



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

TUGAS AKHIR - TL141584

STUDI PENGARUH TEMPERATUR TUBING PADA PERFORMA IN-SITU WELL REPAIR MENGUNAKAN MATERIAL POLYACRYLAMIDE DENGAN COUPLED CFD-FEM

ARIFA NURIYANI
NRP. 0251144000080

Dosen Pembimbing
Mas Irfan P. Hidayat, Ph.D.
Sungging Pintowantoro, Ph.D.

Dosen Pembimbing Eksternal
Dr. Sonny Irawan (Universiti Teknologi PETRONAS)

DEPARTEMEN TEKNIK MATERIAL
Fakultas Teknologi industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2018



TUGAS AKHIR - TL141584

**STUDI PENGARUH TEMPERATUR TUBING
PADA PERFORMA IN-SITU WELL REPAIR
MENGUNAKAN MATERIAL POLYACRYLAMIDE
DENGAN COUPLED CFD-FEM**

ARIFA NURIYANI
NRP. 0251144000080

Dosen Pembimbing
Mas Irfan P. Hidayat, Ph.D.
Sungging Pintowantoro, Ph.D.

Dosen Pembimbing Eksternal
Dr. Sonny Irawan (Universiti Teknologi PETRONAS)

DEPARTEMEN TEKNIK MATERIAL
Fakultas Teknologi industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2018

(Halaman ini sengaja dikosongkan)



FINAL PROJECT - TL141584

**STUDY OF TUBING TEMPERATURE IN IN-SITU
WELL REPAIR PERFORMANCE USING
POLYACRYLAMIDE AS MATERIAL WITH
COUPLED CFD-FEM**

ARIFA NURIYANI
NRP. 0251144000080

Advisors

Mas Irfan P. Hidayat, Ph.D.
Sungging Pintowantoro, Ph.D.

External Advisor

Dr. Sonny Irawan (Universiti Teknologi PETRONAS)

DEPARTMENT OF MATERIALS ENGINEERING
Faculty of Industry Technology
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2018

(This page is intentionally left blank)

**STUDI PENGARUH TEMPERATUR *TUBING* PADA
PERFORMA *IN-SITU WELL REPAIR*
MENGUNAKAN MATERIAL *POLYACRYLAMIDE*
DENGAN *COUPLED CFD-FEM***

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada
Program Studi S-1 Departemen Teknik Material
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

ARIFA NURIYANI
NRP. 0251144000080

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

1. Mas Irfan P. Hidayat, Ph.D. (Pembimbing I)
2. Sungging Pintowantoro, Ph.D. (Pembimbing II)



(Halaman ini sengaja dikosongkan)

**STUDI PENGARUH TEMPERATUR *TUBING* PADA
PERFORMA *IN-SITU WELL REPAIR* MENGGUNAKAN
MATERIAL *POLYACRYLAMIDE* DENGAN *COUPLED
CFD-FEM***

Nama : Arifa Nuriyani
NRP : 02511440000080
Departemen : Departemen Teknik Material
Pembimbing : Mas Irfan P. Hidayat, Ph.D.
Sungging Pintowantoro, Ph.D.
Pembimbing Eks. : Dr. Sonny Irawan (Universiti Teknologi
PETRONAS)

Abstrak

Tubing N80 sering digunakan sebagai production tubing, namun sering dilaporkan sering mengalami kebocoran akibat kontak langsung dengan fluida. Beberapa faktor penyebab kebocoran tubing ini yaitu perbedaan temperatur dan tekanan yang berlebih. Terdapat teknologi terbaru yaitu metode patch repair dengan menggunakan material non-logam, polimer superabsorbent. Polimer yang digunakan adalah Polyacrylamide, yang memiliki sifat unik dalam menyerap dan memelihara aliran fluida bertekanan. Akibat keterbatasan informasi tentang teknologi ini, maka mulai dikembangkan simulasi patch terhadap kebocoran tubing. Dalam penelitian ini akan menganalisis distribusi thermal dan deformasi pada tubing beserta patchnya, dengan temperatur operasi yang berbeda. Pembuatan geometri dan simulasi dilakukan dengan menggunakan software ANSYS Mechanical APDL Release 18.0 berdasarkan metode elemen hingga. Penelitian ini diharapkan dapat membantu industri minyak dan gas mensimulasikan kinerja patch terhadap kebocoran tubing, sebelum dilakukan secara praktik.

Kata kunci : *Leaking Repair, Patch, Polyacrylamide, Superabsorbent, Tubing*

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

Study of Tubing Temperature in In-Situ Well Repair Performance Using Polyacrylamide as Material with Coupled CFD-FEM

Name : Arifa Nuriyani
SRN : 0251144000080
Department : Materials Engineering
Advisor : Mas Irfan P. Hidayat, Ph.D.
Sungging Pintowantoro, Ph.D.
External Advisor : Dr. Sonny Irawan (Universiti Teknologi PETRONAS)

Abstract

Tubing N80 is often used as a production tubing, but it is often reported about leakage because of the directly contact with the fluid. Some of the factors causing this tubing leakage are the difference of temperature and excess pressure. The latest technology is patch repair method using non-metallic material, called superabsorbent polymer. The polymer used is Polyacrylamide, which has the unique properties of absorbing and maintaining the flow of pressurized fluid. Due to limited information about this technology, then we need to develop patch simulation for tubing leakage. In this research, we will analyze the distribution of thermal and deformation on tubing and its patch, with different operating temperature. Geometry and simulation is done using ANSYS Mechanical APDL Release 18.0 software based on finite element method. This study is expected to help the oil and gas industry to simulate the performance of patches for tubing leakage, before being practiced.

Keywords : *Leaking Repair, Patch, Polyacrylamide, Superabsorbent, Tubing*

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Tuhan Yang Maha Esa karena berkat atas rahmat-Nya, penulis dapat menyelesaikan mata kuliah Tugas Akhir serta menyusun laporan Tugas Akhir dengan judul “Studi Pengaruh Temperatur *Tubing* pada Performa *In-Situ Well Repair* Menggunakan Material *Polyacrylamide* dengan *Coupled CFD-FEM*”. Laporan tugas akhir ini dibuat dengan tujuan untuk melengkapi Mata Kuliah Tugas Akhir yang menjadi salah satu syarat kelulusan di Departemen Teknik Material Fakultas Teknologi Industri Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Penulis menyadari bahwa tanpa adanya bantuan dari seluruh pihak, laporan ini tidak akan terselesaikan dengan baik. Oleh karena itu, penulis ini mengucapkan terimakasih kepada beberapa pihak yang telah memberikan dukungan, bimbingan, dan kesempatan pada penulis hingga laporan tugas akhir ini dapat diselesaikan, yaitu:

1. Kedua orang tua, dan keluarga yang selalu mendoakan, memberikan dukungan, semangat, cinta kasih, dan motivasi.
2. Bapak Mas Irfan P. Hidayat, Ph.D. dan Bapak Sungging Pintowantoro, Ph.D. selaku dosen pembimbing tugas akhir dari awal hingga akhir pengerjaan laporan dan memberikan banyak ilmu terkait tugas akhir yang dikerjakan oleh penulis.
3. Bapak Dr. Sonny Irawan selaku pembimbing dari Universiti PETRONAS yang membimbing penulis dalam mengerjakan laporan tugas akhir dan memberikan banyak ilmu terkait tugas akhir yang dikerjakan oleh penulis.
4. Bapak Dr. Agung Purniawan, ST., M.Eng selaku Ketua Departemen Teknik Material FTI – ITS.
5. Bapak Dr. Eng. Hosta Ardhyanta, ST., M.Sc. selaku Koordinator Tugas Akhir Departemen Teknik Material FTI-ITS.

6. Bapak Mas Irfan P. Hidayat, Ph.D. selaku dosen wali yang sangat mengayomi selama penulis menjalani pendidikan di Departemen Teknik Material.
7. Orangtua yang telah mendukung dan membantu dari segi materi hingga batin penulis.
8. Seluruh dosen dan karyawan Departemen Teknik Material FTI-ITS yang telah membimbing penulis hingga terciptanya laporan ini.
9. Rekan-rekan mahasiswa Teknik Material dan Metalurgi angkatan 2013, 2014, 2015, dan 2016.
10. Serta seluruh pihak yang belum bisa dituliskan satu per satu oleh penulis.

Penulis berharap laporan tugas akhir ini dapat bermanfaat kepada seluruh pihak yang membaca. Penulis menyadari bahwa masih banyak kekurangan dalam menulis laporan tugas akhir ini, sehingga penulis menerima kritik dan saran yang dapat membangun serta memperbaiki kekurangan demi kesempurnaan laporan tugas akhir ini.

Surabaya, 23 Desember 2017
Penulis,

Arifa Nuriyani
02511440000080

DAFTAR ISI

LEMBAR JUDUL	i
PAGE TITLE	iii
LEMBAR PENGESAHAN	v
ABSTRAK	vii
ABSTRACT	ix
KATA PENGANTAR	xi
DAFTAR ISI	xiii
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR TABEL	xxv
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang Masalah	1
1.2 Perumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Tujuan Penelitian	3
1.5 Manfaat Penelitian	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Penelitian Sebelumnya	5
2.2 Konstruksi Sumur Bor	12
2.3 Kebocoran <i>Casing</i> Akibat Perbedaan Temperatur ...	14
2.4 <i>In-Situ Casing Repair</i>	16
2.5 <i>Tubing</i>	21
2.6 Minyak Mentah dan Gas Alam	23
2.7 <i>Polyacrylamide</i>	26
2.8 Terjadinya Distribusi Thermal, Distorsi, dan Deformasi	30
2.9 Aliran Laminar dan Turbulens dalam Pipa	31
2.10 Metode Elemen Hingga dan Program ANSYS	32
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	
3.1 Metode Penelitian	43
3.2 Spesifikasi Material dan Variasi Temperatur	44
3.3 Peralatan	49
3.4 Prosedur Penelitian	49
3.5 Langkah Penelitian	62

BAB IV ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN	
4.1 Analisis Hasil.....	65
4.2 Pembahasan	129
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	
5.1 Kesimpulan.....	139
5.2 Saran.....	139
DAFTAR PUSTAKA	xxvii
LAMPIRAN	xxxi
UCAPAN TERIMA KASIH	xxxiii
BIODATA PENULIS	xxxvii

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Inflatable Setting Element (Styler, et al., 2001)	18
Gambar 2. 2 Proses Pengerjaan Patch (Styler, et al., 2001)	19
Gambar 2. 3 Mekanisme Perlakuan Patch Repair dengan ISE, ..	20
Gambar 2. 4 Gugus Hidrokarbon (Devold, 2013)	24
Gambar 2. 5 Sintesis Polyacrylamide (Chemical Book, 2017)...	27
Gambar 2. 6 Sintesis Anion Polyacrylamide (Chemical Book, 2017).....	28
Gambar 2. 7 Jenis Rantai Polyacrylamide, (a) Anion Polyacrylamide, (b) Netral Polyacrylamide, dan (c) Kation Polyacrylamide (Polymer Database, 2015).	29
Gambar 2. 8 Prosedur Penggunaan Metode Elemen Hingga (Hendrizal & Djunaidi, 2013)	33
Gambar 2. 9 Element Solid Brick 70 (ANSYS HELP, 2009).....	35
Gambar 2. 10 Kode-Kode Analisis Numerik yang Digunakan dalam CFD (Patel, 2010).....	36
Gambar 2. 11 Perbedaan Metode Analisis (a) FEM dan; (b) FVM (Jeong & Seong, 2014).....	38
Gambar 2. 12 Ilustrasi Kontrol Volume Sebagai Basis Analisis dalam FVM (Ferziger & Peric, 2002)	39
Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian	43
Gambar 3. 2 Skema Geometri Tubing Sebelum Repair (Styler, et al., 2001)	46
Gambar 3. 3 Skema Geometri Tubing Sesudah Repair (Styler, et al., 2001)	47
Gambar 3. 4 Geometri Tubing N80 (a) Tampak Depan, dan (b) Tampak Atas	48
Gambar 3. 5 Geometri Horizontal Tubing N80	48
Gambar 3. 6 Geometri Patch pada Tubing N80	48
Gambar 3. 7 Diagram Alir Permodelan Thermal Distribution dalam Analisis Fluent	50
Gambar 3. 8 Diagram Alir Permodelan Deformasi dalam Analisis Struktural	51

Gambar 3. 9 Detail Meshing pada Patch terhadap (a) Fluida dan (b) Struktural	52
Gambar 3. 10 Detail Meshing pada Tubing terhadap (a) Fluida dan (b) Struktural	53
Gambar 3. 11 Pengaturan Umum untuk Analisis Fluent	54
Gambar 3. 12 Pengaturan Model Fluida	54
Gambar 3. 13 Pengaturan Boundary Conditions pada Inlet	55
Gambar 3. 14 Pengaturan Boundary Conditions pada Wall-Oilbody	56
Gambar 3. 15 Pengaturan Boundary Conditions pada Outlet	56
Gambar 3. 16 Pengaturan Tabulasi Methods	57
Gambar 3. 17 Pengaturan Tabulasi Controls	58
Gambar 3. 18 Pengaturan Tabulasi Initialization.....	58
Gambar 3. 19 Pengaturan Tabulasi Calculation.....	59
Gambar 3. 20 Detail Pengaturan Meshing	60
Gambar 3. 21 Detail Pengaturan Kondisi Lingkungan	60
Gambar 3. 22 Detail Pengaturan Tipe Analisis.....	61
Gambar 4. 1 Penampang Horizontal Fluida dengan Temperatur 323 K	66
Gambar 4. 2 Distribusi Temperatur Fluida dengan Temperatur 373 K	67
Gambar 4. 3 Distribusi Temperatur Fluida dengan Temperatur 423 K	67
Gambar 4. 4 Distribusi Temperatur Fluida dengan Temperatur 473 K	68
Gambar 4. 5 Distribusi Temperatur Fluida dengan Temperatur 523 K	68
Gambar 4. 6 Distribusi Temperatur Fluida dengan Temperatur 573 K	69
Gambar 4. 7 Distribusi Temperatur Fluida dengan Temperatur 623 K	69
Gambar 4. 8 Distribusi Temperatur Fluida dengan Temperatur 673 K	70
Gambar 4. 9 Penampang Fluida dengan Temperatur 323 K yang terhalang Patch Pertama	71

Gambar 4. 10 Penampang Fluida dengan Temperatur 373 K yang terhalang Patch Pertama.....	71
Gambar 4. 11 Penampang Fluida dengan Temperatur 423 K yang terhalang Patch Pertama.....	72
Gambar 4. 12 Penampang Fluida dengan Temperatur 473 K yang terhalang Patch Pertama.....	72
Gambar 4. 13 Penampang Fluida dengan Temperatur 523 K yang terhalang Patch Pertama.....	73
Gambar 4. 14 Penampang Fluida dengan Temperatur 573 K yang terhalang Patch Pertama.....	73
Gambar 4. 15 Penampang Fluida dengan Temperatur 623 K yang terhalang Patch Pertama.....	74
Gambar 4. 16 Penampang Fluida dengan Temperatur 673 K yang Terhalang Patch Pertama.....	74
Gambar 4. 17 Penampang Fluida dengan Temperatur 323 K yang Terhalang Patch Kedua	75
Gambar 4. 18 Penampang Fluida dengan Temperatur 373 K yang Terhalang Patch Kedua	76
Gambar 4. 19 Penampang Fluida dengan Temperatur 423 K yang Terhalang Patch Kedua	76
Gambar 4. 20 Penampang Fluida dengan Temperatur 473 K yang Terhalang Patch Kedua	77
Gambar 4. 21 Penampang Fluida dengan Temperatur 523 K yang Terhalang Patch Kedua	77
Gambar 4. 22 Penampang Fluida dengan Temperatur 573 K yang Terhalang Patch Kedua	78
Gambar 4. 23 Penampang Fluida dengan Temperatur 623 K yang Terhalang Patch Kedua	78
Gambar 4. 24 Penampang Fluida dengan Temperatur 673 K yang Terhalang Patch Kedua	79
Gambar 4. 25 Penampang Fluida dengan Temperatur 323 K yang Terhalang Patch Ketiga	80
Gambar 4. 26 Penampang Fluida dengan Temperatur 373 K yang Terhalang Patch Ketiga	80

Gambar 4. 27 Penampang Fluida dengan Temperatur 423 K yang Terhalang Patch Ketiga	81
Gambar 4. 28 Penampang Fluida dengan Temperatur 473 K yang Terhalang Patch Ketiga	81
Gambar 4. 29 Penampang Fluida dengan Temperatur 523 K yang Terhalang Patch Ketiga	82
Gambar 4. 30 Penampang Fluida dengan Temperatur 573 K yang Terhalang Patch Ketiga	82
Gambar 4. 31 Penampang Fluida dengan Temperatur 623 K yang Terhalang Patch Ketiga	83
Gambar 4. 32 Penampang Fluida dengan Temperatur 673 K yang Terhalang Patch Ketiga	83
Gambar 4. 33 Penampang Fluida dengan Temperatur 323 K yang Terhalang Patch Keempat	84
Gambar 4. 34 Penampang Fluida dengan Temperatur 373 K yang Terhalang Patch Keempat	85
Gambar 4. 35 Penampang Fluida dengan Temperatur 423 K yang Terhalang Patch Keempat	85
Gambar 4. 36 Penampang Fluida dengan Temperatur 473 K yang Terhalang Patch Keempat	86
Gambar 4. 37 Penampang Fluida dengan Temperatur 523 K yang Terhalang Patch Keempat	86
Gambar 4. 38 Penampang Fluida dengan Temperatur 573 K yang Terhalang Patch Keempat	87
Gambar 4. 39 Penampang Fluida dengan Temperatur 623 K yang Terhalang Patch Keempat	87
Gambar 4. 40 Penampang Fluida dengan Temperatur 673 K yang Terhalang Patch Keempat	88
Gambar 4. 41 Penampang Fluida dengan Temperatur 323 K yang Terhalang Patch Kelima	89
Gambar 4. 42 Penampang Fluida dengan Temperatur 373 K yang Terhalang Patch Kelima	89
Gambar 4. 43 Penampang Fluida dengan Temperatur 423 K yang Terhalang Patch Kelima	90

Gambar 4. 44 Penampang Fluida dengan Temperatur 473 K yang Terhalang Patch Kelima.....	90
Gambar 4. 45 Penampang Fluida dengan Temperatur 523 K yang Terhalang Patch Kelima.....	91
Gambar 4. 46 Penampang Fluida dengan Temperatur 573 K yang Terhalang Patch Kelima.....	91
Gambar 4. 47 Penampang Fluida dengan Temperatur 623 K yang Terhalang Patch Kelima.....	92
Gambar 4. 48 Penampang Fluida dengan Temperatur 673 K yang Terhalang Patch Kelima.....	92
Gambar 4. 49 Penampang Horizontal Tubing dengan Temperatur Inlet Fluida 323 K, (a) Deformasi, dan (b) Tegangan Von Mises.....	94
Gambar 4. 50 Penampang Horizontal Tubing dengan Temperatur Inlet Fluida 373 K, (a) Deformasi, dan (b) Tegangan Von Mises.....	95
Gambar 4. 51 Penampang Horizontal Tubing dengan Temperatur Inlet Fluida 423 K, (a) Deformasi, dan (b) Tegangan Von Mises.....	96
Gambar 4. 52 Penampang Horizontal Tubing dengan Temperatur Inlet Fluida 473 K, (a) Deformasi, dan (b) Tegangan Von Mises.....	96
Gambar 4. 53 Penampang Horizontal Tubing dengan Temperatur Inlet Fluida 523 K, (a) Deformasi, dan (b) Tegangan Von Mises.....	97
Gambar 4. 54 Penampang Horizontal Tubing dengan Temperatur Inlet Fluida 573 K, (a) Deformasi, dan (b) Tegangan Von Mises.....	98
Gambar 4. 55 Penampang Horizontal Tubing dengan Temperatur Inlet Fluida 623 K, (a) Deformasi, dan (b) Tegangan Von Mises.....	98
Gambar 4. 56 Penampang Horizontal Tubing dengan Temperatur Inlet Fluida 673 K, (a) Deformasi, dan (b) Tegangan Von Mises.....	99

Gambar 4. 57 Penampang Patch Pertama dengan Temperatur Inlet Fluida 323 K, (a) Deformasi, dan (b) Tegangan Von Mises.....	100
Gambar 4. 58 Penampang Patch Pertama dengan Temperatur Inlet Fluida 373 K, (a) Deformasi, dan (b) Tegangan Von Mises.....	101
Gambar 4. 59 Penampang Patch Pertama dengan Temperatur Inlet Fluida 423 K, (a) Deformasi, dan (b) Tegangan Von Mises.....	102
Gambar 4. 60 Penampang Patch Pertama dengan Temperatur Inlet Fluida 473 K, (a) Deformasi, dan (b) Tegangan Von Mises.....	102
Gambar 4. 61 Penampang Patch Pertama dengan Temperatur Inlet Fluida 523 K, (a) Deformasi, dan (b) Tegangan Von Mises.....	103
Gambar 4. 62 Penampang Patch Pertama dengan Temperatur Inlet Fluida 573 K, (a) Deformasi, dan (b) Tegangan Von Mises.....	104
Gambar 4. 63 Penampang Patch Pertama dengan Temperatur Inlet Fluida 623 K, (a) Deformasi, dan (b) Tegangan Von Mises.....	104
Gambar 4. 64 Penampang Patch Pertama dengan Temperatur Inlet Fluida 673 K, (a) Deformasi, dan (b) Tegangan Von Mises.....	105
Gambar 4. 65 Penampang Patch Kedua dengan Temperatur Inlet Fluida 323 K, (a) Deformasi, dan (b) Tegangan Von Mises.....	106
Gambar 4. 66 Penampang Patch Kedua dengan Temperatur Inlet Fluida 373 K, (a) Deformasi, dan (b) Tegangan Von Mises.....	107
Gambar 4. 67 Penampang Patch Kedua dengan Temperatur Inlet Fluida 423 K, (a) Deformasi, dan (b) Tegangan Von Mises.....	108

Gambar 4. 68	Penampang Patch Kedua dengan Temperatur Inlet Fluida 473 K, (a) Deformasi, dan (b) Tegangan Von Mises.....	108
Gambar 4. 69	Penampang Patch Kedua dengan Temperatur Inlet Fluida 523 K, (a) Deformasi, dan (b) Tegangan Von Mises.....	109
Gambar 4. 70	Penampang Patch Kedua dengan Temperatur Inlet Fluida 573 K, (a) Deformasi, dan (b) Tegangan Von Mises.....	110
Gambar 4. 71	Penampang Patch Kedua dengan Temperatur Inlet Fluida 623 K, (a) Deformasi, dan (b) Tegangan Von Mises.....	110
Gambar 4. 72	Penampang Patch Kedua dengan Temperatur Inlet Fluida 673 K, (a) Deformasi, dan (b) Tegangan Von Mises.....	111
Gambar 4. 73	Penampang Patch Ketiga dengan Temperatur Inlet Fluida 323 K, (a) Deformasi, dan (b) Tegangan Von Mises.....	112
Gambar 4. 74	Penampang Patch Ketiga dengan Temperatur Inlet Fluida 373 K, (a) Deformasi, dan (b) Tegangan Von Mises.....	113
Gambar 4. 75	Penampang Patch Ketiga dengan Temperatur Inlet Fluida 423 K, (a) Deformasi, dan (b) Tegangan Von Mises.....	114
Gambar 4. 76	Penampang Patch Ketiga dengan Temperatur Inlet Fluida 473 K, (a) Deformasi, dan (b) Tegangan Von Mises.....	114
Gambar 4. 77	Penampang Patch Ketiga dengan Temperatur Inlet Fluida 523 K, (a) Deformasi, dan (b) Tegangan Von Mises.....	115
Gambar 4. 78	Penampang Patch Ketiga dengan Temperatur Inlet Fluida 573 K, (a) Deformasi, dan (b) Tegangan Von Mises.....	116

Gambar 4. 79 Penampang Patch Ketiga dengan Temperatur Inlet Fluida 623 K, (a) Deformasi, dan (b) Tegangan Von Mises.....	116
Gambar 4. 80 Penampang Patch Ketiga dengan Temperatur Inlet Fluida 673 K, (a) Deformasi, dan (b) Tegangan Von Mises.....	117
Gambar 4. 81 Penampang Patch Keempat dengan Temperatur Inlet Fluida 323 K, (a) Deformasi, dan (b) Tegangan Von Mises.....	118
Gambar 4. 82 Penampang Patch Keempat dengan Temperatur Inlet Fluida 373 K, (a) Deformasi, dan (b) Tegangan Von Mises.....	119
Gambar 4. 83 Penampang Patch Keempat dengan Temperatur Inlet Fluida 423 K, (a) Deformasi, dan (b) Tegangan Von Mises.....	120
Gambar 4. 84 Penampang Patch Keempat dengan Temperatur Inlet Fluida 473 K, (a) Deformasi, dan (b) Tegangan Von Mises.....	120
Gambar 4. 85 Penampang Patch Keempat dengan Temperatur Inlet Fluida 523 K, (a) Deformasi, dan (b) Tegangan Von Mises.....	121
Gambar 4. 86 Penampang Patch Keempat dengan Temperatur Inlet Fluida 573 K, (a) Deformasi, dan (b) Tegangan Von Mises.....	122
Gambar 4. 87 Penampang Patch Keempat dengan Temperatur Inlet Fluida 623 K, (a) Deformasi, dan (b) Tegangan Von Mises.....	122
Gambar 4. 88 Penampang Patch Keempat dengan Temperatur Inlet Fluida 673 K, (a) Deformasi, dan (b) Tegangan Von Mises.....	123
Gambar 4. 89 Penampang Patch Kelima dengan Temperatur Inlet Fluida 323 K, (a) Deformasi, dan (b) Tegangan Von Mises.....	124

Gambar 4. 90 Penampang Patch Kelima dengan Temperatur Inlet Fluida 373 K, (a) Deformasi, dan (b) Tegangan Von Mises.....	125
Gambar 4. 91 Penampang Patch Kelima dengan Temperatur Inlet Fluida 423 K, (a) Deformasi, dan (b) Tegangan Von Mises.....	126
Gambar 4. 92 Penampang Patch Kelima dengan Temperatur Inlet Fluida 473 K, (a) Deformasi, dan (b) Tegangan Von Mises.....	126
Gambar 4. 93 Penampang Patch Kelima dengan Temperatur Inlet Fluida 523 K, (a) Deformasi, dan (b) Tegangan Von Mises.....	127
Gambar 4. 94 Penampang Patch Kelima dengan Temperatur Inlet Fluida 573 K, (a) Deformasi, dan (b) Tegangan Von Mises.....	128
Gambar 4. 95 Penampang Patch Kelima dengan Temperatur Inlet Fluida 623 K, (a) Deformasi, dan (b) Tegangan Von Mises.....	128
Gambar 4. 96 Penampang Patch Kelima dengan Temperatur Inlet Fluida 673 K, (a) Deformasi, dan (b) Tegangan Von Mises.....	129
Gambar 4. 97 Grafik Temperatur Total pada Analisis Fluent Selama Fluida Mengalir	132
Gambar 4. 98 Grafik Temperatur Operasi pada Inlet terhadap Nilai Minimum Deformasi.....	134
Gambar 4. 99 Grafik Temperatur Operasi pada Inlet terhadap Nilai Maksimum Deformasi.....	135
Gambar 4. 100 Grafik Temperatur Operasi pada Inlet terhadap Nilai Maksimum Tegangan Von Mises.....	137

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Hasil Penelitian Sebagai Referensi	7
Tabel 2. 2 Persentase Massa Fosfor dan Sulfur yang Disarankan (API, 2010).....	22
Tabel 2. 3 Komposisi Kimia Tubing (Xua, et al., 2012).....	23
Tabel 2. 4 Sifat Mekanik Tubing (U.S. Steel Tubular Products, 2014)	23
Tabel 2. 5 Kondisi Normal Minyak Mentah dalam Reservoir	24
Tabel 2. 6 Sifat Material Polyacrylamide (Chemical Book, 2017)	28
Tabel 3. 1 Komposisi Kimia Tubing N80 (Xua, et al., 2012).....	44
Tabel 3. 2 Spesifikasi Material Tubing N80 (API, 2005)	44
Tabel 3. 3 Sifat Material Polyacrylamide (Chemical Book, 2017)	45
Tabel 3. 4 Sifat Minyak Mentah dan Gas Alam	45
Tabel 4. 1 Perbandingan Temperatur Loss pada Ketinggian Tertentu	131
Tabel 4. 2 Perbandingan Selisih Temperatur (T) antar Titik ..	131
Tabel 4. 3 Nilai Deformasi Total.....	136
Tabel 4. 4 Nilai Tegangan Von Mises Maksimal	138

(Halaman ini sengaja dikosongkan)



BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Industri *oil and gas* melakukan pengeboran sumur untuk mendapatkan hidrokarbon dari *reservoir* menuju permukaan. Agar mutu hidrokarbon dari sumur ini terjaga dengan baik dan produksi terus tetap dilakukan, siklus *lifetime* sebuah sumur harus tetap dijaga. Terdapat 5 tahap proses pengeboran sumur yaitu eksplorasi, penilaian, pengembangan, produksi, dan pembuangan. Tahap produksi adalah tahap yang paling penting ketika dilakukan pengaliran hidrokarbon dari formasinya di dalam tanah. Dalam era ini, industri *oil and gas* melaporkan permasalahan yang cukup signifikan mempengaruhi produksi minyak bumi dan gas alam. Banyak industri *oil and gas* memiliki laporan bahwa adanya kebocoran pada *casing*, salah satu komponen yang mengalami kebocoran adalah *tubing* yang terekspos secara langsung dengan hasil produksi. *Tubing* yang mengalami kebocoran ini disebabkan oleh korosi, *sand blasting*, perbedaan temperatur, adanya *shrinkage*, dan tekanan yang berlebihan. Kebocoran ini dapat memberikan efek bocornya hasil produksi dari *tubing* selama proses produksi berlangsung. Maka, *tubing* harus ditutup. (Khandka, 2007)

Namun, metode konvensional untuk memperbaiki sumur pada aplikasinya membutuhkan biaya yang mahal, banyak waktu, dan beresiko pada pengerjaan rig karena telah menghentikan atau harus melakukan *shutdown* pada sumur bor. Metode ini adalah dengan mengganti *tubing* produksi dan *packer*, lalu menjalankan kembali proses yang sempat terhenti. Selain itu, terdapat metode penambalan *casing* yang kurang praktis dan membuat *tubing* produksi beroperasi pengerjaan selanjutnya sulit dilakukan. (Styler, et al., 2001)

Polimer *superabsorbent* merupakan metode yang mulai dikembangkan dalam berbagai bidang, seperti pertanian, produk kebersihan, pengolahan air limbah, bahan penyegel, dan



peningkatan perbaikan mutu minyak. Karena polimer ini memiliki sifat yang unik yaitu mampu menyerap dan memelihara sejumlah besar fluida yang bertekanan tertentu dan dapat digunakan untuk mencegah atau membatasi aliran fluida terhadap kebocoran pada *tubing*. Material polimer *superabsorbent* yang digunakan adalah *Polyacrylamide* (Ibrahim & Irawan, 2016). Oleh karena itu, perlu adanya simulasi analisis numerik tentang polimer *superabsorbent* ini terhadap variasi temperatur aliran fluida berupa minyak mentah dari *reservoir* tanpa menghentikan atau *shutdown* proses produksi yang sedang berlangsung.

1.2 Perumusan Masalah

Pada penelitian tugas akhir ini terdapat masalah yang akan dibahas adalah:

1. Bagaimana pengaruh temperatur *tubing* terhadap kemampuan *patch repair Polyacrylamide*?
2. Bagaimana temperatur optimum *tubing* yang paling tepat untuk dilakukan *patch repair* menggunakan *Polyacrylamide*?

1.3 Batasan Masalah

Agar penelitian ini tidak menyimpang dari permasalahan dan memperoleh hasil yang baik, terdapat pembatasan masalah pada:

1. Kebocoran hanya terjadi pada *tubing*.
2. Aliran fluida yang mengalir dalam *tubing* berada pada kondisi *steady state*.
3. *Polyacrylamide* adalah material polimer sebagai *patch* untuk *in-situ well repair*.
4. Analisis dilakukan hanya pada distribusi temperatur *tubing* dan aliran *polyacrylamide*.
5. Perbedaan tekanan dan *flow rate polyacrylamide* pada *tubing* diabaikan.
6. Properti *tubing* tidak berpengaruh terhadap kemampuan pelekatan *patch*.
7. Kondisi *patch repair* terlaksana terhadap 5 lubang.



1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini dilakukan adalah:

1. Untuk menganalisis pengaruh temperatur *tubing* terhadap kemampuan *patch repair Polyacrylamide*.
2. Untuk menganalisis temperatur optimum *tubing* yang paling tepat untuk dilakukan *patch repair* menggunakan *Polyacrylamide*.

1.5 Manfaat Penelitian

Penelitian ini memiliki manfaat yang dapat diperoleh antara lain:

1. Dapat mengimplementasikan ilmu material dan metalurgi yang telah dipelajari selama masa perkuliahan.
2. Dapat menjalankan *software* simulasi numerik sesuai dengan permasalahan dalam industri perminyakan.
3. Dapat mensimulasikan proses produksi minyak diberi perlakuan *patch repair* dengan material *Polyacrylamide* untuk menutup *tubing* yang bocor.



(Halaman ini sengaja dikosongkan)



BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Sebelumnya

Berdasarkan penelitian dari Anwar dan Sonny (2016), kebocoran *tubing* merupakan masalah serius yang mempengaruhi kualitas *tubing*. Kebocoran *production tubing* disebabkan oleh korosi, *sand blasting*, dan tekanan berlebih. Hal ini dapat menyebabkan fluida dari *production tubing* menuju A-annulus (annulus antara *production tubing* dan *production casing*) karena perbedaan tekanan yang terjadi. Apabila peristiwa ini terjadi, pengeboran sumur harus dihentikan.

Menurut Styler, dkk (2001), memperbaiki kebocoran *casing* secara tradisional sama halnya dengan pengerjaan ulang sebuah rig, dengan menarik *tubing* dari sumur dan sebuah *scab liner* diletakkan pada daerah yang bocor. Terdapat teknologi terbaru untuk memberikan alternatif perbaikan *casing*. Teknologi ini yaitu menambal dengan material non-logam yang fleksibel, komposit *sleeve* terbuat dari resin *thermos-setting*, penguat *carbon fiber*, dan dilapisi dengan elastomer. *Patch* memiliki manfaat yang unik yaitu dapat meminimalkan waktu, tidak menghentikan pengeboran sumur, menyesuaikan permukaan dinding sumur, tahan korosi, dan memaksimalkan diameter internal setelah diperbaiki. *Patch* mengembalikan kualitas *tubing*, sehingga kualitas semen primer kembali terjaga. Aliran dana untuk pengeboran sumur dengan teknologi ini menunjukkan bahwa biaya dapat ditekan seminim mungkin. Teknologi *patch* ini memiliki ketahanan pada api selama perbaikan *tubing* berlangsung.

Selain penelitian dengan komposit, terdapat penelitian dengan material polimer *superabsorbent*. Material yang digunakan pada penelitian yang dilakukan Anwar dan Sonny (2016) adalah polimer yang dapat larut dengan air, dengan kandungan asam karboksilat dan alkohol amino, yaitu *Polyacrylamide*. Pada alkohol amino, *ethanolamine* (EA), *diethanolamine* (DEA), dan *triethanolamine* (TEA) yang digunakan. Untuk preparasi



pelarutnya, bubuk NaCl dan biji NaOH yang digunakan. Dengan memerhatikan berbagai perhitungan persentase mol dan uji kapasitas absorpsi, dihasilkan bahwa terdapat 3 syarat utama yang harus dipenuhi untuk membuat polimer khusus perbaikan sumur bor, utamanya untuk kebocoran *tubing*. Pertama, polimer yang dibuat dihasilkan dengan mencampur *Polyacrylamide* dengan amino alkohol akan menghasilkan DEA dengan kapasitas absorpsi paling tinggi dibandingkan dengan EA dan TEA, selama DEA masih memiliki tingkat hidrolisis yang lebih tinggi. Kedua, polimer buatan dengan 0,5% larutan NaOH memberikan kapasitas absorpsi paling tinggi daripada dengan air dan 2% larutan NaCl karena efek salinitas dalam 2% larutan NaCl menghambat sifat pengembangan 0,5% larutan NaOH berpH tinggi, akan menjadikan sifat pengembangan *Polyacrylamide* lebih baik. Dan ketiga, polimer buatan ini bekerja pada temperatur tinggi dan rasio berat *Polyacrylamide* terhadap alkohol amino rendah akan meningkatkan kapasitas absorpsi. Rasio berat yang rendah menunjukkan kandungan polimer *Polyacrylamide* membantu sifat penyerapan air. Oleh karena itu, sifat unik polimer buatan yang sensitive terhadap temperatur, pH, dan konsentrasi salinitas bisa disesuaikan dengan aplikasi pelapisan kebocoran *tubing*.

Menurut Ouyang (2015), kebocoran dapat terjadi pada *tubing*, *casing*, atau *packer*. Kebocoran *tubing* memberikan efek berupa perubahan signifikan pada tekanan *annular*. Parameter utama yang berpengaruh pada profil tekanan *annulus* awal adalah pemompaan fluida pengeboran (waktu, sifat fluida, temperatur fluida, kecepatan pemompaan), interval waktu antara *drilling* dan resirkulasi *completion brine* (sifat *brine*, kecepatan pemompaan, temperatur, waktu, prosedur), profil temperatur lingkungan (geothermal), penutupan *annulus*, dan sebagainya. Aliran fluida dan transfer panas yang berhubungan dengan kebocoran *tubing* merupakan proses *transient* (dinamis). Untuk aliran *monophasic transient* atau multi fase pada perpipaian atau pengeboran, dibutuhkan model *steady state*. Permodelan *transient* adalah metode paling esensial untuk studi dan desain yang dapat



digunakan pada investigasi perilaku *transient* pipa dan sumur pengeboran baik *onshore* maupun *offshore*.

Tabel 2. 1 Hasil Penelitian Sebagai Referensi

1.	Judul	<i>Absorption Properties of Superabsorbent Polymers for Sealing Tubing Leaks</i>
	Peneliti	Muhammad Anwar bin Ibrahim dan Sonny Irawan
	Metode	Permukaan <i>polyacrylamide</i> <i>dicoating</i> dengan <i>ethanolamine</i> (EA), <i>diethanolamine</i> (DEA), dan <i>triethanolamine</i> (TEA) pada rasio berat polimer terhadap <i>amino alcohols</i> sebesar 1:0,1 sampai 1:0,3 dan diroll dalam oven pada 80°C (140°F) selama 72 jam. Modifikasi polimer <i>disoaking</i> pada <i>tap water</i> , larutan natrium klorida (NaCl) 2%, dan larutan natrium hidroksida (NaOH) 0,5% untuk mengetahui kapasitas absorpsi.
Hasil	Kapasitas absorpsi polimer yang telah dimodifikasi bertambah seiring dengan peningkatan level hidrolisis dan penurunan rasio berat polimer terhadap <i>amino alcohols</i> . Kapasitas absorpsi tersebut juga sangat sensitif terhadap temperatur, konsentrasi salinitas, dan pH. Sensitivitas unik ini mengakibatkan polimer sangat berguna untuk menambal kebocoran <i>tubing</i> .	
2.	Judul	<i>A Unique Rigless Casing Leak Repair, Ghawar Field, Saudi Arabia</i>
	Peneliti	James W. Styler, Suliman S. Al-Suwailem, Rames L. Akhnoukh, James R. Leighton
	Metode	<i>Crossflow</i> pada lubang sumur bor diukur dengan <i>static flowmeter</i> (<i>spinner survey</i>) pada kecepatan 1000 barrel per hari. Untuk memastikan keberhasilan pemasangan, perbedaan tekanan

BAB II TINJAUAN PUSTAKA



		tidak boleh diberikan di atas <i>patch</i> sebelum diatur dan terpolimerisasi sepenuhnya.
	Hasil	<i>Patch</i> adalah metode yang sesuai untuk <i>casing repair</i> dengan beberapa keuntungan. Meskipun integritas <i>tubing</i> dapat diperbaiki dengan <i>patch</i> , semen primer yang baik tetap dibutuhkan untuk metode ini. <i>Patch</i> tersebut sangat sesuai untuk <i>injection well tubular repair</i> karena memiliki ketahanan terhadap ledakan yang baik untuk melindungi <i>tubing</i> dari kerusakan akibat kondisi <i>drawdown</i> .
3.	Judul	<i>A New Polymer Nanocomposite Repair Material for Restoring Wellbore Seal Integrity</i>
	Peneliti	Moneeb Genedy, Usama F. Kandil, Edward N. Matteo, John Stormont, Mahmoud M. Reda Taha
	Metode	Uji coba dilakukan untuk mengetahui kekuatan ikatan material <i>repair</i> yang berbeda, termasuk gabungan <i>microfine cement</i> dan <i>Novolac epoxy nanocomposite</i> 0% (murni); 0,25%; 0,5%; dan 1,0% nanopartikel aluminium. Kekuatan ikatan uji dibandingkan dengan <i>case</i> referensi di mana semen tipe G dicor secara langsung di sekitar <i>shale core</i> .
	Hasil	<i>Microfine cement</i> tidak dapat sepenuhnya mengisi celah di antara <i>shale</i> dan <i>cement</i> sehingga kekuatan ikatannya 21% lebih rendah daripada <i>case</i> referensi. Sebaliknya, ANPs- <i>epoxy nanocomposite</i> memiliki kekuatan ikatan yang 250% lebih tinggi daripada <i>case</i> referensi sehingga dapat menembus permukaan <i>shale porous</i> dan membentuk jaringan <i>epoxy</i> di dalam <i>shale</i> dengan sambungan mekanik yang meningkatkan <i>interface seal</i> dengan menutup potensi jalan kebocoran.



4.	Judul	<i>Remediation of Leakage through Annular Cement Using a Polymer Resin</i>
	Peneliti	Jelena Todorovic, Martin Raphaug, Erik Lindeberg, Torbjorn Vralstad, Maike-Liselotte Buddensiek
	Metode	Resin polimer diinjeksikan pada sampel <i>core</i> dengan mengalirkan <i>brine</i> sebagai fluida yang dipindahkan ke dasar <i>coil</i> . Resin polimer didesain untuk <i>curing</i> pada 60°C, tepat di atas temperatur <i>ambient</i> , untuk menghindari pengisian sistem aliran <i>core</i> . Tekanan dibatasi pada 50 bar sepanjang percobaan.
	Hasil	Sifat resin polimer, seperti viskositas, <i>gelling</i> dan <i>curing time</i> , disesuaikan terhadap ukuran dan bentuk jalur kebocoran. Resin polimer terbukti berhasil digunakan untuk menambal jalur kebocoran dari dua desain kebocoran yang berbeda: <i>cement-casing debonding</i> dan <i>fractures</i> pada <i>annular cement</i> . Permeabilitas dan rata-rata ketebalan patahan berkurang secara signifikan setelah perlakuan.
5.	Judul	<i>Fluent in the Simulation of the Application of the Natural Gas Leakage</i>
	Peneliti	Xuegang Li, Hongchao Ji, Yaogang Li
	Metode	<i>Gas field engineering problem</i> dianalisis dengan menggunakan teori mekanika fluida untuk menyelesaikan <i>basic algorithm model</i> dan <i>software</i> untuk mensimulasi fenomena difusi kebocoran gas alam. Metode numerik yang digunakan adalah <i>geometric model and grid partition</i> , <i>initialization setting boundary conditions</i> , dan <i>calculation results and post-processing</i> .
	Hasil	<i>Fluent</i> merupakan metode simulasi numerik yang sangat baik untuk menganalisis kebocoran gas

BAB II TINJAUAN PUSTAKA



		alam, dengan memperoleh hasil perbandingan risiko area kebocoran dan hasil eksperimen. Simulasi perbedaan kecepatan angin dan konsentrasi gas alam dapat lebih informatif terhadap perubahan proses kebocoran gas.
6.	Judul	<i>A Novel Approach to Detect Tubing Leakage in Carbon Dioxide (CO₂) Injection Wells via an Efficient Annular Pressure Monitoring</i>
	Peneliti	Liang-Biao Ouyang
	Metode	Simulasi transien pipa dan sumur bor dinamis dilakukan dengan menggunakan model modifikasi dua fluida untuk memecahkan rangkaian persamaan massa, momentum, dan konservasi energi. <i>Software</i> simulator OLGA digunakan untuk simulasi transien <i>flow</i> dan <i>heat transfer</i> yang berhubungan dengan proses <i>drilling, completion</i> , dan injeksi CO ₂ .
	Hasil	Berdasarkan lokasinya, kebocoran <i>tubing</i> dapat berpotensi meningkatkan tekanan <i>annular</i> sekitar 600 psi hingga lebih dari 2000 psi dengan waktu yang sangat singkat (kurang dari lima menit). Dalam kondisi <i>flowing</i> atau <i>shut-in</i> CO ₂ pada <i>injection well</i> , jumlah tekanan tambahan pada <i>annulus</i> berhubungan dengan kebocoran <i>tubing</i> CO ₂ dan kedalaman kebocoran. Beberapa praktik dapat membantu <i>engineer</i> untuk mendeteksi kebocoran CO ₂ dan mengestimasi titik kebocoran secara tepat waktu, mengambil tindakan secara cepat dan tepat untuk memperbaiki kebocoran, dan mengurangi risiko kerugian terhadap manusia dan lingkungan.
7.	Judul	<i>Casing Strength Degradation in Thermal Environment of Steam Injection Wells</i>
	Peneliti	Mas Irfan P. Hidayat, Sonny Irawan, dan Mohamad Zaki Abdullah

BAB II TINJAUAN PUSTAKA



	Metode	Dalam makalah ini, analisis elemen hingga (FE) 3D mengenai degradasi kekuatan <i>casing</i> pada lingkungan thermal sumur injeksi uap disajikan. Model FE 3D yang terdiri dari sistem formasi semen-semen dikembangkan dalam penelitian ini. Dalam analisisnya, tegangan thermal siklik yang diinduksi pada <i>casing</i> di lingkungan thermal sumur injeksi uap dari 25°C hingga 360°C pertama kali diperiksa untuk memverifikasi kelayakan model elemen hingga 3D. Pengaruh temperatur pada kekuatan lekukan <i>casing</i> diperhitungkan. Degradasi kekuatan <i>casing</i> di lingkungan thermal kemudian diselidiki dengan menerapkan tekanan eksternal yang merupakan tekanan formasi pada sistem semen <i>casing</i> .
	Hasil	Kemampuan <i>casing</i> untuk menahan formasi tekanan diturunkan seiring dengan banyaknya siklus thermal yang meluas, sehingga menyebabkan degradasi kekuatan <i>casing</i> pada aplikasi thermal. Hal ini juga ditunjukkan bahwa <i>casing</i> bisa mengalami kegagalan pada tekanan eksternal di bawah kekuatan kolaps yang ditentukan yaitu 10% lebih rendah dari referensi kekuatan <i>casing</i> yang diperoleh pada 360°C. Sebagai rekomendasi dalam operasi secara praktik, disarankan agar temperatur kerja maksimum injeksi uap lebih baik berada di bawah 360°C, misalnya 300°C. Pada temperatur ini, ditunjukkan bahwa <i>casing</i> memiliki tegangan thermal yang lebih rendah serta kemampuan yang lebih baik untuk tekanan kolaps.
8.	Judul	<i>Effect of Casing Imperfection on the Casing Strength in Steam Injection Wells</i>
	Peneliti	Mas Irfan P. Hidayat, Sonny Irawan, dan Mohamad Zaki Abdullah

BAB II TINJAUAN PUSTAKA



Metode	<p>Untuk tujuan penyidikan penelitian sebelumnya, model FE 3D yang terdiri dari sistem pembentukan semen <i>casing</i> yang rusak dikembangkan. <i>Casing</i> N80 dengan panjang casing 3,048 m dianalisis dalam studi numerik. Dalam analisis, efek gabungan dari tegangan thermal siklik (dari 25°C sampai 360°C), tekanan kolaps (dari formasi) dan cacat pada <i>casing</i> diperhitungkan. Secara khusus, tegangan dan deformasi <i>casing</i> yang rusak setelah siklus thermal tertentu ditunjukkan, dibandingkan dengan <i>casing</i> yang tidak rusak.</p>
Hasil	<p>Dalam penelitian ini, pengaruh ketidaksempurnaan <i>casing</i> dalam kekuatan <i>casing</i> di lingkungan thermal sumur injeksi uap telah diteliti. Ketidaksempurnaan dimodelkan dalam bentuk lubang <i>casing</i> yang bisa mewakili kavitasi lokal, keausan atau serangan korosi. Beberapa lubang dengan berbagai kedalaman dan rasio D/t yang berbeda dipertimbangkan dalam penelitian ini. Deformasi <i>casing</i> cacat juga terkait dengan siklus thermal yang dialami oleh <i>casing</i>. Ditemukan bahwa ketidaksempurnaan <i>casing</i> sangat mempengaruhi kekuatan <i>casing</i> pada sumur injeksi uap. Selain itu, kombinasi dari temperatur tinggi, faktor ketidaksempurnaan dan tekanan formasi menyebabkan deformasi yang fatal pada <i>casing</i>, bahkan pada formasi tekanan rendah.</p>

2.2 Konstruksi Sumur Bor

Setelah sumur dibor, sumur harus selesai pengerjaannya. Penyelesaian sumur terdiri dari sejumlah tahap seperti pemasangan *casing*, *completion*, pemasangan *wellhead*, dan pemasangan peralatan angkat atau perawatan formasi, jika dibutuhkan.



2.2.1 Well Casing

Pemasangan *well casing* merupakan bagian penting dari proses pengeboran dan *completion*. *Casing* yang benar terdiri dari serangkaian tabung logam yang dipasang pada lubang yang baru dibor. *Casing* berfungsi untuk memperkuat sisi lubang sumur, memastikan tidak ada minyak atau gas alam yang merembes keluar ketika menuju permukaan, serta menyimpan cairan atau gas lain agar tidak memasuki formasi melalui sumur. Jenis *casing* yang digunakan bergantung pada karakteristik bawah permukaan sumur, termasuk diameter sumur (sesuai ukuran bor yang digunakan), tekanan dan temperatur yang terjadi. Pada sebagian besar sumur, diameter lubang sumur yang dibor berkurang semakin ke dalam, membentuk kerucut yang harus diperhitungkan ketika memasang *casing*. *Casing* biasanya disemen sesuai lokasinya.

Terdapat lima jenis *casing* yang berbeda, yaitu:

- x *Conductor casing*, biasanya memiliki ukuran panjang tidak lebih dari 20 hingga 50 kaki (717 meter), yang dipasang sebelum pengeboran utama untuk mencegah bagian atas sumur longsor dan membantu proses sirkulasi cairan hasil pengeboran naik dari dasar sumur.
- x *Surface casing*, merupakan jenis *casing* berikutnya yang akan dipasang dengan ukuran panjang hingga mencapai 100 hingga 400 meter, dan berdiameter lebih kecil untuk dimuat di dalam *conductor casing*. Tujuan utama *casing* ini adalah untuk melindungi endapan air tawar yang tertimbun dekat permukaan sumur dari kontaminasi kebocoran hidrokarbon atau air asin bawah tanah yang lebih dalam. *Casing* ini juga berfungsi sebagai saluran pengeboran lumpur yang kembali menuju permukaan dan membantu melindungi lubang bor dari kerusakan selama proses pengeboran.
- x *Intermediate casing*, merupakan bagian *casing* terpanjang pada sumur. Tujuan utamanya adalah meminimalkan bahaya yang berhubungan dengan formasi bawah permukaan yang mempengaruhi sumur. Hal ini termasuk zona tekanan bawah



tanah yang tidak stabil, serpihan, dan formasi yang dapat mencemari sumur, seperti timbunan air garam di bawah tanah. *Liner string* digunakan sebagai pengganti *intermediate casing* pada beberapa kasus. *Liner string* biasanya hanya menempel pada *casing* sebelumnya dengan *hanger* daripada disemen ke tempatnya, karena kurang permanen.

- x *Production casing*, atau disebut *oil string* atau *long string*, dipasang terakhir dan merupakan bagian terdalam dari *well casing*. *Casing ini* menghubungkan permukaan sumur menuju formasi penghasil minyak bumi. Ukuran *production casing* sesuai dengan beberapa pertimbangan, yaitu peralatan pengangkat yang akan digunakan, jumlah *completion* yang dibutuhkan, dan peluang memperdalam sumur pada pengeboran selanjutnya. Apabila kemudian sumur diharapkan diperdalam, maka *production casing* harus cukup lebar sehingga dapat menjalankan bor nantinya. *Casing ini* juga berperan mencegah *blow-out*, karena formasi yang ditutup dari atas memiliki tingkat tekanan yang berbahaya. Setelah *casing* dipasang, *tubing* dimasukkan ke dalam *casing*, dari sumur yang terbuka di bagian atas hingga formasi di bagian bawah. Hidrokarbon yang diekstraksi mengalir melewati *tubing* ini menuju permukaan. *Production casing* berukuran 5 hingga 28 cm (2-11 inchi) dengan sebagian besar ukuran *production well* 6 inchi atau lebih. Produksi minyak sesuai dengan *reservoir*, bor, tekanan, dan beberapa hal lain dan bisa mencapai kurang dari 100 barel per hari hingga beberapa ribu barel per hari (5.000 barel per hari sekitar 555 liter/menit). *Packer* digunakan sebagai perantara *casing* dan *tubing* di bagian bawah sumur. (Devold, 2013)

2.3 Kebocoran *Casing* Akibat Perbedaan Temperatur

Walaupun usaha untuk mendapatkan isolasi *casing* yang baik, perpindahan fluida dalam *annulus* terjadi. Perpindahan fluida ini adalah masuknya minyak formasi melalui pori-pori karena ketidakseimbangan tekanan pada permukaan dinding *casing*.



Fluida mengalir ke zona bertekanan rendah atau hingga ke permukaan. Pada formasi fluida, perpindahan gas di *annulus* ini menyebabkan masalah utama karena dapat menyebabkan ledakan (membahayakan manusia pada rig dan pengeboran) dan kontaminasi air tanah (bahaya lingkungan). Perpindahan gas ini disebut dengan kebocoran gas atau aliran gas annular.

Fenomena ini dapat disebabkan oleh berbagai faktor dan dapat terjadi pada jangka waktu yang berbeda. Kebocoran ini dikelompokkan menjadi “primer” dan “sekunder”. Kebocoran gas “primer” terjadi dalam beberapa jam atau paling lama beberapa hari setelah proses penyemenan, dengan penyebab utamanya adalah hilangnya kepala hidrostatik pada formasi hidrokarbon. Tekanan pada selubung semen mengalami penurunan cepat setelah penyemenan. Penurunan tekanan ini disebabkan oleh kombinasi proses gelasi (pembentukan gel), kehilangan cairan, dan fenomena kontraksi kimia. Kebocoran gas “sekunder” secara umum adalah kebocoran gas yang tidak berhubungan dengan proses penyemenan karena terjadi selama beberapa minggu, bulan, atau bahkan bertahun-tahun kemudian. Hal ini disebabkan oleh tekanan mekanis dan thermal yang membahayakan kualitas ikatan hidrokarbon atau bahan dari semen.

Deformasi *downhole* dapat terjadi akibat tekanan termal berupa *cement hydration*, perawatan pengenduran sumur hasil bor, injeksi uap, dan injeksi fluida dingin. Baja yang terpapar dari tekanan termal tersebut menyebabkan kenaikan temperatur yang berlebihan menyebabkan ekspansi diameter *casing*. Ekspansi ukuran diameter ini membuat gaya geser *interface casing* dan menyebabkan kegagalan pada permukaan *casing* atau disebut dengan *radial fracturing* selubung semen dari permukaan bagian dalam menuju permukaan luar *casing* (atau lubang bor). Aliran annular dengan jangka panjang tergantung pada temperatur yang umumnya terjadi setelah perubahan temperatur yang berlebihan akibat dari temperatur produksi atau temperatur injeksi uap yang terlalu tinggi.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA



Tekanan aliran *annular* pada permukaan semakin jelas setelah sumur mulai melakukan produksi. Fenomena ini diamati dengan hasil temperatur aliran pada permukaan terlalu tinggi atau pada injeksi uap yang berlebih. Kegagalan selubung semen ini disebabkan oleh *stress cracking* pada selubung akibat kenaikan temperatur yang berlebih dan mengakibatkan ekspansi diameter *casing*. Perubahan temperatur pada aliran sumur dapat meningkatkan diameter *casing* meningkat secara signifikan. Ekspansi ini berupa volumetrik. Koefisien ekspansi kubik kira-kira tiga kali koefisien linier. Tegangan aksial yang dipengaruhi oleh diameter luar *casing* yang meningkat, membuat *stress cracking* pada selubung semen seperti tekanan dalam *casing* yang berlebih. *Stress cracking* ini diakibatkan oleh kegagalan semen dalam kondisi tegang, bukan dalam kompresi. Berbanding terbalik dengan tekanan, perubahan temperatur *casing* tidak terjadi di dekat zona produksi namun terfokus di permukaan, dimana perbedaan temperatur yang signifikan dapat terjadi, misalnya temperatur permukaan yang mengalir lebih rendah dari temperatur normal panas bumi.

Stress cracking pada selubung semen umumnya tidak menjadi masalah ketika *casing* diperluas (misalnya selama temperatur permukaan yang mengalir atau selama injeksi uap) selama *crack* tidak meluas pada formasi ikatan *interface* sumur. Ketika *casing* mengendur selama pendinginan, *crack* terbuka sehingga aliran *annular* terjadi. Apabila pemompaan dengan densitas rendah, kekuatan kompresi rendah bisa dilakukan, masalah *cracking* bisa dikurangi secara praktis. (Khandka, 2007)

2.4 In-Situ Casing Repair

Teknologi terbaru saat ini adalah tambalan berbahan *non-metal* yang bersifat fleksibel, matriks komposit yang terbuat dari resin *thermosetting*, dengan *carbon fiber* sebagai *reinforced*, dan dilapisi dengan elastomer sebagai kulit luar. Teknologi ini meningkatkan *downhole* untuk berhubungan dengan *tubing* atau *casing*, kemudian panas diterapkan melalui kabel listrik untuk

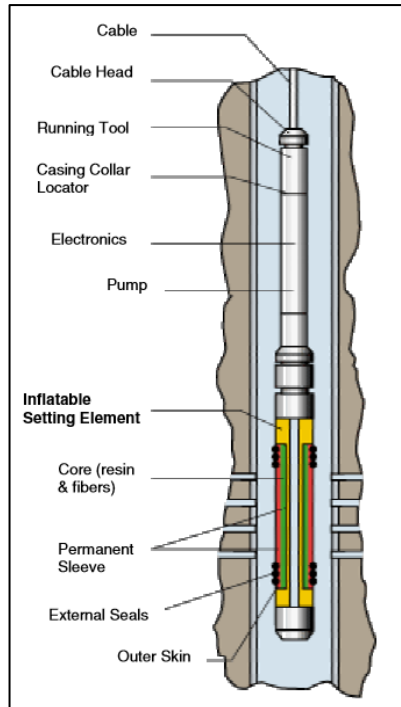


mempolimerisasi resin serta membentuk tambalan keras dan permanen. Alat yang akan dijalankan dapat dijalankan dari sumur. Bahan *patch* tahan terhadap korosi. Kemampuan untuk menyesuaikan diri dengan permukaan yang tidak beraturan, yang tanpa memberikan kerusakan lebih lanjut. Kemampuannya tahan terhadap korosi, yang hanya memberikan kerugian minimum dalam sumur, sehingga pembersihan secara maksimum tetap ada terhadap penggunaan peralatan lainnya.

Aplikasi material komposit ini, yaitu resin, *fiber*, dan elastomer yang unik karena memanfaatkan sifat resin yang mudah berubah-ubah bentuk saat melewati dinding sumur dan sesuai dengan permukaan dinding *tubing* yang ditambal, dan kekerasan serta kekuatan resin ditambah *fiber* selama polimerisasi. Ikatan *cross-link* dari resin terjadi di daerah yang ditambal, oleh karena itu terdapat *patch* yang menutupi permukaan walaupun permukaan yang ditambal bisa terkorosi dan tidak teratur bentuknya, atau korosi sumuran di satu sisi.

Patch ini terdiri dari dua bagian utama yaitu *sleeve*, yang terbuat dari elastomer, resin, dan *fiber*, yang seluruhnya diturunkan setelah terpasang, dan *inflatable setting element* (ISE) yang tersusun didalam *sleeve* dan terhubung pada alat yang akan dijalankan. Komponen ini berfungsi sebagai kantong udara, dan berisi hambatan listrik terbaru untuk memanaskan dan mempolidimerisasi resin. Alat yang dijalankan ini berisi *casing collar locator* (CCL) listrik dan dihubungkan dengan kabel. Dalam CCL, terdapat pendeteksi kebocoran berupa *gamma ray detector*.

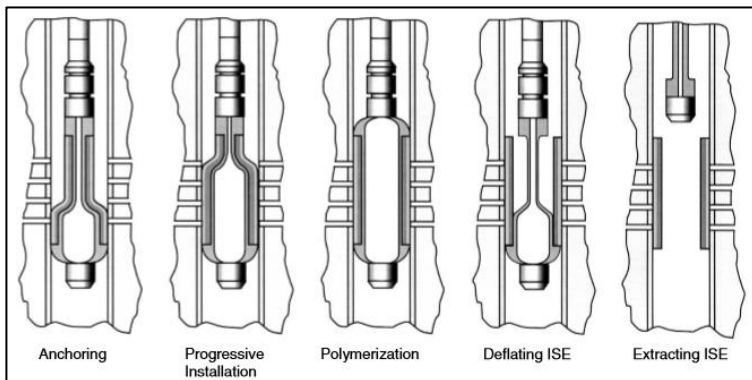
BAB II TINJAUAN PUSTAKA



Gambar 2. 1 *Inflatible Setting Element (Styler, et al., 2001)*

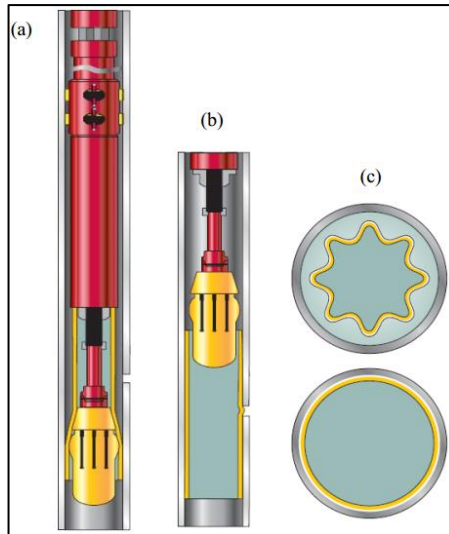
Setelah *patch* diatur dan dipolimerisasi, ISE dipisahkan dari *sleeve* dan ditarik dari sumur. Selama CCL berjalan, sinar gamma ditembakkan untuk mengetahui lokasi kebocoran. Alat ini juga berisi pompa yang berfungsi untuk mengembangkan ISE dengan cairan dalam sumur, beberapa sensor temperatur dan tekanan, serta peralatan elektronik yang dibutuhkan untuk sistem pemanas dan sistem telemetri yang digunakan memantau pengaturan alat. Pada permukaan, peralatan yang dibutuhkan terdiri dari unit kabel listrik dengan 7 kabel konduktor penyambung dan pelumas buatan dengan *injector head* minyak untuk melakukan operasi yang bertekanan. Apabila berada pada posisi yang tepat, pompa di alat tersebut diaktifkan untuk mulai memompa *patch*. Pemompaan

dimulai di bagian bawah, pelaksanaan sistem di tempat, dan berlanjut ke atas, dengan menyiram cairan sepanjang dinding *casing* sumur dan memastikan *seal* efektif sepanjang seluruh pelaksanaan *patch*. Setelah pemompaan selesai, *sleeve* bagian luar dikompres pada dinding *tubing* atau *casing* dan dijaga tekanannya, selama panas diaplikasikan untuk mempolimerisasi dan mengeraskan resin. Daya listrik diterapkan untuk hambatan listrik yang terpasang di *body* ISE dan temperatur maksimum dipertahankan sampai resin mengeras.



Gambar 2. 2 Proses Pengerjaan *Patch* (Styler, et al., 2001)

Setelah polimerisasi selesai, pompa dijalankan untuk mengempiskan ISE. Alat ditarik ke atas kemudian elastomer terpasang di bagian atas daerah yang bocor, dan ISE diangkat dari sumur, *sleeve* mengeras dan kedap terhadap air dengan permukaan yang sesuai dengan dinding *tubing* atau *casing*. *Transformer* memberikan voltase yang dibutuhkan untuk polimerisasi, dan modul daya untuk mengendalikan pengaturan melalui komputer *portable*.



Gambar 2. 3 Mekanisme Perlakuan *Patch Repair* dengan ISE,
(a) penempatan *patch* pada daerah tertentu dan terjadi pengembangan, (b) *patch* melapisi kebocoran, dan (c) tampak atas *patch* sebelum (atas) dan setelah (bawah) pengembangan.

Saat ini *patch* yang tersedia khusus untuk *tubing* 4½ inchi hingga 7 inchi. *Patch* dapat dilakukan sepanjang 65 kaki, namun dengan panjang 40 kaki lebih banyak diaplikasikan karena pertimbangan operasional, seperti perlakuan pelumasan. Hal ini diterapkan pada temperatur sekitar 60°F hingga 266°F. Untuk mengoptimalkan *patch*, resin yang berbeda diaplikasikan dengan rentang temperatur yang berbeda juga.

Awalnya teknologi ini dipahami sebagai metode untuk menutup perforasi yang tidak diinginkan dalam *casing*, *patch* ini berlaku dalam berbagai kondisi lainnya. Hingga saat ini, *patch* telah digunakan untuk:

- x Perbaikan *casing*
- x Perbaikan *tubing*
- x Penutupan air yang melalui *tubing*



- x Penutupan gas yang melalui *tubing*
- x Penyambungan *sleeve* yang bocor dalam *tubing*
- x Pengisolasian perforasi untuk memodifikasi profil injeksi air

Beberapa karakteristik yang membuat fleksibilitas *patch* adalah:

1. Ketahanan tekanan yang baik
2. Resiko kecil kehilangan diameter *tubing*
3. Kemampuan untuk menutup lubang yang besar
4. Beban kecil yang dihasilkan melawan arah lubang bor untuk mencegah kerusakan berlanjut
5. Kemampuan untuk mengatur perbedaan diameter dalam, misalnya bobot dan ukuran *casing* yang berbeda-beda.

Biaya dari teknologi *patch* dengan melakukan 2 tambalan lebih hemat 35% daripada biaya pemasangan rig. Namun adanya pengerjaan dan pengambilan ISE sebesar 25% dari biaya total pengerjaan. Apabila tidak ada biaya tambahan ini, teknologi ini menghemat biaya mencapai 51%. (Styler, et al., 2001)

2.5 Tubing

Dalam dunia perminyakan, *tubing* dikategorikan sebagai pipa yang berukuran diameter luar (OD) mulai dari 2-3/8 hingga 4 ½ inci, sedangkan *casing* dikategorikan sebagai pipa yang berukuran diameter luar (OD) lebih dari 4 ½ hingga 20 inci. *Tubing* adalah wadah mengalirnya minyak dan gas alam dari dalam sumur bor ke permukaan. *Tubing* juga berfungsi sebagai pengantar dan penggantung *lifting equipment* dan *downhole tool* serta alat-alat kerja untuk *production casing*. Berdasarkan jenis logamnya (*steel grade*), *tubing* yang umum digunakan adalah dari *grade* J-55, N-80, K-75, P-110 dan lain-lain. Namun yang sering diproses atau banyak digunakan adalah *grade* P110, N80, dan L80. (Sukandi, 2008)

Berdasarkan panjangnya, *tubing* dikategorikan menjadi tiga kelompok yaitu *Range* I dengan panjang 20 hingga 24 kaki, *Range* II dengan panjang 28 hingga 32 kaki, dan *Range* III dengan panjang 38 hingga 42 kaki. Dalam dunia industri yang paling banyak

BAB II TINJAUAN PUSTAKA



digunakan adalah *Range III*. Berdasarkan API, *tubing* dapat dibuat dengan cara *seamless* atau *electric welded*. *Seamless* adalah pembuatan *tubular goods* dengan cara memanaskan baja dan apabila dibutuhkan, proses pendinginan dapat menghasilkan bentuk, ukuran, serta kualitas yang sesuai dari hasil produksi, selama tidak terjadi proses pengelasan atau penyambungan. *Electric welded* adalah pembuatan pipa dengan pengelasan listrik atau las tahan listrik tanpa menggunakan besi tambahan. Bagian yang dilas harus dipanaskan hingga 538° atau 1000°F .

Standar internasional ini menentukan kondisi teknis pipa bor baja dalam pengeboran dan produksi minyak dan gas alam. Dalam API 5DP, *tubing* dibagi menjadi 4 grade dalam 2 kelompok. Kelompok 1 yaitu grade E dan kelompok 3 yaitu grade X, G dan S. Baja ini mengandung 1 atau lebih butiran halus yang menunjukkan unsur aluminium, kolumbium, vanadium, atau titanium dalam jumlah tertentu untuk menghasilkan baja yang memiliki ukuran butir austenit yang halus. (API, 2005)

Pipa bor ini memiliki spesifikasi yang harus sesuai dengan kandungan kimia yang telah ditentukan dalam tabel di bawah ini:

Tabel 2. 2 Persentase Massa Fosfor dan Sulfur yang Disarankan
(API, 2010)

Baja	Persentase Massa Maks. Fosfor	Persentase Massa Maks. Sulfur
Semua Kelompok Baja	0,030	0,030



Tabel 2. 3 Komposisi Kimia *Tubing* (Xua, et al., 2012)

Materials	Elements (wt.%)										
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	V	Ti	Cu
K55	0,36	0,32	1,51	0,025	0,0085	0,028	0,025	0,004	0,006	0,004	0,007
N80	0,38	0,23	1,38	0,015	0,0076	0,023	0,021	0,003	0,006	0,003	0,007
P110	0,32	0,23	1,47	0,013	0,0058	0,036	0,027	0,010	0,089	0,003	0,045
API SPEC 5CT- 2005	/	/	/	≤0,030	≤0,030	/	/	/	/	/	/

Tabel 2. 4 Sifat Mekanik *Tubing* (U.S. Steel Tubular Products, 2014)

Grade	Group 1						Group 3		
	API J55	API K55	API N80 Q	N80 HC	N80 HP	API N80 Tipe I	API P110	P110 HC	P110 HP
Min. Yield Strength (10³ psi)	55	55	80	80	95	80	110	110	125
Maks. Yield Strength (10³ psi)	80	80	110	110	110	110	140	140	140
Min. Tensile Strength (10³ psi)	75	95	100	100	105	100	125	125	130
Kekerasan Maks.	-	-	-	-	-	-	-	-	-

2.6 Minyak Mentah dan Gas Alam

Minyak memiliki tekanan sekitar 35-100 kPa selama pengeboran berlangsung, tergantung terhadap seberapa dalam pengeboran berlangsung. Temperatur minyak ketika mencapai permukaan umumnya menyesuaikan temperatur kamar sekitar rig, yaitu 37,8°C. (ASTM, 2016)

BAB II TINJAUAN PUSTAKA



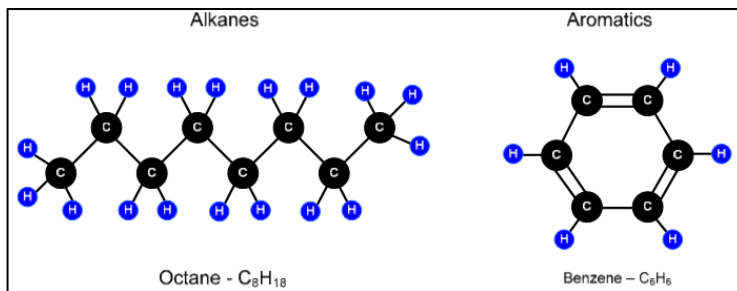
Flow rate minyak mentah selama dilakukan pengeboran memiliki *range* sebesar 1.000-1.200 barel/hari. (Styler, et al., 2001)

Tabel 2. 5 Kondisi Normal Minyak Mentah dalam *Reservoir*

Parameter	Nilai
Tekanan	35-100 kPa
Temperatur	37,8°C
<i>Flow rate</i>	1.000-1.200 barel/hari

2.6.1 Minyak Mentah

Minyak mentah adalah campuran kompleks yang berupa 200 atau lebih senyawa organik berbeda, yang didominasi oleh alkana (ikatan tunggal hidrokarbon dengan gugus C_nH_{2n+2}) dan fraksi aromatik yang lebih kecil (molekul 6 cincin seperti benzena C_6H_6). Rumus kimia minyak tanah secara umum memiliki rantai karbon – C_nH_{2n+2} .



Gambar 2. 4 Gugus Hidrokarbon (*Devold, 2013*)

Minyak mentah yang berbeda memiliki kombinasi dan konsentrasi yang berbeda dari berbagai senyawa. Minyak mentah dikategorikan untuk unsur-unsur yang tidak diinginkan seperti belerang, yang dikontrol dan perlu untuk dibuang.

Untuk minyak mentah yang mengalami analisis sifat fisik dan kimia, gravitasi *American Petroleum Institute* (API) dapat digunakan sebagai indeks kualitas minyak mentah dengan



kandungan serupa dengan rantainya secara natural terbentuk (tanpa adanya penambahan, pemalsuan, pencampuran, dan lainnya). Apabila minyak mentah dengan jenis dan kualitas yang berbeda dicampur, atau apabila berbagai komponen minyak bumi dicampur, gravitasi API tidak dapat digunakan untuk hal lain daripada menghitung densitasnya.

Walaupun minyak mentah ringan dengan derajat gravitasi API 40 hingga 45 dianggap sebagai minyak mentah terbaik, minyak mentah yang lebih ringan (46 derajat API ke atas) umumnya tidak lebih baik untuk jenis *refinery*. Minyak mentah yang lebih ringan dari 40-45 derajat API, terdiri dari rantai molekul yang lebih pendek, yang berarti jumlah karbon lebih sedikit. Hal ini menunjukkan dengan jumlah kandungan molekul karbon yang sedikit sebagai bahan bakar bernilai oktan tinggi, yang sebagian besar dimaksimalkan oleh perusahaan dengan disuling. Apabila minyak mentah lebih berat dari 35 derajat API, minyak ini mengandung rantai molekul yang lebih panjang dan lebih besar yang tidak berguna sebagai bahan bakar bernilai oktan tinggi dan solar tanpa proses lebih lanjut. (Devold, 2013)

2.6.2 Gas Alam

Gas alam yang dihasilkan dan digunakan oleh konsumen saat ini adalah metana. Gas alam dapat ditemukan di titik *wellhead*, walaupun masih tersusun dari metana yang belum murni. Gas alam mentah berasal dari campuran tiga jenis sumur, yaitu dari sumur minyak, sumur gas, dan sumur *condensate*.

Gas alam berasal dari sumur minyak umumnya disebut *associated gas*. Gas ini secara terpisah berada dalam formasi minyak sebagai gas bebas, atau terlarut dalam minyak mentah (*dissolved gas*). Gas alam yang berasal dari sumur gas dan *condensate* hanya mengandung sedikit bahkan tidak ada minyak mentah, disebut *non-associated gas*.

Sumur gas biasanya hanya menghasilkan gas alam mentah. Sedangkan sumur *condensate* menghasilkan gas alam bebas



dengan *condensate* hidrokarbon semi cair. Darimanapun sumber gas alam, apabila ada yang terpisah dari minyak mentah, biasanya gas alam terdapat dalam campuran hidrokarbon lain, terutama pada etana, propana, butana, dan pentana. Selain itu, gas alam mentah mengandung uap air, hidrogen sulfida (H_2S), CO_2 , helium, nitrogen, dan senyawa lainnya. (Devold, 2013)

2.6.3 *Condensate*

Gas alam harus dimurnikan dari etana, propana, butana, dan pentana, walaupun bukan merupakan produk limbah. Kumpulan hidrokarbon tersebut dikenal sebagai *Natural Gas Liquid* (NGL), yang merupakan produk bernilai tinggi dalam pengolahan gas alam. NGL terdiri dari etana, propana, butana, iso-butana, dan bensin alami. Hidrokarbon ini dijual terpisah dan memiliki berbagai manfaat yang berbeda, yaitu sebagai bahan baku kilang minyak atau pabrik petrokimia, sebagai sumber energi, dan untuk meningkatkan perbaikan kualitas minyak di sumur minyak. *Condensate* ini berguna sebagai pengencer untuk minyak mentah berat. (Devold, 2013)

2.7 *Polyacrylamide*

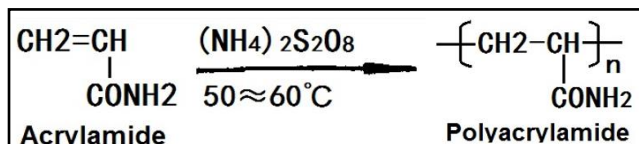
Polyacrylamide adalah polimer dengan monomer *acrylamide* berwujud padat seperti kaca pada temperatur kamar. Dikarenakan adanya perbedaan dalam metode pembuatannya, *polyacrylamide* yang dihasilkan dapat berupa *powder* berwarna putih. Polimer ini memiliki densitas sebesar $1,302 \text{ g/cm}^3$ (23°C) dengan temperatur transisi gelas 153°C dan temperatur *softening* 210°C . *Polyacrylamide* memiliki stabilitas thermal yang baik dan dapat larut dalam air. Pada umumnya *polyacrylamide* tidak larut dalam pelarut organik selain asam asetat, asam akrilat, etilen glikol, gliserol, dan formamida.

Polyacrylamide merupakan polimer yang dapat larut dalam air dengan rantai golongan amida yang terdapat pada molekulnya. Golongan amida memiliki aktivitas kimia tinggi yang dapat



membentuk rangkaian turunan dengan berbagai jenis senyawa. *Polyacrylamide* dapat mengakibatkan flokulasi, pengentalan, *drag reduction*, adesif, stabilisasi koloid, pembentukan lapisan tipis (film), dan mencegah kerak. *Polyacrylamide* banyak digunakan pada pembuatan kertas, pertambangan, pemurnian batubara, metalurgi, pengeboran minyak, dan sektor industri lain serta merupakan bahan kimia yang penting untuk pengolahan air.

Polyacrylamide (PAM) merupakan polimer berbahan dasar *acrylamide* yang memiliki rantai *crosslink*. Walaupun *acrylamide* mengandung racun, *Polyacrylamide* aman digunakan. Namun *acrylamide* yang tidak dipolimerisasikan dapat timbul di dalam *acrylamide* yang telah dipolimerisasi. Oleh karena itu, material ini direkomendasikan untuk digunakan dengan meninjau beberapa peringatan. Dalam rantai *cross-link*, material ini memiliki kemampuan menyerap air yang tinggi, berbentuk gel yang lembut yang dapat digunakan dalam pembuatan *soft contact lense*. Dalam rantai linear, material ini digunakan sebagai penebal dan agen pensuspensi.



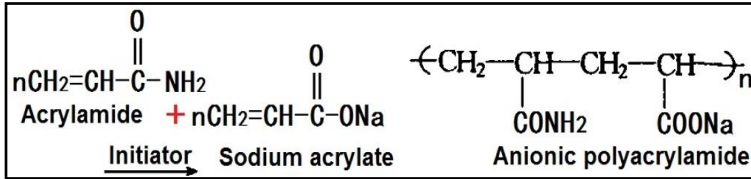
Gambar 2. 5 Sintesis *Polyacrylamide* (Chemical Book, 2017)

Salah satu manfaat *Polyacrylamide* yang banyak digunakan adalah agen pengflokulasi atau pengkoagulasi tanah menjadi cair. Proses ini diaplikasikan pada air, dan mirip seperti pembuatan kertas. Banyak *Polyacrylamide* disuplai dalam bentuk cair. Cairan yang dimaksud dikategorikan ke dalam larutan polimer dan emulsi. *Polyacrylamide* sebenarnya merupakan *copolymer acrylamide* dan memiliki satu atau lebih spesies kimia lain. Material ini merupakan polimer yang dimodifikasi dengan beberapa sifat material ionik. Anion *Polyacrylamide* banyak digunakan sebagai pengkondisi tanah di lahan pertanian dan pengendali erosi pada lahan konstruksi

BAB II TINJAUAN PUSTAKA



agar menjaga kualitas aliran air dan sungai sekitarnya. Namun kation dari PAM dianggap beracun.



Gambar 2. 6 Sintesis Anion *Polyacrylamide* (Chemical Book, 2017)

Tabel 2. 6 Sifat Material *Polyacrylamide* (Chemical Book, 2017)

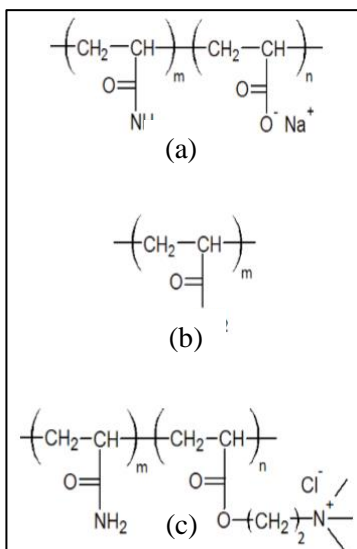
Sifat Material	Nilai
Rumus Kimia	$\text{C}_3\text{H}_5\text{NO}$
Titik Lebur	$>300^\circ\text{C}$
Densitas	1,189 g/mL (pada temperatur kamar)
Kelarutan terhadap Air	Larut
Kestabilan	Stabil namun tidak sesuai dengan agen pengoksidasi kuat, aluminium, tembaga, besi, dan garam besi.

Polyacrylamide relatif stabil pada kondisi panas dengan kepadatannya semakin lembut teksturnya pada temperatur 220-230°C dan larutannya menurunkan degradasi yang signifikan hanya pada temperatur di atas 110°C. *Polyacrylamide* tidak larut dengan benzena, toluena, xilena, bensin, minyak tanah, solar, namun larut dalam air. *Polyacrylamide* dapat bereaksi dengan basa yang sebagian menghidrolisis *Polyacrylamide*. Material ini akan bereaksi amidase dengan asam kuat ber-pH kurang dari sama dengan 2,5 yang akan mengurangi kelarutannya dalam air. Material ini berantai *cross-link* dengan ion kompleks poli-nuklir yang terbentuk antara aldehida (seperti formaldehida) dan logam (seperti aluminium, krom, zirkonium, dan lainnya) dan mudah untuk didegradasi oleh oksigen. Dalam bidang eksploitasi, material ini



utamanya digunakan sebagai agen penyedotan minyak, agen penahan air, agen pengendali profil, penebal, agen pelicin, dan agen pengolahan air.

Polyacrylamide memiliki sifat higroskopis sedang, apabila tidak kontak dengan temperatur tinggi, bubuk *Polyacrylamide* dapat disimpan dalam jangka waktu yang lama. Cairan *Polyacrylamide* memiliki konsentrasi lebih besar dari 17%, dan dapat disimpan untuk beberapa tahun tanpa perubahan signifikan pada viskositas kelarutannya. Pada pH 3 hingga 9, material ini bertahan pada stabilitas yang baik. Sedangkan pada pH tinggi, viskositas akan meningkat secara bertahap. Viskositas larutan *Polyacrylamide* sebanding dengan berat molekulnya. Namun semakin tinggi temperaturnya, viskositasnya semakin rendah. (Chemical Book, 2017)



Gambar 2. 7 Jenis Rantai *Polyacrylamide*, (a) Anion *Polyacrylamide*, (b) Netral *Polyacrylamide*, dan (c) Kation *Polyacrylamide* (*Polymer Database*, 2015)

BAB II TINJAUAN PUSTAKA



2.8 Terjadinya Distribusi Thermal, Distorsi, dan Deformasi

Perpindahan panas transien adalah fenomena penting pada proses pemanasan atau pendinginan material di bidang metalurgi. Terdapat tiga jenis perpindahan panas yang terjadi yaitu konduksi pada material, konveksi dan/atau radiasi dari permukaan material menuju sekeliling atau sebaliknya. Konveksi dan radiasi thermal sangat menentukan fluks panas yang melalui material tersebut. Jenis perpindahan panas ini tergantung pada fenomena apa yang paling mendominasi, yaitu dapat secara radiasi thermal murni atau konveksi murni atau bahkan kombinasi konveksi dan radiasi thermal. Sama halnya dengan konveksi dapat berupa konveksi bebas (*free convection*) atau konveksi dipaksakan (*forced convection*) tergantung pada proses yang terjadi. (Geankoplis, 1987)

Zat padat menghantarkan energi thermal melalui getaran kisi (*lattice vibration*) atau melalui elektron bebas. Energi berpindah sebagai energi getaran dalam kisi. Namun, secara umum perpindahan energi melalui getaran ini tidak sebanyak seperti melalui elektron. Nilai konduktivitas material menunjukkan laju perpindahan panas yang mengalir dalam material tersebut. Konduktivitas thermal material ditinjau dari fungsi temperatur, apabila temperatur bertambah tinggi dengan selisih temperatur awal dan akhir kecil, maka sering kali nilainya diabaikan. Apabila nilai konduktivitas thermal (k) suatu material semakin besar, maka semakin besar panas yang mengalir melalui material tersebut, dan hal ini menunjukkan bahwa material tersebut sebagai penghantar panas yang baik (konduktor). (Holman, 1983)

Fluida panas yang mengalir di permukaan padat, maka tenaga berpindah dari dinding permukaan menuju fluida secara merambat. Proses perpindahan tenaga ini adalah perpindahan panas secara konveksi. Berbagai parameter mempengaruhi perpindahan kalor konveksi di dalam sebuah geometri khusus. Parameter tersebut adalah panjang sistem (L), konduktivitas thermal fluida (k), kecepatan fluida (v), densitas (ρ), viskositas (μ), panas jenis (C_p), dan beberapa factor lain yang berhubungan



dengan mekanisme pemanasan (temperatur dinding uniform atau temperatur dinding berubah-ubah). (Stoecker & Jones, 1982)

Pada proses deformasi material, regangan yang terjadi akan menghasilkan tegangan sisa. Tegangan sisa menyebabkan distorsi pada susunan fasa secara mikro pada material. Deformasi material ini merupakan deformasi yang tidak homogen. Hal ini adanya perlakuan panas yang tidak homogen dan laju panas yang terlalu cepat dapat menyebabkan tegangan dalam pada material. (Prabowo, 2010)

Tegangan thermal diperoleh dari adanya perubahan temperatur yang terjadi dalam suatu material selama selang waktu tertentu. Tegangan thermal disebabkan oleh perlakuan pendinginan cepat, karena sepanjang luar material lebih cepat mengalami perubahan temperatur daripada di dalam material. (Callister, 2009)

2.9 Aliran Laminar dan Turbulens dalam Pipa

Dalam menemui kasus aliran internal, hal yang terpenting untuk mengetahui perluasan daerah masuk, yang tergantung pada aliran laminar atau turbulens. Bilangan Reynolds dalam aliran sirkular didefinisikan sebagai:

$$4A_{1/2} L \frac{\rho \bar{v}}{\mu} \dots \dots \dots (2.1)$$

Dimana:

Q_a = kecepatan rata-rata fluida di atas penampang melintang
& = diameter tabung

Dalam aliran penuh, bilangan Reynolds kritis yang sesuai dengan turbulens adalah:

$$4A_{1/2} N t \ddot{a}rr \dots \dots \dots (2.2)$$

Meskipun bilangan Reynolds yang jauh lebih besar ($Re_D=10.000$) dibutuhkan untuk mencapai kondisi turbulens



penuh. Transisi ke turbulens cenderung dimulai pada *boundary layer* daerah masuk.

Untuk aliran laminar ($Re_D=2.300$), panjang masuk hidrodinamik diperoleh dari bentuk,

$$\frac{4A_{1/2}}{D} \approx 4A_{1/2} \dots \dots \dots (2.3)$$

Bentuk ini berdasarkan pada anggapan bahwa fluida memasuki *tube* dari nosel bulat yang konvergen dan oleh karena itu dicirikan oleh profil kecepatan yang hampir seragam di daerah masuk. Meskipun tidak ada persamaan umum yang memuaskan untuk panjang masuk arus turbulens, kita mengetahui bahwa bilangan independennya kira-kira bebas dari bilangan Reynolds dan bahwa, sebagai perkiraan pada rumus sebelumnya:

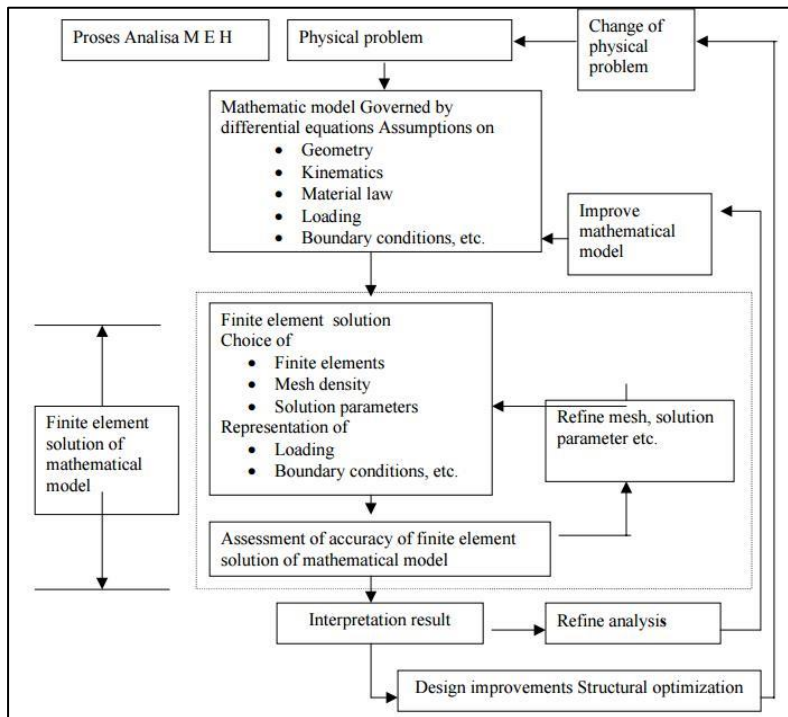
$$Q \approx \frac{4A_{1/2}}{D} \dots \dots \dots (2.4)$$

Jadi diperoleh asumsi aliran turbulens penuh yaitu $x/D > 10$ (Incropera & Dewitt, 2011)

2.10 Metode Elemen Hingga dan Program ANSYS

Metode elemen hingga atau *finite element method* (FEM) memiliki manfaat lebih dalam kemampuannya untuk menangani proses perpindahan panas dengan geometri yang berubah-ubah dan media yang berbeda (non-homogen). FEM numerik digunakan untuk memecahkan masalah dan kode komersial ANSYS yang digunakan untuk melakukan solusi numerik perpindahan panas sementara di lubang bor. ANSYS diakui di seluruh dunia sebagai salah satu program yang paling banyak digunakan dan kemampuan lainnya dalam menemukan solusi daripada jenis program lainnya. ANSYS terus diverifikasi oleh pengembangnya (Swanson Analysis Systems, Inc.) karena kemampuan baru selalu ditambahkan ke program ini. Input data untuk analisis ANSYS dipreparasi menggunakan *preprocessor*. *Preprocessor* (PREP7) umumnya berisi permodelan *solid* yang tepat, dan kemampuan

menurunkan *mesh*, serta digunakan untuk menentukan analisis data lainnya (sifat geometris, bilangan asli, sifat material, beban, dan lainnya). Hasil analisis dievaluasi dengan menggunakan *postprocessor*, yang mampu untuk menampilkan geometri, kontur tegangan dan regangan yang mengalami distorsi, aliran, kontur *safety factor*, kontur hasil medan potensial (panas, kelistrikan, kemagnetan), bidang vektor yang menampilkan ke dalam bentuk dan grafik riwayat waktu. (Esen, et al., 2009)



Gambar 2. 8 Prosedur Penggunaan Metode Elemen Hingga
(Hendrizal & Djunaidi, 2013)

Metode elemen hingga merupakan metode numerik berbasis komputasi untuk memecahkan permasalahan dalam bidang



engineering. Geometri akan dibagi menjadi elemen-elemen yang lebih kecil dimana masing-masing elemen *node* yang digunakan untuk mewakili nilai variabel (contohnya temperatur, tegangan, dan perpindahan panas) yang membawahi elemen fungsi interpolasi (disebut juga fungsi aproksimasi). Persamaan matriks dalam metode ini menjabarkan sifat-sifat setiap elemen. Hal tersebut ditentukan dengan menggunakan pendekatan langsung dan pendekatan variasional. Setiap persamaan matriks digabungkan untuk menentukan persamaan sistem secara keseluruhan.

Nilai nodal dari variabel yang ada dimasukkan pada sistem persamaan. Nilai nodal yang tidak diketahui dari masalah akan diperoleh dengan menyelesaikan persamaan sistem. Masalah teknik yang umum ditangani oleh metode elemen hingga antara lain adalah struktural, thermal, aliran fluida, listrik, magnet, kebisingan akustik, dan sebagainya. (Hendrizal & Djunaidi, 2013)

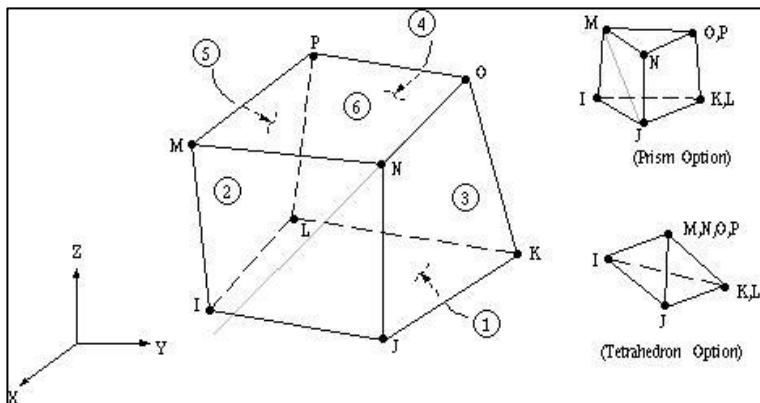
ANSYS merupakan salah satu *software* berbasis metode elemen hingga yang dapat menganalisis distribusi tegangan, temperatur, elektromagnetik, dan sebagainya. ANSYS APDL adalah salah satu jenis ANSYS *parametric design language* dan dapat digunakan untuk membangun model dengan parameter tertentu (ANSYS HELP, 2009).

Element Solid Brick 70 memiliki model tiga dimensi untuk kemampuan konduksi termal. Elemen pada *Solid 70* ini terdapat 8 *node* dengan *degree of freedom* pada masing-masing *node*. Elemen ini dapat diaplikasikan pada bentuk tiga dimensi, *steady state*, atau analisis *thermal transient*. Elemen ini juga dapat digunakan untuk mengimbangi *mass transport heat flow* dengan menggunakan kecepatan yang konstan. Apabila model yang ada mengandung unsur padat, maka dilakukan analisis secara struktural dan elemen harus diganti dengan elemen struktural. Secara umum, *Solid Brick 70* dibagi menjadi dua pilihan, yaitu:

1. (KEYOPT(7)=1) untuk aliran poros non-linier. Untuk pilihan ini, temperatur ditafsirkan sebagai tekanan dan permeabilitas dari media yang dijadikan inputan dengan *material*

propertiesnya KXX, KYY, dan KZZ. Kemudian DENS dan VISC digunakan untuk *mass density* dan viskositas dari fluida. Kondisi batas untuk temperatur dimasukkan dengan *D command* yang ditafsirkan sebagai kondisi batas tekanan, sedangkan untuk kondisi batas aliran panas dimasukkan dengan *F command* yang ditafsirkan sebagai laju aliran massa/waktu.

- (KEYOPT(8)) digunakan untuk pilihan *mass transport*. Dengan pilihan ini kecepatan VX, VY, dan VZ harus dimasukkan sebagai konstanta nyata. Dengan *mass transport*, harus dispesifikasikan sebagai *specific heat* (C) dan massa jenis (DENS) dari suatu material, bukan entalpinya (ENTH) (ANSYS HELP, 2009)



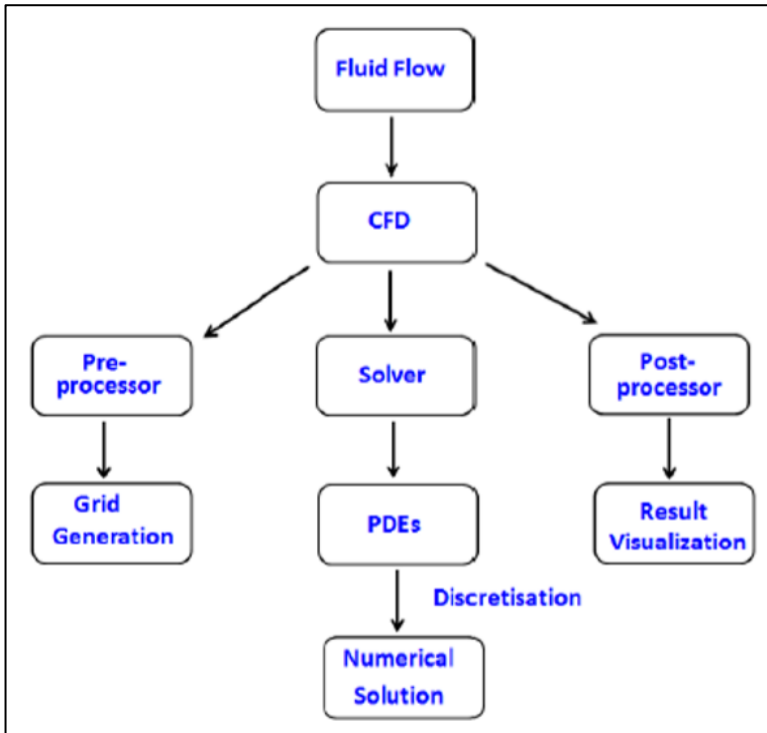
Gambar 2. 9 Element Solid Brick 70 (ANSYS HELP, 2009)

2.11 Computational Fluid Dynamic dengan Basis Finite Volume Methods

Analisis fluida secara umum dapat dilakukan dengan tiga metode, yaitu eksperimental, teoretis dan Numerik (Rahmania, 2017). Computational fluid dynamics (CFD) adalah metode numerik dalam mempelajari aliran fluida beserta fenomena transfer yang terjadi dengan bantuan simulasi komputer. Dengan



pendekatan FEM/FVM, algoritma terkait dinamika fluida diubah menjadi algoritma umum yang dapat diselesaikan. Proses pengubahan tersebut disebut dengan discretization. Untuk kemudahan akses, kode CFD dikemas dalam perangkat lunak komersial yang lebih bersifat *user-friendly* seperti diilustrasikan oleh Gambar 2.10 berikut:



Gambar 2. 10 Kode-Kode Analisis Numerik yang Digunakan dalam CFD (Patel, 2010)

Kode-kode dalam CFD tersebut dikelompokkan menjadi tiga fungsi seperti berikut:

1. *Pre-Processor*



Fungsi ini berfungsi sebagai platform untuk memasukkan data awal terkait permasalahan fluida yang ingin dianalisis. Data-data tersebut antara lain:

- x *Computational Domain*: Geometri Objek
- x *Spatial Discretization*: Disebut juga meshing, yang mana membagi geometri objek menjadi sejumlah subdomain yang kemudian akan dikalkulasi di setiap bagiannya.
- x Properti *fluid* dan *solid*
- x *Boundary Condition*

2. Solver

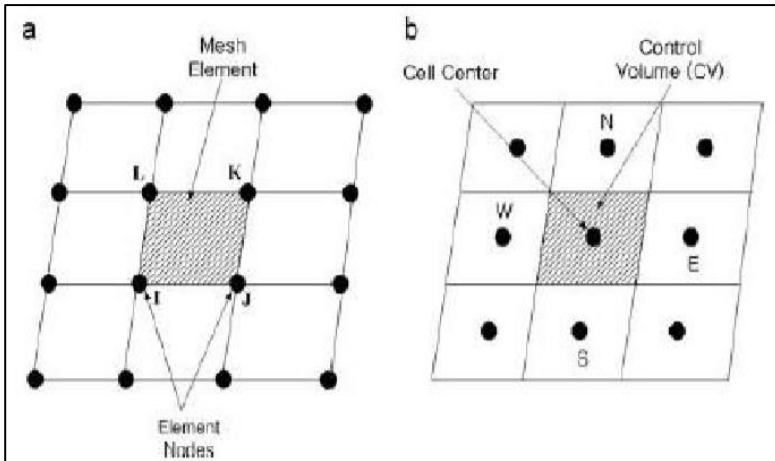
Solver berperan dalam menyelesaikan permasalahan fluida yang sebelumnya berbentuk *partial differential equation* (PDE) yang sulit diselesaikan komputer menjadi persamaan umum dengan metode *equation discretization*. *Solver* sendiri memiliki dua metode numerik dalam proses *solving*, yaitu *Finite Element Method* dan *Finite Volume Method*.

Pendekatan *Finite Element Method* adalah dengan menyatakan *Grid System* sebagai kumpulan elemen-elemen kecil dan nodes di dalam elemen tersebut dinyatakan sebagai domain komputasi. PDE diselesaikan menggunakan interpolasi dan integrasi dengan menggunakan metode *weighted residual* untuk meminimalisir kesalahan dalam proses komputasi. Hasilnya berupa suatu sistem persamaan aljabar dengan *unknown variables* di setiap elemen.

Dalam *Finite Volume Method*, *grid system* dinyatakan dalam sebuah *control volume*. Di dalam pusat kontrol volume tersebut terdapat satu node yang dijadikan sebagai domain komputasi utama. PDE diselesaikan dengan integrasi langsung secara volumetric dari masing-masing kontrol volume, sehingga dihasilkan satu sistem persamaan aljabar beserta *unknown variable* di setiap kontrol volume

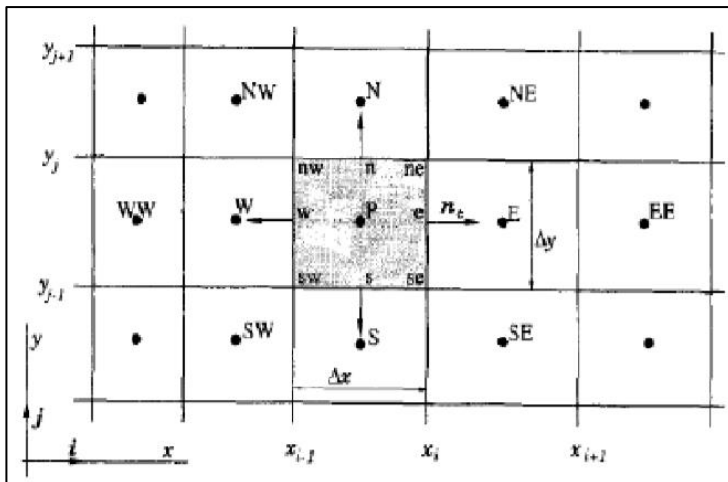
Perbedaan keduanya diilustrasikan oleh Gambar 2.11 sebagai berikut:

BAB II TINJAUAN PUSTAKA



Gambar 2. 11 Perbedaan Metode Analisis (a) FEM dan; (b) FVM
(Jeong & Seong, 2014)

Umumnya, untuk CFD, metode yang umum digunakan adalah FVM. Contoh aplikasi analisa dinamika fluida yang menggunakan prinsip FVM adalah *ANSYS Fluent*. Integrasi langsung dengan domain volumetrik lebih mudah dan efisien dan prinsip hukum konservasi lebih mudah untuk dilakukan. Ciri khas FVM untuk analisis CFD adalah integrasi langsung persamaan konservasi. Gambar 2.12 berikut menunjukkan ilustrasi *control volume* di dalam koordinat kartesian. Satu kotak melambangkan sebuah CV, yang disebut dengan *cell*. Garis-garis yang membatasi antar cell disebut dengan *face*. Titik hitam yang berada di tengah CV adalah nodal yang dijadikan sebagai pusat kalkulasi.



Gambar 2. 12 Ilustrasi Kontrol Volume Sebagai Basis Analisis dalam FVM (Ferziger & Peric, 2002)

Persamaan integrasi di masing-masing nodal CV kemudian diaproksimasikan untuk mendapatkan sistem aljabar dengan *unknown variables*-nya. Terdapat dua cara aproksimasi, yaitu *surface integral* dengan mengaproksimasikan setiap *face* dalam satu *cell* sebagai fungsi *node* CV dan *Volume Integral* dengan mengaproksimasikan satu volume secara keseluruhan. Setelah itu dilakukan proses interpolasi untuk mengkorelasikan data di dalam nodal CV dan nodal *face*. Terdapat tiga skema umum untuk proses interpolasi, yaitu *Upwind Interpolation* (UDS), *Linear Interpolation* (CDS), *Quadratic Upwind Interpolation* (QUICK), dan *Higher Order Scheme*. UDS akurat mulai dari orde satu, namun apabila *meshing* terlalu besar memiliki kecenderungan *error*. CDS memiliki keunggulan untuk kalkulasi orde kedua. QUICK menggunakan tiga titik untuk interpolasi menggunakan persamaan hiperbola, sehingga mulai akurat dari orde ketiga.

Higher Order Scheme mulai akurat untuk persamaan orde ketiga dan lebih. Skema tersebut dipilih dalam kalkulasi sesuai dengan kondisi fisis untuk mendapat *error* seminimal mungkin



tanpa membebani proses komputasi. Untuk CFD berbasis FVM, persamaan konservasi massa dan konservasi momentum adalah persamaan yang juga berkaitan dengan fenomena fisis tertentu dalam fluida dan dapat dinyatakan dalam bentuk vektor (Ferziger & Peric, 2002). Persamaannya adalah sebagai berikut:

$$\frac{\partial}{\partial t} \rho \mathbf{U} + \nabla \cdot (\rho \mathbf{U} \mathbf{U}) = \rho \mathbf{g} + \mathbf{S} \quad (2.1)$$

$$\nabla \cdot (\rho \mathbf{U}) = 0 \quad (2.2)$$

Dimana:

- \mathbf{U} = vektor kecepatan
- \mathbf{S} = *Source Term* untuk perintah tambahan
- p = tekanan statis
- $\boldsymbol{\tau}$ = tensor, sesuai dengan hukum viskositas Newton
- \mathbf{C} = gaya gravitasi
- \mathbf{F} = gaya eksternal

Persamaan di atas tersebut berlaku valid untuk kondisi fluida *compressible* maupun *incompressible* selama fluida termasuk kategori *Newtonian fluids*, yang mana gaya tensor untuk transfer momentumnya dinyatakan sebagai berikut:

$$\boldsymbol{\tau} = \mu \nabla \left(\nabla \cdot \mathbf{u} + \frac{2}{3} \nabla \cdot \mathbf{u} \right) \quad (2.3)$$

Dimana:

- μ = viskositas fluida
- \mathbf{u} dan \mathbf{v} = kecepatan dalam koordinat *Cartesian*

3. Post-Processing

Fungsi dari *post-processing* adalah untuk visualisasi hasil kalkulasi dalam beragam bentuk seperti kontur, vektor, grafik,



animasi dan sebagainya setelah dilakukan proses *setting* dan simulasi. (Ferziger & Peric, 2002)

BAB II TINJAUAN PUSTAKA



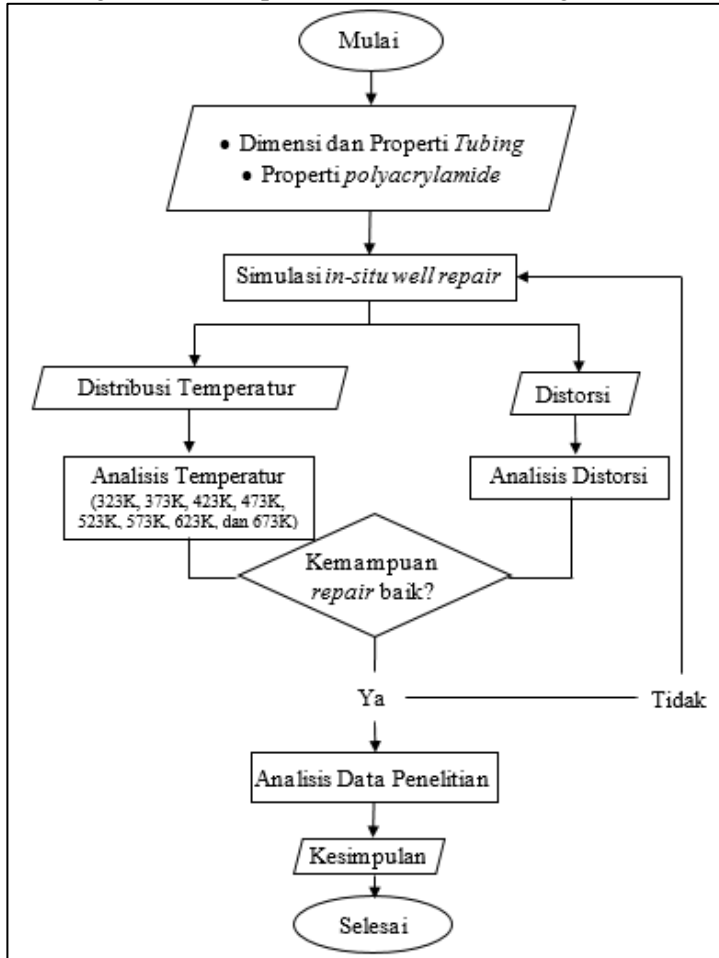
(Halaman ini sengaja dikosongkan)



BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Metode Penelitian

Diagram alir dari penelitian ini adalah sebagai berikut:



Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian



3.2 Spesifikasi Material dan Variasi Temperatur

3.2.1 Material Tubing

Pada penelitian, material yang disimulasikan adalah *tubing* dengan *grade* N80. N80 adalah salah satu jenis baja karbon yang hanya memiliki sedikit unsur paduan. N80 memiliki spesifikasi sebagai berikut:

Tabel 3. 1 Komposisi Kimia Tubing N80 (Xua, et al., 2012)

Elements (wt %)	Materials	K55	N80	P110	API Spec 5CT-2005
	C	0,36	0,38	0,32	/
	Si	0,32	0,23	0,23	/
	Mn	1,51	1,38	1,47	/
	P	0,025	0,015	0,013	≤0,030
	S	0,0085	0,0076	0,0058	≤0,030
	Cr	0,028	0,023	0,036	/
	Mo	0,025	0,021	0,027	/
	Ni	0,004	0,003	0,010	/
	V	0,006	0,006	0,089	/
	Ti	0,004	0,003	0,003	/
Cu	0,007	0,007	0,045	/	

Tabel 3. 2 Spesifikasi Material Tubing N80 (API, 2005)

Material Specifications	Value
<i>Density</i>	8.030 kg/m ³
<i>Min. Yield Strength</i>	552 MPa
<i>Max. Yield Strength</i>	758 MPa
<i>Min. Tensile Strength</i>	689 MPa
<i>Max. Hardness</i>	-
<i>Total Elongation under Load (%)</i>	0,500
<i>Young Modulus</i>	207.000 MPa
<i>Spesific Heat</i>	502,48 J/kg.K
<i>Thermal Conductivity</i>	16,27 W/m.K
<i>Heat Transfer Coefficient</i>	150 W/m ² .K



Laporan Tugas Akhir
Departemen Teknik Material FTI-ITS

Material Specifications	Value
<i>OD</i>	4,5 inch
<i>Wall Thickness</i>	0,271 inch
<i>Length</i>	18 feet

Dalam penelitian ini, *polyacrylamide* digunakan sebagai material *patch repair* dengan sifat mekanik sebagai berikut:

Tabel 3. 3 Sifat Material *Polyacrylamide* (*Chemical Book, 2017*)

Material Specifications	Value
<i>Density</i>	1189 kg/m ³
<i>Young Modulus</i>	7111 Pa
<i>PoiVVRQW5DWLR</i>	0,48
<i>Specific Heat</i>	3810 J/kg.K
<i>Thermal Conductivity</i>	0,56 W/m.K
<i>Molar Cohesive Energy</i>	39.800 J/mol

Selain itu terdapat sifat dari material fluida yang digunakan dalam penelitian ini, yaitu:

Tabel 3. 4 Sifat Minyak Mentah dan Gas Alam

Minyak Mentah	
Material Specifications	Value
<i>Density</i>	960 kg/m ³
<i>Spesific Heat</i>	1.880 J/kg.K
<i>Thermal Conductivity</i>	0,12 W/m.K
<i>Viscosity</i>	0,048 kg/m.s
<i>Molecular Weight</i>	258,19 kg/kmol
<i>Flow Rate</i>	1.050 barrels/day
Gas Alam	
Material Specifications	Value
<i>Density</i>	0,6679 kg/m ³
<i>Standard State Enthalpy</i>	-7,489518e+007 J/kmol
<i>Thermal Conductivity</i>	0,0332 W/m.K

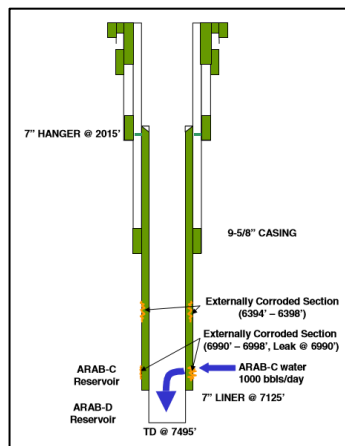
BAB III METODELOGI PENELITIAN



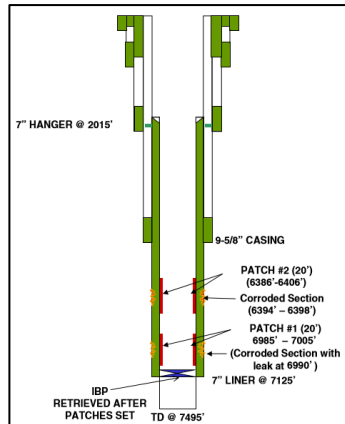
<i>Viscosity</i>	1,087e-005 kg/m.s
<i>Molecular Weight</i>	16,04303 kg/kmol

3.2.2 Geometri Tubing

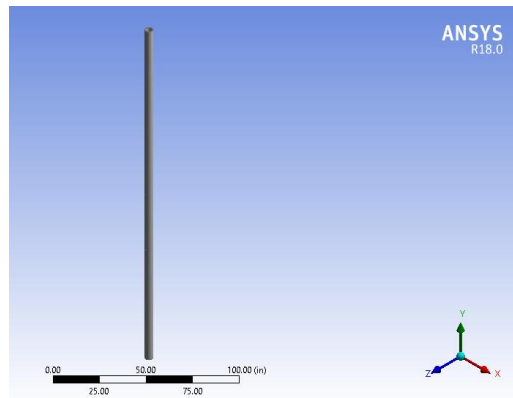
Geometri yang digunakan pada penelitian ini adalah *tubing* N80 dengan permukaan berlubang sebanyak 5 buah. Masing-masing lubang memiliki diameter sebesar 0,15 inci. Posisi lubang pada *tubing* N80 yaitu 3 lubang berada di permukaan bawah berdasarkan tampak depan, dan 2 lubang berada di permukaan atas berdasarkan tampak belakang. Antarlubang memiliki jarak sebesar 36 inci. Skema geometri *tubing* yang akan disimulasikan adalah sebagai berikut:



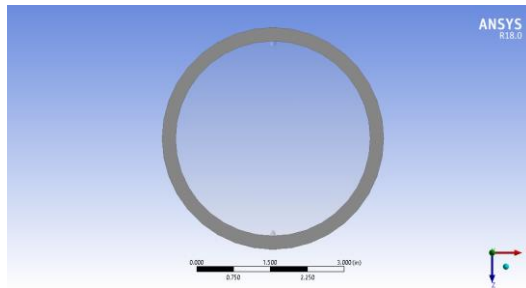
Gambar 3. 2 Skema Geometri Tubing Sebelum Repair (Styler, et al., 2001)



Gambar 3. 3 Skema Geometri *Tubing* Sesudah *Repair* (Styler, et al., 2001)

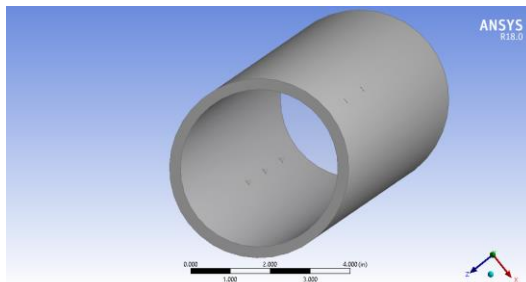


(a)

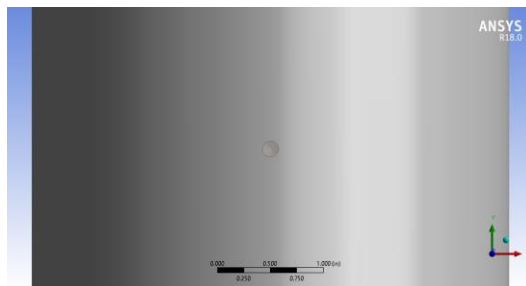


(b)

Gambar 3. 4 Geometri *Tubing* N80 (a) Tampak Depan, dan (b) Tampak Atas



Gambar 3. 5 Geometri Horizontal *Tubing* N80



Gambar 3. 6 Geometri Patch pada *Tubing* N80



3.2.3 Variabel Penelitian

Variabel yang digunakan pada penelitian ini terdapat dua jenis variabel, yaitu:

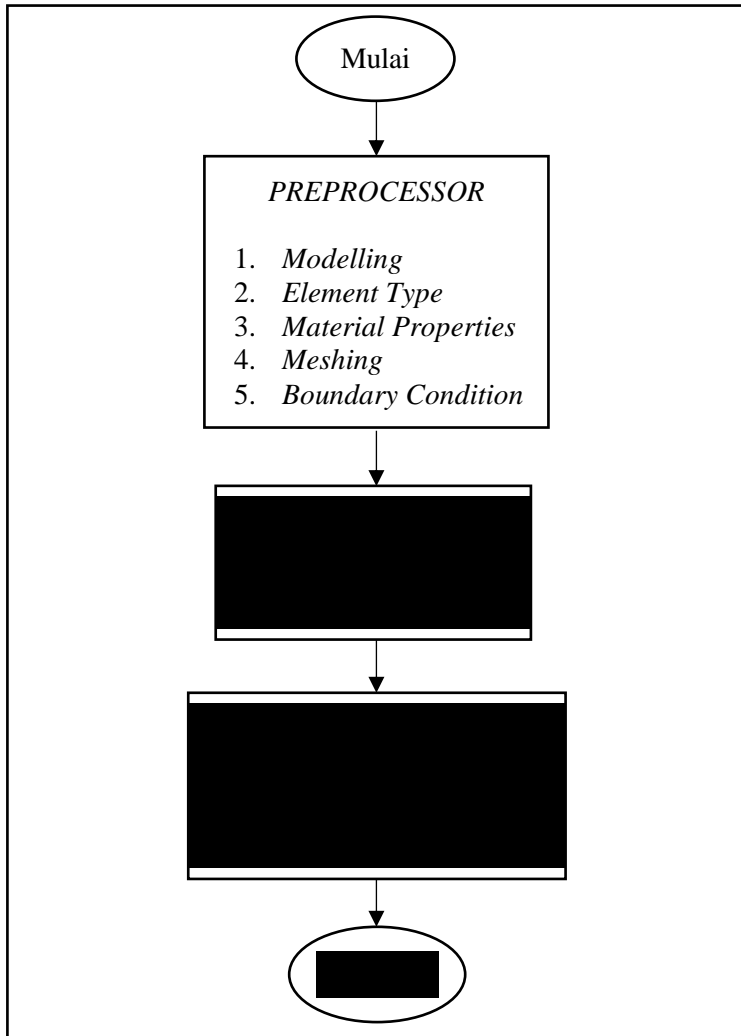
1. Variabel Terikat: variabel terikat penelitian ini antara lain bentuk geometri, jenis, diameter, panjang, dan tebal *tubing*.
2. Variabel Bebas: variabel bebas penelitian ini adalah variasi temperatur (323 K, 373 K, 423 K, 473 K, 523 K, 573 K, 623 K, dan 673 K).

3.3 Peralatan

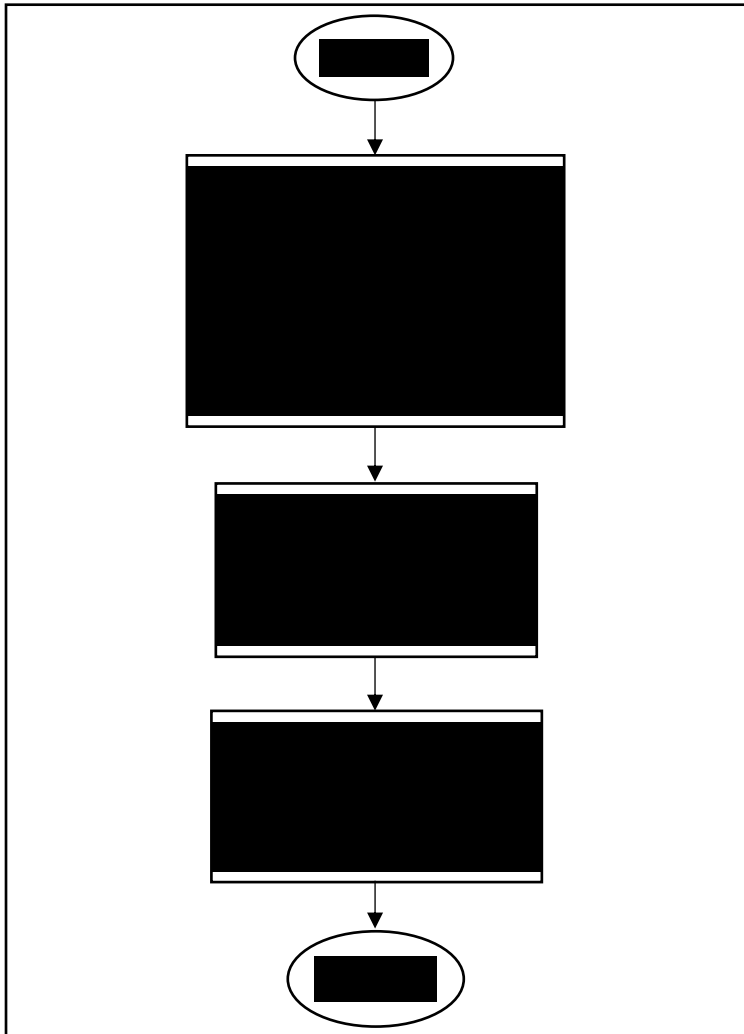
Peralatan yang digunakan dalam penelitian berupa perangkat lunak (*software*) berbasis elemen hingga yaitu *ANSYS Workbench Release 18.0* dengan modul *Fluent* dan *Transient Structural* yang digunakan untuk membuat permodelan geometri dan memodelkan simulasi *in-situ well repair* dengan menggunakan material *Polyacrylamide*.

3.4 Prosedur Penelitian

Prosedur yang dilakukan pada penelitian tugas akhir ini yaitu tercantum pada Gambar 3.7, melakukan permodelan dengan menggunakan perangkat lunak (*software*) ANSYS, yaitu sebagai berikut:



Gambar 3. 7 Diagram Alir Permodelan *Thermal Distribution* dalam Analisis *Fluent*

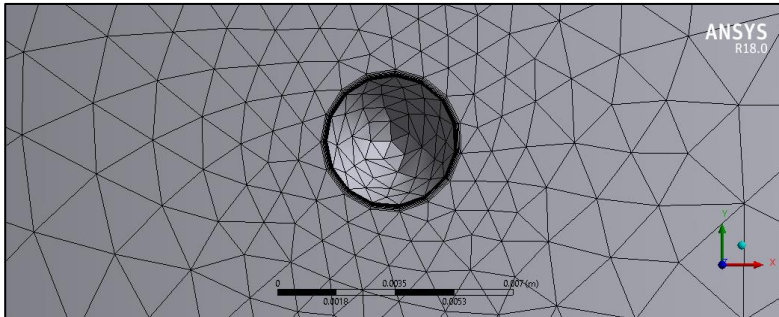


Gambar 3. 8 Diagram Alir Permodelan Deformasi dalam Analisis Struktural

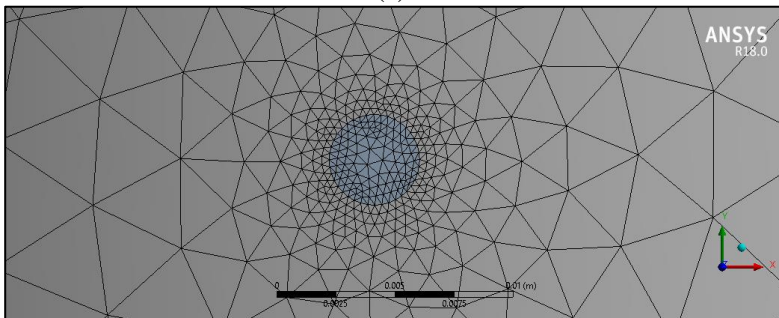


3.4.1 Meshing

Meshing yang digunakan pada simulasi ini menggunakan metode *free mesh* dengan elemen segitiga dan *smartsizes* 0,01 inci untuk *structural tubing* N80 dan *patch*. Pengaturan *meshing* dilakukan dengan menambahkan *inflation* dengan *total thickness* sebanyak 10 layer agar *meshing* antara *tubing* dengan *patch* terhubung dan lebih halus pada *interface* keduanya. Elemen segitiga dipilih karena memperoleh konvergensi dan menyesuaikan dengan kondisi *meshing* dengan ukuran yang cukup halus. Ukuran *meshing* diperhalus dengan bantuan pilihan *refinement*.

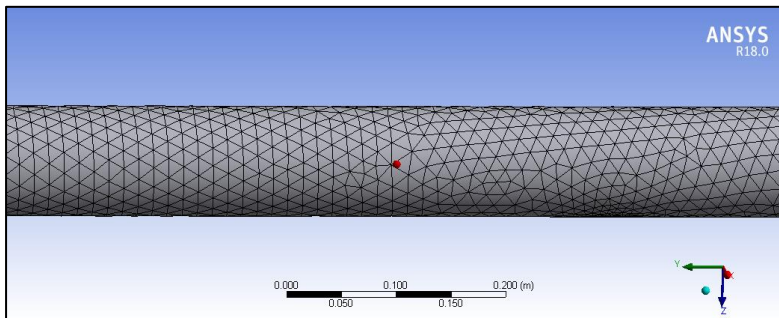


(a)

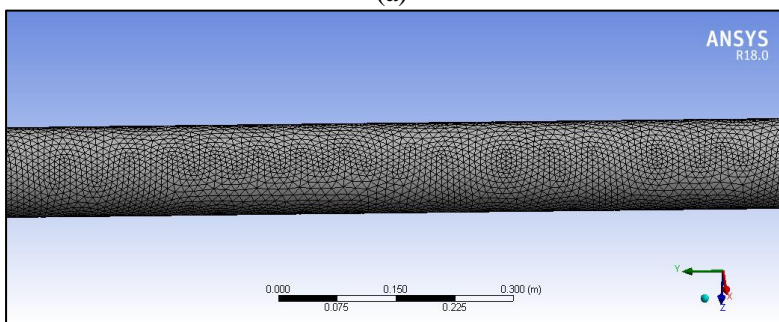


(b)

Gambar 3. 9 Detail *Meshing* pada *Patch* terhadap (a) Fluida dan (b) Struktural



(a)

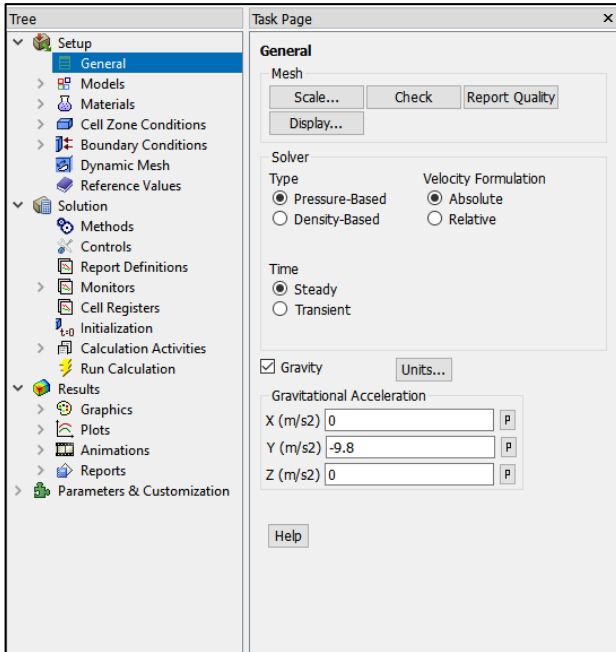


(b)

Gambar 3. 10 Detail *Meshing* pada *Tubing* terhadap (a) Fluida dan (b) Struktural

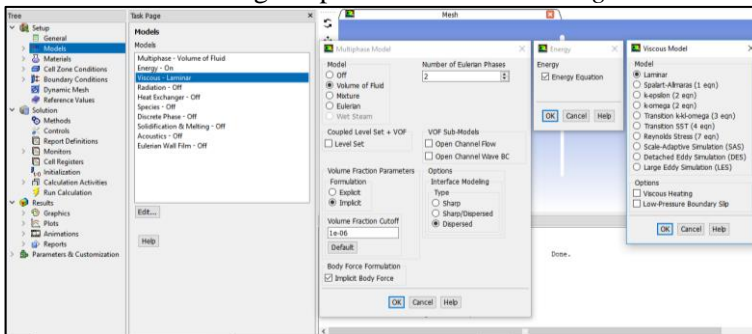
3.4.2 Permodelan *Fluent Tubing N80*

Dalam melakukan simulasi permodelan *tubing* N80, langkah pertama yang dilakukan adalah menentukan *General Setup* yaitu tipe pembebanan yang digunakan berdasarkan tekanan dan tidak bergantung pada waktu. Kecepatan fluida yang mengalir adalah absolut. Percepatan gravitasi bumi yang digunakan adalah $9,8 \text{ m/s}^2$. Nilai minus menunjukkan arah percepatan menjauhi pusat bumi.



Gambar 3. 11 Pengaturan Umum untuk Analisis *Fluent*

Pada *Setup* selanjutnya, simulasi ini menggunakan model fluida *multiphase* dengan tipe *volume of fluid*, energy diaktifkan, dan *viscous* fluida dengan tipe laminar dalam *tubing*.



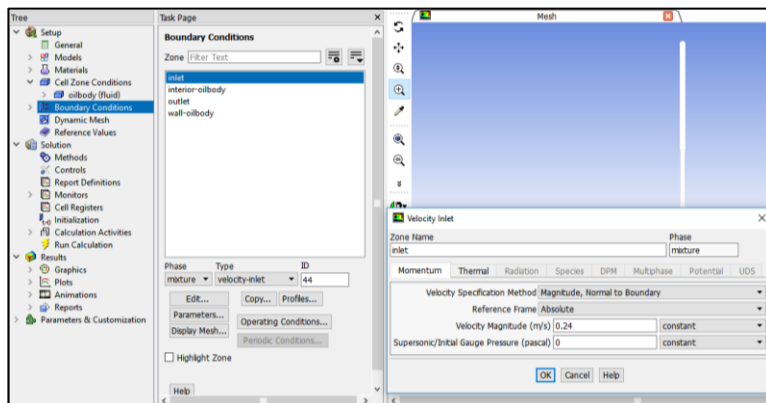
Gambar 3. 12 Pengaturan Model Fluida

BAB III METODELOGI PENELITIAN

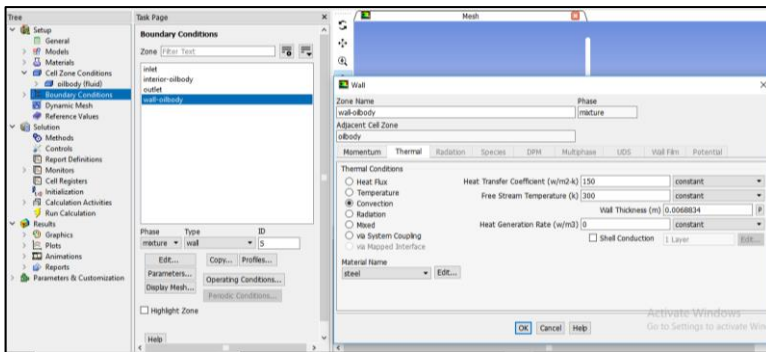


Material properties dapat diatur dalam menu *setup* ini, dengan menginput data dari Tabel 3.2 dan 3.3 sebagai *solid material* serta 3.4 sebagai *fluid material*.

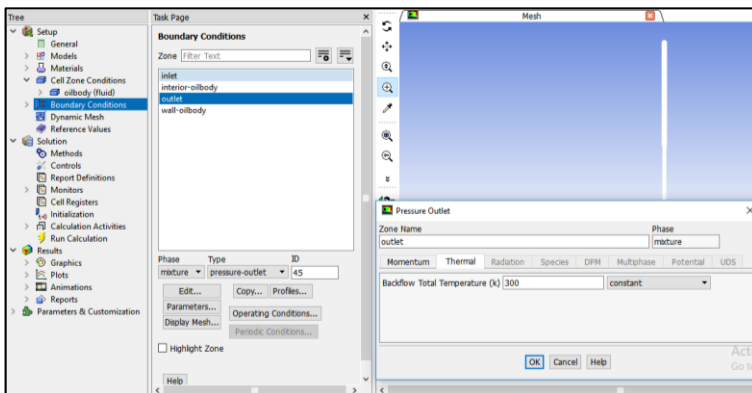
Setup dari *Cell Zone Conditions* dan *Boundary Conditions* disesuaikan dengan hasil *meshing* pada prosedur sebelumnya. Pada *inlet*, diatur dengan tipe *velocity-inlet* dan terdapat kondisi operasi berupa kecepatan 0,24 m/s (konstan) serta temperatur dalam tabulasi *Thermal* diinput sesuai dengan variabel bebas yang akan dianalisis. Sedangkan pada pengaturan nama *interior* menyesuaikan prosedur *meshing* sebelumnya. Pada *outlet*, simulasi ini diatur dengan tipe *pressure-outlet*. Kondisi *wall* diatur pada tabulasi *thermal* dengan nama material sebagai baja dengan nilai koefisien transfer panas sebesar 150 W/m².K dan ketebalan *tubing* sebesar 0,271 inchi. *Dynamic Mesh* dan *Reference Values* dalam simulasi ini adalah pengaturan *default*.



Gambar 3. 13 Pengaturan *Boundary Conditions* pada *Inlet*



Gambar 3. 14 Pengaturan *Boundary Conditions* pada *Wall-oilbody*

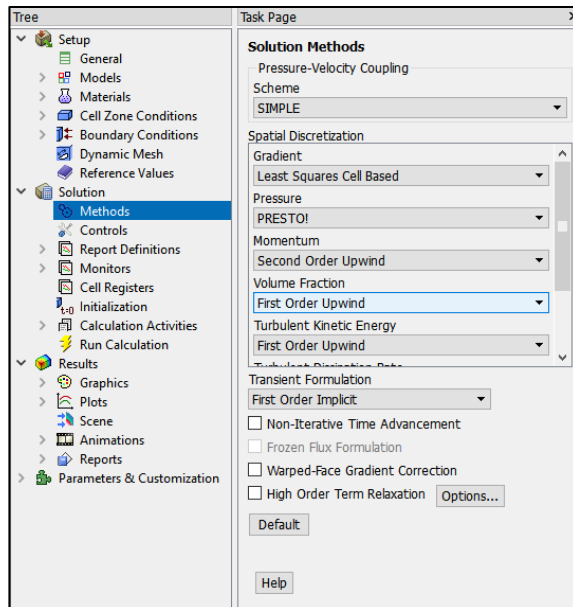


Gambar 3. 15 Pengaturan *Boundary Conditions* pada *Outlet*

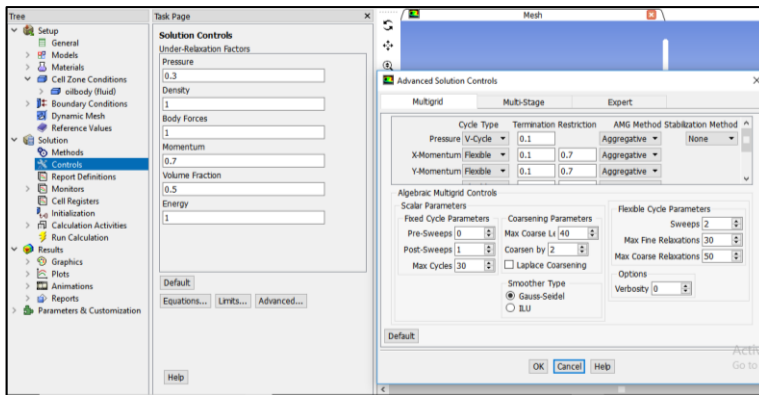
Pada pengaturan *Solution*, metode analisis yang digunakan adalah pengaturan *default* dengan *scheme* berupa SIMPLE. Tabulasi *controls* juga diatur *default*. Pengaturan tabulasi *report definitions*, *monitors*, dan *cell registers* dibiarkan secara *default*. Pada tabulasi *initialization*, metode yang digunakan adalah *standard initialization* dengan *reference frame* berupa *relative to cell zone*. *Initial values* yang harus diatur adalah *Y-velocity* sebesar 0,24 m/s dan temperatur sesuai dengan variabel yang akan



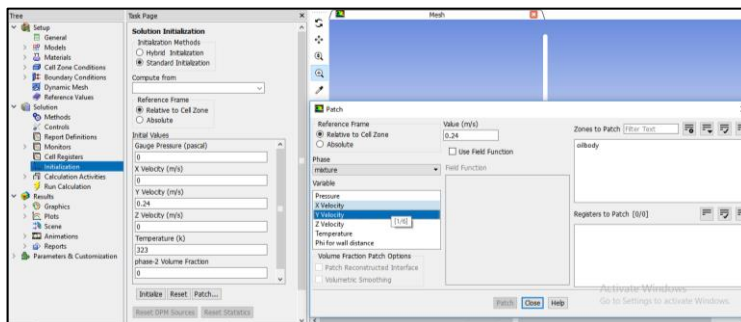
dianalisis, sedangkan untuk *gauge pressure*, *X-velocity*, *Z-velocity*, dan *phase-2 volume fraction* diatur *default* sebesar 0 (nol). Setelah di *initialize*, langkah selanjutnya adalah melakukan *patch* pada *Y-velocity* sebesar 0,24 m/s dan temperatur sebesar variabel bebas yang akan dianalisis juga. Setelah diatur sesuai dengan hal di atas, maka dihitung hasil akhirnya dengan iterasi 1000 agar terbentuk konvergensi dalam simulasi ini.



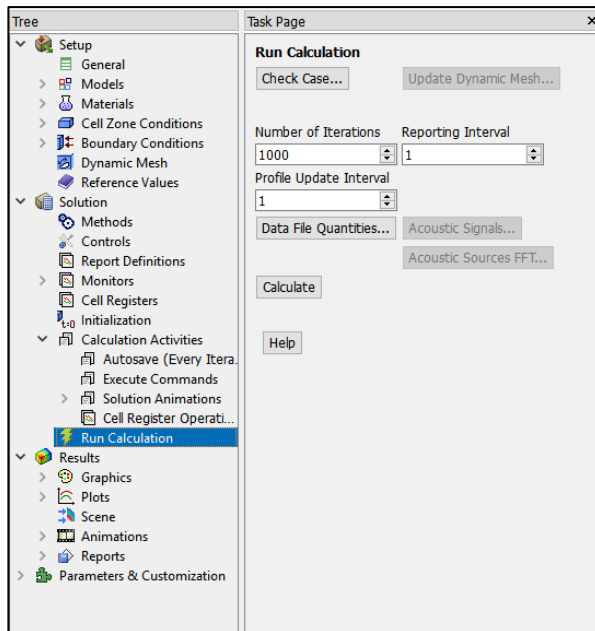
Gambar 3. 16 Pengaturan Tabulasi *Methods*



Gambar 3. 17 Pengaturan Tabulasi *Controls*



Gambar 3. 18 Pengaturan Tabulasi *Initialization*



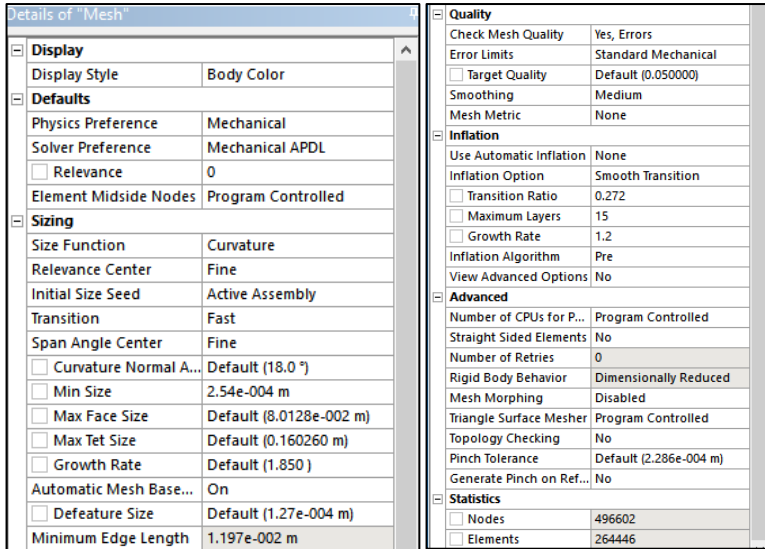
Gambar 3. 19 Pengaturan Tabulasi *Calculation*

3.4.3 Permodelan *Thermal Tubing N80*

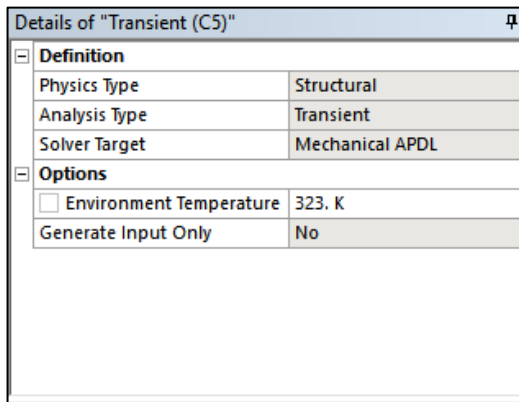
Setelah melakukan analisis *fluent*, dapat dilakukan analisis *thermal* pada struktur *tubing N80*. Modul yang digunakan adalah *transient structural* dengan melakukan sistem *coupling* dari analisis *fluent*. Dalam analisis ini, pengaturan yang harus dilakukan yang pertama adalah *meshing* diperhalus dengan menggunakan *refinement* pada *tubing*, setelah itu *meshing* yang dilakukan pada analisis ini menggunakan fungsi *curvature* dengan kehalusan *meshing* sedang dengan menggunakan ukuran minimal *meshing* sebesar 0,01 inchi pada tabulasi *span angle center*. Agar pada geometri *patch* terbentuk *meshing* yang halus, maka tabulasi *inflation* diatur dengan menggunakan *smooth transition* dengan maksimal sebanyak 15 layer.



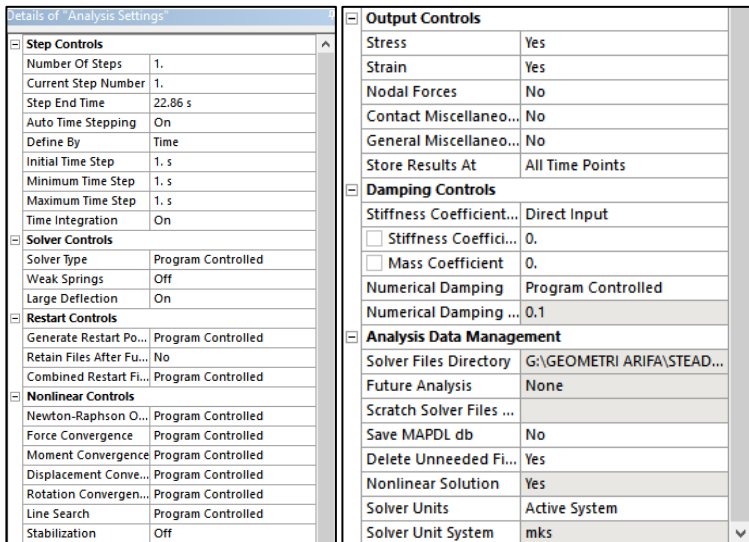
Pada tabulasi *transient*, temperatur lingkungan di sekitar *tubing* sebesar variabel yang akan dianalisis. *Analysis setting* pada simulasi ini menggunakan *step end time* sebesar 22,86 detik.



Gambar 3. 20 Detail Pengaturan *Meshing*



Gambar 3. 21 Detail Pengaturan Kondisi Lingkungan



Gambar 3. 22 Detail Pengaturan Tipe Analisis

3.4.4 Tipe Pembebanan

Setelah dilakukan *meshing*, selanjutnya diberikan pembebanan untuk simulasi berupa pembebanan thermal secara konveksi antara fluida dengan structural *tubing*. Pembebanan pertama yang diberikan yaitu konveksi pada seluruh permukaan dalam dinding *tubing* dimana panas berasal dari fluida minyak mentah dengan temperatur yang berbeda, minyak mentah memanaskan permukaan dalam *tubing* dan *patch* yang mengalir di dalam dinding *tubing*. Sepanjang permukaan luar dinding *tubing* memiliki temperatur lingkungan seperti dengan temperatur fluida. Hal ini diasumsikan bahwa posisi *tubing* masih berada di bawah permukaan tanah dan terpengaruh oleh panas fluida dan *tubing*. Pada ujung pipa bagian atas temperatur lingkungan mencapai titik 300K sebagai temperatur kamar pada simulasi ini.



3.4.5 Tipe Analisis

Pada proses analisis thermal, analisis yang digunakan menggunakan analisis *steady state* karena beban yang diberikan merupakan beban statis. Selain itu, analisis tegangan *Von Mises* dan deformasi digunakan untuk menganalisis ada tidaknya pelepasan tegangan sebagai penunjuk distribusi thermal yang baik.

3.5 Langkah Penelitian

Studi ini dibutuhkan beberapa tahap yaitu:

1. Pengumpulan data dan studi literatur
Pada tahapan ini data-data berupa ukuran geometri *tubing* yang umum digunakan oleh industri migas dan *material properties* minyak mentah yang mengalir pada *tubing*, dikumpulkan untuk selanjutnya diolah pada simulasi.
2. Pembuatan Geometri
Tahapan yang selanjutnya adalah pembuatan geometri *tubing* N80.
3. Pemodelan dengan Software
Tahapan ketiga pada penelitian ini adalah pemodelan dengan menggunakan *software Workbench ANSYS Release 18.0*. Berdasarkan sub-bab 3.4.4 bahwa pada penelitian ini yang dilakukan adalah analisis thermal dan deformasi yang terbentuk, sehingga pembebanan yang diberikan pada geometri yang sudah dibuat adalah pembebanan thermal *fluent* dan *structural* berupa konveksi, *uniform temperature* serta *reference temperatur*.
4. Analisis Perpindahan Panas
Kemudian dari hasil pembebanan thermal pada fluida, akan menimbulkan respon berupa distribusi temperatur yang berbeda pada area *tubing* dan *patch* maupun fluida itu sendiri. Selain itu, respon yang ditunjukkan dapat berupa distribusi perpindahan panas per satuan area. Dari kedua respon inilah yang dapat dianalisis untuk menentukan temperatur fluida minyak mentah dan daya lekat *patch*.
5. Analisis Data Penelitian



Setelah hasil dari simulasi dapat dikatakan sesuai, maka metode ini dapat dilakukan untuk berbagai temperatur lainnya. Sehingga yang selanjutnya akan dianalisis adalah deformasi yang terbentuk akibat perpindahan panas.

6. Kesimpulan

Kemudian tahapan terakhir adalah penarikan kesimpulan berdasarkan hasil dari analisis data pada penelitian kali ini. Kesimpulan akan diperoleh berdasarkan tujuan yang ada pada subbab 1.4. Dan penelitian pun dapat dikatakan selesai setelah itu.



(Halaman ini sengaja dikosongkan)



BAB IV ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN

4.1 Analisis Hasil

Penelitian simulasi ini diasumsikan kondisi fluida berupa campuran minyak mentah dan gas alam yang mengalir sepanjang *tubing* N80 sesuai dengan spesifikasi masing-masing pada bab sebelumnya. Simulasi ini menggunakan fluida yang bekerja dalam kondisi *steady state*. Kecepatan fluida ini sebesar 0,24 m/s dan diberikan temperatur dengan variabel yang berbeda. Variasi ini dilakukan untuk mengetahui temperatur *tubing* terhadap kemampuan *patch repair Polyacrylamide* dan menganalisis temperatur optimum *tubing* yang paling tepat untuk dilakukan *patch repair* menggunakan *Polyacrylamide*. Analisis distribusi thermal pada penelitian ini dilakukan dengan cara mengamati perubahan temperatur fluida, *displacement patch* dan *tubing*, serta *von mises stress* pada saat fluida mengalir.

Permodelan analisis distribusi thermal dan deformasi ini dimulai dengan membuat desain *tubing*. Lalu *tubing* diberikan fluida berupa minyak mentah. Setelah melakukan pengaturan pada *software* yang digunakan, maka proses *solving* dilakukan. Hasil yang didapat dari simulasi *fluent analysis* adalah distribusi thermal fluida pada dinding *patch*. Hasil ini belum memperlihatkan deformasi yang terjadi pada pipa, karena *output* dari simulasi ini hanya analisis pada fluida. Untuk mendapatkan deformasi pada *tubing* dan *patch*, maka dilakukan analisis terhadap struktural dengan distribusi panas secara konveksi. Perbedaan temperatur awal dari *tubing* dan *patch* terhadap fluida inilah penyebab terjadinya defomasi. Hasil yang didapatkan dari simulasi *fluent* dibandingkan dengan hasil simulasi struktural secara keseluruhan meliputi kemampuan lekat *patch* pada *tubing*.

4.1.1 Analisis Data Modul *Fluent*

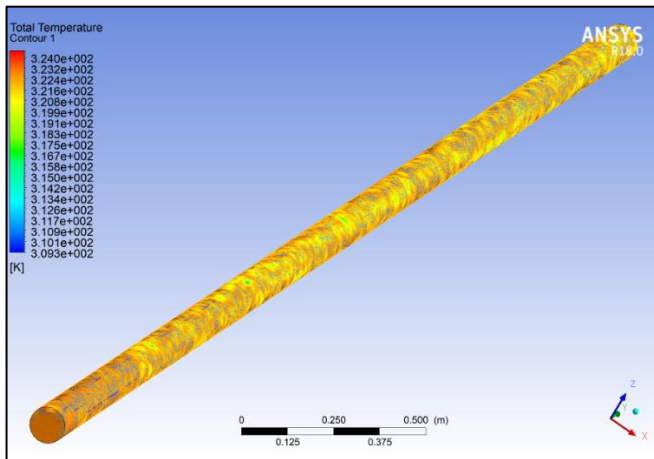
Analisis simulasi dengan modul *fluent* ini dilakukan untuk mengetahui distribusi thermal dan temperatur *loss* selama fluida



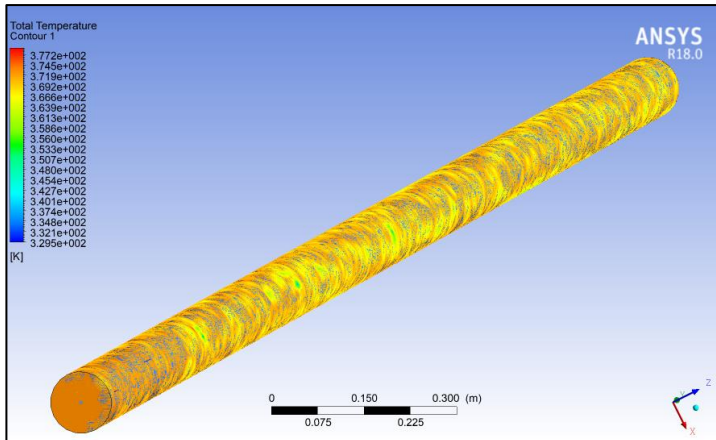
mengalir. Dalam simulasi ini fluida mengalir secara laminar dengan kondisi *steady state* dan tidak ada *slip* dengan dinding *tubing*. Fluida yang mengalir berupa minyak mentah dengan gas alam. Berikut merupakan hasil simulasi *fluent* pada masing-masing kondisi operasi *inlet* dengan temperatur masing-masing.

4.1.1.1 Tubing N80

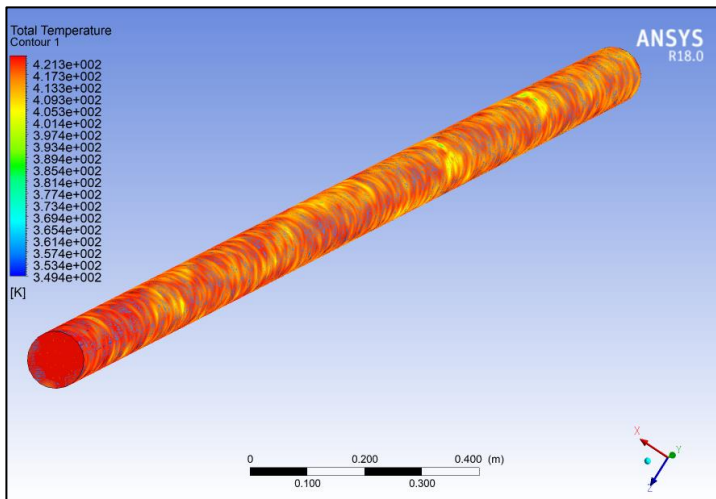
Secara keseluruhan pada masing-masing gambar, dapat dilihat distribusi temperatur dari *inlet* menuju *outlet* merata. Pada titik *outlet*, masing-masing variabel mengalami temperatur *loss*. Temperatur *loss* tertinggi terjadi pada kondisi temperatur 673 K dengan temperatur *outlet* sebesar 663.063 K.



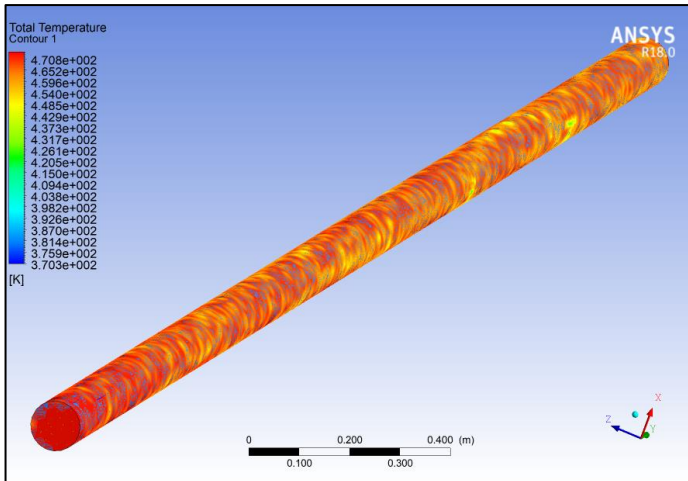
Gambar 4. 1 Penampang Horizontal Fluida dengan Temperatur *Inlet* 323 K



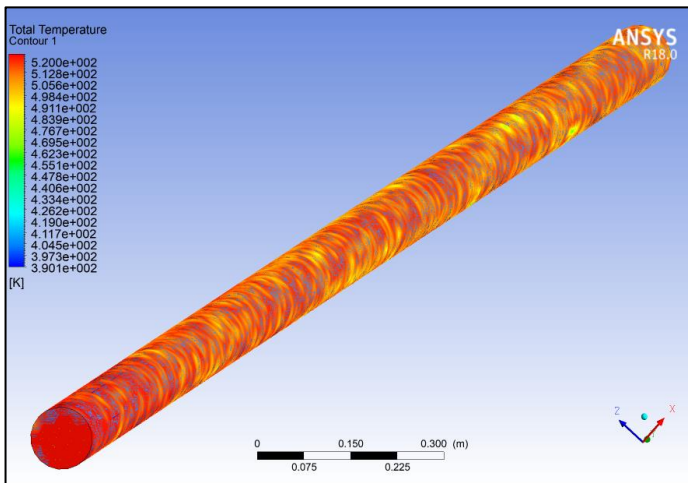
Gambar 4. 2 Distribusi Temperatur Fluida dengan Temperatur *Inlet* 373 K



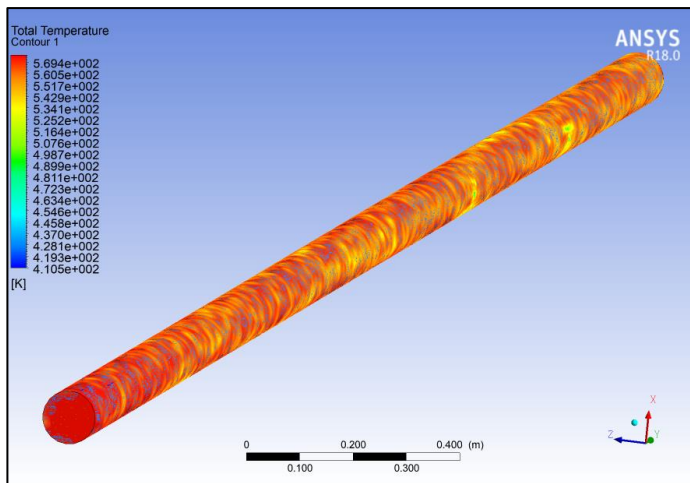
Gambar 4. 3 Distribusi Temperatur Fluida dengan Temperatur *Inlet* 423 K



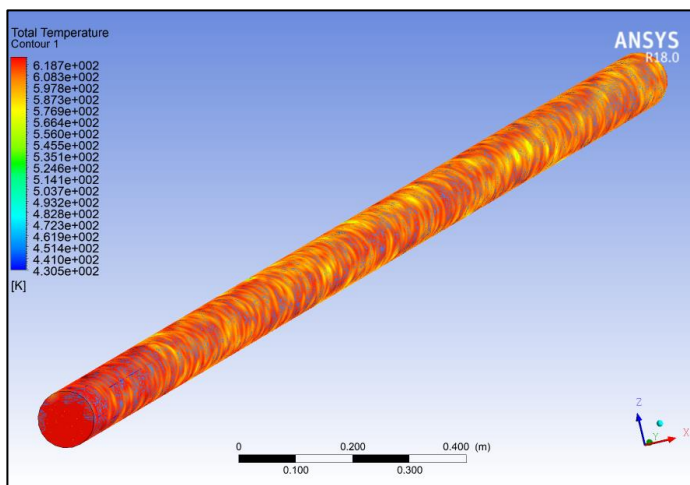
Gambar 4. 4 Distribusi Temperatur Fluida dengan Temperatur
Inlet 473 K



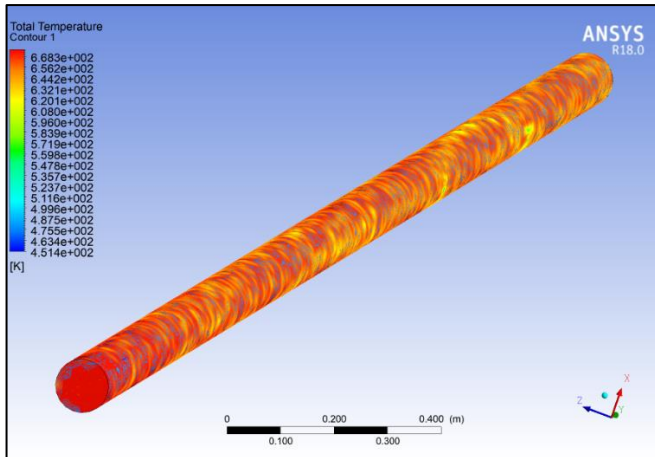
Gambar 4. 5 Distribusi Temperatur Fluida dengan Temperatur
Inlet 523 K



Gambar 4. 6 Distribusi Temperatur Fluida dengan Temperatur
Inlet 573 K



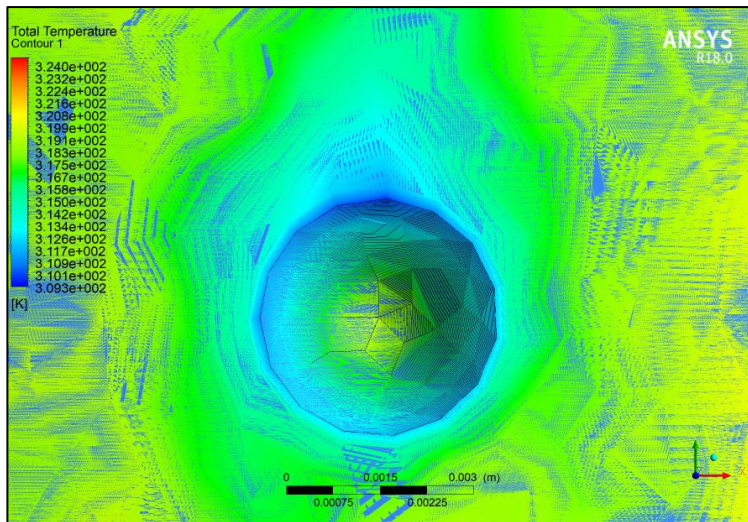
Gambar 4. 7 Distribusi Temperatur Fluida dengan Temperatur
Inlet 623 K



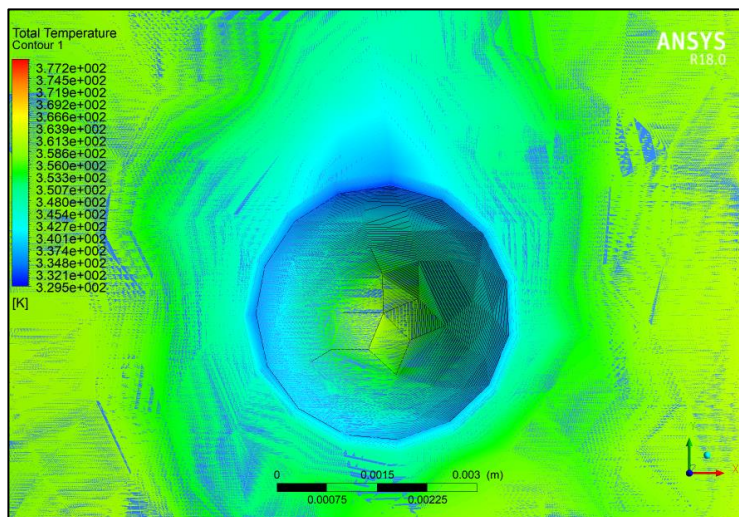
Gambar 4. 8 Distribusi Temperatur Fluida dengan Temperatur Inlet 673 K

4.1.1.2 Patch Pertama

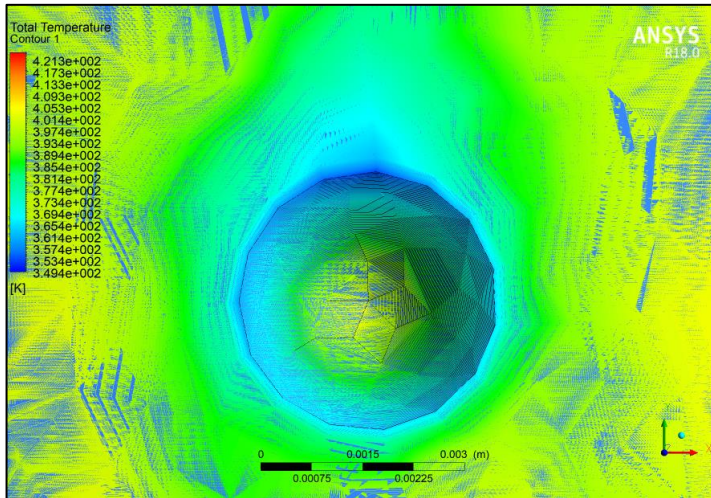
Secara keseluruhan pada masing-masing gambar, dapat dilihat distribusi temperatur dari *inlet* menuju *outlet* tidak merata pada saat fluida kontak dengan dinding *patch*. Pada dinding *patch* pertama ini, masing-masing variabel mengalami sedikit temperatur *loss*, yang dapat dilihat dari area kontur biru muda yang kecil.



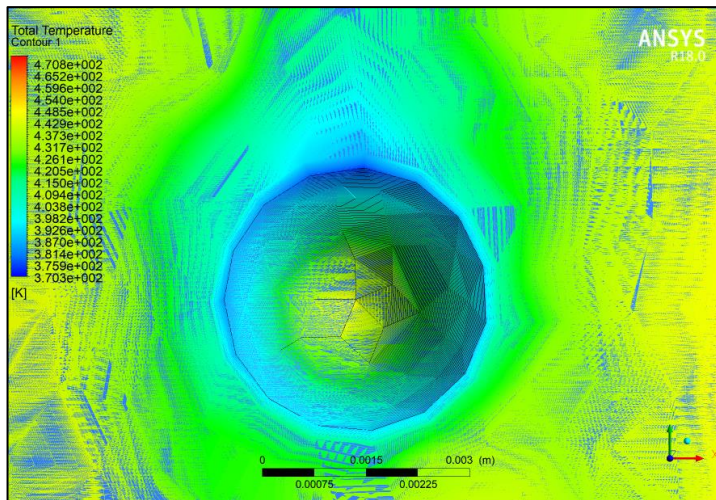
Gambar 4. 9 Penampang Fluida dengan Temperatur *Inlet* 323 K yang terhalang *Patch* Pertama



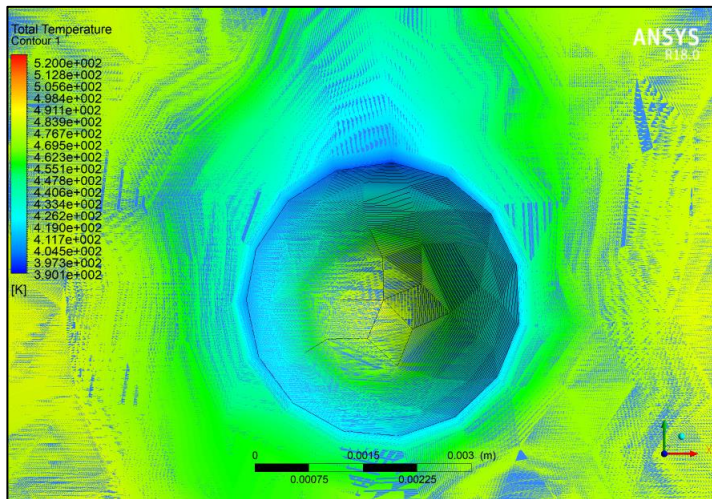
Gambar 4. 10 Distribusi Temperatur Fluida dengan Temperatur *Inlet* 373 K yang terhalang *Patch* Pertama



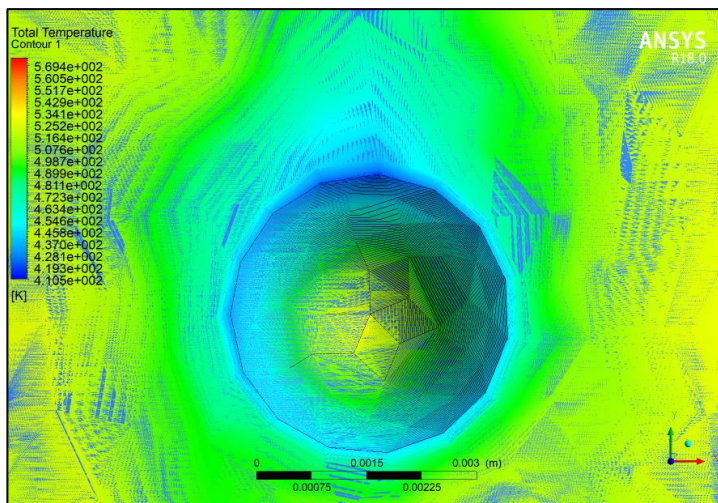
Gambar 4. 11 Distribusi Temperatur Fluida dengan Temperatur Inlet 423 K yang terhalang Patch Pertama



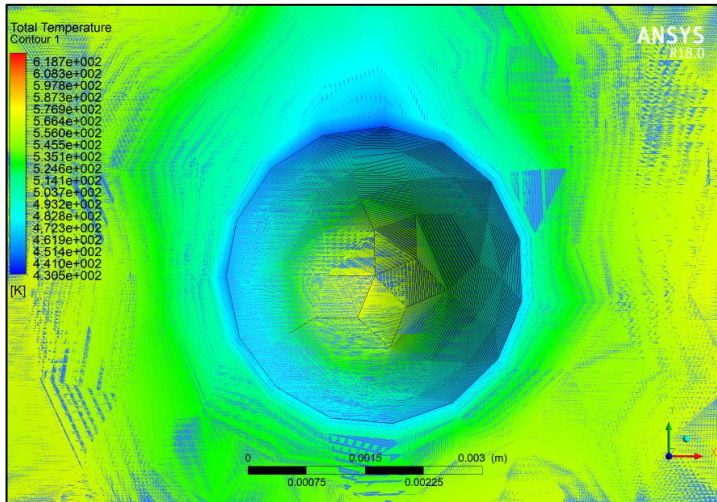
Gambar 4. 12 Distribusi Temperatur Fluida dengan Temperatur Inlet 473 K yang terhalang Patch Pertama



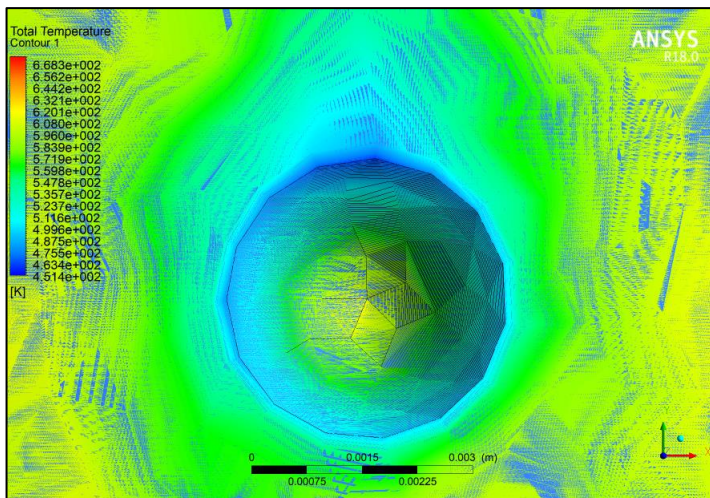
Gambar 4. 13 Distribusi Temperatur Fluida dengan Temperatur Inlet 523 K yang terhalang Patch Pertama



Gambar 4. 14 Distribusi Temperatur Fluida dengan Temperatur Inlet 573 K yang terhalang Patch Pertama



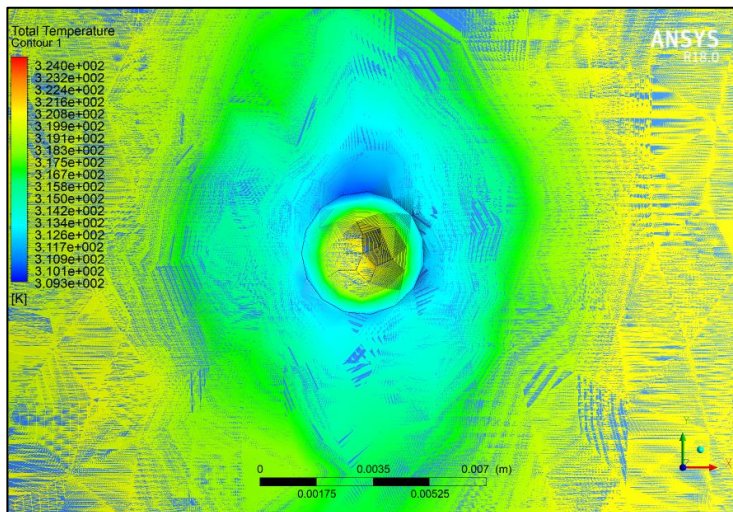
Gambar 4. 15 Distribusi Temperatur Fluida dengan Temperatur Inlet 623 K yang terhalang Patch Pertama



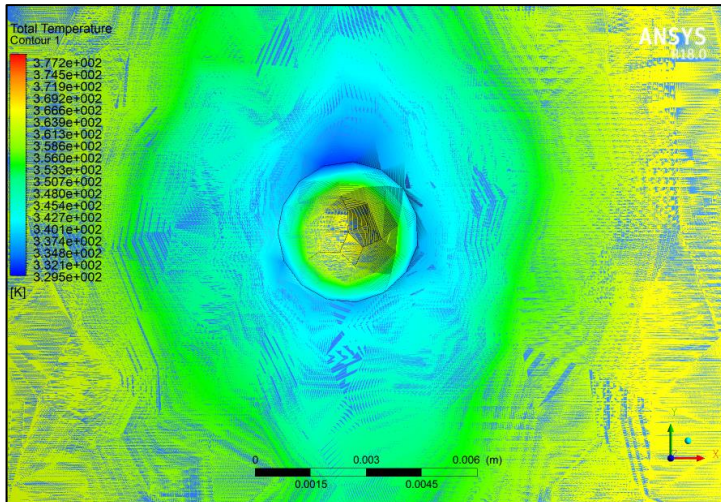
Gambar 4. 16 Distribusi Temperatur Fluida dengan Temperatur Inlet 673 K yang Terhalang Patch Pertama

4.1.1.5 Patch Kedua

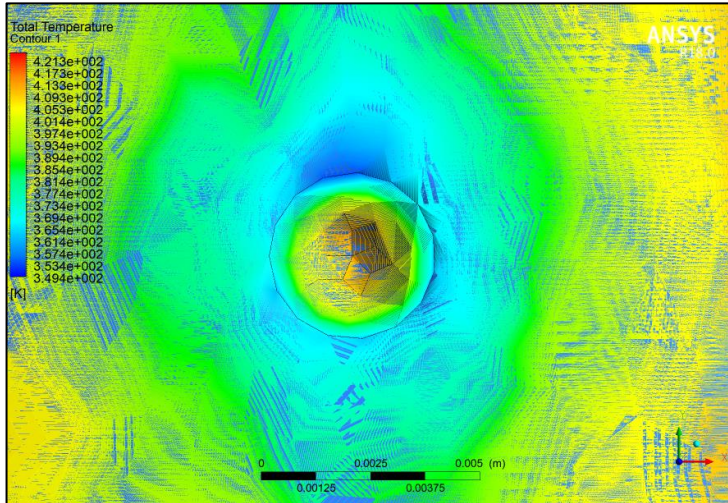
Secara keseluruhan pada masing-masing gambar, dapat dilihat distribusi temperatur dari *inlet* menuju *outlet* tidak merata pada saat fluida kontak dengan dinding *patch* kedua. Pada dinding *patch* kedua ini, masing-masing variabel mengalami temperatur *loss* yang cukup signifikan. Hal ini dapat ditunjukkan dari area kontur biru muda lebih luas daripada fluida yang kontak dengan *patch* pertama.



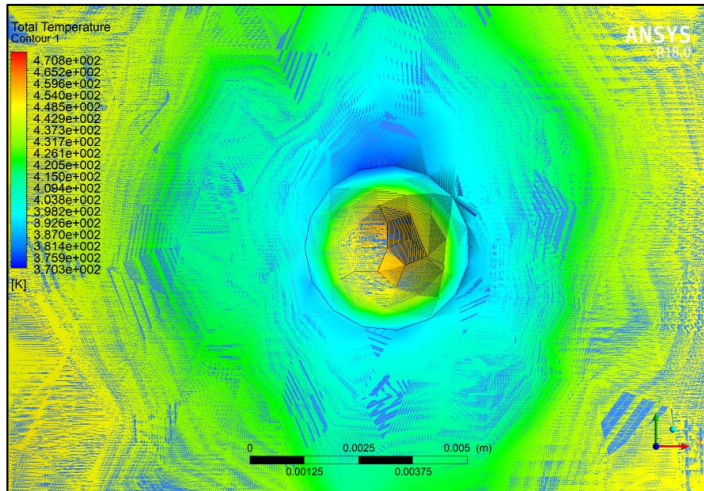
Gambar 4. 17 Distribusi Temperatur Fluida dengan Temperatur *Inlet* 323 K yang Terhalang *Patch* Kedua



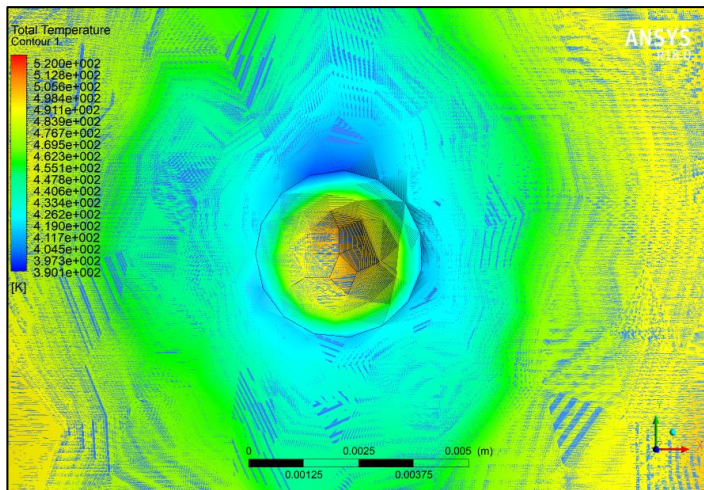
Gambar 4. 18 Distribusi Temperatur Fluida dengan Temperatur *Inlet* 373 K yang Terhalang *Patch* Kedua



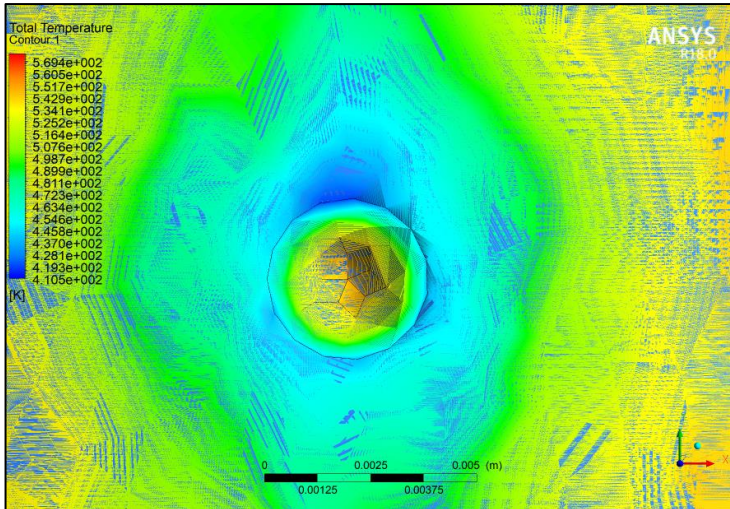
Gambar 4. 19 Distribusi Temperatur Fluida dengan Temperatur *Inlet* 423 K yang Terhalang *Patch* Kedua



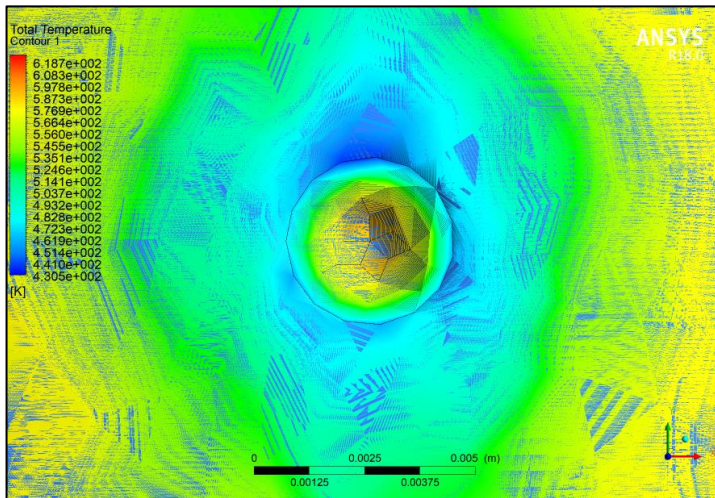
Gambar 4. 20 Distribusi Temperatur Fluida dengan Temperatur Inlet 473 K yang Terhalang Patch Kedua



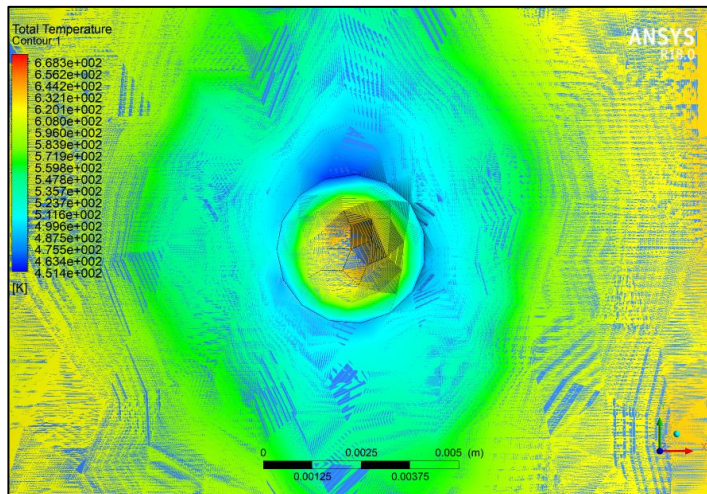
Gambar 4. 21 Distribusi Temperatur Fluida dengan Temperatur Inlet 523 K yang Terhalang Patch Kedua



Gambar 4. 22 Distribusi Temperatur Fluida dengan Temperatur Inlet 573 K yang Terhalang Patch Kedua



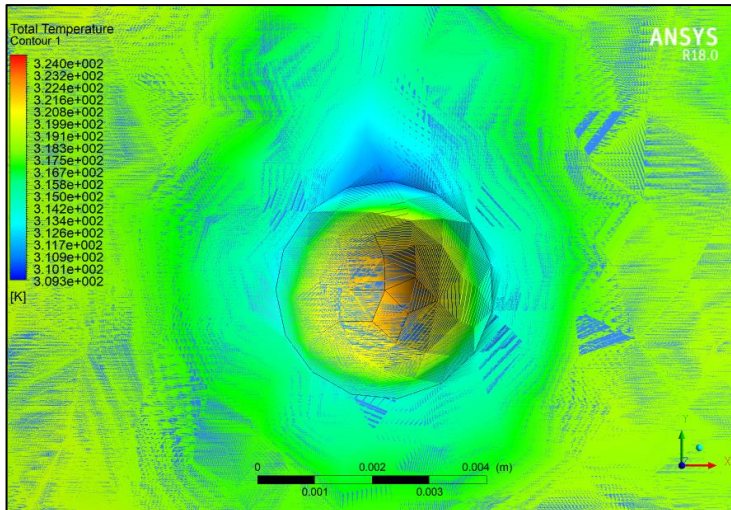
Gambar 4. 23 Distribusi Temperatur Fluida dengan Temperatur Inlet 623 K yang Terhalang Patch Kedua



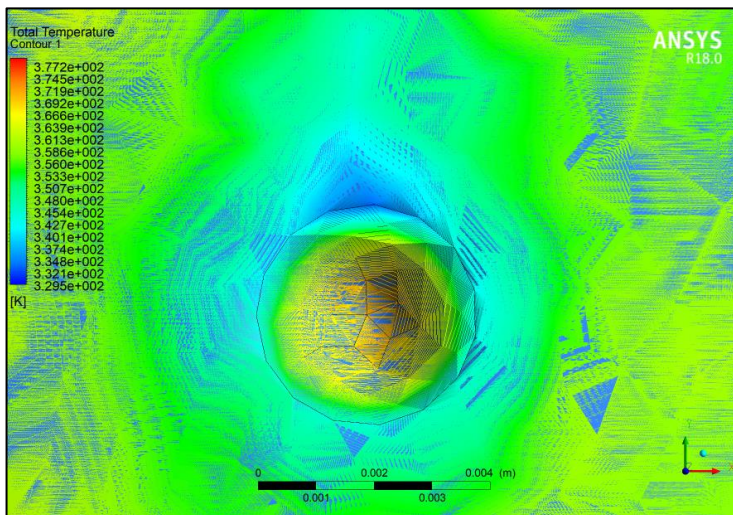
Gambar 4. 24 Distribusi Temperatur Fluida dengan Temperatur *Inlet* 673 K yang Terhalang *Patch* Kedua

4.1.1.6 *Patch* Ketiga

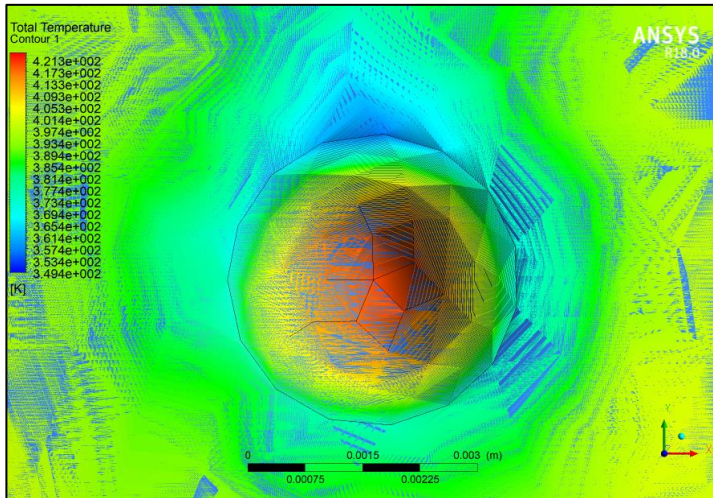
Secara keseluruhan pada masing-masing gambar, dapat dilihat distribusi temperatur dari *inlet* menuju *outlet* tidak merata terjadi pula pada saat fluida kontak dengan dinding *patch* ketiga. Pada dinding *patch* ketiga ini, masing-masing variabel mengalami temperatur *loss* yang lebih sedikit daripada *patch* pertama. Hal ini dapat ditunjukkan dari area kontur biru muda lebih membaur dengan kontur hijau daripada fluida yang kontak dengan *patch* pertama. Namun fluida yang mengalir tepat di tengah dinding *patch* tidak mengalami temperatur *loss*, ditunjukkan dari kontur orange terpusat di tengah *patch*.



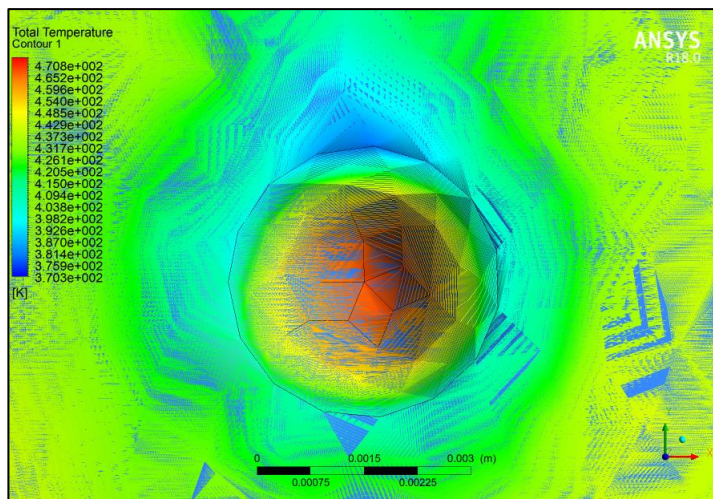
Gambar 4. 25 Distribusi Temperatur Fluida dengan Temperatur Inlet 323 K yang Terhalang Patch Ketiga



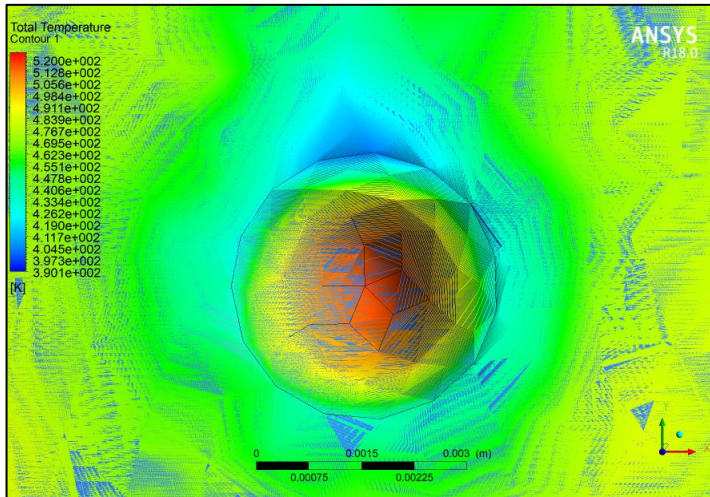
Gambar 4. 26 Distribusi Temperatur Fluida dengan Temperatur Inlet 373 K yang Terhalang Patch Ketiga



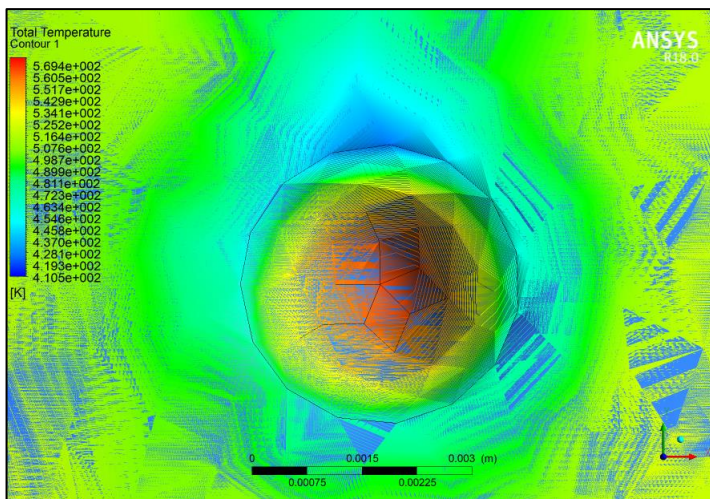
Gambar 4. 27 Distribusi Temperatur Fluida dengan Temperatur Inlet 423 K yang Terhalang Patch Ketiga



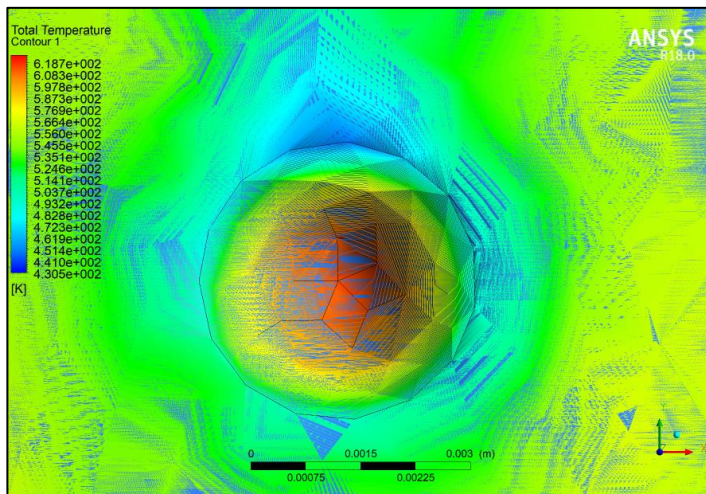
Gambar 4. 28 Distribusi Temperatur Fluida dengan Temperatur Inlet 473 K yang Terhalang Patch Ketiga



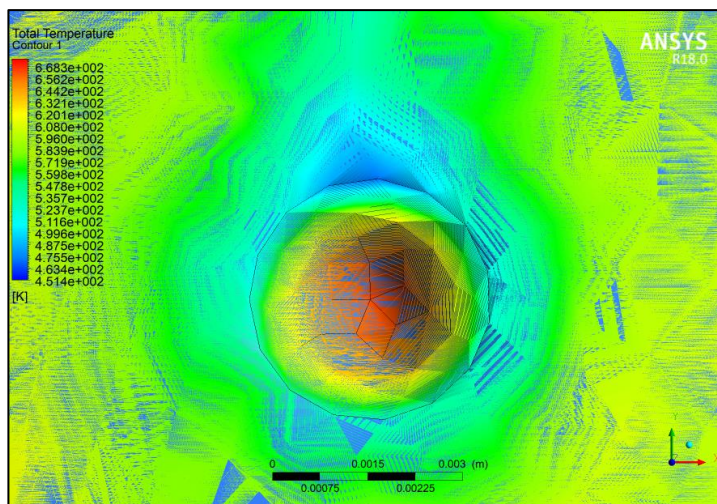
Gambar 4. 29 Distribusi Temperatur Fluida dengan Temperatur Inlet 523 K yang Terhalang Patch Ketiga



Gambar 4. 30 Distribusi Temperatur Fluida dengan Temperatur Inlet 573 K yang Terhalang Patch Ketiga



Gambar 4. 31 Distribusi Temperatur Fluida dengan Temperatur Inlet 623 K yang Terhalang Patch Ketiga

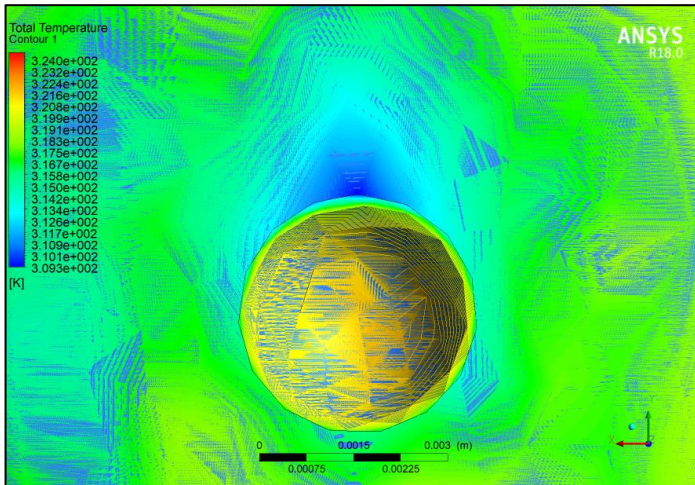


Gambar 4. 32 Distribusi Temperatur Fluida dengan Temperatur Inlet 673 K yang Terhalang Patch Ketiga

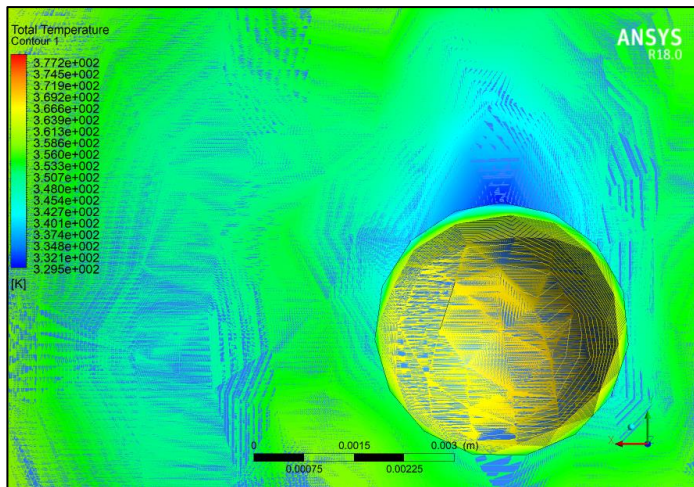


4.1.1.7 Patch Keempat

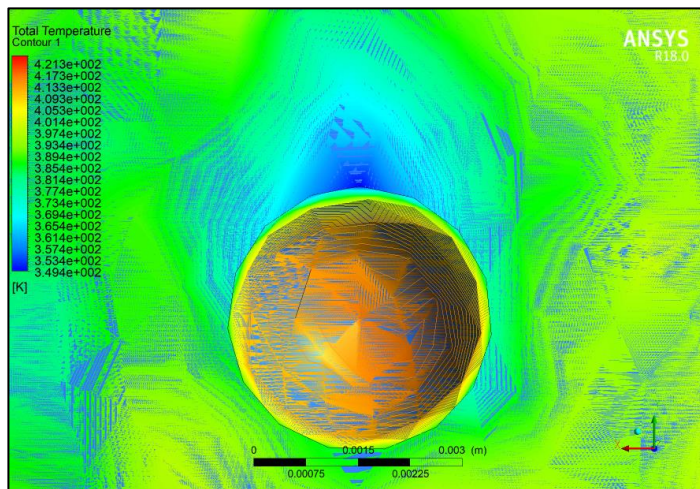
Secara keseluruhan pada masing-masing gambar, dapat dilihat distribusi temperatur dari *inlet* menuju *outlet* tidak merata terjadi pada saat fluida kontak dengan dinding *patch* keempat. Pada dinding *patch* keempat ini, masing-masing variabel mengalami sedikit temperatur *loss*. Hal ini dapat ditunjukkan dari area kontur biru muda dan hijau lebih kecil. Namun fluida yang mengalir tepat di tengah dinding *patch* tidak mengalami temperatur *loss*, ditunjukkan dari kontur orange terpusat di tengah *patch*.



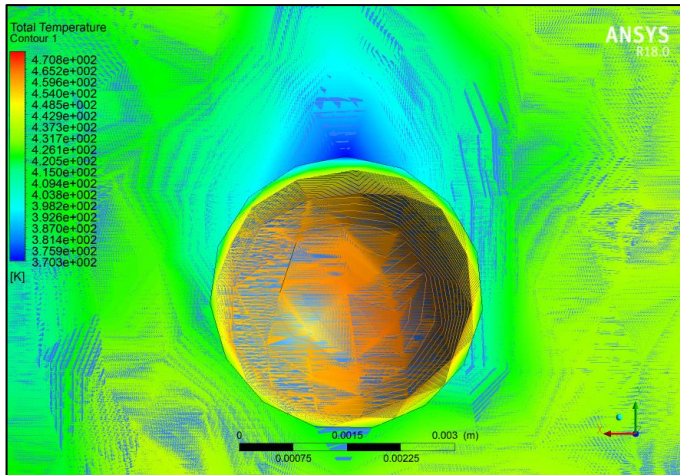
Gambar 4. 33 Distribusi Temperatur Fluida dengan Temperatur *Inlet* 323 K yang Terhalang *Patch* Keempat



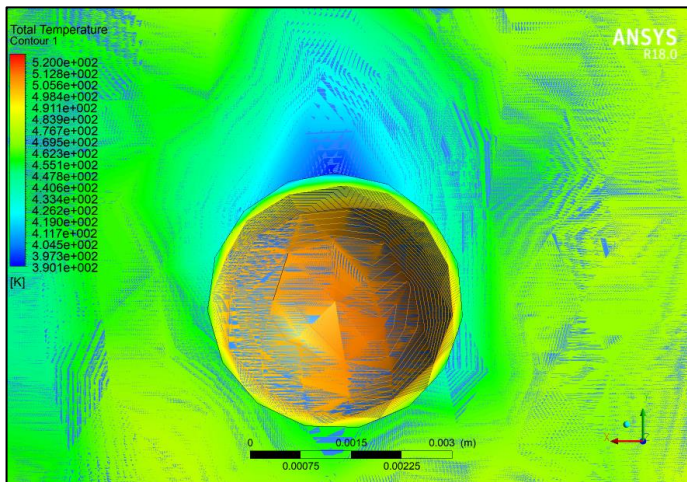
Gambar 4. 34 Distribusi Temperatur Fluida dengan Temperatur Inlet 373 K yang Terhalang Patch Keempat



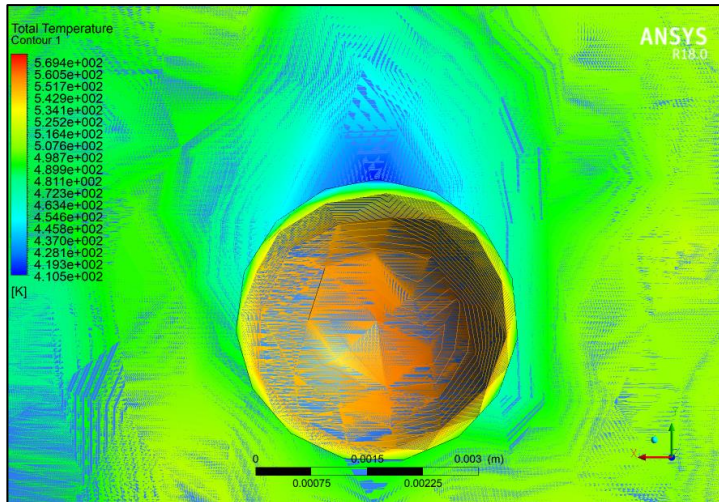
Gambar 4. 35 Distribusi Temperatur Fluida dengan Temperatur Inlet 423 K yang Terhalang Patch Keempat



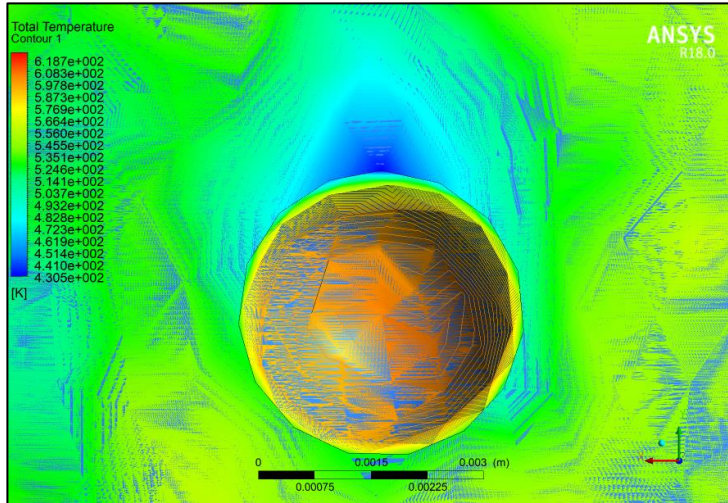
Gambar 4. 36 Distribusi Temperatur Fluida dengan Temperatur *Inlet* 473 K yang Terhalang *Patch* Keempat



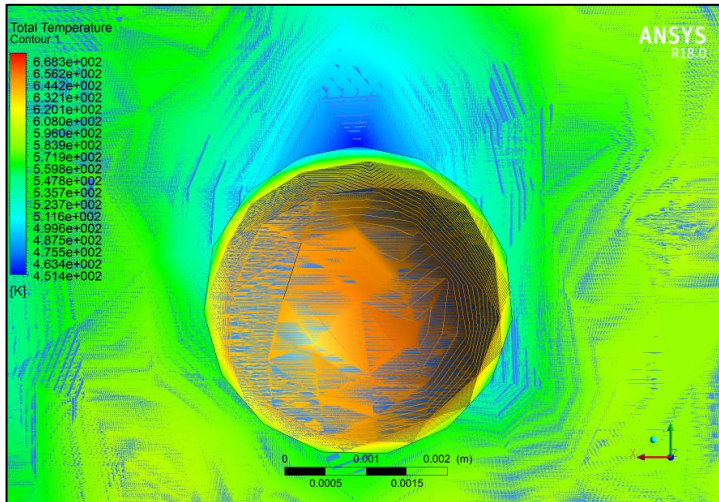
Gambar 4. 37 Distribusi Temperatur Fluida dengan Temperatur *Inlet* 523 K yang Terhalang *Patch* Keempat



Gambar 4. 38 Distribusi Temperatur Fluida dengan Temperatur Inlet 573 K yang Terhalang Patch Keempat



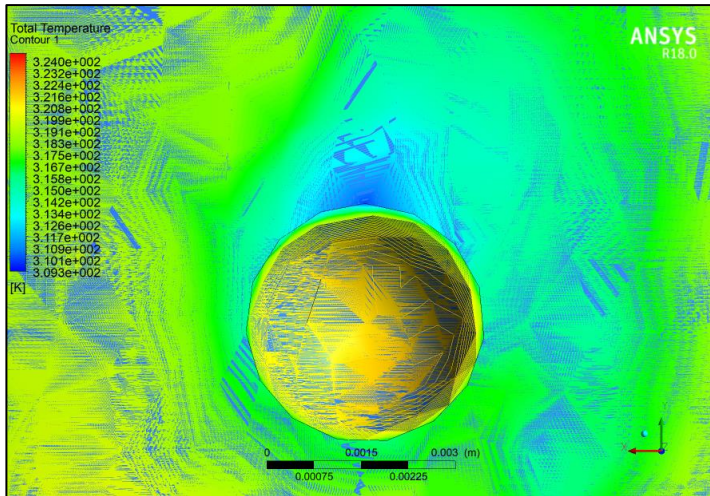
Gambar 4. 39 Distribusi Temperatur Fluida dengan Temperatur Inlet 623 K yang Terhalang Patch Keempat



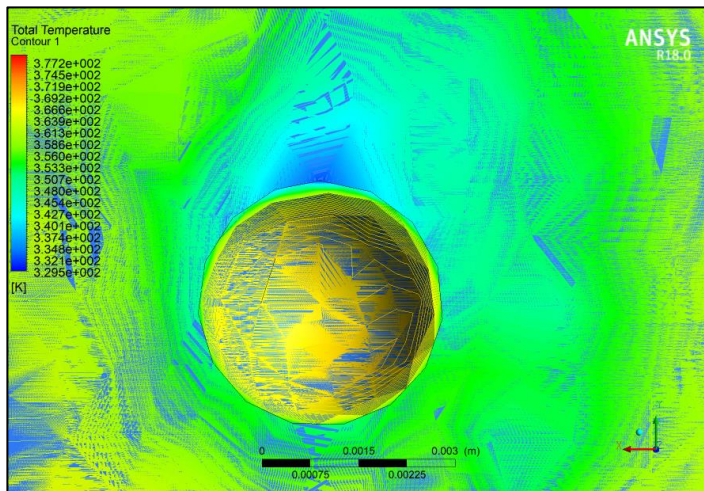
Gambar 4. 40 Distribusi Temperatur Fluida dengan Temperatur *Inlet* 673 K yang Terhalang *Patch* Keempat

4.1.1.8 *Patch* Kelima

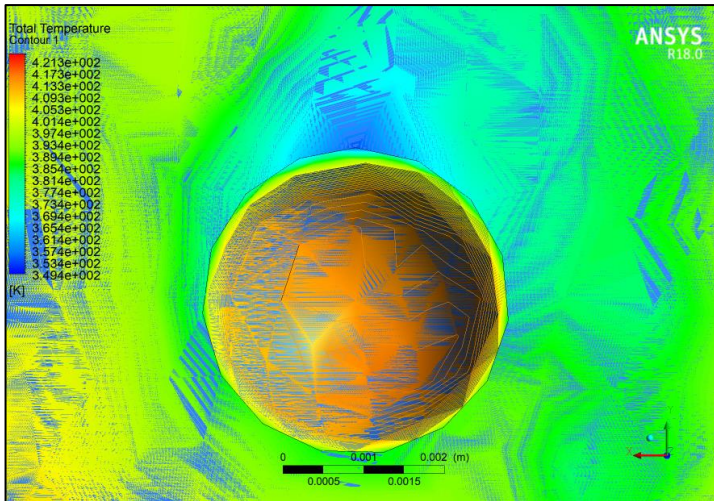
Secara keseluruhan pada masing-masing gambar, dapat dilihat distribusi temperatur dari *inlet* menuju *outlet* tidak merata terjadi pada saat fluida kontak dengan dinding *patch* kelima. Pada dinding *patch* kelima ini, masing-masing variabel tidak signifikan mengalami temperatur *loss*. Namun fluida yang mengalir tepat di tengah dinding *patch* tidak mengalami temperatur *loss*, ditunjukkan dari kontur orange yang terpusat semakin luas areanya daripada pada *patch* sebelumnya.



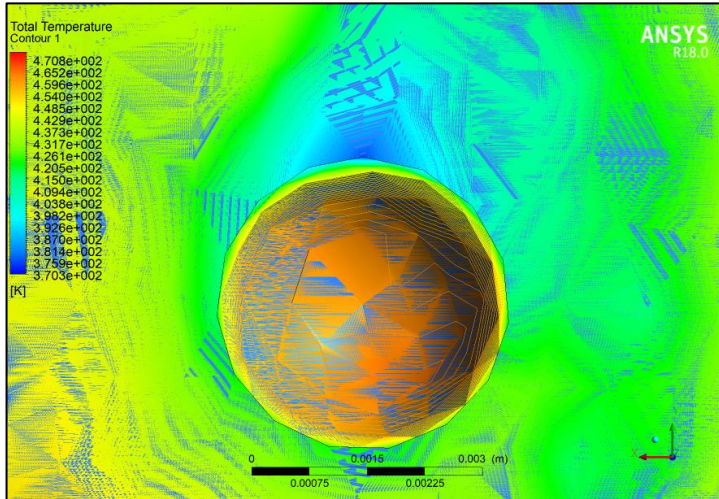
Gambar 4. 41 Distribusi Temperatur Fluida dengan Temperatur *Inlet* 323 K yang Terhalang Patch Kelima



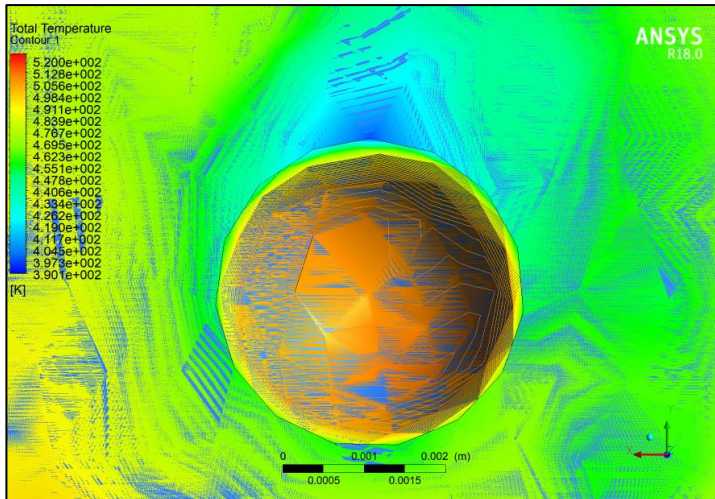
Gambar 4. 42 Distribusi Temperatur Fluida dengan Temperatur *Inlet* 373 K yang Terhalang Patch Kelima



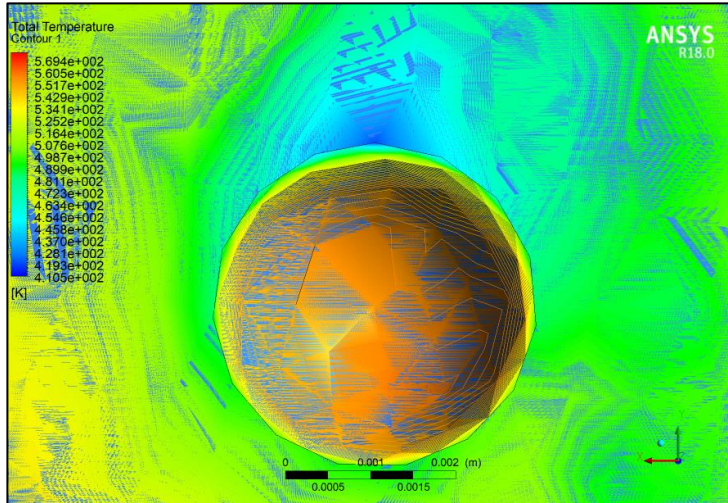
Gambar 4. 43 Distribusi Temperatur Fluida dengan Temperatur *Inlet* 423 K yang Terhalang *Patch* Kelima



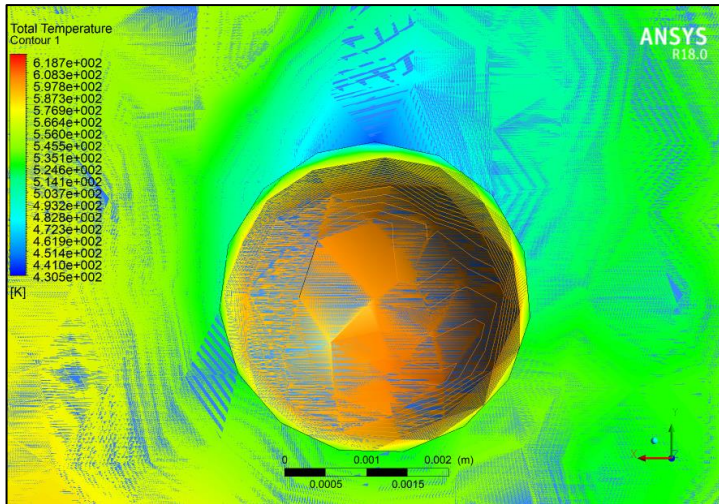
Gambar 4. 44 Distribusi Temperatur Fluida dengan Temperatur *Inlet* 473 K yang Terhalang *Patch* Kelima



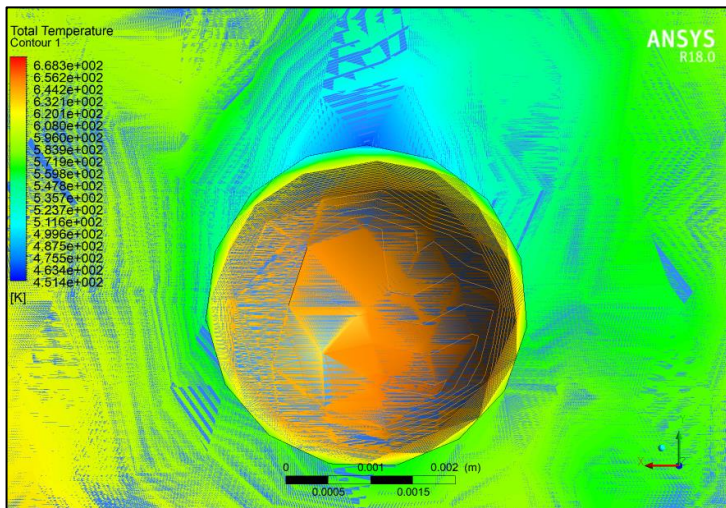
Gambar 4. 45 Distribusi Temperatur Fluida dengan Temperatur *Inlet* 523 K yang Terhalang *Patch* Kelima



Gambar 4. 46 Distribusi Temperatur Fluida dengan Temperatur *Inlet* 573 K yang Terhalang *Patch* Kelima



Gambar 4. 47 Distribusi Temperatur Fluida dengan Temperatur *Inlet* 623 K yang Terhalang *Patch* Kelima



Gambar 4. 48 Distribusi Temperatur Fluida dengan Temperatur *Inlet* 673 K yang Terhalang *Patch* Kelima



4.2.2 Analisis Data Modul *Thermal Structural*

Analisis simulasi dengan modul *transient thermal* ini dilakukan untuk mengetahui adanya deformasi. Dalam simulasi ini fluida mengalir selama 22,86 detik secara laminar dengan kondisi *steady state* dan tidak ada *slip* dengan dinding *tubing*. Fluida yang mengalir berupa minyak mentah dengan gas alam. Berikut merupakan hasil simulasi *transient thermal* pada masing-masing kondisi operasi *inlet* dengan temperatur masing-masing.

4.2.2.1 *Tubing* N80

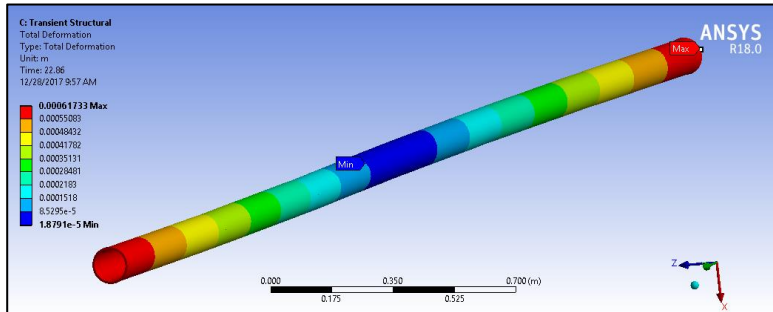
Secara keseluruhan pada masing-masing gambar, dapat dilihat sistem ini tidak sempurna. Karena pada gambar ditunjukkan bahwa terjadi perpindahan dan perubahan bentuk pada *tubing*. Perpindahan ini terjadi akibat adanya proses pemuaiian. Ujung *tubing* yang digunakan sebagai inlet mengalami deformasi terbesar.

Pada variabel pertama yaitu temperatur *inlet* dikondisikan pada temperatur 323 K, nilai perpindahan terbesar terletak di ujung *inlet* adalah 0,00061733 meter dan nilai terkecil terletak di tengah *tubing* adalah 0,000018791 meter. Pada variabel kedua (373 K), nilai perpindahan terbesar sebesar 0,001959 meter dan nilai terkecil sebesar 0,000059599 meter. Selanjutnya telah diperoleh nilai deformasi terbesar dari temperatur *inlet* 423K dan 473 K masing-masing sebesar 0,0032998 meter dan 0.0046395 meter, serta memiliki nilai terkecil sebesar 0,00010049 meter dan 0,00013924 meter. Pada variabel selanjutnya yaitu 523 K dan 573 K, telah diperoleh nilai tertinggi sebesar 0,0059797 meter dan 0,0073181 meter. Nilai terendah diperoleh pada kedua variabel ini masing-masing sebesar 0,00018123 meter dan 0,00022014 meter. Kemudian, simulasi ini dilakukan variasi lainnya dengan variabel temperatur *inlet* sebesar 623 K dan 673 K dengan memperoleh masing-masing nilai perpindahan tertingginya adalah 0,0086574 meter dan 0,009994 meter. Sedangkan nilai terkecil yang diperoleh masing-masing sebesar 0,00026273 meter dan 0,00029928 meter. Dari hasil analisis data yang diperoleh dapat ditunjukkan bahwa

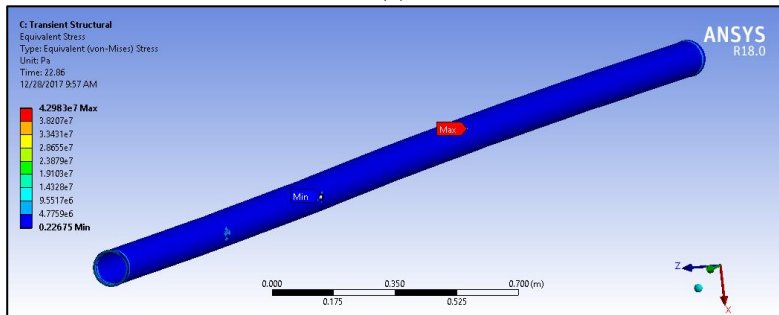


semakin tinggi temperatur *inlet* yang dioperasikan, maka semakin besar pula perpindahan yang terjadi.

Secara global, tegangan *von mises* yang dihasilkan merata pada struktur *tubing*, namun setelah dianalisis lebih lanjut, terdapat tegangan *von mises* yang tidak merata di sekitar *patch*.

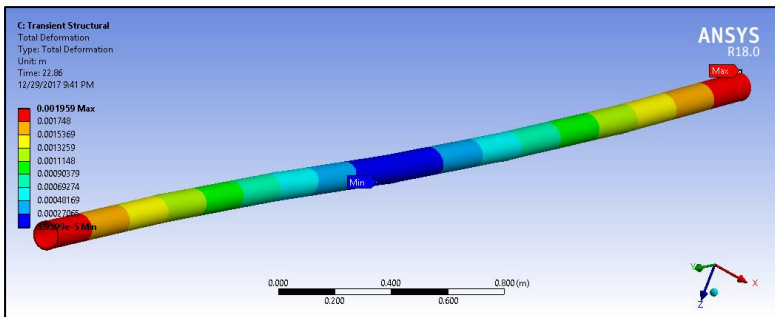


(a)

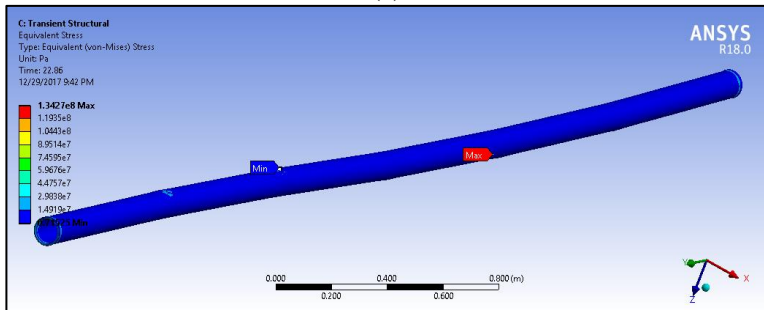


(b)

Gambar 4. 49 Penampang Horizontal *Tubing* dengan Temperatur *Inlet* Fluida 323 K, (a) Deformasi, dan (b) Tegangan *Von Mises*

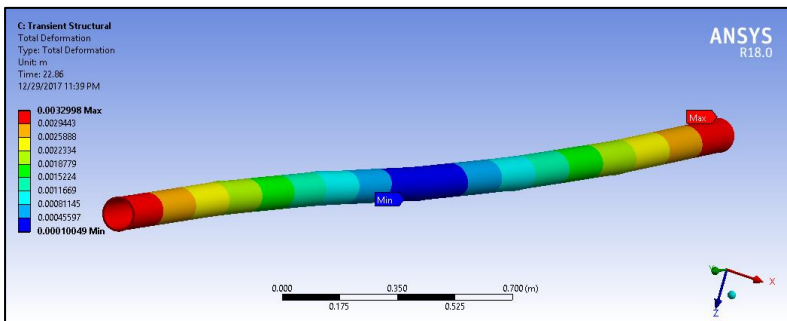


(a)

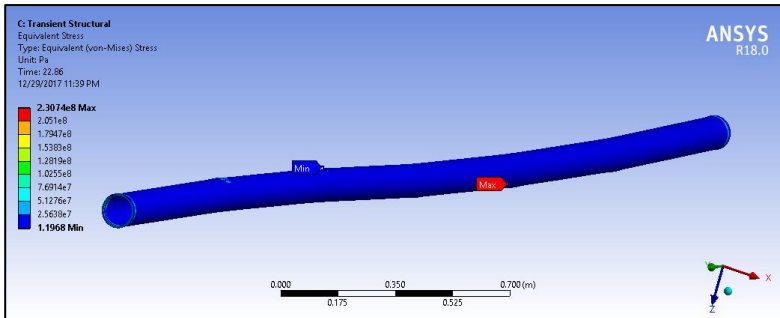


(b)

Gambar 4. 50 Penampang Horizontal Tubing dengan Temperatur Inlet Fluida 373 K, (a) Deformasi, dan (b) Tegangan Von Mises

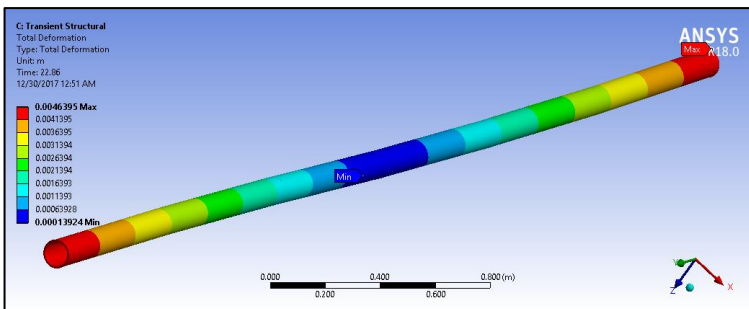


(a)

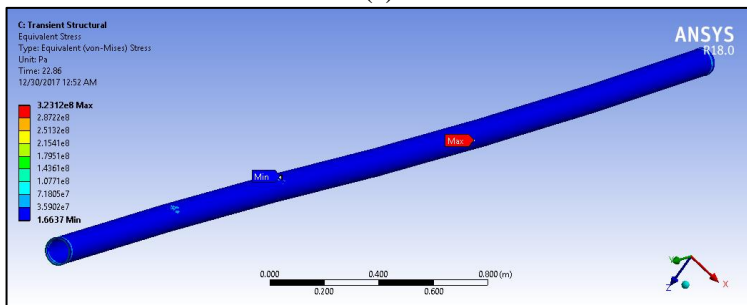


(b)

Gambar 4. 51 Penampang Horizontal Tubing dengan Temperatur Inlet Fluida 423 K, (a) Deformasi, dan (b) Tegangan Von Mises

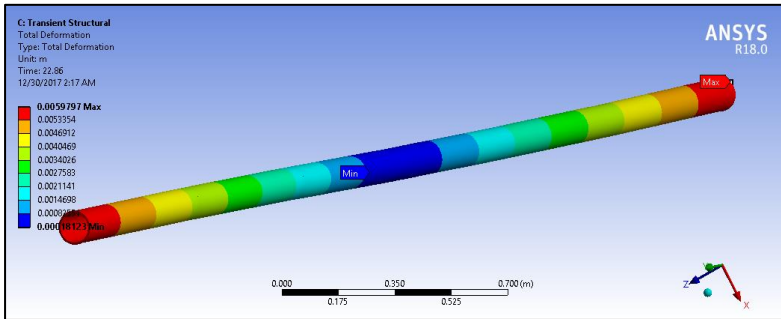


(a)

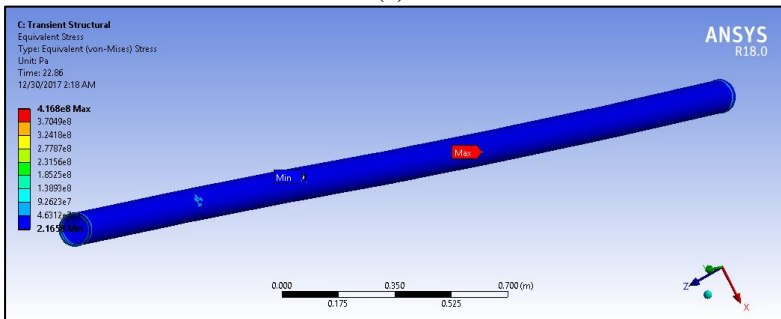


(b)

Gambar 4. 52 Penampang Horizontal Tubing dengan Temperatur Inlet Fluida 473 K, (a) Deformasi, dan (b) Tegangan Von Mises

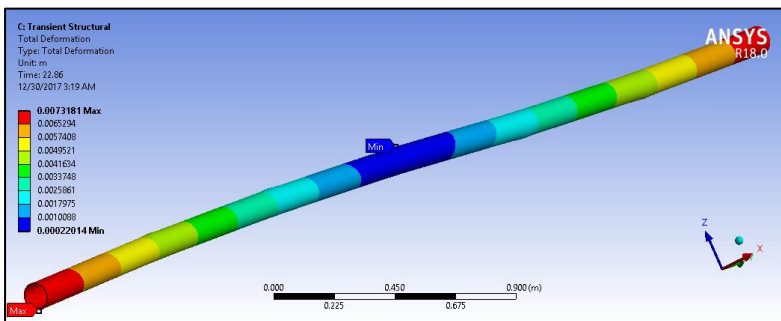


(a)



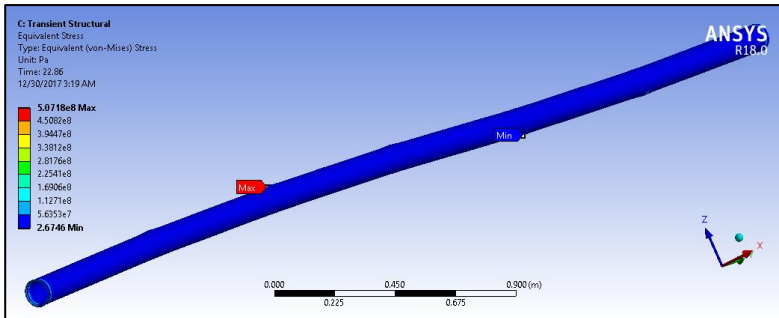
(b)

Gambar 4. 53 Penampang Horizontal Tubing dengan Temperatur Inlet Fluida 523 K, (a) Deformasi, dan (b) Tegangan Von Mises



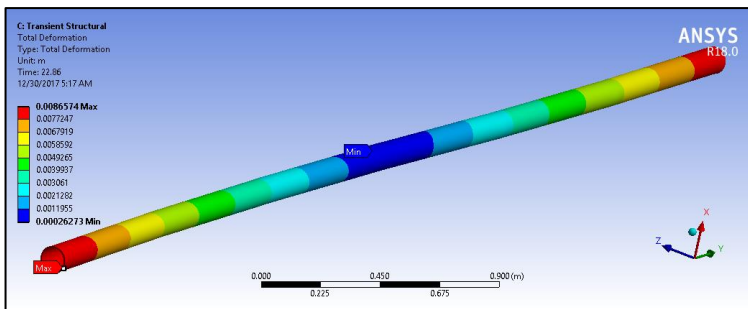
(a)

BAB IV ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN

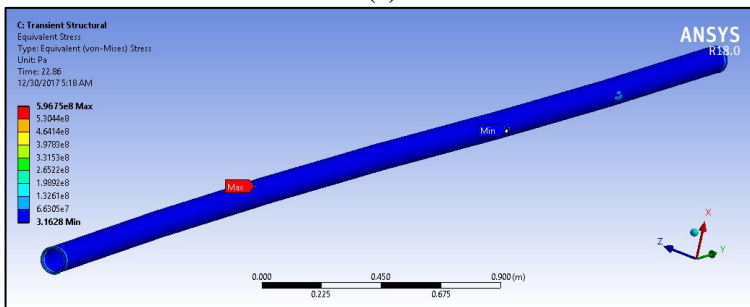


(b)

Gambar 4. 54 Penampang Horizontal *Tubing* dengan Temperatur *Inlet* Fluida 573 K, (a) Deformasi, dan (b) Tegangan *Von Mises*

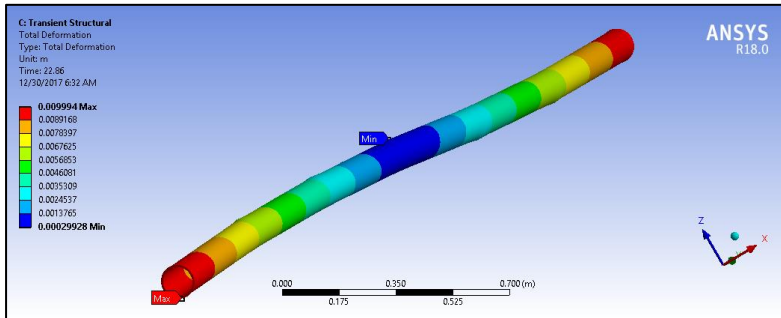


(a)

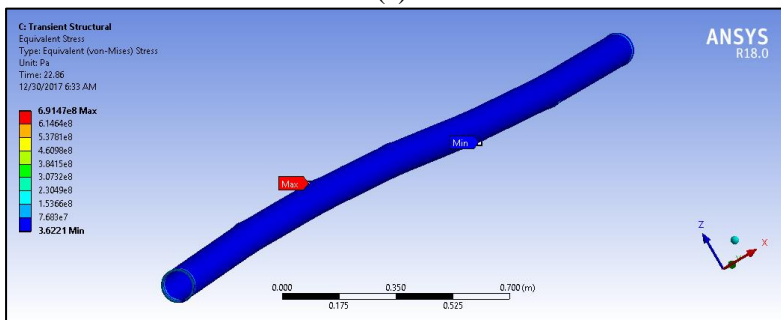


(b)

Gambar 4. 55 Penampang Horizontal *Tubing* dengan Temperatur *Inlet* Fluida 623 K, (a) Deformasi, dan (b) Tegangan *Von Mises*



(a)



(b)

Gambar 4. 56 Penampang Horizontal *Tubing* dengan Temperatur *Inlet* Fluida 673 K, (a) Deformasi, dan (b) Tegangan *Von Mises*

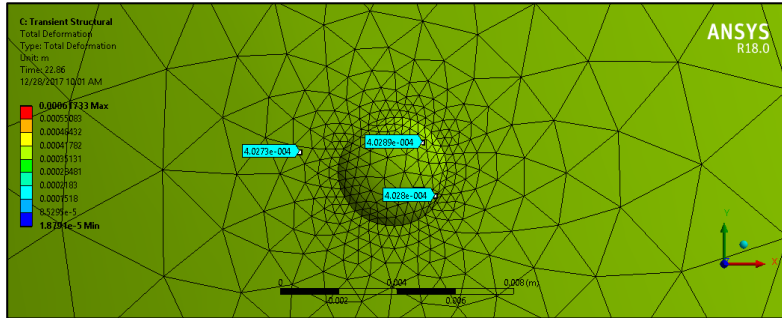
4.2.2.2 Patch Pertama

Patch pertama berada di kontur berwarna hijau yang memiliki perpindahan yang cukup besar. Secara keseluruhan dari gambar yang diperoleh, perpindahan yang semakin tinggi berada di tengah *patch* dan dinding *tubing* yang kontak dengan *patch*. Namun nilai perpindahan semakin kecil untuk *tubing* yang semakin jauh dari kontak langsung dengan *patch*.

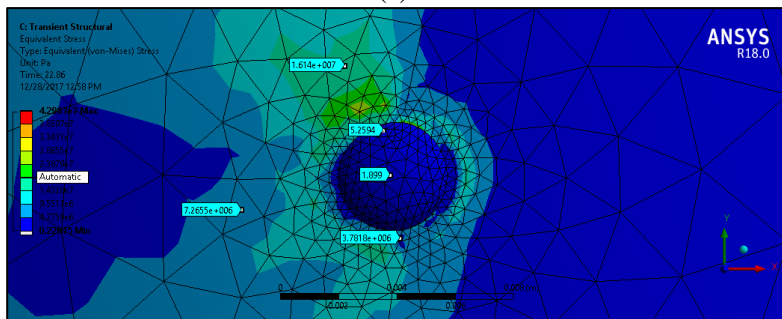
Tegangan *von mises* dari *patch* pertama tampak kurang merata ditunjukkan kontur biru muda yang luas. Namun hasil ini



berbanding terbalik dengan nilai perpindahan. Semakin jauh jarak *tubing* dengan *patch*, maka semakin tinggi nilai tegangannya.

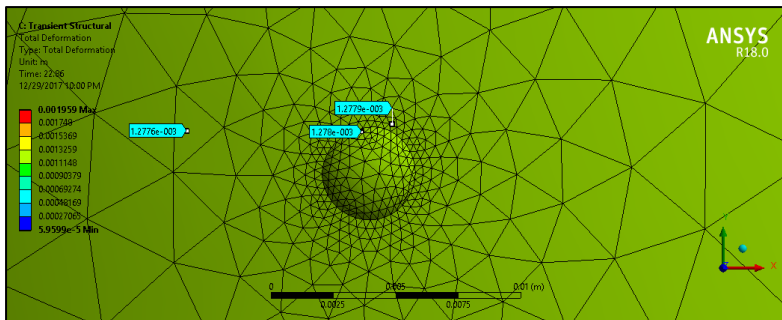


(a)

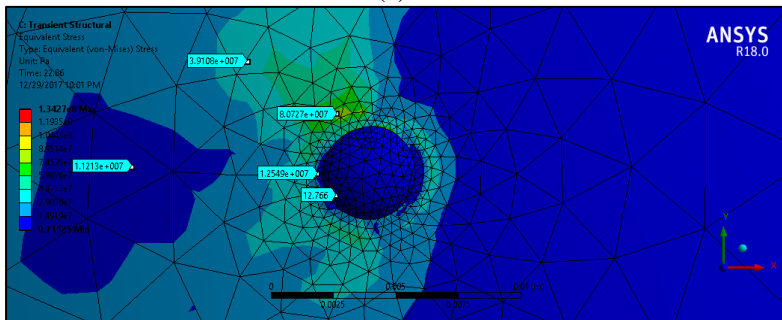


(b)

Gambar 4. 57 Penampang *Patch* Pertama dengan Temperatur *Inlet* Fluida 323 K, (a) Deformasi, dan (b) Tegangan *Von Mises*

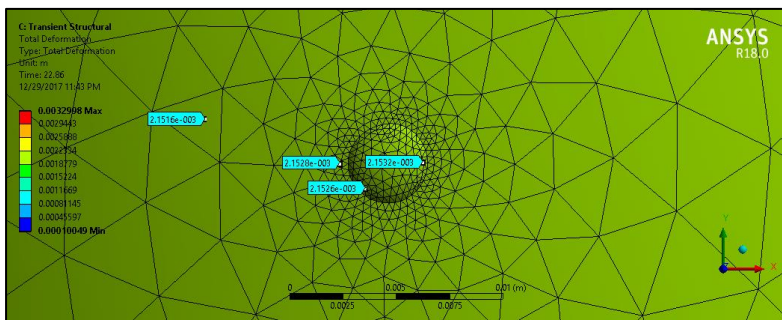


(a)



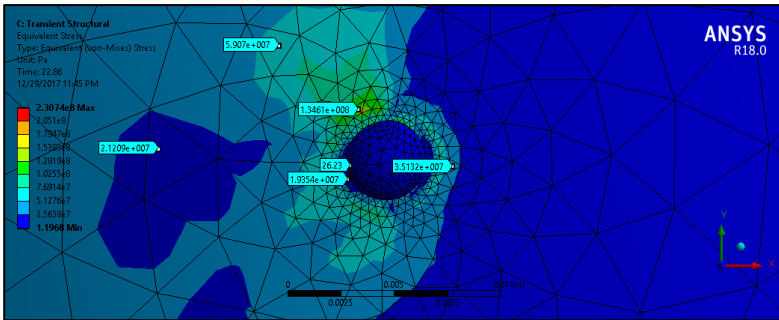
(b)

Gambar 4. 58 Penampang *Patch* Pertama dengan Temperatur *Inlet* Fluida 373 K, (a) Deformasi, dan (b) Tegangan *Von Mises*



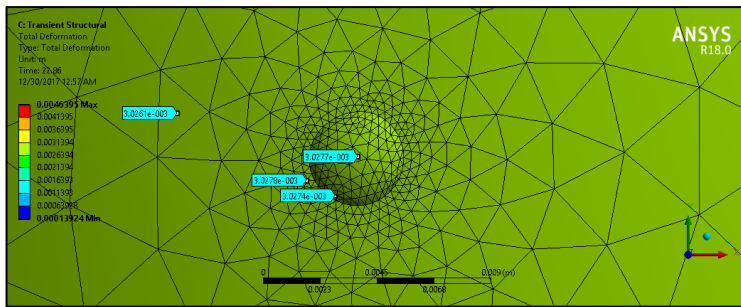
(a)

BAB IV ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN

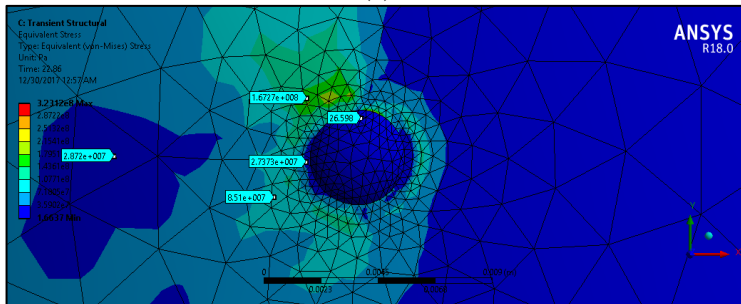


(b)

Gambar 4. 59 Penampang *Patch* Pertama dengan Temperatur *Inlet* Fluida 423 K, (a) Deformasi, dan (b) Tegangan *Von Mises*

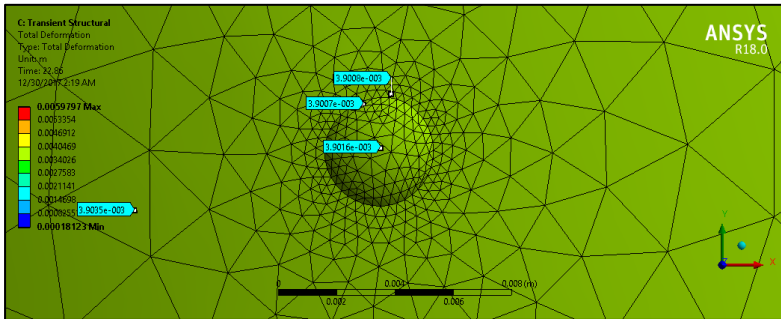


(a)

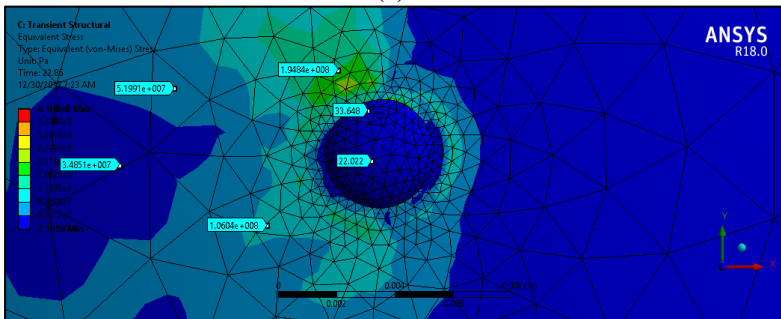


(b)

Gambar 4. 60 Penampang *Patch* Pertama dengan Temperatur *Inlet* Fluida 473 K, (a) Deformasi, dan (b) Tegangan *Von Mises*

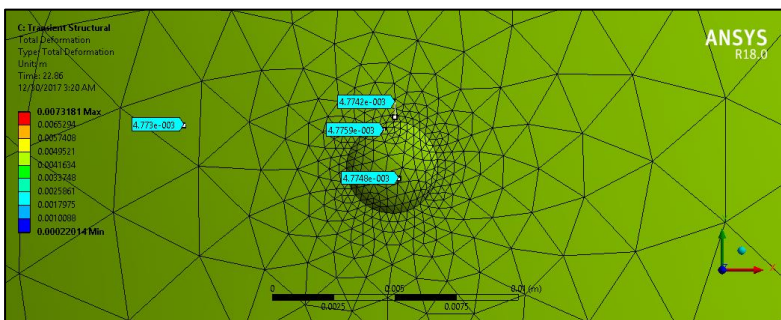


(a)



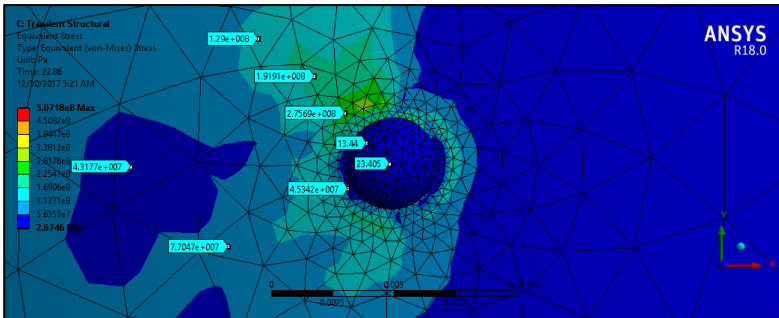
(b)

Gambar 4. 61 Penampang *Patch* Pertama dengan Temperatur *Inlet* Fluida 523 K, (a) Deformasi, dan (b) Tegangan *Von Mises*



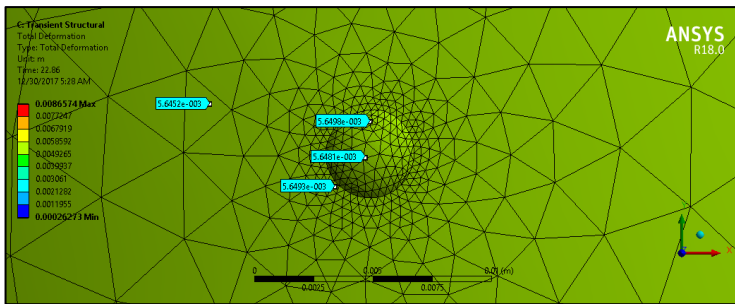
(a)

BAB IV ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN

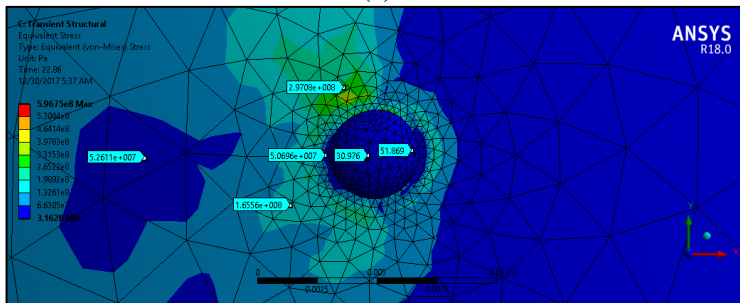


(b)

Gambar 4. 62 Penampang *Patch* Pertama dengan Temperatur *Inlet* Fluida 573 K, (a) Deformasi, dan (b) Tegangan *Von Mises*

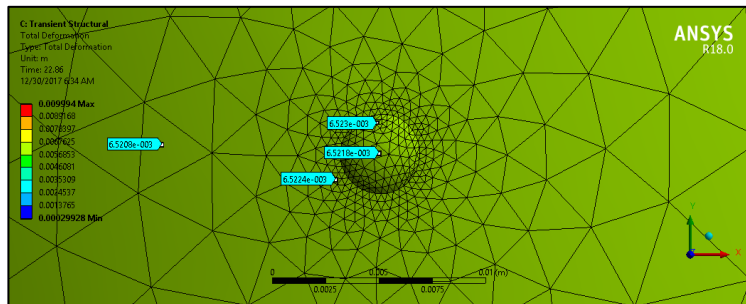


(a)

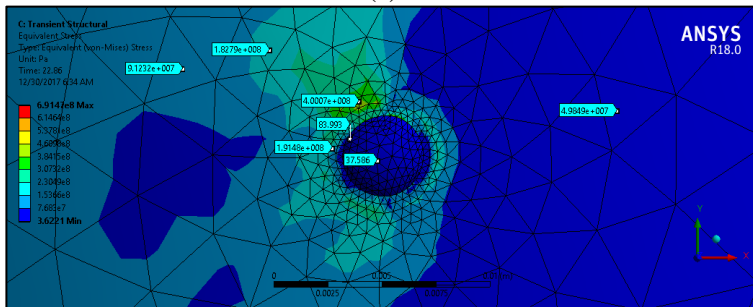


(b)

Gambar 4. 63 Penampang *Patch* Pertama dengan Temperatur *Inlet* Fluida 623 K, (a) Deformasi, dan (b) Tegangan *Von Mises*



(a)



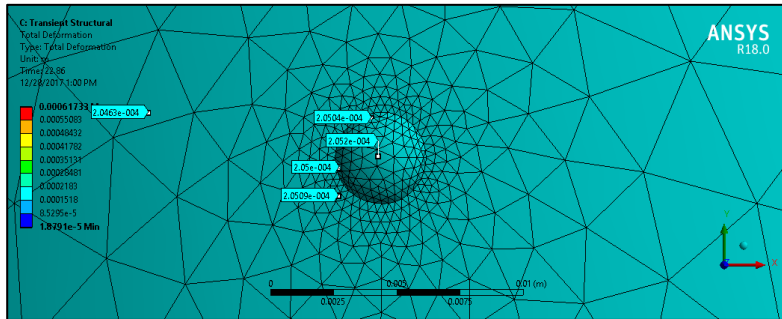
(b)

Gambar 4. 64 Penampang *Patch* Pertama dengan Temperatur Inlet Fluida 673 K, (a) Deformasi, dan (b) Tegangan *Von Mises*

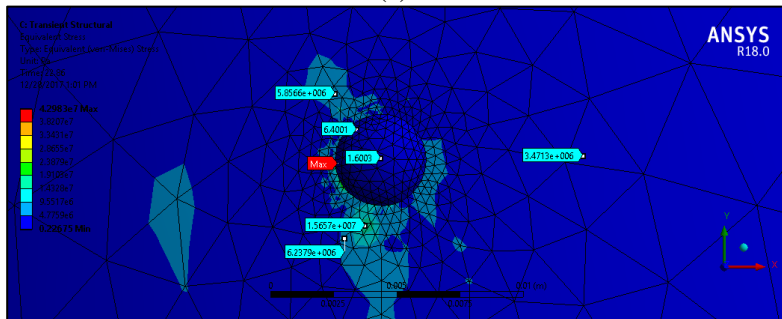
4.2.2.3 *Patch* Kedua

Patch kedua berada di kontur berwarna biru muda yang memiliki perpindahan yang lebih kecil dari *patch* pertama. Secara keseluruhan dari gambar yang diperoleh, perpindahan yang semakin tinggi berada di tengah *patch* dan dinding *tubing* yang kontak dengan *patch*. Semakin jauh jarak *tubing* dengan *patch*, maka semakin kecil nilai perpindahan yang dihasilkan.

Tegangan *von mises* dari *patch* kedua tampak mulai merata ditunjukkan area kontur biru muda semakin kecil. Namun hasil ini berbanding terbalik dengan nilai perpindahan. Semakin jauh jarak *tubing* dengan *patch*, maka semakin tinggi nilai tegangannya.



(a)

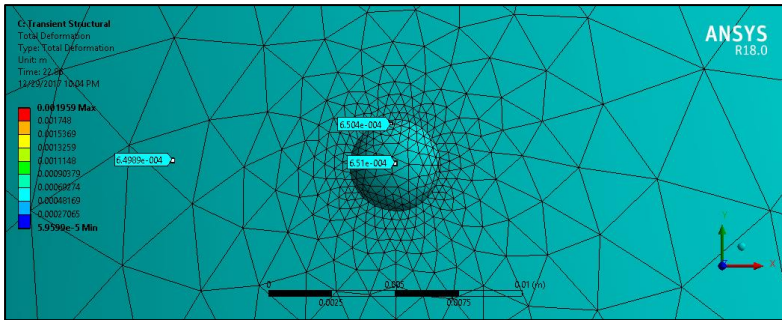


(b)

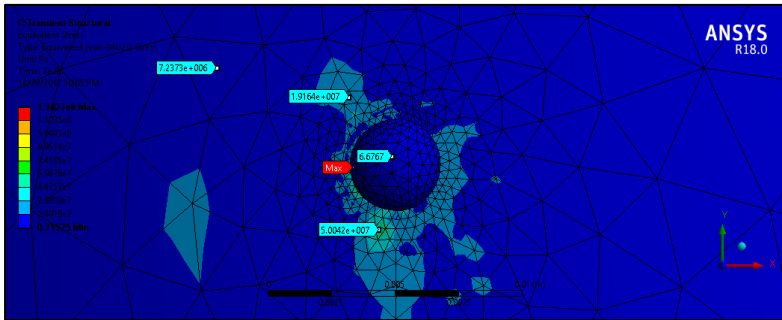
Gambar 4. 65 Penampang *Patch* Kedua dengan Temperatur *Inlet* Fluida 323 K, (a) Deformasi, dan (b) Tegangan *Von Mises*



Laporan Tugas Akhir
Departemen Teknik Material FTI-ITS

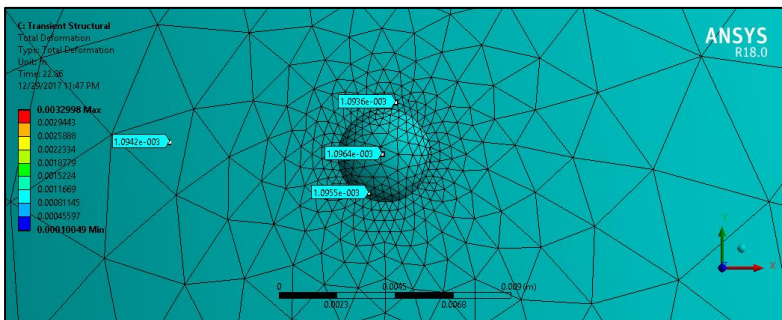


(a)



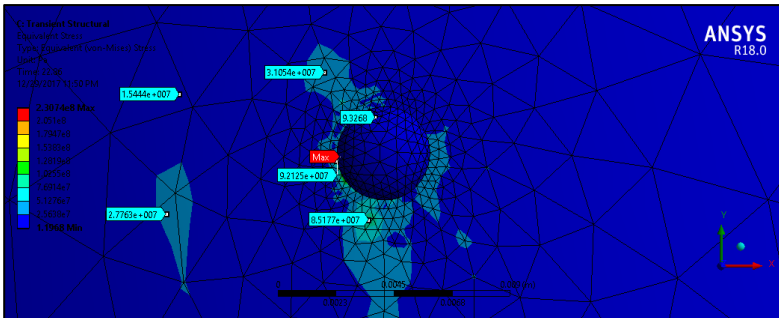
(b)

Gambar 4. 66 Penampang Patch Kedua dengan Temperatur Inlet Fluida 373 K, (a) Deformasi, dan (b) Tegangan Von Mises



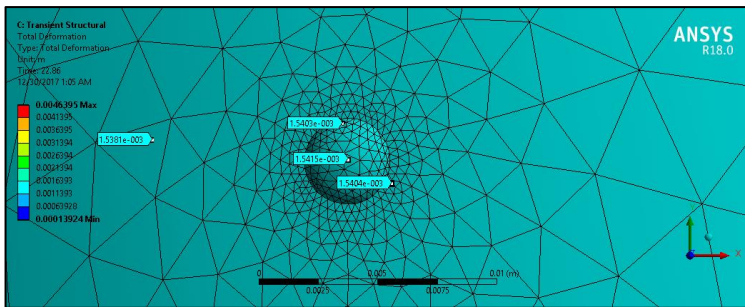
(a)

BAB IV ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN

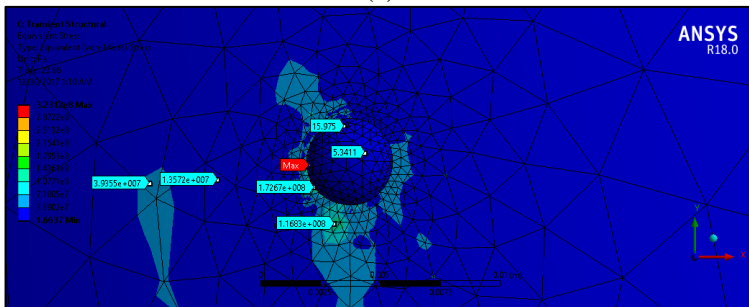


(b)

Gambar 4. 67 Penampang Patch Kedua dengan Temperatur Inlet Fluida 423 K, (a) Deformasi, dan (b) Tegangan Von Mises

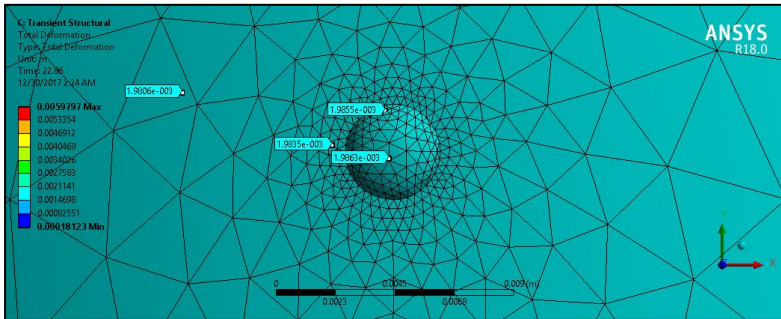


(a)

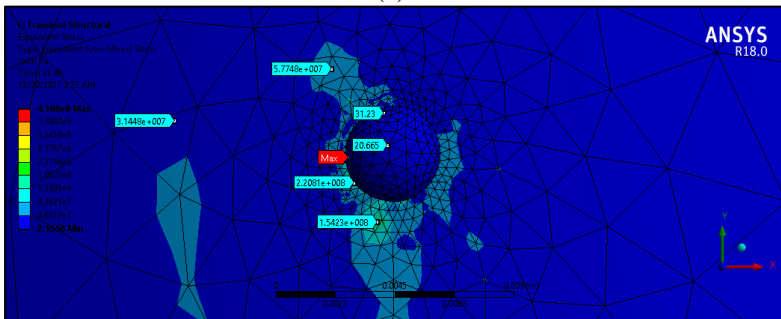


(b)

Gambar 4. 68 Penampang Patch Kedua dengan Temperatur Inlet Fluida 473 K, (a) Deformasi, dan (b) Tegangan Von Mises

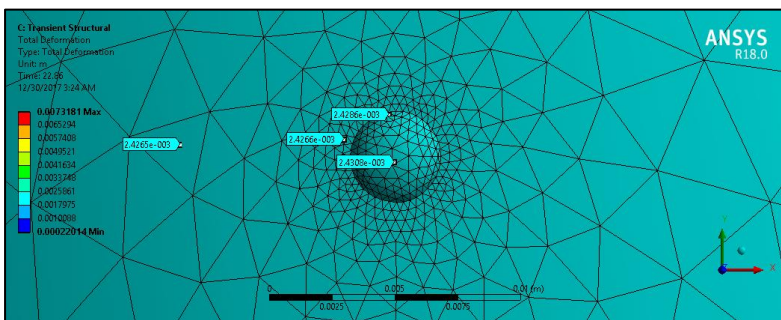


(a)



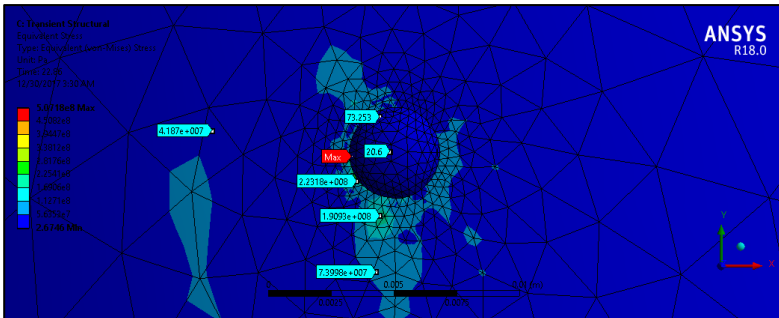
(b)

Gambar 4. 69 Penampang Patch Kedua dengan Temperatur Inlet Fluida 523 K, (a) Deformasi, dan (b) Tegangan Von Mises



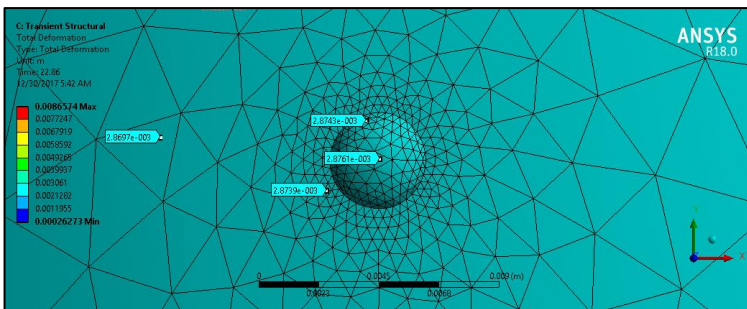
(a)

BAB IV ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN

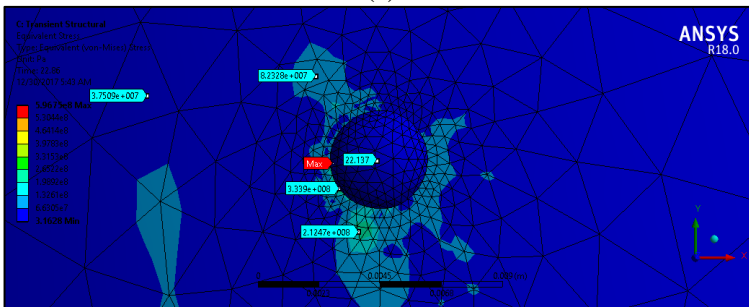


(b)

Gambar 4. 70 Penampang Patch Kedua dengan Temperatur Inlet Fluida 573 K, (a) Deformasi, dan (b) Tegangan Von Mises

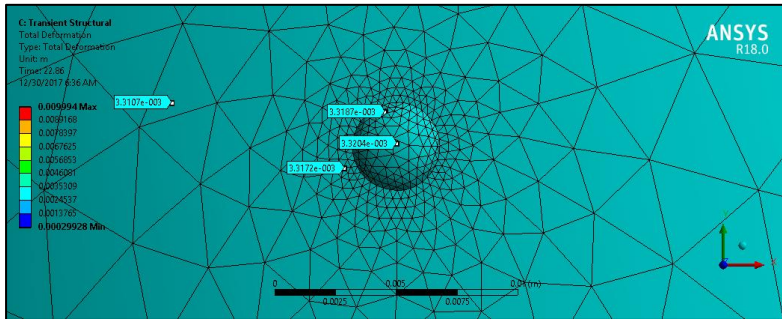


(a)

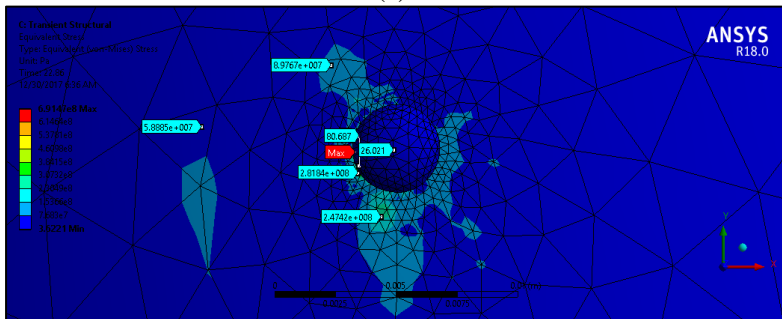


(b)

Gambar 4. 71 Penampang Patch Kedua dengan Temperatur Inlet Fluida 623 K, (a) Deformasi, dan (b) Tegangan Von Mises



(a)



(b)

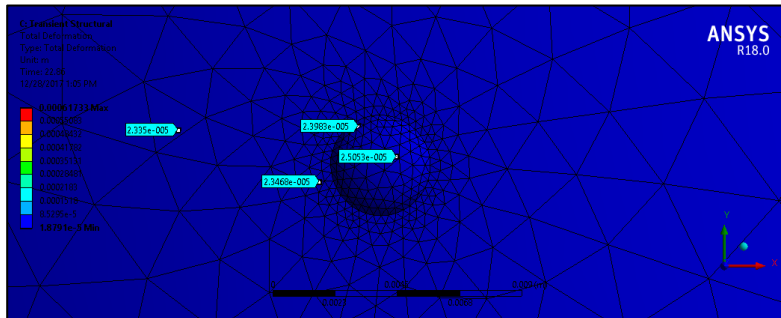
Gambar 4. 72 Penampang *Patch* Kedua dengan Temperatur *Inlet* Fluida 673 K, (a) Deformasi, dan (b) Tegangan *Von Mises*

4.2.2.4 *Patch* Ketiga

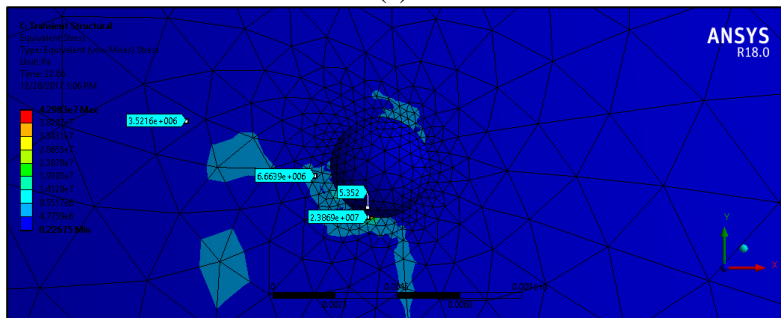
Patch ketiga berada di kontur berwarna biru tua yang memiliki perpindahan paling kecil dari *patch* lainnya. Karena letak *patch* yang berada di tengah *tubing* dan nilai perpindahan terkecil berada pada area ini. Secara keseluruhan dari gambar yang diperoleh, perpindahan yang semakin tinggi berada di tengah *patch* dan dinding *tubing* yang kontak dengan *patch*. Semakin jauh jarak *tubing* dengan *patch*, maka semakin kecil nilai perpindahan yang dihasilkan.



Tegangan *von mises* dari *patch* ketiga tampak merata ditunjukkan area kontur biru muda semakin sempit dari *patch* kedua. Namun hasil ini berbanding terbalik dengan nilai perpindahan. Semakin jauh jarak *tubing* dengan *patch*, maka semakin tinggi nilai tegangannya.

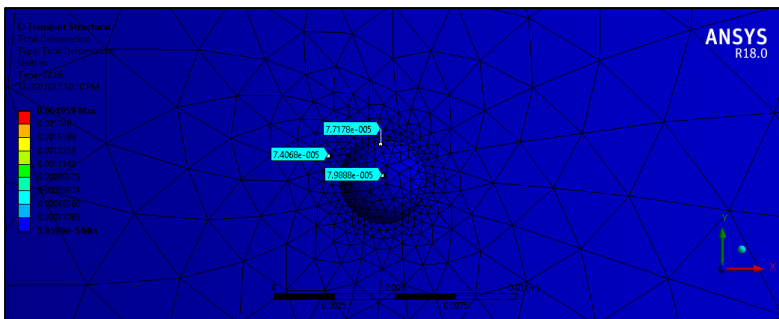


(a)

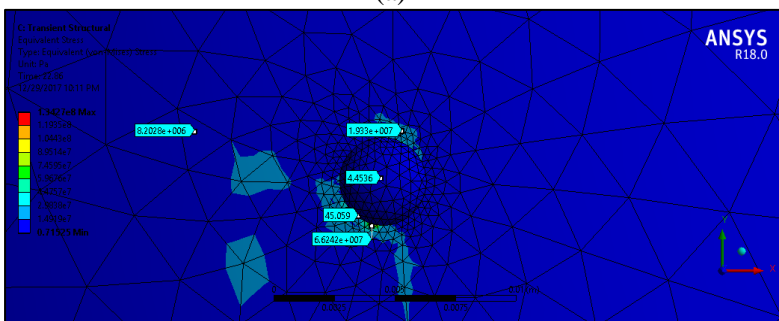


(b)

Gambar 4. 73 Penampang *Patch* Ketiga dengan Temperatur Inlet Fluida 323 K, (a) Deformasi, dan (b) Tegangan *Von Mises*

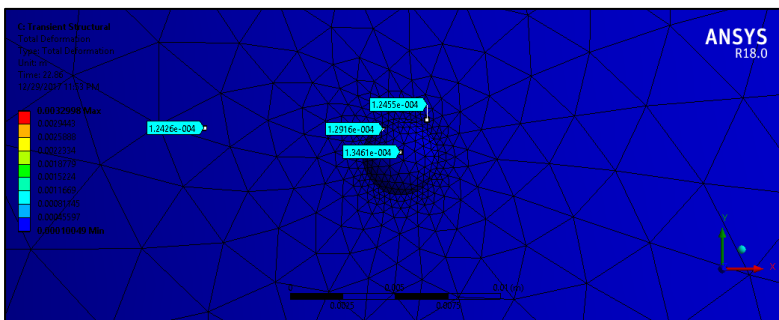


(a)

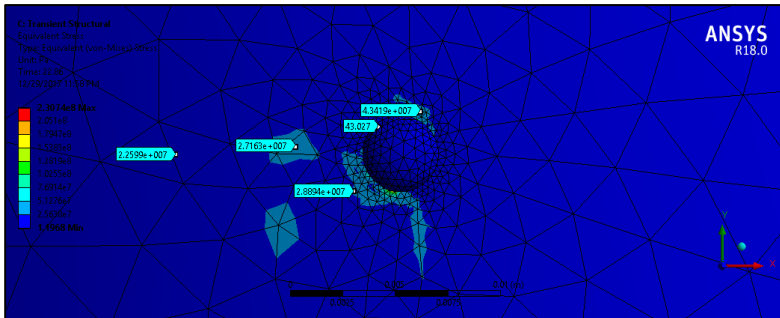


(b)

Gambar 4. 74 Penampang Patch Ketiga dengan Temperatur Inlet Fluida 373 K, (a) Deformasi, dan (b) Tegangan Von Mises

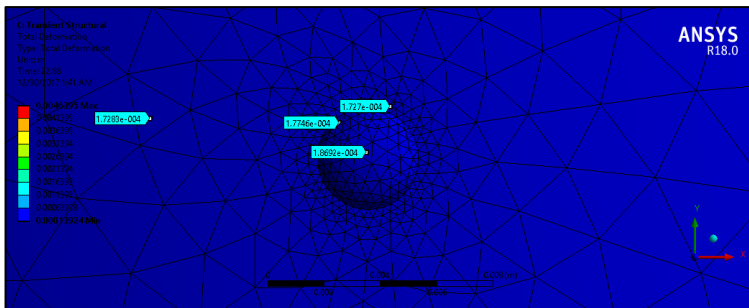


(a)

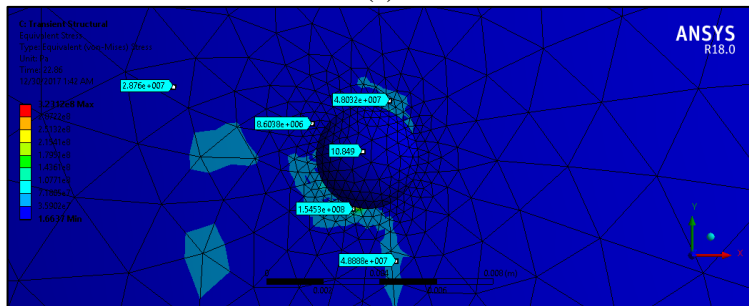


(b)

Gambar 4. 75 Penampang Patch Ketiga dengan Temperatur Inlet Fluida 423 K, (a) Deformasi, dan (b) Tegangan Von Mises

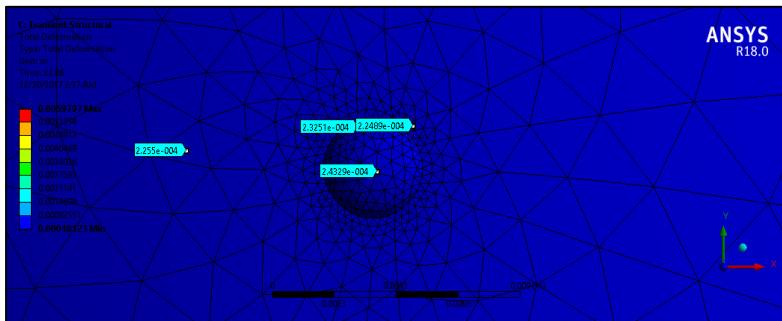


(a)

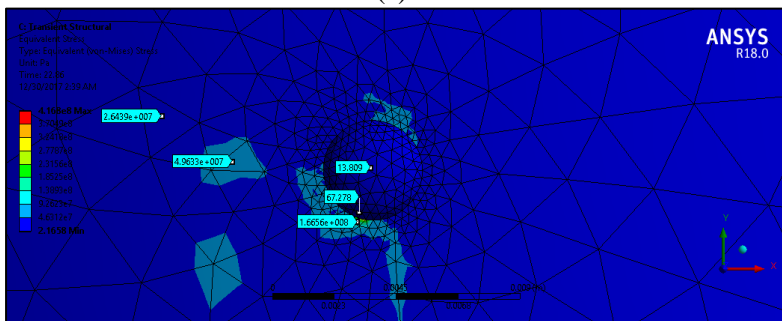


(b)

Gambar 4. 76 Penampang Patch Ketiga dengan Temperatur Inlet Fluida 473 K, (a) Deformasi, dan (b) Tegangan Von Mises

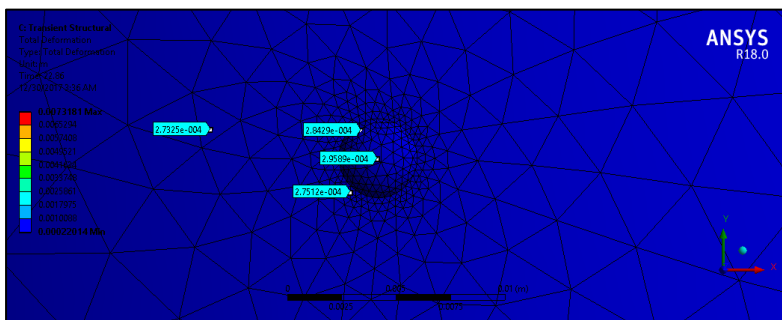


(a)



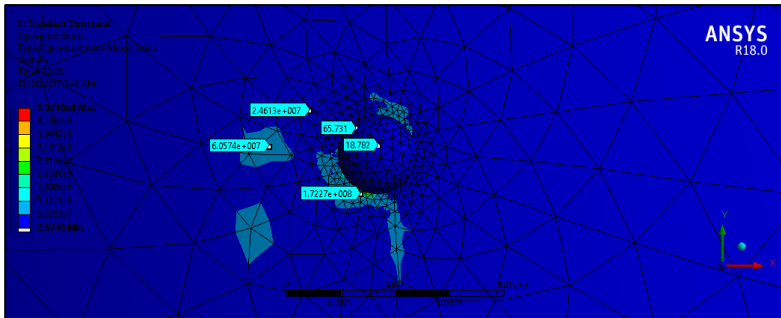
(b)

Gambar 4. 77 Penampang Patch Ketiga dengan Temperatur Inlet Fluida 523 K, (a) Deformasi, dan (b) Tegangan Von Mises



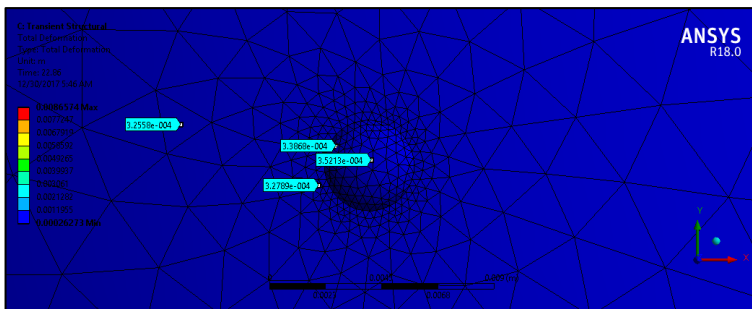
(a)

BAB IV ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN

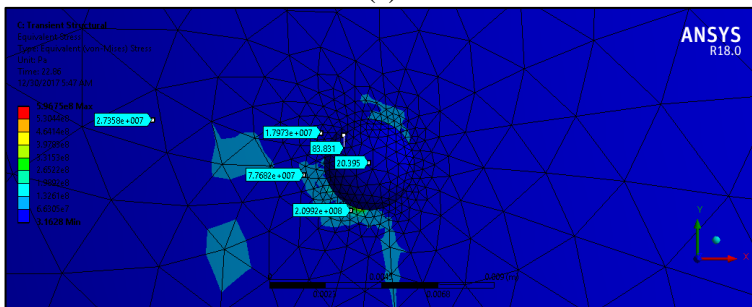


(b)

Gambar 4. 78 Penampang *Patch* Ketiga dengan Temperatur *Inlet* Fluida 573 K, (a) Deformasi, dan (b) Tegangan *Von Mises*

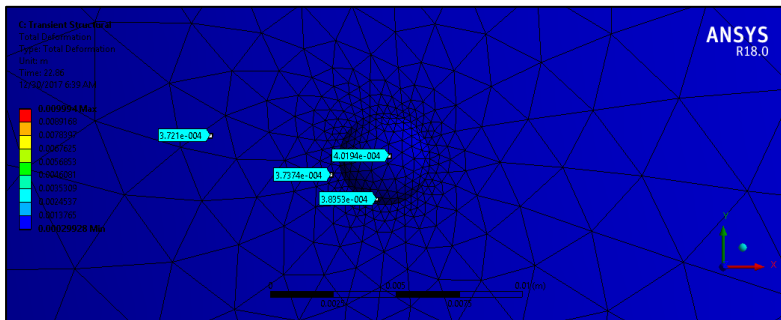


(a)

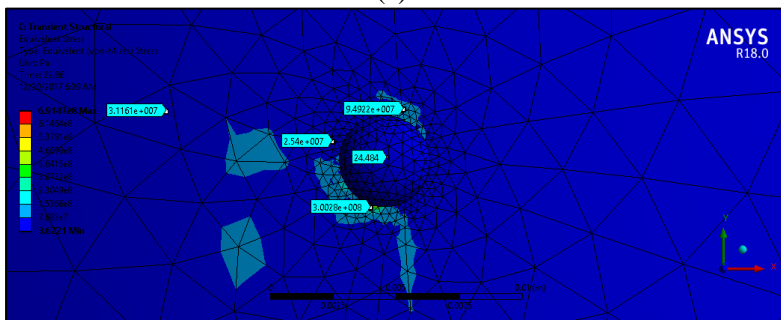


(b)

Gambar 4. 79 Penampang *Patch* Ketiga dengan Temperatur *Inlet* Fluida 623 K, (a) Deformasi, dan (b) Tegangan *Von Mises*



(a)



(b)

Gambar 4. 80 Penampang *Patch* Ketiga dengan Temperatur *Inlet* Fluida 673 K, (a) Deformasi, dan (b) Tegangan *Von Mises*

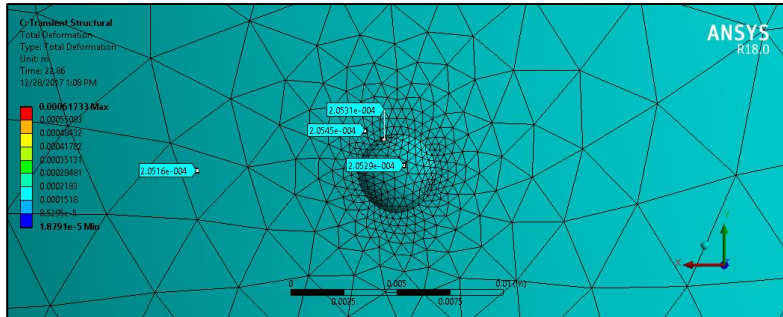
4.2.2.5 *Patch* Keempat

Patch keempat berada di kontur berwarna biru muda yang memiliki perpindahan dengan *range* nilai yang sama dengan *patch* kedua. Secara keseluruhan dari gambar yang diperoleh, perpindahan yang semakin tinggi berada di tengah *patch* dan dinding *tubing* yang kontak dengan *patch*. Semakin jauh jarak *tubing* dengan *patch*, maka semakin kecil nilai perpindahan yang dihasilkan.

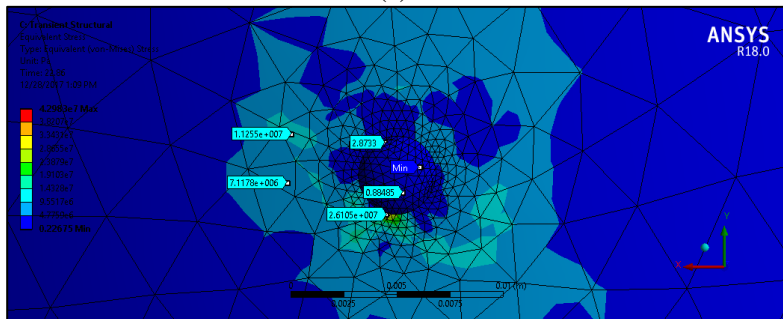
Tegangan *von mises* dari *patch* keempat tampak kurang merata kembali dengan ditunjukkan area kontur biru muda yang



mulai meluas kembali. Namun hasil ini berbanding terbalik dengan nilai perpindahan. Semakin jauh jarak *tubing* dengan *patch*, maka semakin tinggi nilai tegangannya.

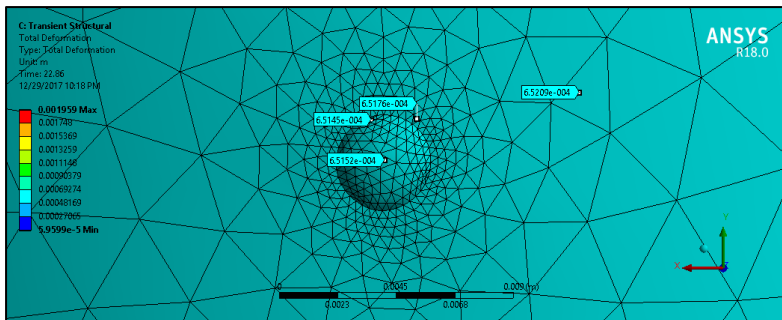


(a)

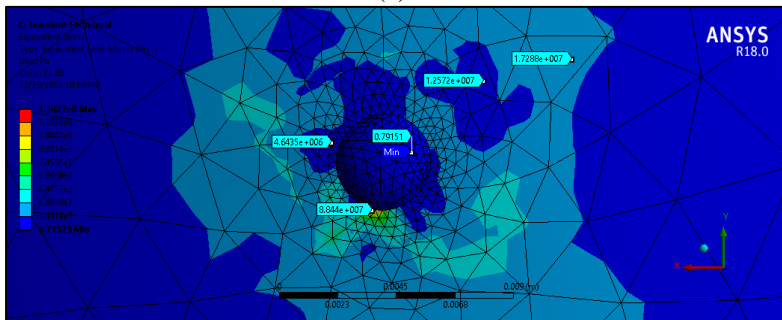


(b)

Gambar 4. 81 Penampang *Patch* Keempat dengan Temperatur *Inlet* Fluida 323 K, (a) Deformasi, dan (b) Tegangan *Von Mises*

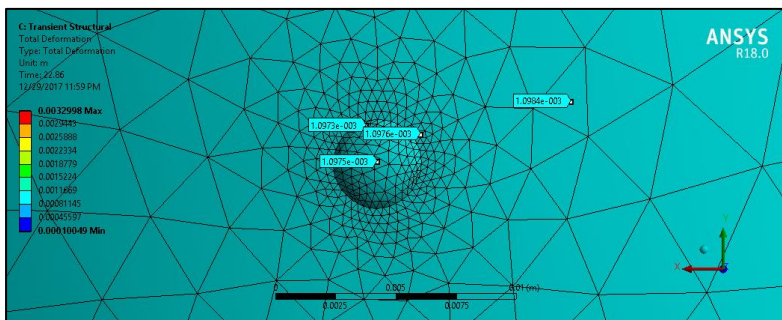


(a)



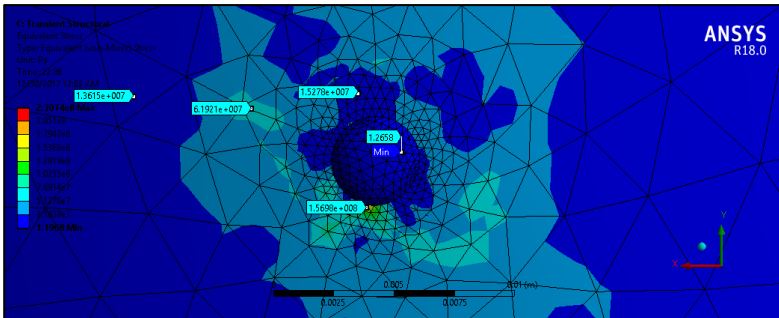
(b)

Gambar 4. 82 Penampang *Patch* Keempat dengan Temperatur *Inlet* Fluida 373 K, (a) Deformasi, dan (b) Tegangan *Von Mises*



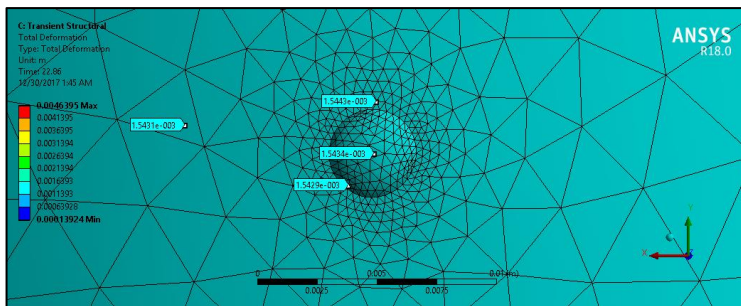
(a)

BAB IV ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN

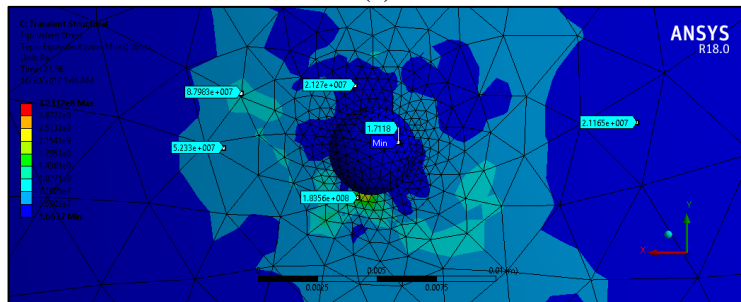


(b)

Gambar 4. 83 Penampang *Patch* Keempat dengan Temperatur *Inlet* Fluida 423 K, (a) Deformasi, dan (b) Tegangan *Von Mises*

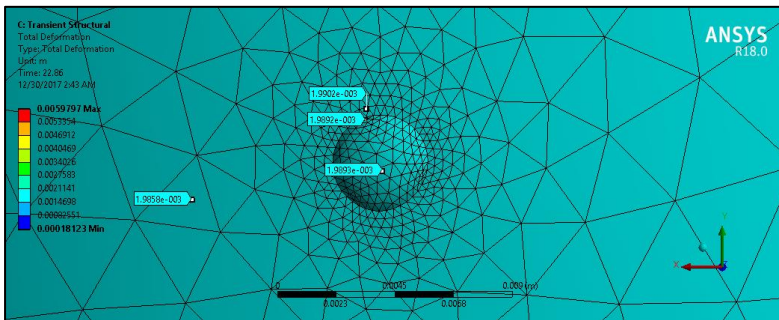


(a)

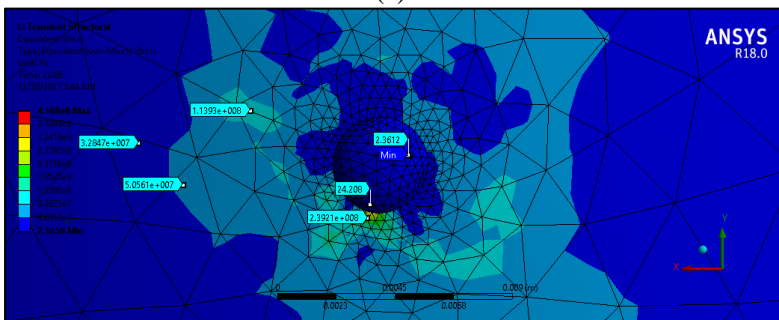


(b)

Gambar 4. 84 Penampang *Patch* Keempat dengan Temperatur *Inlet* Fluida 473 K, (a) Deformasi, dan (b) Tegangan *Von Mises*

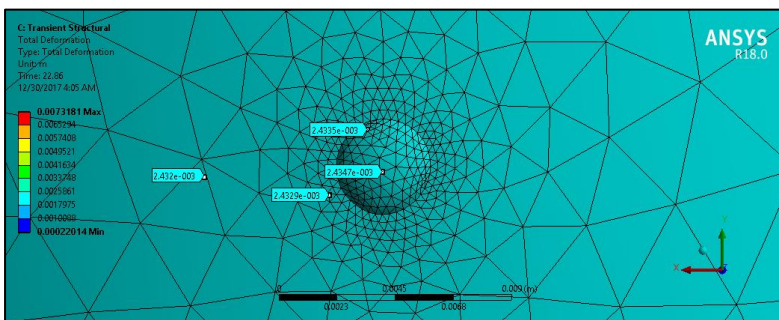


(a)

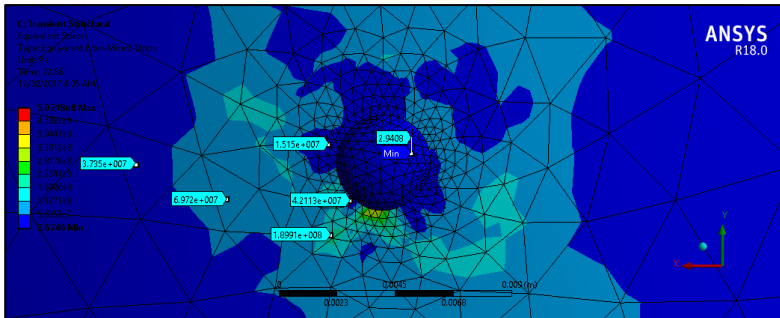


(b)

Gambar 4. 85 Penampang Patch Keempat dengan Temperatur Inlet Fluida 523 K, (a) Deformasi, dan (b) Tegangan Von Mises

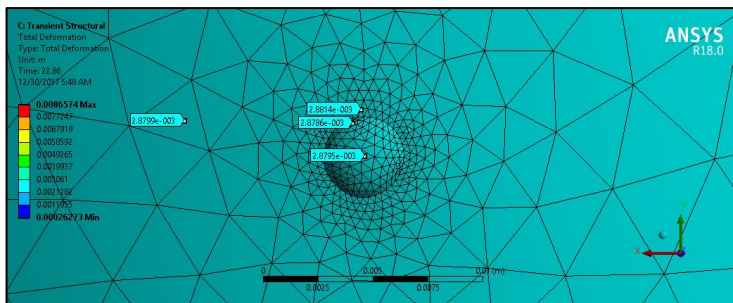


(a)

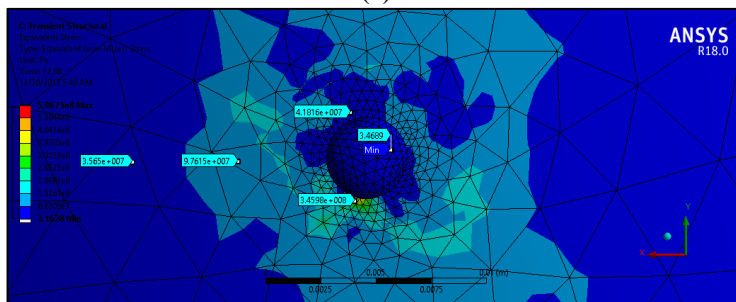


(b)

Gambar 4. 86 Penampang *Patch* Keempat dengan Temperatur *Inlet* Fluida 573 K, (a) Deformasi, dan (b) Tegangan *Von Mises*

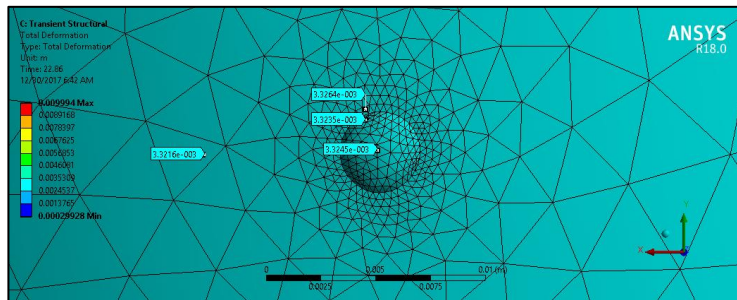


(a)

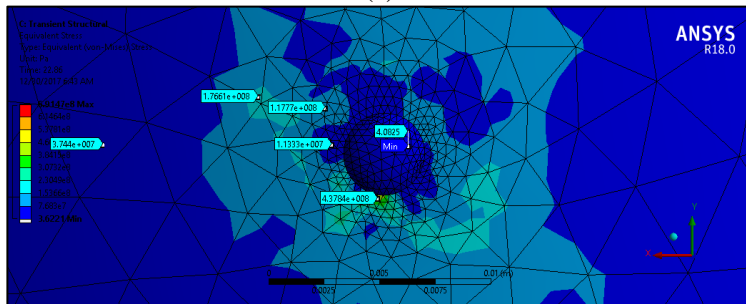


(b)

Gambar 4. 87 Penampang *Patch* Keempat dengan Temperatur *Inlet* Fluida 623 K, (a) Deformasi, dan (b) Tegangan *Von Mises*



(a)



(b)

Gambar 4. 88 Penampang *Patch* Keempat dengan Temperatur *Inlet* Fluida 673 K, (a) Deformasi, dan (b) Tegangan *Von Mises*

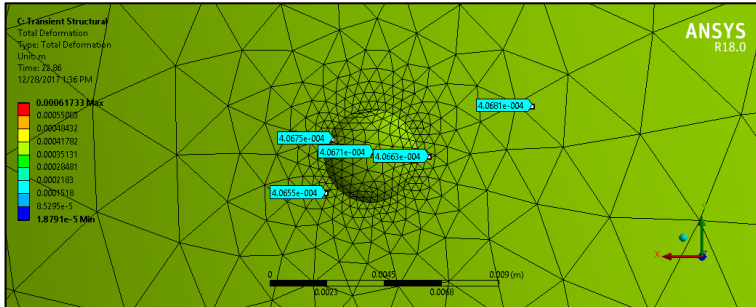
4.2.2.6 *Patch* Kelima

Patch kelima berada di kontur berwarna hijau yang memiliki perpindahan dengan *range* nilai yang sama dengan *patch* pertama. Secara keseluruhan dari gambar yang diperoleh, perpindahan yang semakin tinggi berada di tengah *patch* dan dinding *tubing* yang kontak dengan *patch*. Semakin jauh jarak *tubing* dengan *patch*, maka semakin kecil nilai perpindahan yang dihasilkan.

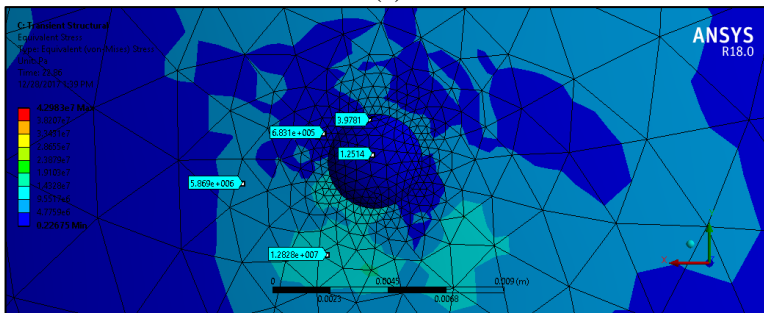
Tegangan *von mises* dari *patch* kelima kurang merata kembali dengan ditunjukkan area kontur biru muda yang luas kembali. Namun hasil ini tetap berbanding terbalik dengan nilai



perpindahan. Semakin jauh jarak *tubing* dengan *patch*, maka semakin tinggi nilai tegangannya.

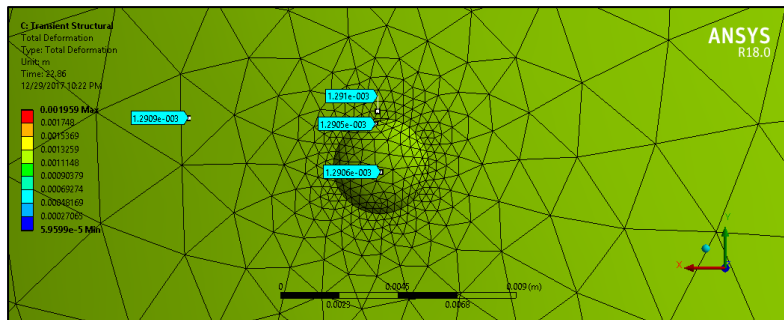


(a)

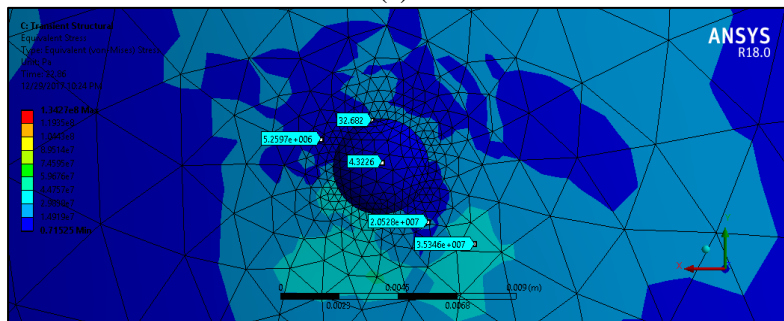


(b)

Gambar 4. 89 Penampang *Patch* Kelima dengan Temperatur *Inlet* Fluida 323 K, (a) Deformasi, dan (b) Tegangan *Von Mises*

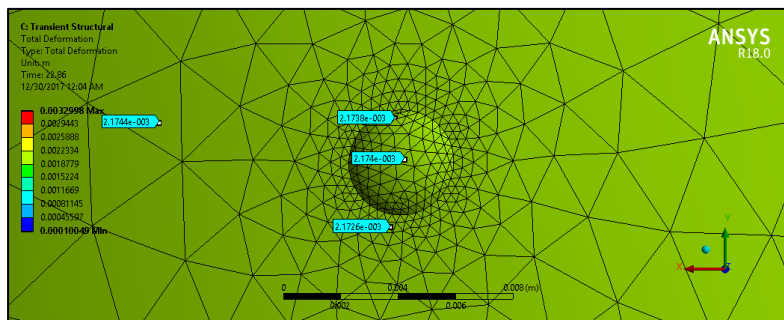


(a)



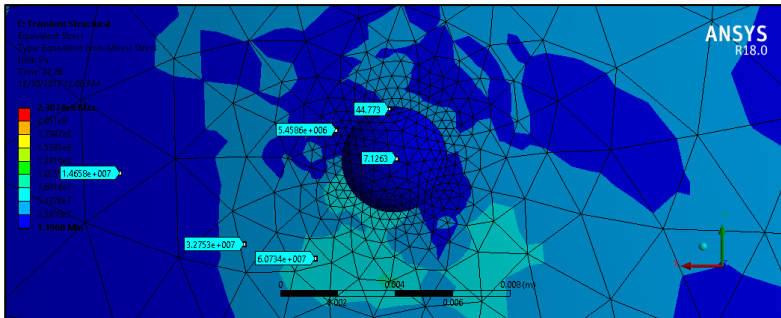
(b)

Gambar 4. 90 Penampang Patch Kelima dengan Temperatur Inlet Fluida 373 K, (a) Deformasi, dan (b) Tegangan Von Mises



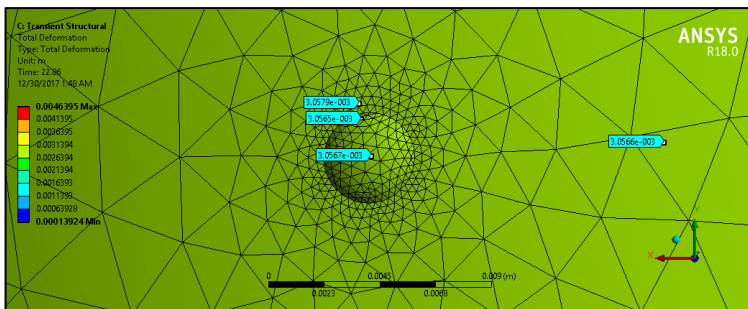
(a)

BAB IV ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN

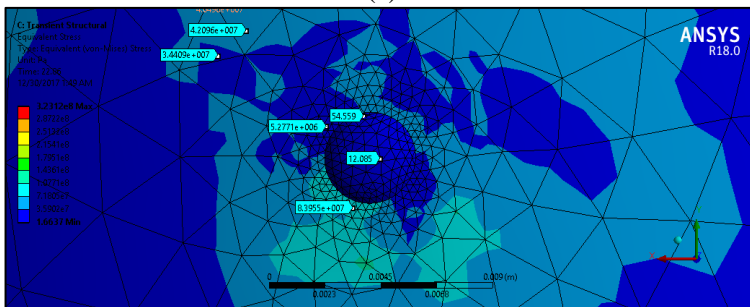


(b)

Gambar 4. 91 Penampang *Patch* Kelima dengan Temperatur *Inlet* Fluida 423 K, (a) Deformasi, dan (b) Tegangan *Von Mises*

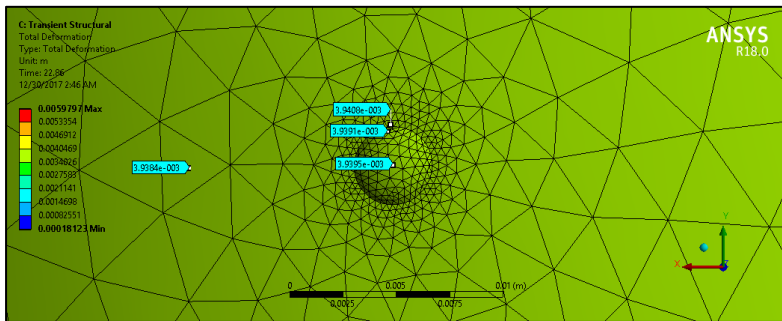


(a)

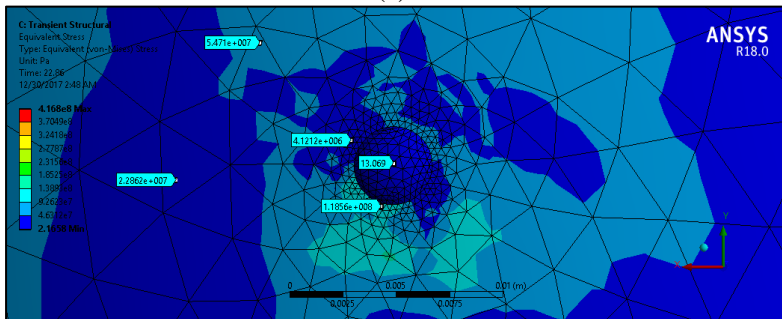


(b)

Gambar 4. 92 Penampang *Patch* Kelima dengan Temperatur *Inlet* Fluida 473 K, (a) Deformasi, dan (b) Tegangan *Von Mises*

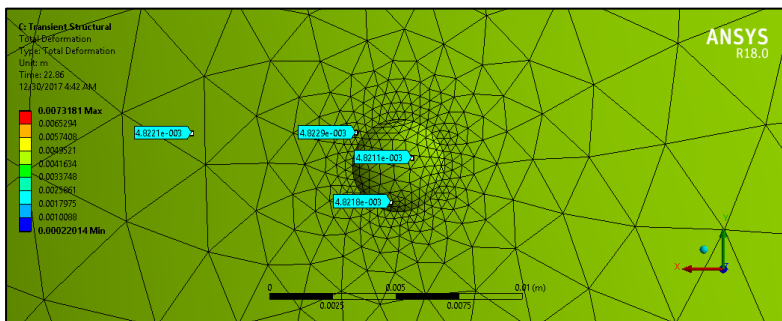


(a)

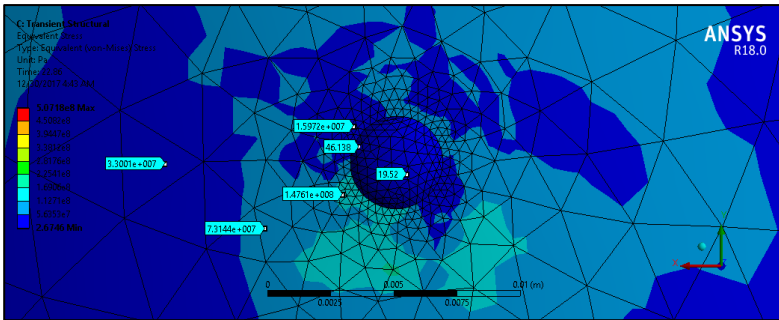


(b)

Gambar 4. 93 Penampang Patch Kelima dengan Temperatur Inlet Fluida 523 K, (a) Deformasi, dan (b) Tegangan Von Mises

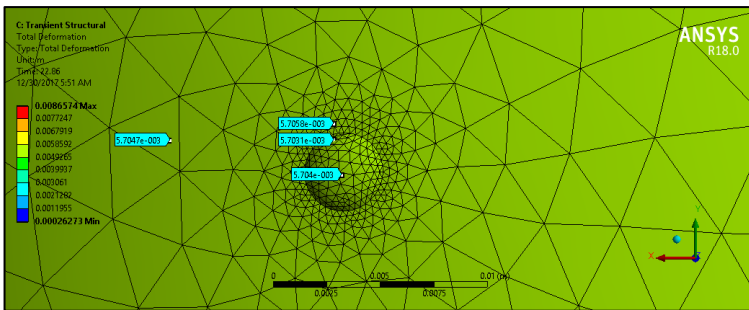


(a)

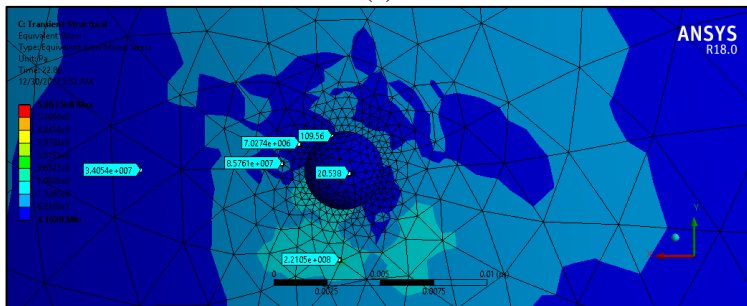


(b)

Gambar 4. 94 Penampang *Patch* Kelima dengan Temperatur *Inlet* Fluida 573 K, (a) Deformasi, dan (b) Tegangan *Von Mises*

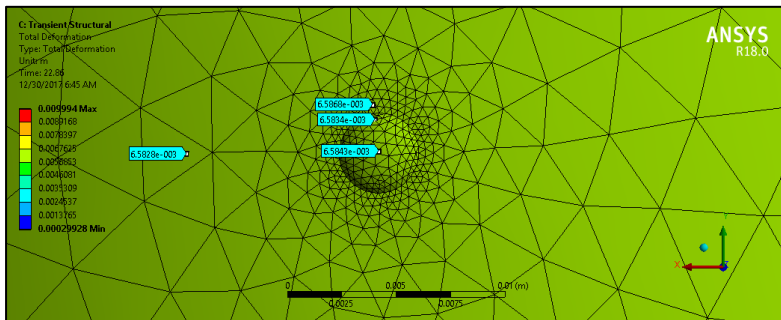


(a)

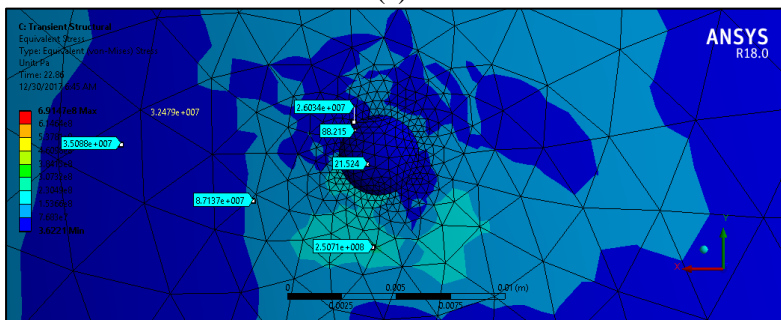


(b)

Gambar 4. 95 Penampang *Patch* Kelima dengan Temperatur *Inlet* Fluida 623 K, (a) Deformasi, dan (b) Tegangan *Von Mises*



(a)



(b)

Gambar 4. 96 Penampang *Patch* Kelima dengan Temperatur *Inlet* Fluida 673 K, (a) Deformasi, dan (b) Tegangan *Von Mises*

4.2 Pembahasan

Dalam simulasi ini fluida yang bekerja memiliki kecepatan sebesar 0,24 m/s dengan panjang 18 kaki atau setara dengan 5,4864 meter. Dari data tersebut diperoleh bahwa fluida mengalir dalam 22,86 detik dari *inlet* menuju *outlet*. Simulasi ini menggunakan *tubing* N80 dengan OD 4,5 inci dan tebal dinding 0,271 inci. Di sepanjang permukaan *tubing*, terdapat 5 lubang (3 lubang berada di bagian depan dan 2 lubang di bagian belakang) berdiameter 0,15 inci dengan jarak antar lubang sebesar 36 inci. Lubang diberi *patch repair* menggunakan *polyacrylamide* dengan daya kohesi



sebesar 39800 Joule/mol dan diperoleh tegangan sebesar 665,8 MPa. Fluida yang mengalir secara laminar dan dalam kondisi *steady state*.

Variasi temperatur *inlet* yang diambil dari 323 K hingga 673 K ditinjau dari temperatur kamar dan titik leleh *polyacrylamide* yaitu 300°C (573 K). Hal ini untuk menunjukkan daya lekat *patch* yang masih baik atau tidak pada temperatur tinggi atau lebih rendah dari titik leleh *polyacrylamide*.

Geometri yang dibuat selanjutnya di-*meshing* hingga memperoleh sebanyak 264.446 elemen dan 496.602 node. Geometri ini sesuai dengan simulasi karena tidak terjadi *error analysis* selama *software* bekerja. Apabila elemen dan node dari *meshing* jumlahnya kurang dari nilai tersebut, hal ini akan menyebabkan kurangnya keakuratan dalam perhitungan dan bentuk nyata dari geometri kurang terbentuk. Hal tersebut telah terjadi ketika *meshing*. Apabila elemen dan node berjumlah lebih banyak, *software* secara otomatis melaporkan *error analysis*.

Berdasarkan analisis data yang diperoleh, dapat ditunjukkan bahwa fluida mengalami temperatur *loss* selama fluida mengalir di sepanjang *tubing*. Hal ini terjadi karena adanya perpindahan panas secara konveksi dari fluida bertemperatur lebih tinggi menuju dinding *tubing* dan *patch*. Distribusi *thermal* yang tidak merata diakibatkan adanya perbedaan *material properties* antara baja dengan polimer, yaitu memiliki titik lebur yang berbeda. Baja memiliki titik lebur >1500°C dan *polyacrylamide* memiliki titik lebur >300°C, hal ini menyebabkan *polyacrylamide* akan mengalami *defect* pertama kali daripada *tubing*. *Defect* yang terjadi dapat berupa berkurangnya daya lekat *patch*, lepasnya *patch*, hingga *patch* meleleh. Sedangkan perpindahan panas antara *tubing* dan *patch* terjadi secara konduksi. *Tubing* N80 yang memiliki konduktivitas *thermal* yang lebih tinggi daripada *polyacrylamide*, menunjukkan bahwa *tubing* N80 semakin baik dalam menghantarkan panas. Oleh karena itu pada analisis *fluent* ditunjukkan temperatur fluida mengalami distribusi *thermal* yang merata di sepanjang *tubing* daripada di sekitar *patch*.



Beberapa *patch repair* yang dilakukan memiliki dampak pada distribusi thermal. *Patch repair* yang terbentuk akan menyebabkan tonjolan ke dalam *tubing* dan menyebabkan penyempitan area *tubing*. Fluida yang mengalir akan mendorong dan bergesekan dengan tonjolan *patch*, hal ini menyebabkan temperatur di sekitar tonjolan *patch* meningkat akibat gesekan dan pemampatan volume fluida.

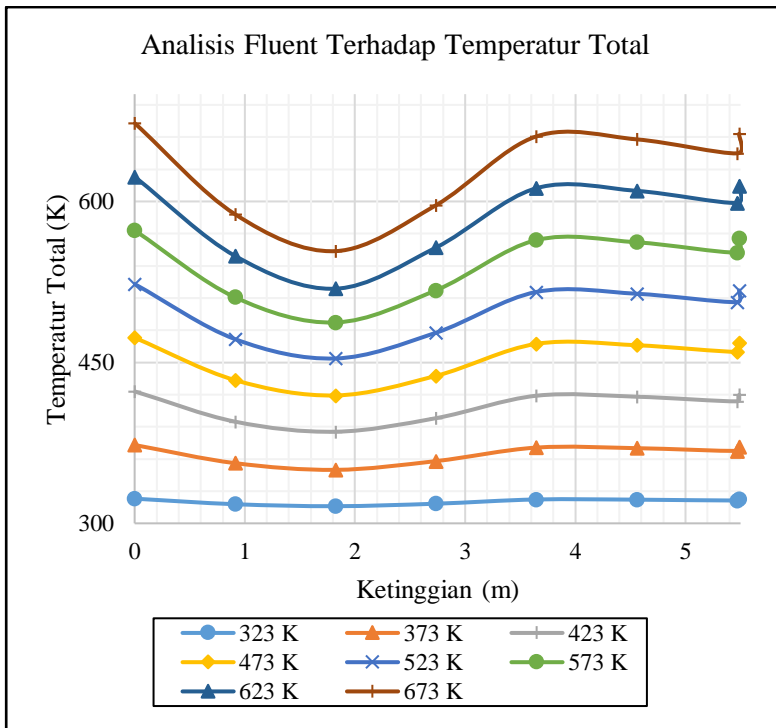
Temperatur *loss* masing-masing variabel dapat ditunjukkan pada tabel dan grafik sebagai berikut:

Tabel 4. 1 Perbandingan Temperatur *Loss* pada Ketinggian Tertentu

Temperatur Inlet (K)	323	373	423	473	523	573	623	673	
Ketinggian (m)	0	323	373	423	473	523	573	623	673
	0,9115	317,8	356,1	394,8	433,5	471,7	510,7	549,3	588,1
	1,8229	315,9	349,8	385,4	419,2	453,7	487,2	518,7	553,7
	2,7344	318,3	357,9	398,0	437,4	477,6	517,1	556,9	596,4
	3,6459	322,2	370,6	418,9	467,3	515,6	563,9	612,3	660,6
	4,5574	322,1	370,0	418,0	465,9	513,9	561,9	609,9	657,9
	5,4688	321,3	367,5	413,7	459,9	506,2	552,4	598,6	644,9
	5,4864	322,4	371,1	419,7	468,4	517,1	565,7	614,4	663,1

Tabel 4. 2 Perbandingan Selisih Temperatur (T) antar Titik

Temperatur Inlet (K)	323	373	423	473	523	573	623	673	
Ketinggian (m)	0	-	-	-	-	-	-	-	
	0,9115	5.185	16.889	28.22	39.514	51.32	62.31	73.74	84.93
	1,8229	1.829	6.267	9.395	14.285	18.017	23.48	30.58	34.38
	2,7344	-2.31	-8.147	-12.6	-18.21	-23.95	-29.93	-38.3	-42.7
	3,6459	-3.95	-12.60	-20.9	-29.85	-38.02	-46.83	-55.4	-64.2
	4,5574	0.171	0.547	0.936	1.265	1.671	2.057	2.456	2.74
	5,4688	0.803	2.549	4.282	6.045	7.793	9.52	11.27	13.01
	5,4864	-1.12	-3.565	-6.00	-8.439	-10.89	-13.32	-15.8	-18.2
T(T _{in} -T _{out})	0.612	1.945	3.272	4.608	5.943	7.278	8.613	9.937	



Gambar 4. 97 Grafik Temperatur Total pada Analisis *Fluent* Selama Fluida Mengalir

Dari hasil analisis, temperatur *loss* terbesar terjadi pada temperatur inlet sebesar 673 K yaitu 9,937 K dari temperatur *inlet* menuju *outlet*. Temperatur *tubing* yang terlalu panas akan membuat kemampuan lekat *patch* menurun. Oleh karena itu, kondisi temperatur *inlet* di atas 573 K tidak dianjurkan.

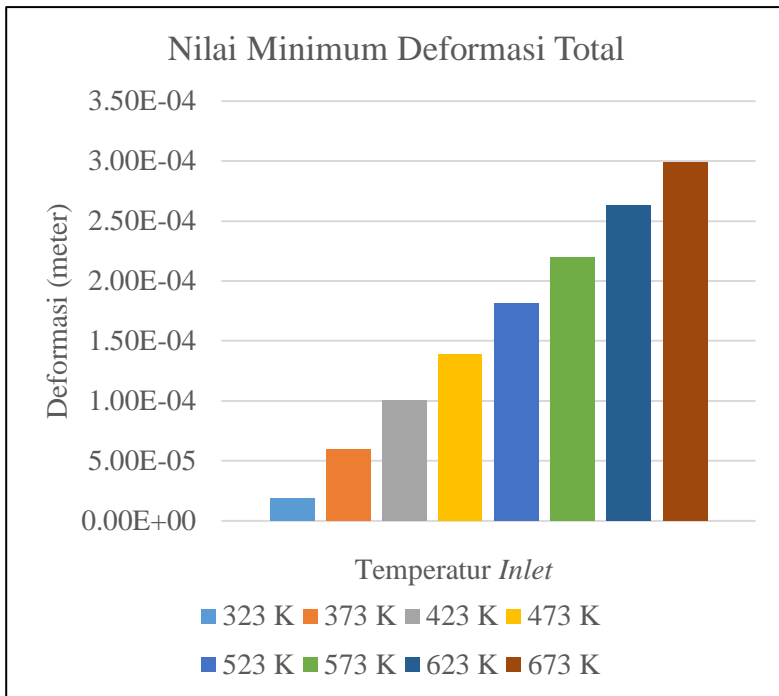
Deformasi total pada penelitian ini untuk menunjukkan seberapa besar deformasi akibat temperatur operasi yang dilakukan pada *inlet*. Tegangan *von mises* yang dianalisis merealisasikan tegangan thermal yang terjadi pada *tubing* N80 ketika diberi temperatur operasi tertentu pada *inlet*. Apabila kedua nilai ini semakin tinggi dari batas nilai dari material, akan menyebabkan



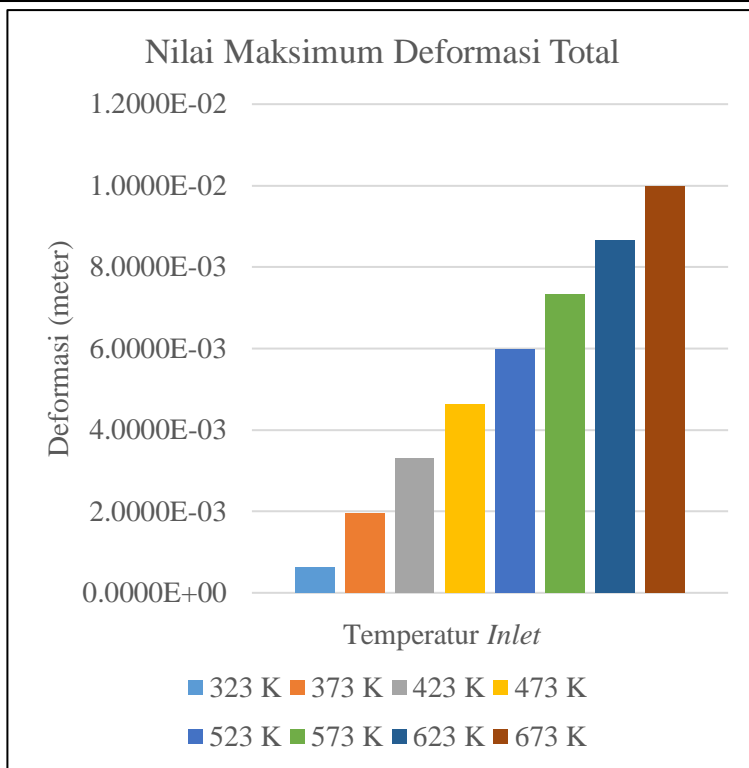
menyebabkan terjadi *thermal stress* yang dapat menurunkan kualitas material itu sendiri. Hal ini akan menyebabkan adanya kavitasi lokal, keausan dan timbulnya korosi. (Hidayat, et al., 2017)

Nilai deformasi terendah terjadi di tengah *tubing* dan tertinggi terjadi di ujung bawah *tubing* sebagai *inlet*. Hal ini diakibatkan inisiasi terjadi pada ujung *tubing* ini, fluida akan mengalir lebih lama pada area tersebut. Oleh karena itu, perpindahan panas terus terjadi pada area tersebut dan akan menyebabkan deformasi pertama dan terbesar. Sedangkan di tengah *tubing* perpindahan yang terjadi sangat kecil. Karena arah pemuaiian terjadi dari ujung menuju ke tengah *tubing*. Proses ini dinamakan *shrinkage* atau penyusutan.

Berdasarkan masing-masing temperatur *inlet*, nilai terendah berada di temperatur inisiasi 323 K yaitu sebesar 0,000018791 meter untuk nilai minimum dan 0,00061733 meter untuk nilai deformasi maksimumnya. Sedangkan nilai deformasi tertinggi berada di temperatur inisiasi 673 K yaitu dengan nilai minimum 0,00029928 meter dan nilai maksimum 0,009994 meter. Hal ini dapat menunjukkan semakin besar temperatur inisiasi pada *inlet* maka semakin besar deformasi yang terjadi di sepanjang struktural.



Gambar 4. 98 Grafik Temperatur Operasi pada *Inlet* terhadap Nilai Minimum Deformasi



Gambar 4. 99 Grafik Temperatur Operasi pada *Inlet* terhadap Nilai Maksimum Deformasi



Tabel 4. 3 Nilai Deformasi Total

Temperatur Inlet (K)	Deformasi Total Minimum (meter)	Deformasi Total Maksimum (meter)
323	0,000018791	0,00061733
373	0,000059599	0,001959
423	0,00010049	0,0032998
473	0,00013924	0,0046395
523	0,00018123	0,0059797
573	0,00022014	0,0073181
623	0,00026273	0,0086574
673	0,00029928	0,009994

Tegangan *von mises* digunakan untuk menunjukkan *thermal stress* pada *tubing* dan *patch* selama 22,86 detik fluida mengalir. Tegangan yang bervariasi ditunjukkan akibat adanya temperatur inisiasi yang berbeda. Berdasarkan analisis data pada sub-bab sebelumnya, tegangan terbesar berada di *patch* kedua. Tegangan terbesar terjadi diantara sambungan *patch* dan *tubing*. Hal ini dapat menunjukkan daya lekat *patch* terhadap *tubing*.

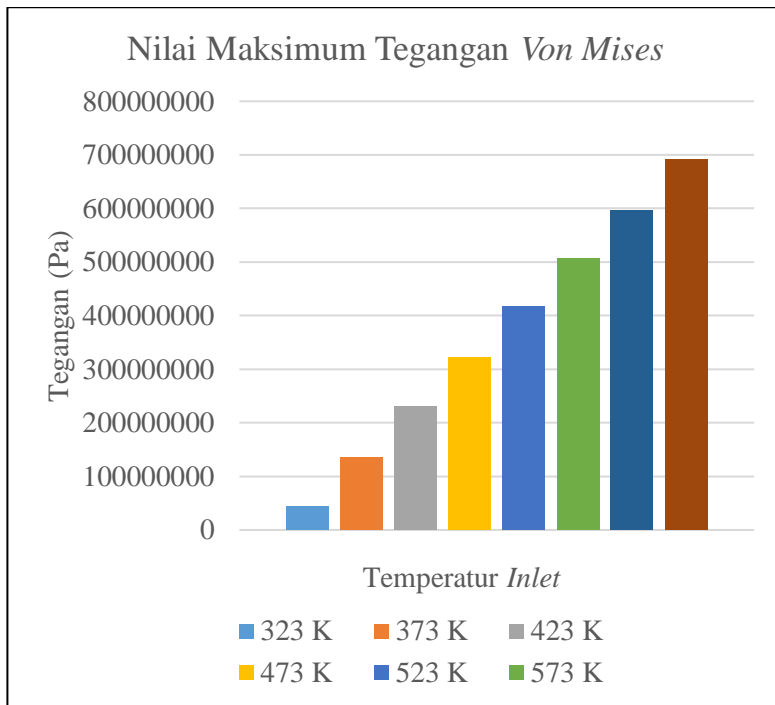
Berdasarkan masing-masing temperatur *inlet*, nilai terendah berada di temperatur inisiasi 323 K yaitu sebesar 42,983 MPa. Sedangkan nilai tegangan *von mises* tertinggi berada di temperatur inisiasi 673 K yaitu dengan nilai minimum 0,00029928 meter dan nilai maksimum 0,009994 meter. Hal ini juga dapat menunjukkan semakin besar temperatur inisiasi pada *inlet* maka semakin besar tegangan *von mises* yang terjadi di antara sambungan *patch* dan *tubing*.

Berdasarkan analisis data pada sub-bab sebelumnya, tegangan terbesar berada di *patch* kedua. Tegangan terbesar terjadi diantara sambungan *patch* dan *tubing*. Hal ini dapat menunjukkan daya lekat *patch* terhadap *tubing*.

Berdasarkan masing-masing temperatur *inlet*, nilai terendah berada di temperatur inisiasi 323 K yaitu sebesar 42,983 MPa. Sedangkan nilai tegangan *von mises* tertinggi berada di temperatur



inisiasi 673 K yaitu dengan nilai minimum 0,00029928 meter dan nilai maksimum 0,009994 meter. Hal ini juga dapat menunjukkan semakin besar temperatur inisiasi pada *inlet* maka semakin besar tegangan *von mises* yang terjadi di antara sambungan *patch* dan *tubing*.



Gambar 4. 100 Grafik Temperatur Operasi pada *Inlet* terhadap Nilai Maksimum Tegangan *Von Mises*



Tabel 4. 4 Nilai Tegangan *Von Mises* Maksimal

Temperatur Inlet (K)	Tegangan <i>Von Mises</i> Maksimal (MPa)
323	42,983
373	134,27
423	230,74
473	323,12
523	416,8
573	507,18
623	596,75
673	691,47

Nilai perpindahan dan tegangan *von mises* terbesar juga terjadi pada temperatur *inlet* 673 K ini dengan masing-masing nilai 0,009994 meter di ujung *tubing* dan 691,47 MPa terjadi di sekitar *patch* kedua. Karena tegangan dari *polyacrylamide* sebesar 665,8 MPa, maka temperatur *inlet* lebih dari sama dengan 673 K tidak dianjurkan.

Dari hasil kedua analisis dengan modul *fluent* dan *transient analysis* ini, temperatur optimum yang dapat dioperasikan sekitar 323 K hingga 523 K. Hal ini dapat didukung dengan studi sebelumnya milik Hidayat, et. al 2016. Hasil simulasi menunjukkan bahwa kemampuan *casing* untuk menahan tekanan formasi diturunkan seiring dengan banyaknya siklus thermal yang meluas, sehingga menyebabkan degradasi kekuatan *casing* pada aplikasi thermal. Sebagai rekomendasi dalam operasi secara praktik, disarankan agar temperatur kerja maksimum dari injeksi uap lebih baik berada di bawah 360°C, misalnya 300°C atau setara dengan 573 K. Pada temperatur ini, ditunjukkan bahwa *casing* memiliki tegangan thermal yang lebih rendah serta kemampuan yang lebih baik pada tekanan yang menurun.



BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian ini, diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Temperatur *tubing* dapat mempengaruhi daya lekat *patch repair Polyacrylamide* karena semakin tinggi temperatur *tubing* hingga melebihi titik leleh *polyacrylamide*, maka semakin berkurang daya lekat dan menurunnya kemampuan *patch repair*.
2. Temperatur optimum *tubing* yang paling tepat untuk dilakukan *patch repair* menggunakan *Polyacrylamide* adalah di bawah titik leleh *polyacrylamide* yaitu 323 K hingga 523 K, namun temperatur paling optimum adalah temperatur di bawah 323 K ditinjau dari nilai perpindahan dan tegangan *von mises* yang semakin kecil.

5.2 Saran

Saran yang dapat dipertimbangkan untuk penelitian berikutnya adalah:

1. Mengembangkan dengan menggunakan temperatur yang lebih rendah maupun tinggi kembali dari penelitian ini agar hasil simulasi dapat divalidasi kembali.
2. Membuat simulasi lainnya dengan kondisi *transient* ataupun turbulensi fluida untuk melihat hasil variasi lainnya.



(Halaman ini sengaja dikosongkan)



DAFTAR PUSTAKA

- API, 5., 2005. **Specification for Casing and Tubing**. Washington D.C: American Petroleum Institute.
- API, 5., 2010. **Specification for Drill Pipe**. Washington D.C: American Petroleum Institute.
- ASTM, 2016. **D 323: Standard Test Method for Vapor Pressure of Petroleum Products (Reid Method)**. West Conshohocken: ASTM International.
- Callister, W. D., 2009. **Material Science and Engineering an Introduction**. 8th ed. USA: John Wiley & Sons, Inc..
- Chemical Book, 2017. **Polyacrylamide**. [Online] Available at: http://www.chemicalbook.com/ChemicalProductProperty_EN_CB4390057.htm [Accessed 18 September 2017].
- Devold, H., 2013. **Oil and Gas Production Handbook: An Introduction to Oil and Gas Production, Transport, Refining, and Petrochemical Industry**. Oslo: ABB Oil and Gas.
- Esen, H., Inalli, M. & Esen, Y., 2009. **Temperature Distribution in Boreholes of A Vertical Ground-Coupled Heat Pump System**. Elazig: Firat University.
- Ferziger, J. & Peric, M., 2002. **Computational Methods for Fluid Dynamics**. 3rd ed. Germany: Springer-Verlag.
- Geankoplis, C., 1987. **Transport Process and Unit Operations**. 2nd ed. s.l.:Allyn and Bacon Inc..
- Genedy, M. et al., 2016. **A New Polymer Nanocomposite Repair Material for Restoring Wellbore Seal Integrity**. Mexico: University of New Mexico.
- Hendrizar, I. P. & Djunaidi, Z., 2013. **Analisis Risiko pada Pipa 6" Crude Oil SP PDT I - SP Tambun di PT Pertamina EP Region Jawa Field Tambun**, Depok: Universitas Indonesia.
-



-
- Hidayat, M. I. P., Irawan, S. & Abdullah, M. Z., 2016. **Casing Strength Degradation in Thermal Environment of Steam Injection Wells**. Surabaya: IOP Publishing.
- Hidayat, M. I. P., Irawan, S. & Abdullah, M. Z., 2017. **Effect of Casing Imperfection on the Casing Strength in Steam Injection Wells**. Surabaya: IOP Publishing.
- Holman, J., 1983. **Thermodynamics**. Auckland: McGraw-Hill International Book.
- Ibrahim, M. A. b. & Irawan, S., 2016. **Absorption Properties of Superabsorbent Polymers for Sealing Tubing Leaks**. Bandar Seri Iskandar: Universiti Teknologi Petronas.
- Incropera, F. P. & Dewitt, D. P., 2011. **Fundamentals of Heat and Mass Transfer**. 7th ed. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc..
- Institute of Petroleum Engineering, 2005. **Drilling Engineering**. Edinburg: Heriot-Watt University.
- Jeong, W. & Seong, J., 2014. **Comparison of Effects on Technical Variances of Computational Fluid Dynamics (CFD) Software Based on Finite Element and Finite Volume Methods**. s.l.:International Journal of Mechanical Sciences.
- Khandka, R. K., 2007. **Leakage Behind Casing**. Norway: NTNU.
- Li, X., Ji, H. & Li, Y., 2012. **Fluent in the Simulation of the Application of the Natural Gas Leakage**. Shanghai, Atlantis Press, pp. 690-692.
- Ouyang, L.-B., 2015. **A Novel Approach to Detect Tubing Leakage in Carbon Dioxide (CO₂) Injection Wells via an Efficient Annular Pressure Monitoring**. Bellaire: Chevron Corporation.
- Patel, G. N., 2010. **CFD Simulation of Two-Phase and Three-Phase Flow in Internal-Loop Airlift Reactors**. Finland: Lappeenranta University of Technology.
-



-
- Polymer Database, 2015. **Properties Polymer Database: Polyacrylamide.** [Online] Available at: [<URL:http://polymerdatabase.com/polymer% 20classes/Polyacrylamide%20type.html>](http://polymerdatabase.com/polymer%20classes/Polyacrylamide%20type.html) [Accessed 18 September 2017].
- Prabowo, G., 2010. **Studi Pengaruh Deformasi dan Temperatur terhadap Besar Butir Ferit pada Baja HSLA A572 Grade 50 Hasil Proses Canai Panas.** Depok: Universitas Indonesia.
- Stoecker, W. F. & Jones, J. W., 1982. **Refrigeration and Air Conditioning.** Auckland: McGraw-Hill.
- Styler, J. W., Al-Suwailem, S. S., Akhnoukh, R. L. & Leighton, J. R., 2001. **A Unique Rigless Casing Leak Repair, Ghawar Field, Saudi Arabia.** Saudi Arabia: Society of Petroleum Engineers.
- Sukandi, 2008. **Analisa Faktor-Faktor Dispersi Mutu dan Kemampuan Proses pada Proses Heat Treatment Pipa Casing L80.** Jakarta: Universitas Mercu Buana.
- Todorovic, J., 2015. **Mitigation and Remediation of Leakage from Geological Storage.** Trondheim: SINTEF Petroleum AS.
- U.S. Steel Tubular Products, 2014. **Oil Country Tubular Goods.** Pittsburgh: U.S. Steel Tubular Products.
- Xua, T. et al., 2012. **Study on The Static and Dynamic Fracture Mechanism of Different Casing-Drilling Steel Grades.** China: Xi'an Jiaotong University.
- Zhao, J. et al., 2017. **Research on Heat Transfer Characteristic of Waxy Crude Oil during Gelatinization Process in the Floating Roof Tank.** China: Elsevier Masson SAS .



(Halaman ini sengaja dikosongkan)



LAMPIRAN

1. Perhitungan Kecepatan Alir Fluida

Diketahui *cross sectional area* dari geometri *tubing* dalam simulasi sebesar 12,304 in². Untuk *flow rate* proses pengeboran minyak mentah memiliki rentang nilai sebesar 1.000 hingga 1.200 barel/hari. Dalam simulasi ini, *flow rate* yang digunakan sebesar 1.050 barel/hari dengan konversi sebagai berikut:

$$s = \frac{1.050 \text{ barel/hari}}{24 \text{ jam} \times 60 \text{ menit} \times 60 \text{ detik}} \times 1.736 \text{ m}^3/\text{barrel} \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{liter} \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{cm}^3$$

Lalu konversi *area* sebesar:

$$s = \frac{12,304 \text{ in}^2 \times 6.4516 \text{ cm}^2/\text{in}^2}{1000000 \text{ cm}^2/\text{m}^2} = 7.937 \times 10^{-5} \text{ m}^2$$

Maka, diperoleh kecepatan alir fluida, sebesar:

$$v = \frac{Q}{A} = \frac{7.937 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}}{7.937 \times 10^{-5} \text{ m}^2} = 1 \text{ m/s}$$

2. Perhitungan Waktu Alir Fluida

$$t = \frac{L}{v}$$

$$t = \frac{L}{v}$$

$$t = \frac{L}{v}$$

$$t = \frac{L}{v}$$

3. Perhitungan Tegangan *Polyacrylamide*

Diketahui daya kohesi *polyacrylamide* sebesar 39.800 J/mol, memiliki densitas sebesar 1189 kg/m³ dan volume sebesar



0,0047881 in³ (7,8311x10⁻⁸ m³). Berat molekul dari polyacrylamide yaitu 71,08 gr/mol.

$$\epsilon = L \frac{I}{8}$$

$$I = L \epsilon T 8$$

$$I = L \frac{ssz\{ T y \acute{z}uss \acute{a}sr \} <$$

$$I = L \{ \acute{a}uss \acute{a}sr \} ^9 GC$$

$$I = L r \acute{a}uss \quad CN=I$$

$$\frac{u \acute{z}rr}{IKH}, T \frac{IKH}{ys \acute{a}z \quad CN} L \quad ww \{ \acute{a}it \}, CN$$

$$\frac{ww \{ \acute{a}it \}}{CN=I}, Tr \acute{a}uss \quad CN=I \quad L \quad wt \acute{a}ux, \quad L \quad wt \acute{a}ux \quad 2= \acute{a}l \quad ^7$$

$$\epsilon = L \frac{wt \acute{a}ux \quad 2= \acute{a}l \quad ^7}{y \acute{a}zuuss \quad Tsr \quad ? < I \quad ^7} L \quad xxw \acute{a}w \{ \acute{a}ry \acute{a} \quad 2= L \quad xxw \acute{a}z \quad /2=$$



UCAPAN TERIMA KASIH

Pada pembuatan laporan tugas akhir ini penulis mendapat banyak bantuan dari berbagai pihak, pada kesempatan kali ini penulis ini mengucapkan terima kasih kepada:

1. Tuhan Yang Maha Esa karena atas berkat rahmat-Nya penulis dapat menyelesaikan laporan tugas akhir dengan baik.
2. Ayah, Ibu, Dek Ruri, Dek Riris serta keluarga yang selalu mendoakan penulis dan memberikan semangat, dukungan, cinta kasih serta motivasi.
3. Bapak Mas Irfan P. Hidayat, Ph.D dan Bapak Sungging Pintowantoro, Ph.D selaku dosen pembimbing tugas akhir yang membimbing penulis dalam mengerjakan laporan tugas akhir dari awal hingga akhir, serta memberikan banyak ilmu terkait tugas akhir yang dikerjakan oleh penulis.
4. Bapak Dr. Sonny Irawan selaku pembimbing dari Universiti Teknologi PETRONAS yang memberikan banyak ilmu terkait tugas akhir yang dikerjakan oleh penulis.
5. Bapak Dr. Agung Purniawan, ST., M.Eng selaku Ketua Departemen Teknik Material FTI – ITS.
6. Bapak Dr. Eng. Hosta Ardhyananta, ST., M.Sc. selaku Koordinator Tugas Akhir Departemen Teknik Material FTI-ITS.
7. Bapak Mas Irfan P. Hidayat, Ph.D selaku dosen wali yang sangat mengayomi selama penulis menjalani pendidikan di Departemen Teknik Material FTI-ITS.
8. Seluruh dosen dan karyawan Departemen Teknik Material FTI-ITS yang telah membimbing penulis hingga terciptanya laporan ini.



9. Halida Azmi Falah, partner penulis laporan tugas akhir ini yang telah membantu penulis.
10. Annisa Nur Amalia, sahabat penulis yang selalu mendukung, memberi semangat, dan menemani penulis dengan canda-tawa serta tangis selama pengerjaan tugas akhir ini.
11. Figo Risky dan Wahyu Hidayat, sahabat penulis yang telah rela mendengarkan cerita, dan membantu penulis selama mengerjakan tugas akhir ini.
12. Vigita Maria Cecilia K. dan Heti Pratiwi, sahabat penulis yang telah banyak membantu dan memberikan banyak pembelajaran selama penulis menjalani perkuliahan di ITS.
13. Habiyoso, Hendy dan Yunus, teman penulis yang telah memberikan banyak pembelajaran dan ilmu terkait software ANSYS.
14. Para anggota “Gula Kacang” yaitu Firda Nirmala, Rheinadia, Bayu Nadya, Retno Wulansari, dan Apsari, yang telah memberikan dukungan dan motivasi untuk penulis.
15. Para anggota “Role Model” yaitu Mbak Sekar, Mbak Ros dan Mbak Syiffa yang selalu memberikan pengalaman tentang kuliah dan mendukung penulis selama berkarir.
16. Teman-teman Asisten Laboratorium Korosi dan Kegagalan Material yang memberikan cerita, ilmu dan canda-tawa selama bekerjasama dengan penulis.
17. Teman-teman Departemen Media dan Informasi HMMT FTI-ITS 15/16 yang telah memberikan banyak ilmu kepada penulis.
18. Teman-teman Departemen Media dan Informasi HMMT FTI-ITS 16/17 yang telah memberikan banyak cerita menarik selama penulis berorganisasi.



19. Teman-teman OC GERIGI ITS 2015 dan Kakak Pendamping GERIGI ITS 2016 yang telah membagikan banyak cerita yang berbeda dari masing-masing departemen kepada penulis.
20. Teman-teman seperjuangan MT16 yang membantu, mendukung penulis, dan memberikan banyak kenangan bersama penulis.
21. Teman-teman MT17 dan MT18 yang mendukung penulis dalam pengerjaan laporan tugas akhir ini.
22. Dan seluruh pihak yang telah memberikan partisipasi dalam pengerjaan tugas akhir ini.
23. Serta seluruh pihak yang belum bisa dituliskan satu per satu oleh penulis. Terimakasih atas dukungan dan bantuan teman-teman sekalian.



(Halaman ini sengaja dikosongkan)



BIODATA PENULIS



Penulis yang dilahirkan di Kota Malang pada tanggal 14 Desember 1995, merupakan anak pertama dari 3 bersaudara dari pasangan Syamsul Mu'arif dan Nurul Aini. Riwayat pendidikan formal yang ditempuh oleh penulis, antara lain TK Kartika IV-6 Kota Malang, SD Negeri Polehan 3 Kota Malang, SMP Negeri 21 Kota Malang, dan SMA Negeri 1 Kota Malang. Setelah menempuh pendidikan dan lulus dari SMA Negeri 1 Kota Malang, lalu diterima melalui jalur SBMPTN pada tahun 2014 dan melanjutkan kuliah di Departemen Teknik Material, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya dengan NRP 0251144000080.

Selama berkuliah di Kampus Perjuangan ini, penulis mengikuti kegiatan seminar, pelatihan dan organisasi. Penulis pernah menjadi Staff Departemen Media dan Informasi HMMT FTI-ITS 15/16. Setelah itu, penulis pernah menjabat sebagai Sekretaris Departemen Media dan Informasi HMMT FTIITS 16/17 dan Asisten Laboratorium Korosi dan Kegagalan Material. Selain itu, penulis memiliki kesibukan di luar akademik yaitu *modelling*. Penulis memiliki pengalaman kerja praktek di PT. BADAQ NGL yang dilaksanakan pada bulan Juni-Agustus 2017. Pada saat kerja praktek, penulis mendapatkan topik mengenai “Pemilihan Material *Coating* untuk Lingkungan PT. Badak NGL”. Tugas akhir yang dikerjakan oleh penulis ini berjudul “Studi Pengaruh Temperatur *Casing* terhadap Performa *In-Situ Well Repair* Menggunakan Material *Polyacrylamide* dengan *Coupled CFD-FEM*”.

Email: arifa_nuriyani@yahoo.co.id
