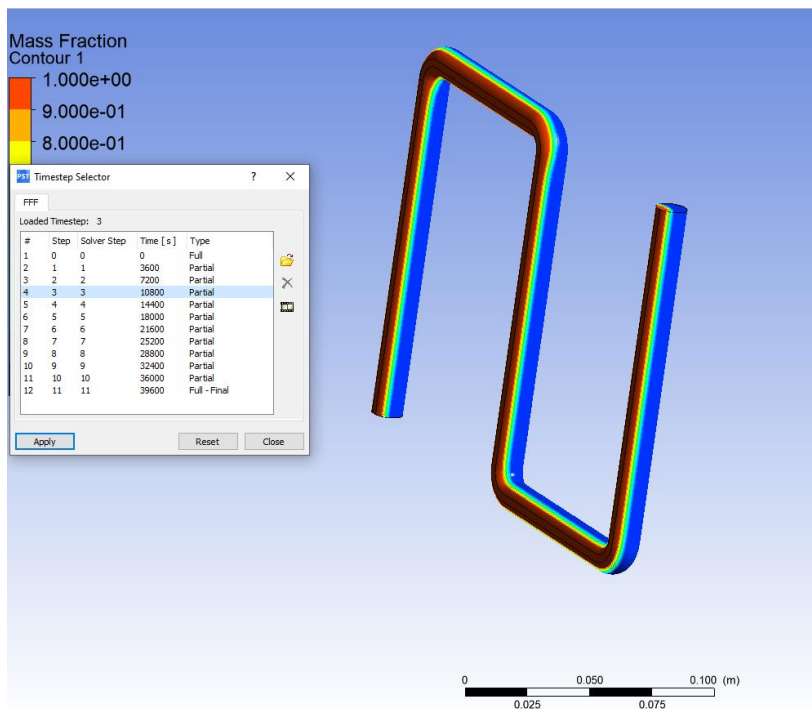
(a)



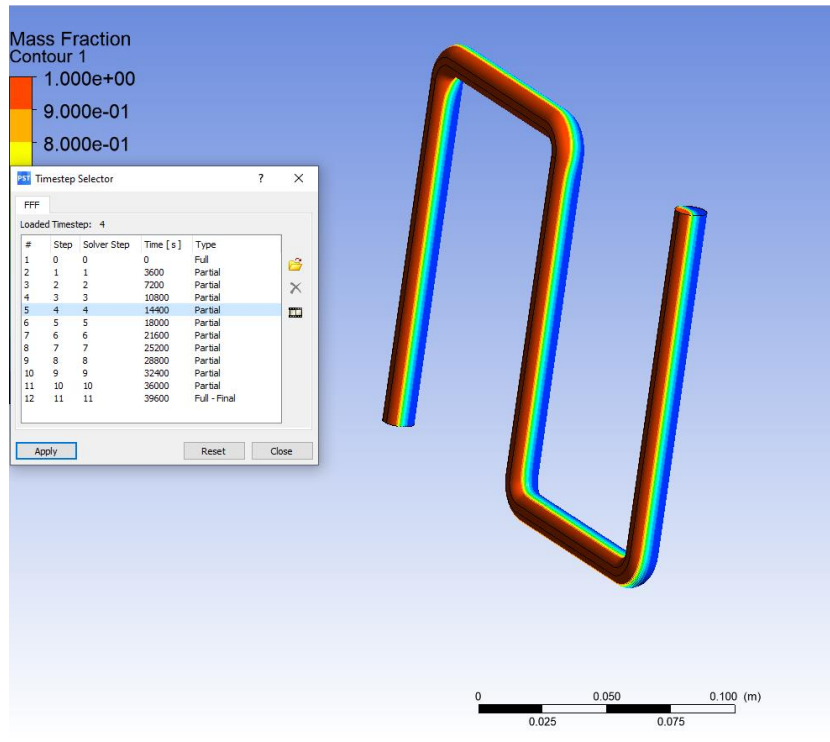
(b)



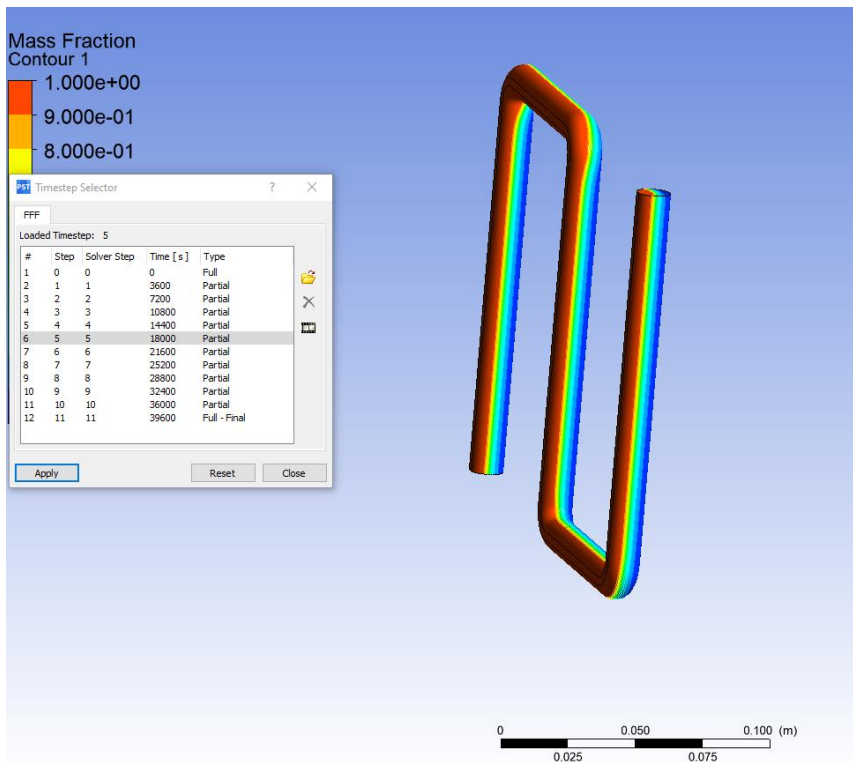
(c)



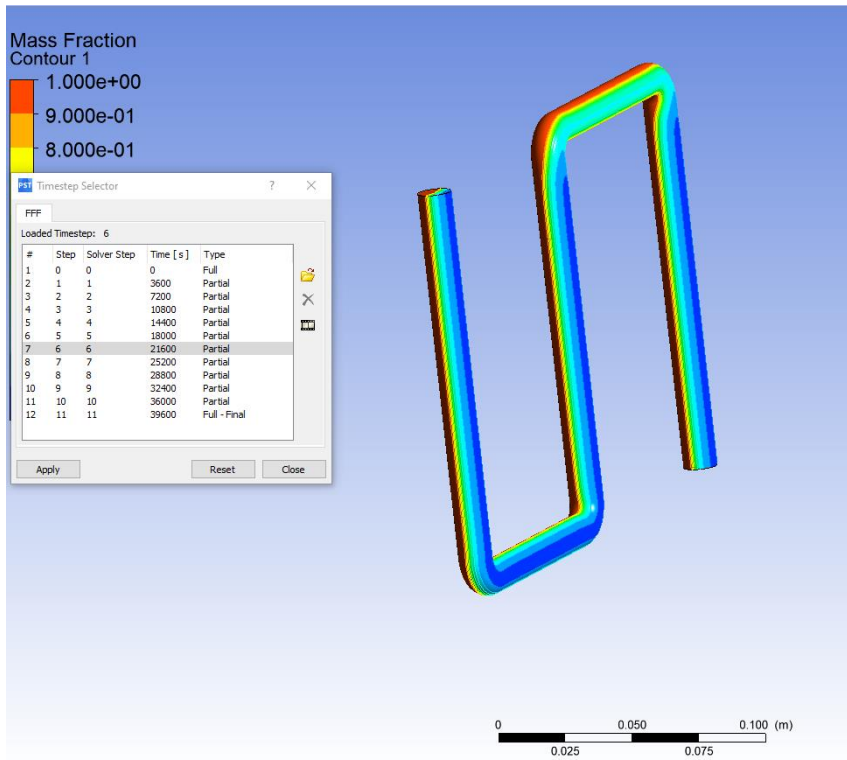
(d)



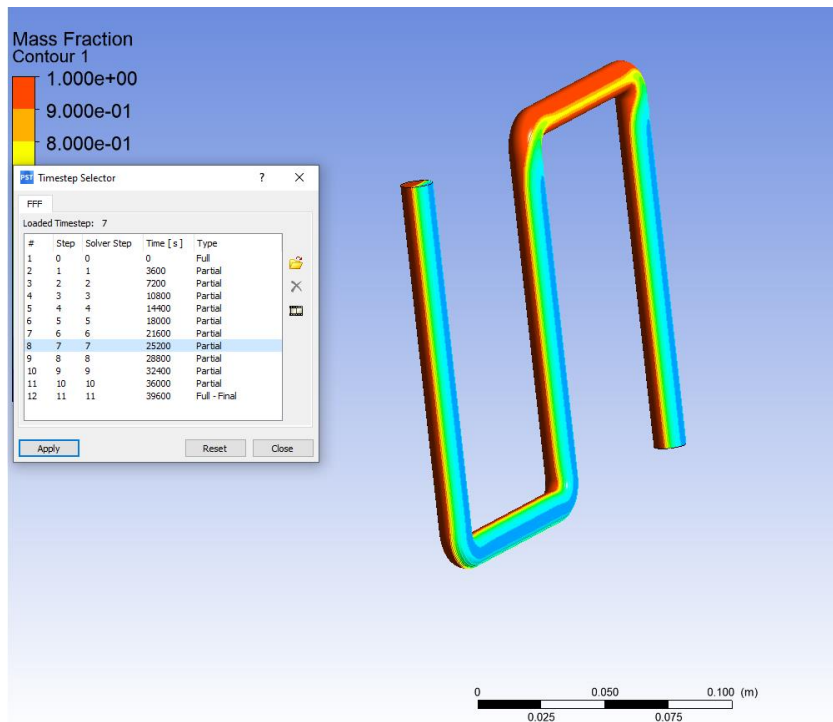
(e)



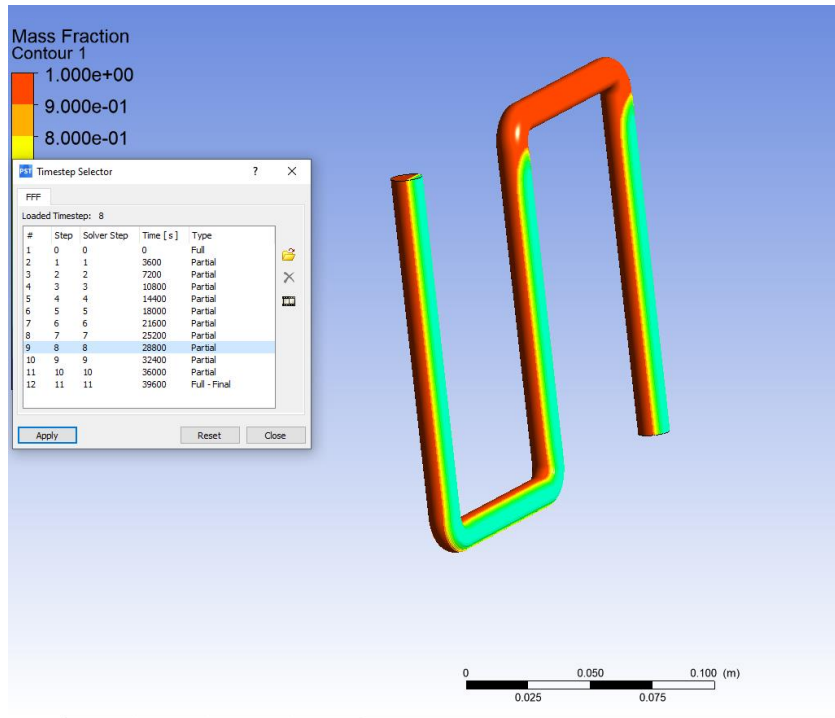
(f)



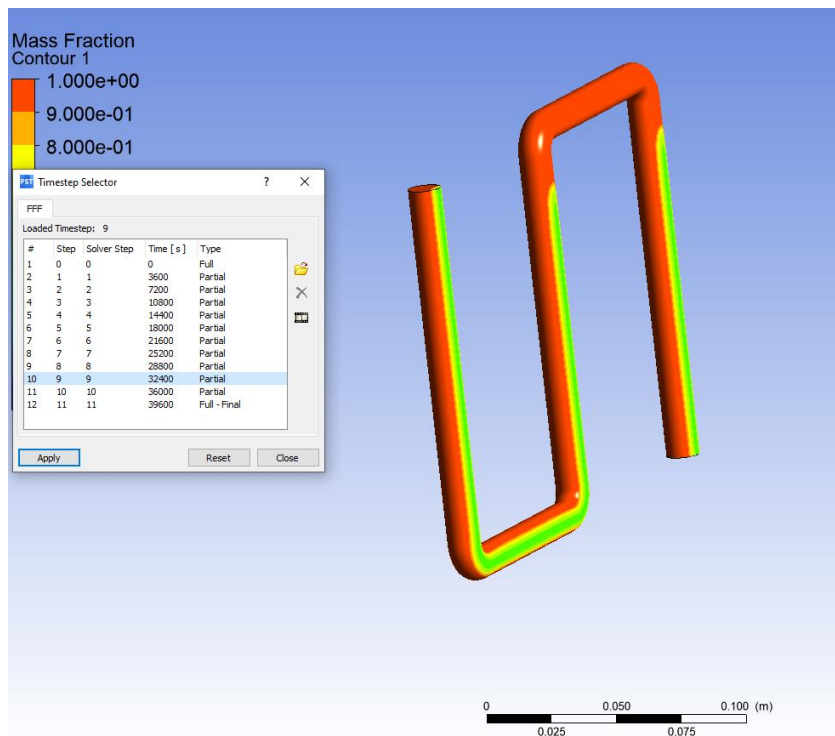
(g)



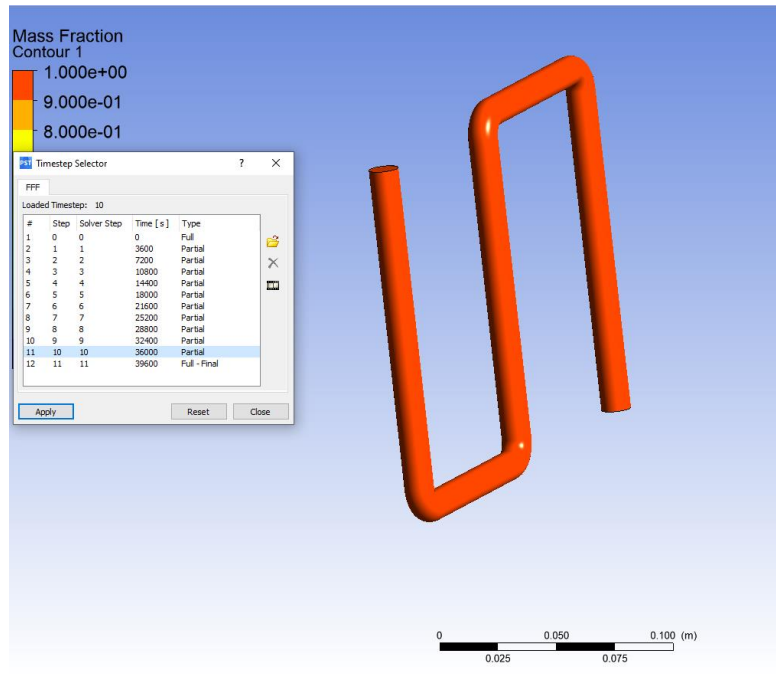
(h)



(i)



(j)

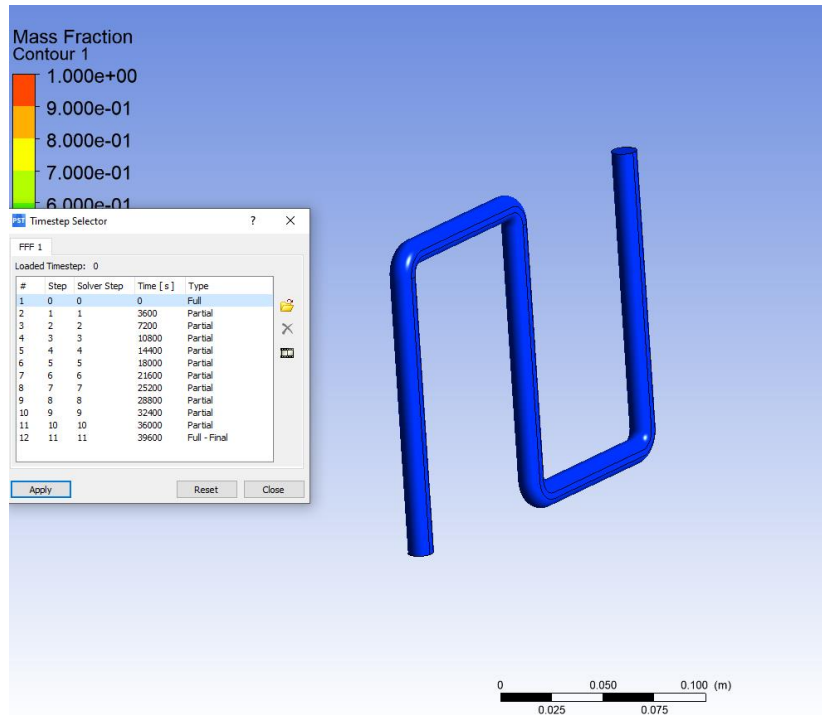


(k)

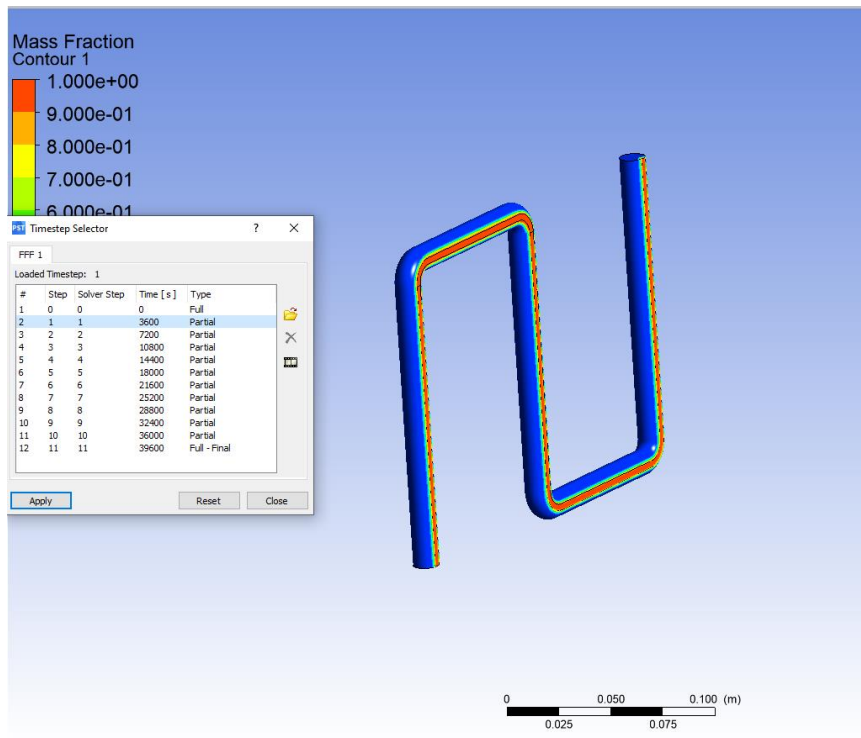
Keterangan : warna biru menyatakan keadaan solid, merah liquid dan warna kuning menyatakan material akan mulai melebur.

- a. Proses peleburan pada 0 detik
- b. Proses peleburan pada 3600 detik (1 jam)
- c. Proses peleburan pada 7200 detik (2 jam)
- d. Proses peleburan pada 10800 detik (3 jam)
- e. Proses peleburan pada 14400 detik (4 jam)
- f. Proses peleburan pada 18000 detik (5 jam)
- g. Proses peleburan pada 21600 detik (6 jam)
- h. Proses peleburan pada 25200 detik (7 jam)
- i. Proses peleburan pada 28800 detik (8 jam)
- j. Proses peleburan pada 32400 detik (9 jam)
- k. Proses peleburan pada 36000 detik (10 jam)

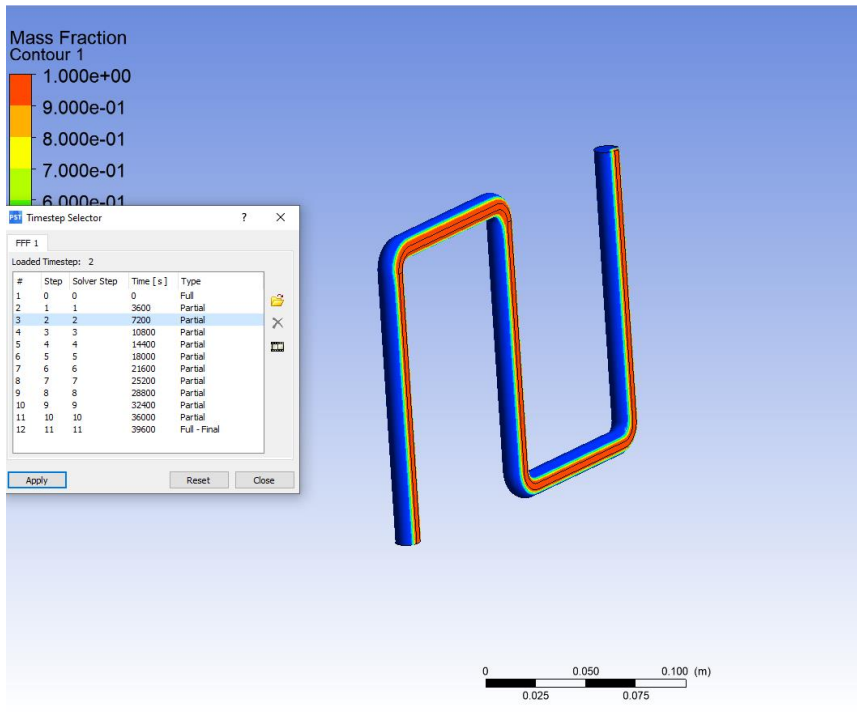
B. Evolusi peleburan *Stearic Acid* pada *temperature* 85 °C



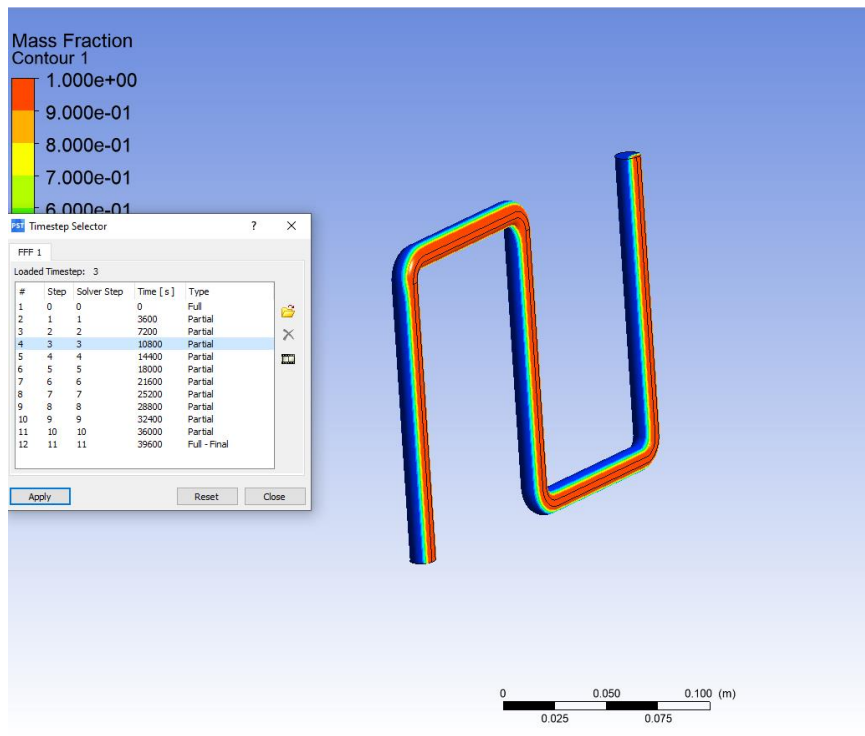
(a)



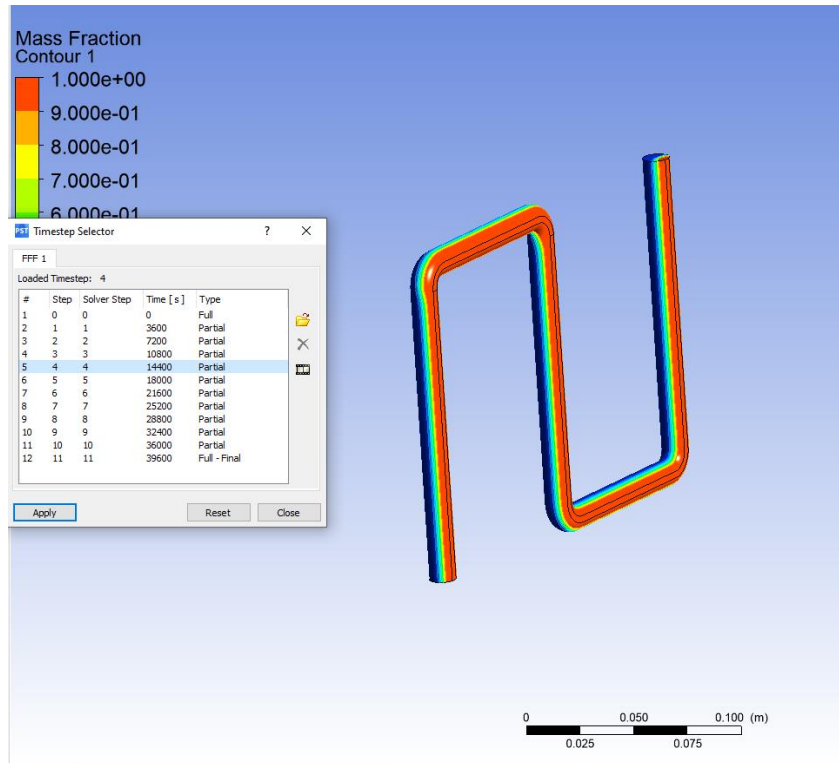
(b)



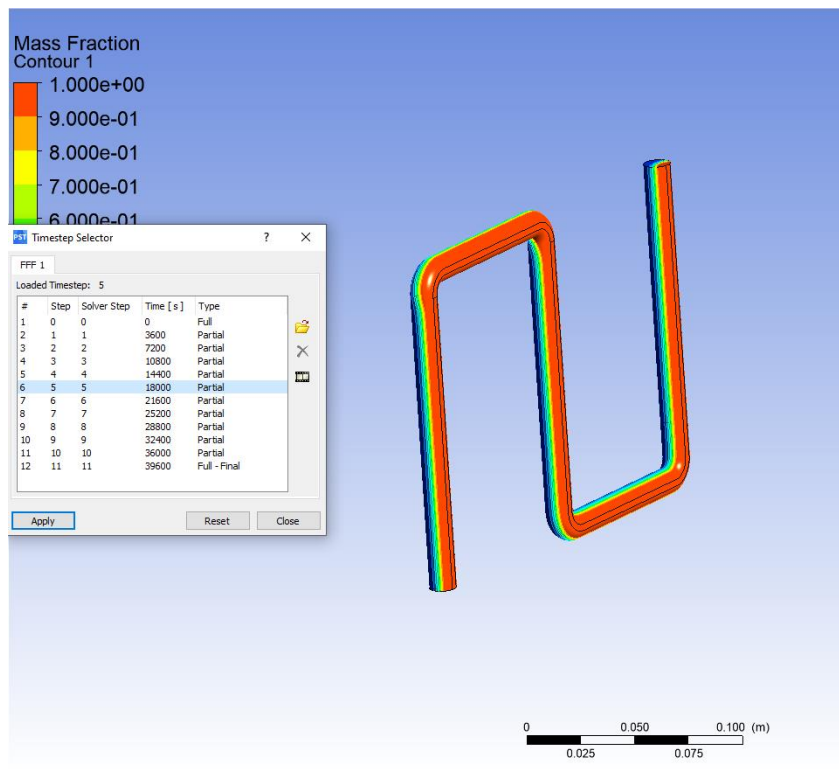
(c)



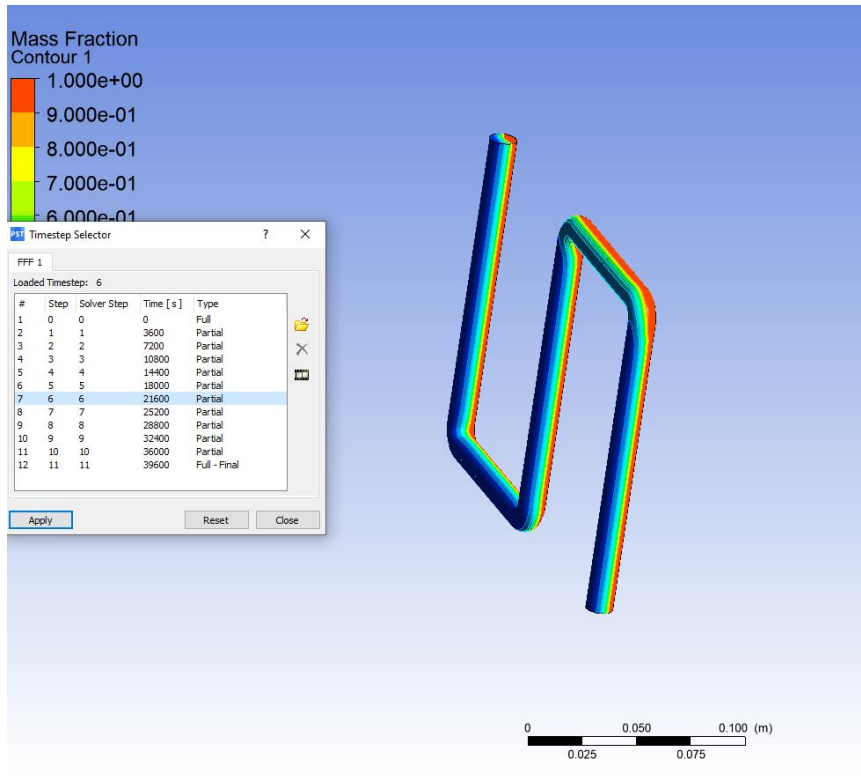
(d)



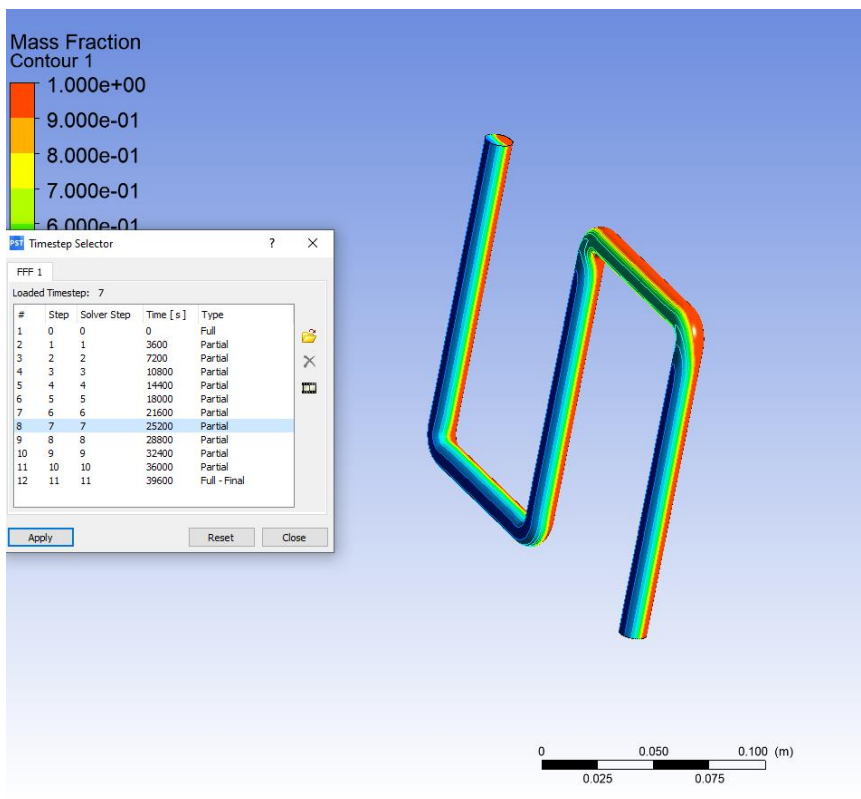
(e)



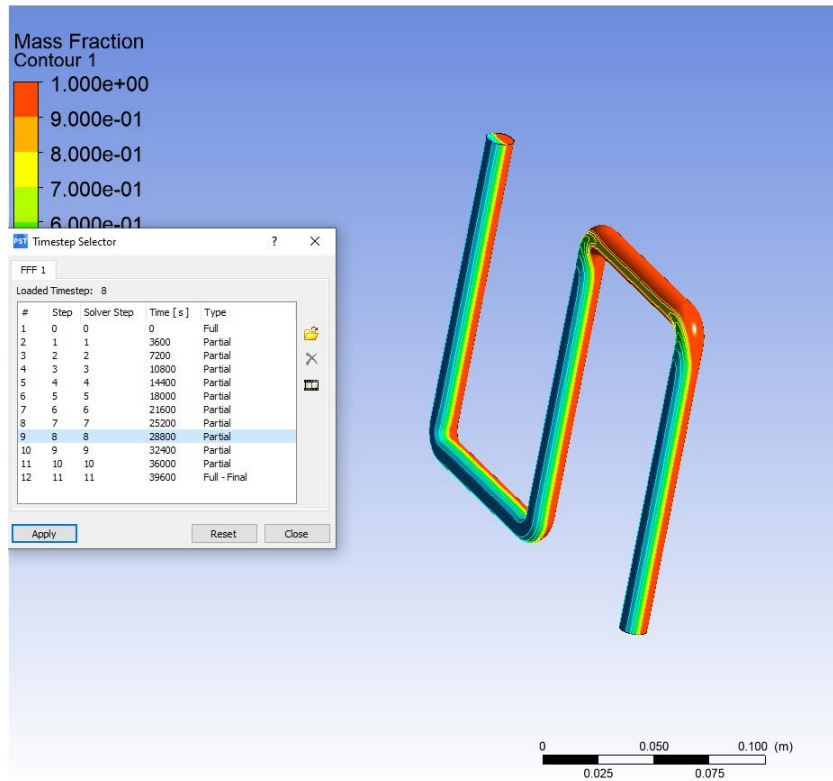
(f)



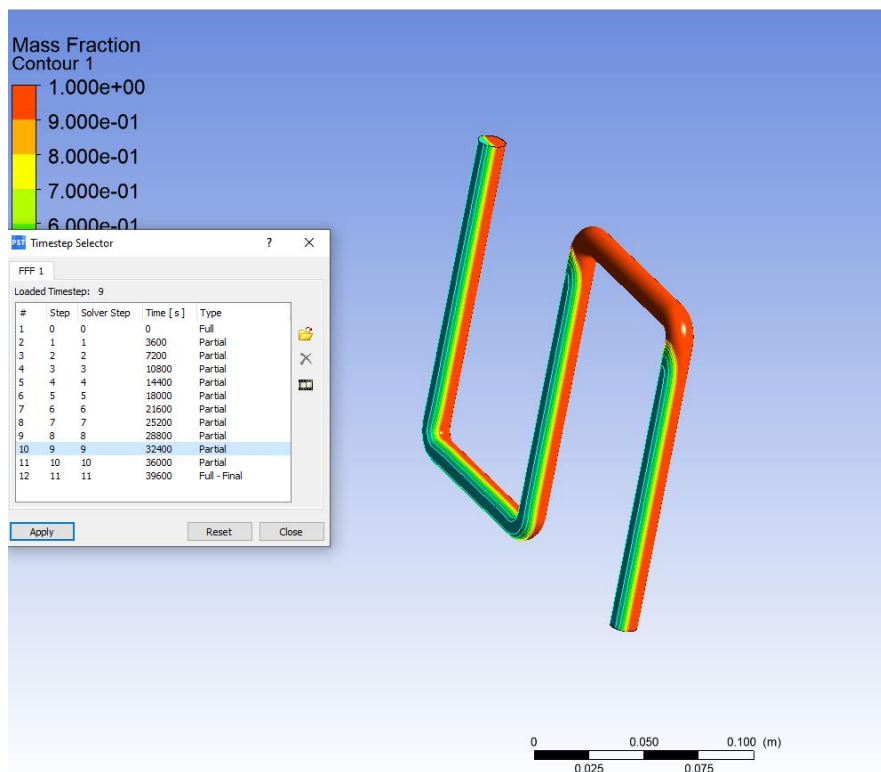
(g)



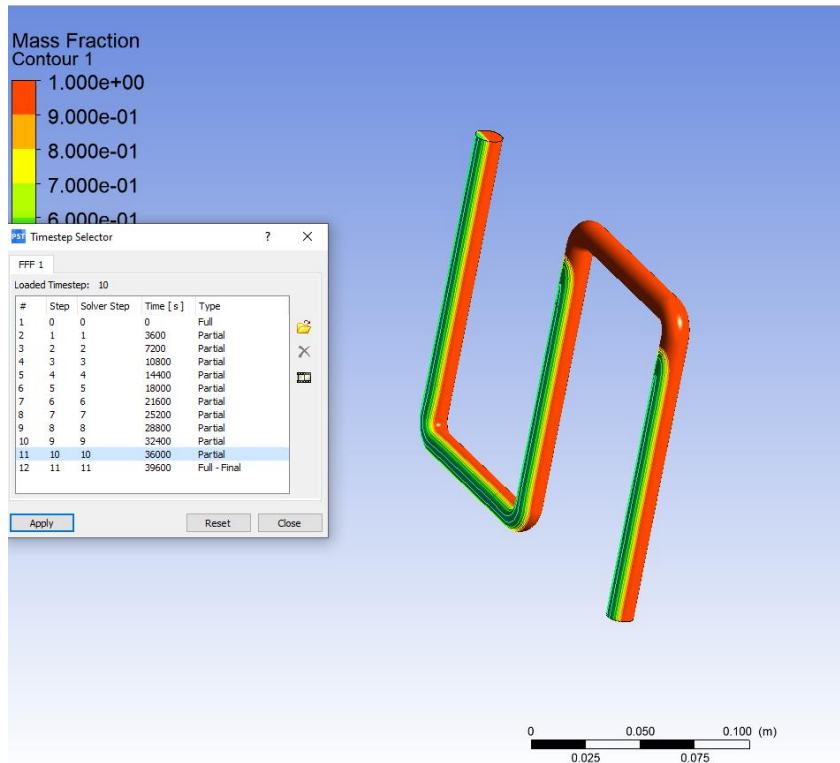
(h)



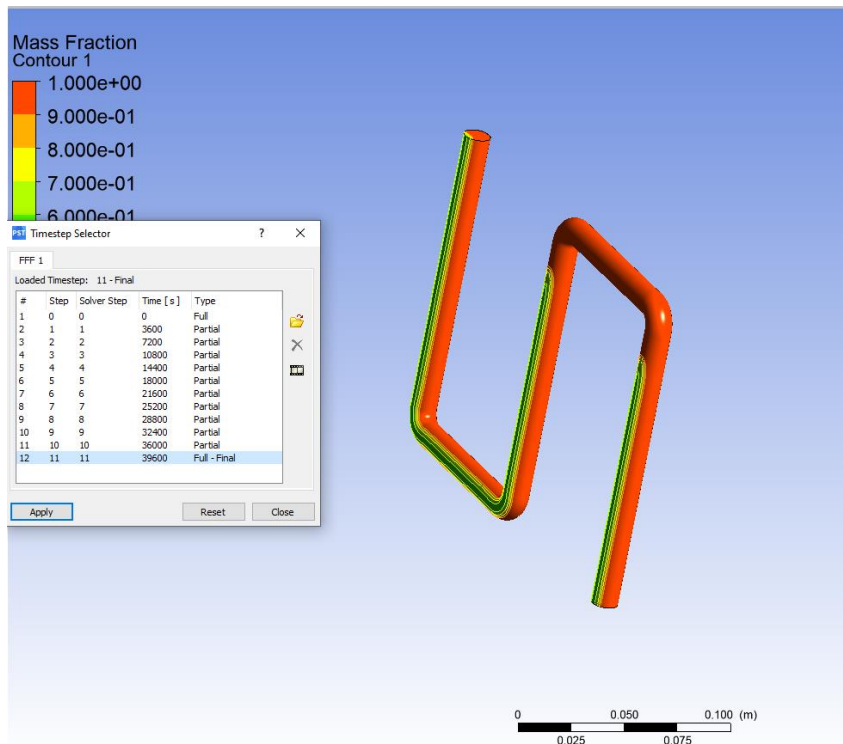
(i)



(j)



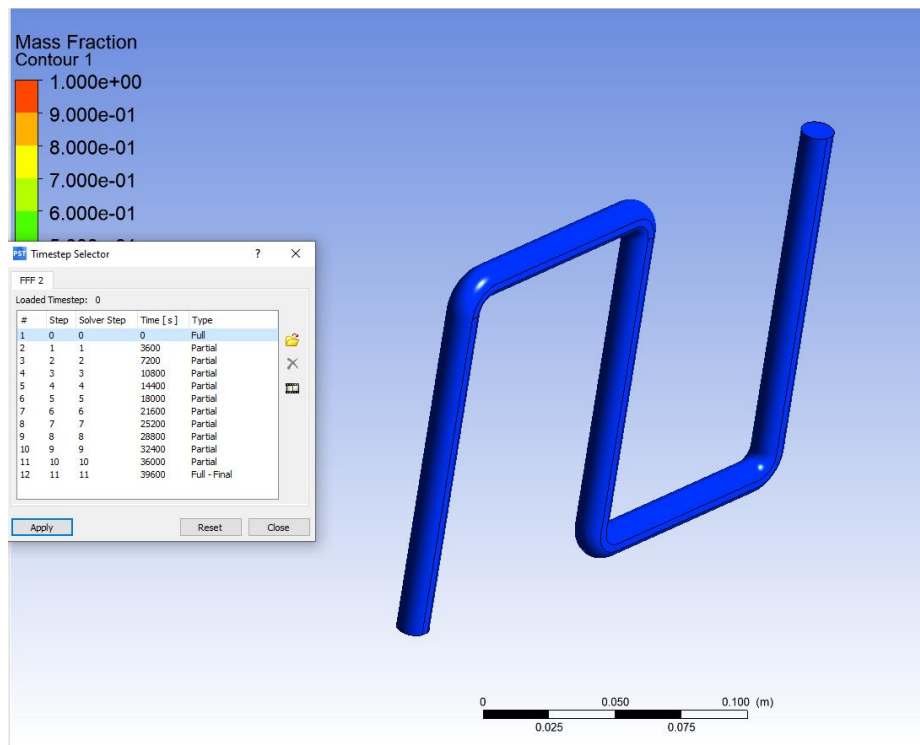
(k)



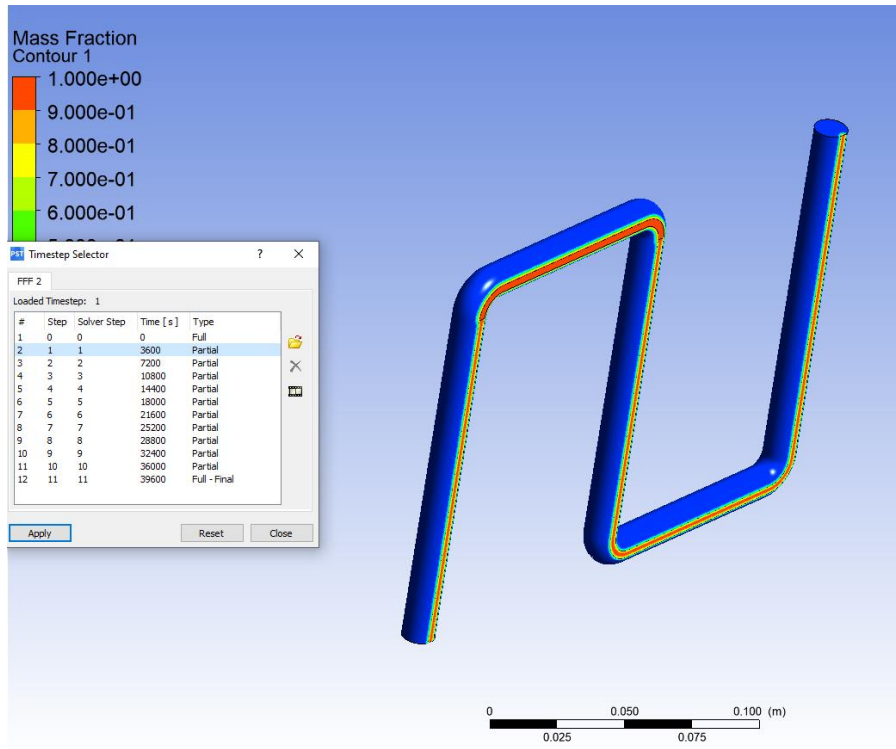
(l)

- a. Proses peleburan pada 0 detik
- b. Proses peleburan pada 3600 detik (1 jam)
- c. Proses peleburan pada 7200 detik (2 jam)
- d. Proses peleburan pada 10800 detik (3 jam)
- e. Proses peleburan pada 14400 detik (4 jam)
- f. Proses peleburan pada 18000 detik (5 jam)
- g. Proses peleburan pada 21600 detik (6 jam)
- h. Proses peleburan pada 25200 detik (7 jam)
- i. Proses peleburan pada 28800 detik (8 jam)
- j. Proses peleburan pada 32400 detik (9 jam)
- k. Proses peleburan pada 36000 detik (10 jam)
- l. Proses peleburan pada 39600 detik (11 jam)

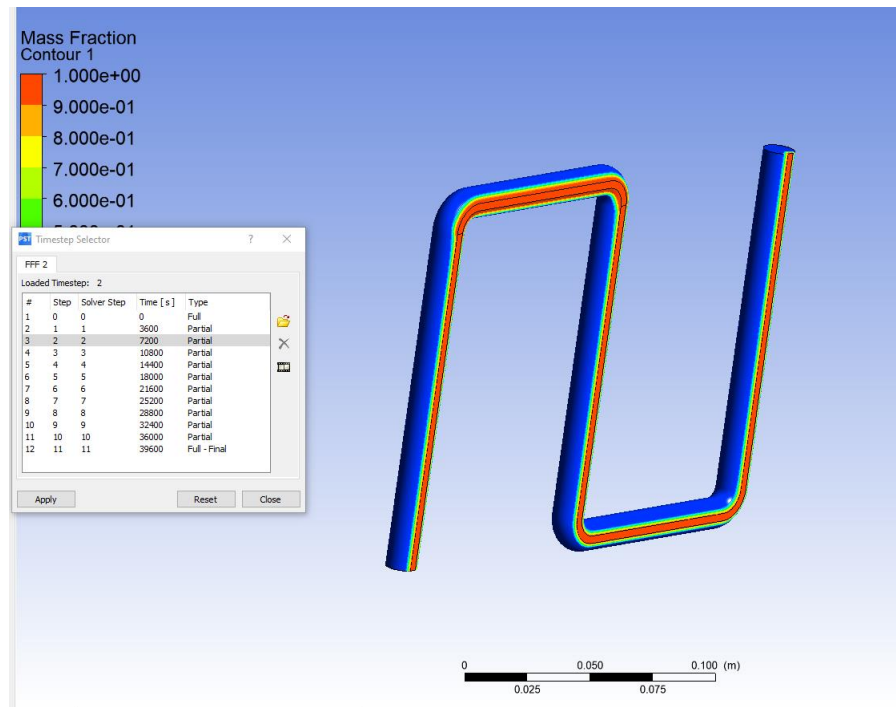
C. Evolusi peleburan *Stearic Acid* pada *temperature* 80 °C



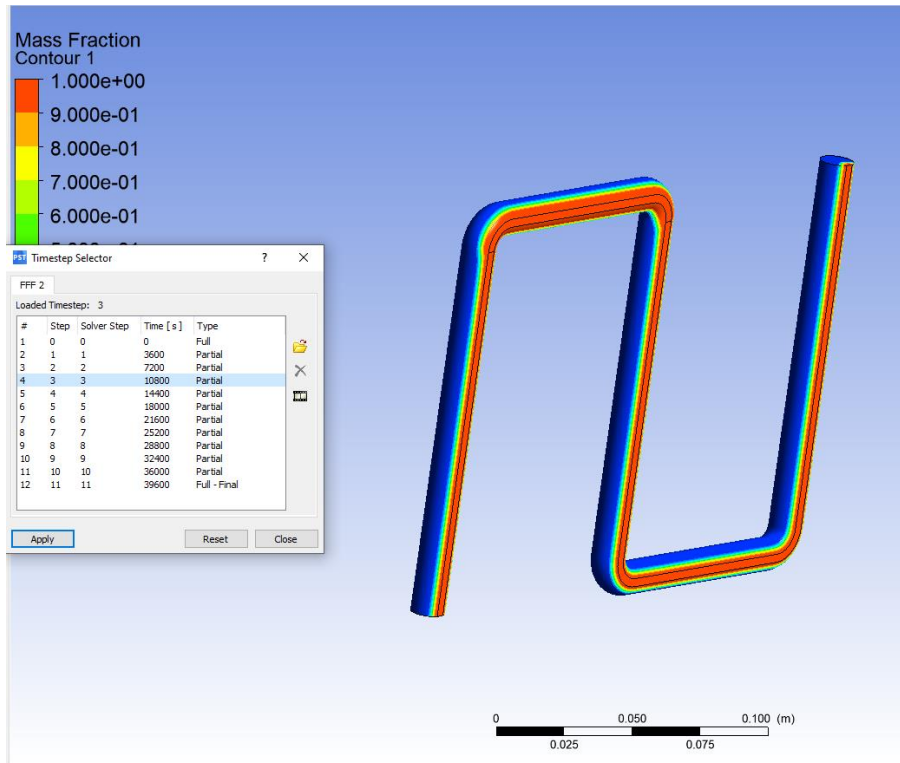
(a)



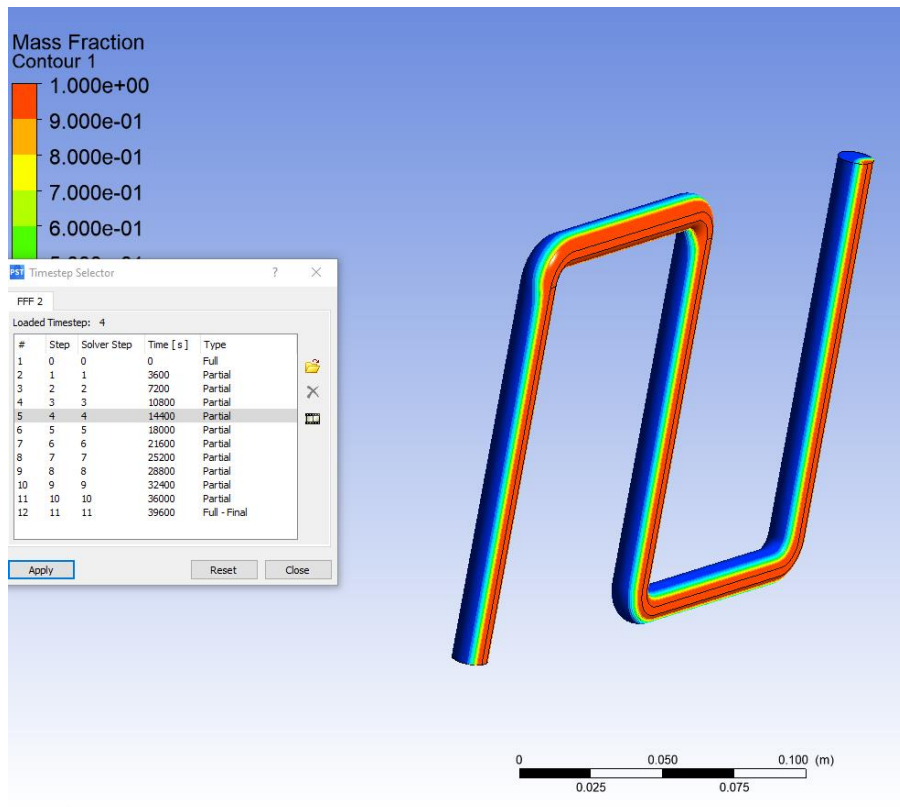
(b)



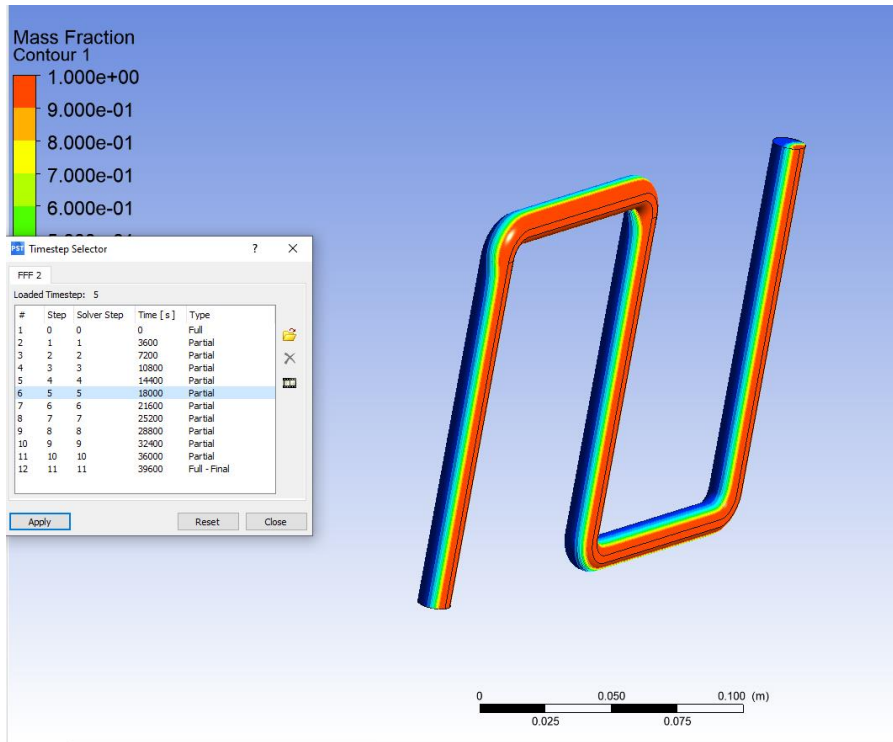
(c)



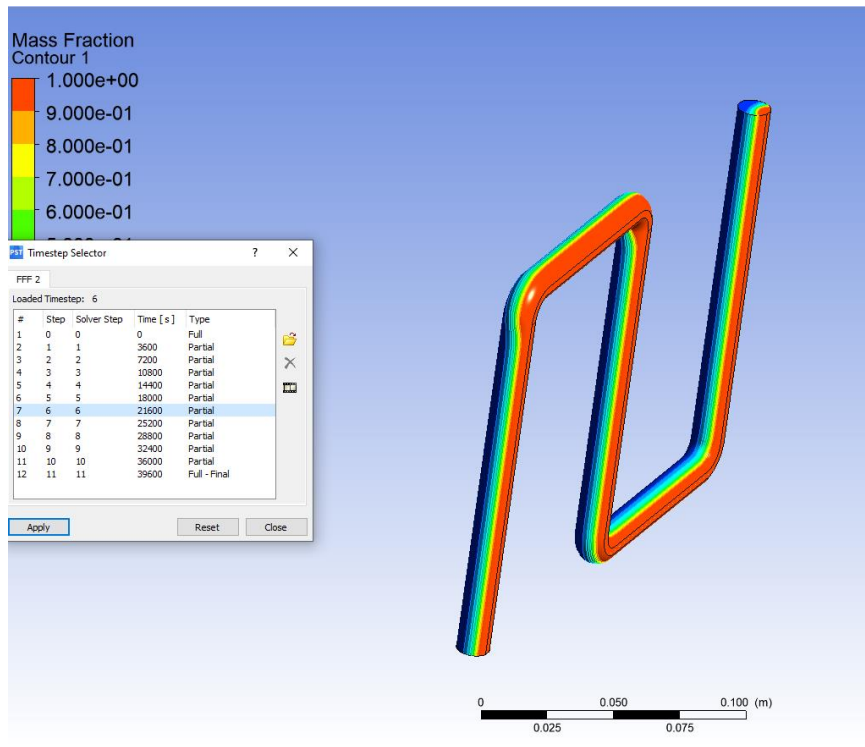
(d)



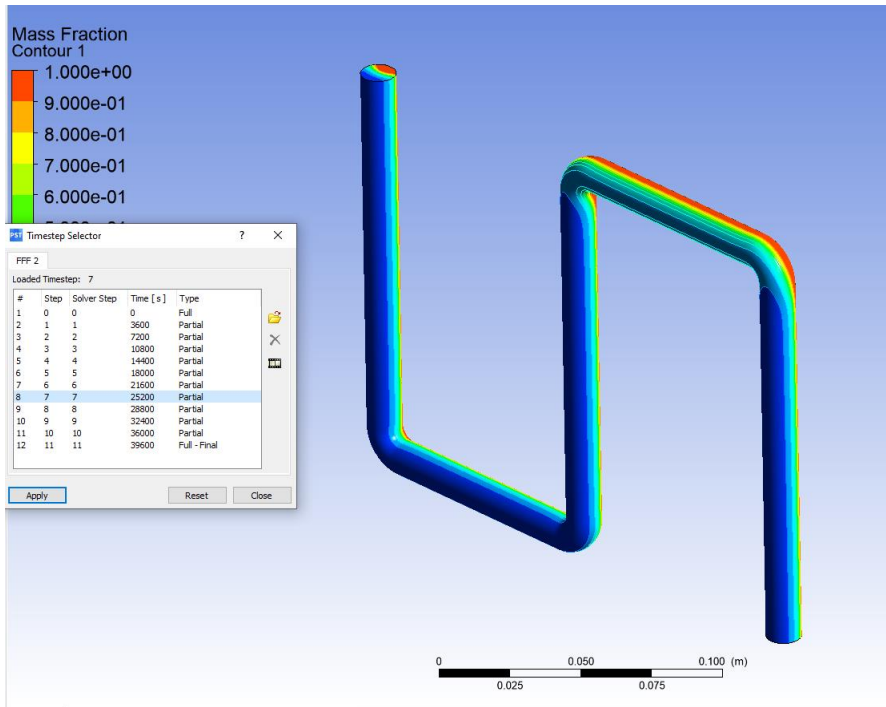
(e)



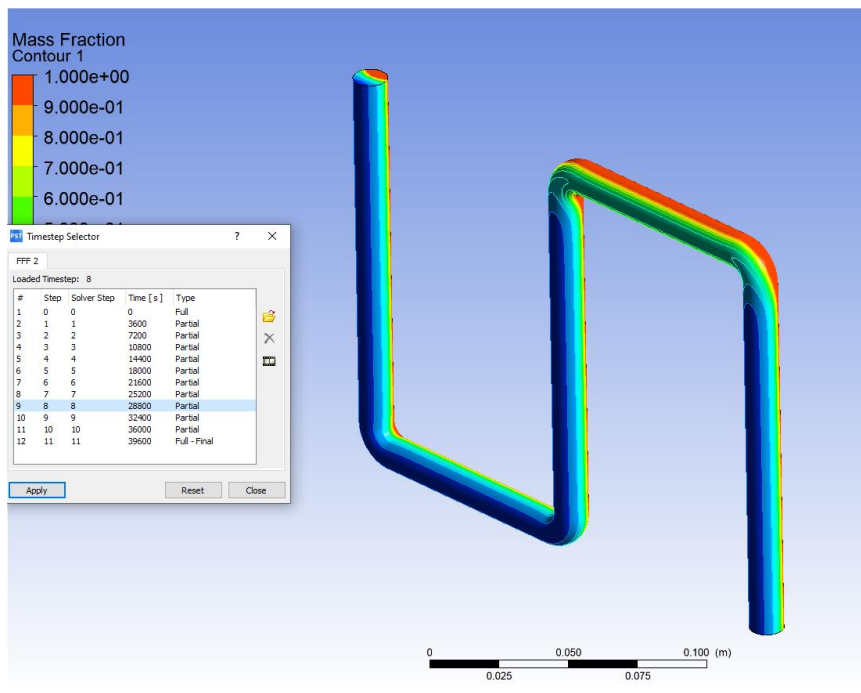
(f)



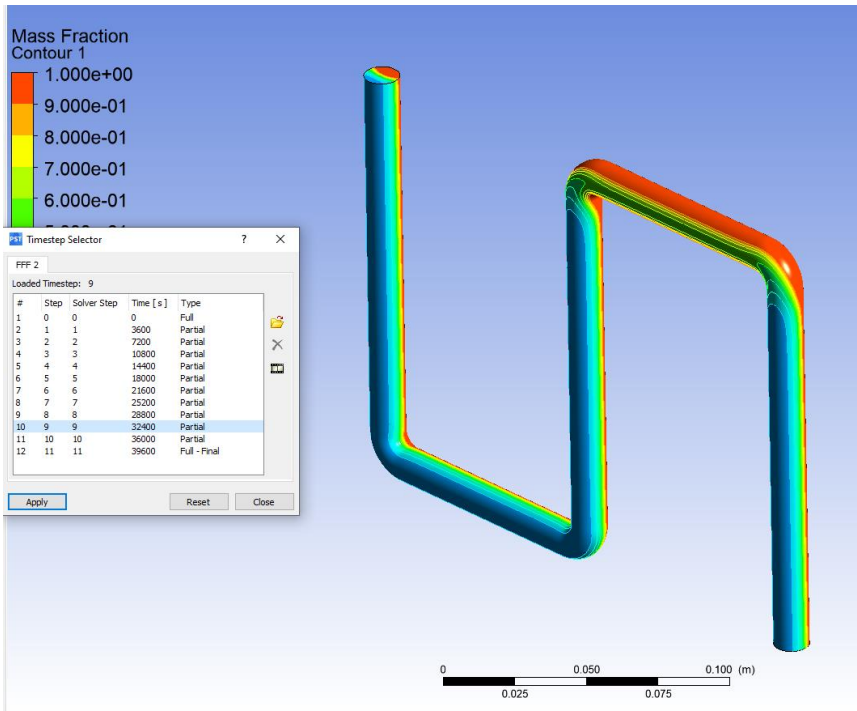
(g)



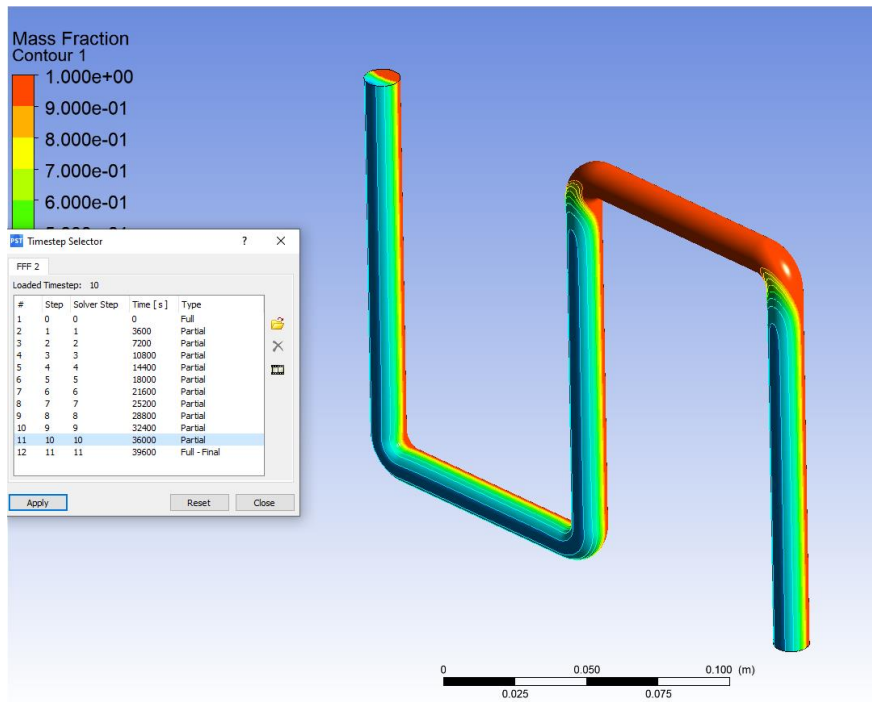
(h)



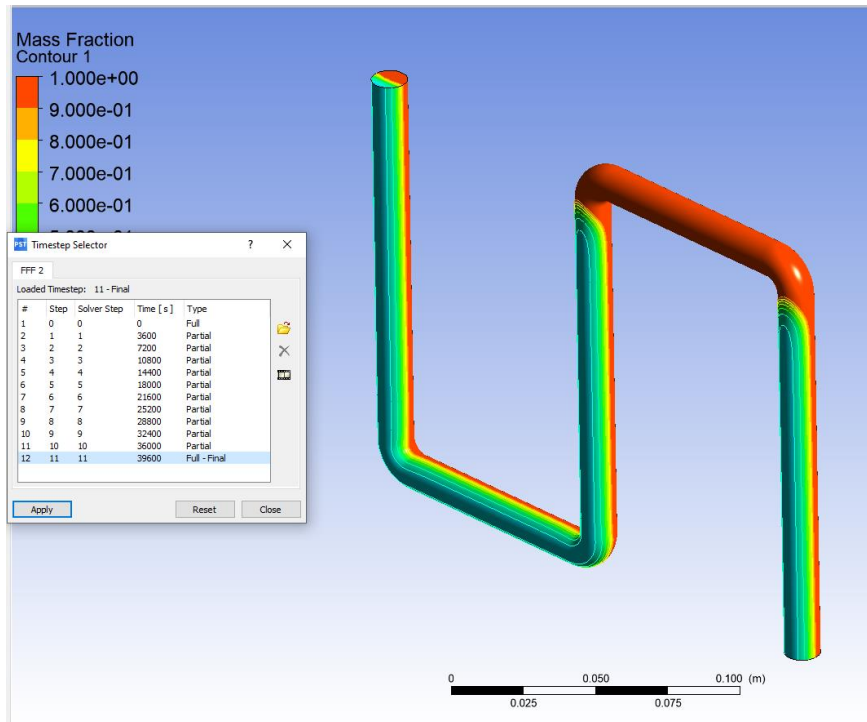
(i)



(j)



(k)



(1)

- a. Proses peleburan pada 0 detik
- b. Proses peleburan pada 3600 detik (1 jam)
- c. Proses peleburan pada 7200 detik (2 jam)
- d. Proses peleburan pada 10800 detik (3 jam)
- e. Proses peleburan pada 14400 detik (4 jam)
- f. Proses peleburan pada 18000 detik (5 jam)
- g. Proses peleburan pada 21600 detik (6 jam)
- h. Proses peleburan pada 25200 detik (7 jam)
- i. Proses peleburan pada 28800 detik (8 jam)
- j. Proses peleburan pada 32400 detik (9 jam)
- k. Proses peleburan pada 36000 detik (10 jam)
- l. Proses peleburan pada 39600 detik (11 jam)

LEMBAR ASISTENSI TUGAS AKHIR

Analisa Numerik Peleburan dan Pembekuan Material Berubah Fasa Pada Pipa Sebagai Thermal Storage

Nama : Ahmad Suwandi
NPM : 1607230061

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

No	Hari/Tanggal	Kegiatan	Paraf
1.	25/11 - 2019	perbaiki format	↑
2.	10/12 - 2019	perbaiki bab I	↑
3.	15/12 - 2019	Tambahkan literatur	↑
4.	20/12 - 2019	Lanjutkan bab II	↑
5.	4/1 - 2020	perbaiki desain alat uji	↑
6.	15/1 - 2020	Ace seminar proposal	↑
7.	10/6 - 2020 .	Perbaiki alat uji mengganti bahan kaca menjadi akrilik.	↑
8.	9/8 - 2020	Perbaiki alat uji wadah pada pecah .	↑
9.	20/8 - 2020 .	Ubah diameter pipa .	↑
10.	5/9 - 2020 .	lanjutkan pengujian	↑
11.	2/11 - 2020	Ace seminar hasil	↑



UMSU
Unggul | Cerdas | Terpercaya

Bila menjawab surat ini agar disebutkan nomor dan tanggalnya

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

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

**PENENTUAN TUGAS AKHIR DAN PENGHUJUKAN
DOSEN PEMBIMBING**

Nomor : 184/III.3AU/UMSU-07/F/2021

Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara, berdasarkan rekomendasi Atas Nama Ketua Program Studi Teknik Mesin Pada Tanggal 8 Februari 2021 dengan ini Menetapkan :

Nama : AHMAD SUWANDI
Npm : 1607230061
Program Studi : TEKNIK MESIN
Semester : IX (SEMBILAN)
Judul Tugas Akhir : ANALISIS NUMERIK PELEBURAN MATERIAL BERUBAH PADA PIPA SEBAGAI THERMAL STORAGE
Pembimbing : CHANDRA A. SIREGAR, ST, MT

Dengan demikian diizinkan untuk menulis tugas akhir dengan ketentuan :

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

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

Ditetapkan di Medan pada Tanggal.
Medan, 26 Jumadil Akhir 1442 H
8 Februari 2021 M

Dekan




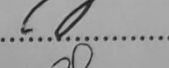
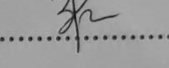
Munawar Alfansury Siregar, ST., MT
NIDN: 0101017202





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

Peserta seminar

Nama : Ahmad Suwandi
 NPM : 1607230061
 Judul Tugas Akhir : Analisa Numerik Peleburan Dan Pembekuan Material Berubah
 Fasa Pada Pipa Sebagai Thermal Storage.

DAFTAR HADIR	TANDA TANGAN
Pembimbing – I : Chandra A Siregar.S.T.M.T	: 
Pemanding – I : Bekti Suroso.S.T.M.Eng	: 
Pemanding – II : Riandini Wanty Lubis.M.T	: 

No	NPM	Nama Mahasiswa	Tanda Tangan
1	1607230061	Ahmad Suwandi	
2	1307230037	Aldi Gunawan	
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			

Medan, 23 Rab. Awal 1442 H

11 Oktober 2020 M
 Ketua Prodi T.Mesin
 Ahmad Suwandi.S.T.M.T



DAFTAR EVALUASI SEMINAR FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA

NAMA : Ahmad Suwandi
NPM : 1607230061
Judul T.Akhir : Analisa Numerik Peleburan Dan Pembekuan Material Berubah
Phasa PadaPipa Sebagai Thermal Storage.

Dosen Pembimbing - I : Chandra A Siregar.S.T.M.T
Dosen Pembanding - I : Bekti Suroso.S.T.M.Eng
Dosen Pembanding - II : Riandani Wanty Lubis.M.T

KEPUTUSAN

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

.....
.....
.....
Lihat Catatan.
.....

3. Harus mengikuti seminar kembali
Perbaikan :

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

Medan 23 Rab.Awal1442H
14 Nopember 2020 M


Diketahui :
Ketua Prodi : Mesin
Affandi.S.T.M.T

Dosen Pembanding- I



Bekti Suroso.S.T.M.Eng

DAFTAR EVALUASI SEMINAR FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA

NAMA : Ahmad Suwandi
NPM : 1607230061
Judul T.Akhir : Analisa Numerik Peleburan Dan Pembekuan Material Berubah
Phasa PadaPipa Sebagai Thermal Storage.

Dosen Pembimbing - I : Chandra A Siregar.S.T.M.T
Dosen Pembanding - I : Bekti Suroso.S.T.M.Eng
Dosen Pembanding - II : Riandani Wanty Lubis.M.T

KEPUTUSAN

1. Baik dapat diterima ke sidang sarjana (collogium)
2. Dapat mengikuti sidang sarjana (collogium) setelah selesai melaksanakan perbaikan antara lain :
 - Perbaikan Judul dan sesuaikan dengan tujuan & analisis:.....
 - Perbaikan Abstrak.....
3. Harus mengikuti seminar kembali
Perbaikan :
.....
.....
.....
.....

Medan 23 Rab.Awal1442H
14 Nopember 2020 M



Affandi.S.T.M.T

Dosen Pembanding- II

Riandini wanty Lubis.M.T

DAFTAR RIWAYAT HIDUP



I. Data Pribadi

- | | |
|-----------------------------|--|
| 1. Nama | : Ahmad Suwandi |
| 2. Tempat dan Tanggal Lahir | : Medan / 17-Januari-1996 |
| 3. Jenis Kelamin | : Laki-Laki |
| 4. Agama | : Islam |
| 5. Status Pernikahan | : Belum Menikah |
| 6. Warga Negara | : Indonesia |
| 7. Alamat KTP | : Jl. Harapan Pasti No. 36, Kec. Medan
Denai. Kota Medan |
| 8. Alamat Sekarang | : Jl. M. Nawi Harahap Gg. Restu, Sitirejo
III, Kec.Medan Amplas, Kota Medan |
| 9. Nomor Telepon / HP | : 0822-7755-9669 |
| 10. e-mail | : ahmadsuwandi443@gmail.com |
| 11. Kode Pos | : 20228 |

II. RIWAYAT PENDIDIKAN

- | | |
|---|-------------------------|
| 1. SD NEGERI 060818 | : Tahun 2002 - 2008 |
| 2. SMP NEGERI 15 MEDAN | : Tahun 2008 - 2011 |
| 3. SMK NEGERI 2 MEDAN | : Tahun 2011 - 2014 |
| 4. UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH
SUMATERA UTARA | : Tahun 2016 - Sekarang |

III. PENGALAMAN KERJA

1. Bekerja di PT.FASTFOOD INDONESIA Tbk : Oktober 2014 – Sekarang.

Demikian daftar riwayat hidup ini saya buat sebenar-benarnya. Atas perhatian dan kerja samanya saya ucapkan terima kasih.

