



TUGAS AKHIR (MN 141581)

**ANALISIS PENGARUH UKURAN STOPPER PADA
SAMBUNGAN PELAT KAPAL TERHADAP TEGANGAN
SISA DAN DEFORMASI MENGGUNAKAN METODE
ELEMEN HINGGA**

**Rafid Buana Putra
NRP 4112100074**

**Dosen Pembimbing:
Prof. Ir. Achmad Zubaydi, M.Eng., Ph.D.
Septia Hardy Sujatanti, S.T., M.T.**

**DEPARTEMEN TEKNIK PERKAPALAN
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2017**



TUGAS AKHIR - MN 141581

**ANALISIS PENGARUH UKURAN STOPPER PADA
SAMBUNGAN PELAT KAPAL TERHADAP TEGANGAN SISA
DAN DEFORMASI MENGGUNAKAN METODE ELEMEN
HINGGA**

**Rafid Buana Putra
NRP 4112100074**

**Dosen Pembimbing
Prof. Ir. Achmad Zubaydi, M.Eng., Ph.D.
Septia Hardy Sujiatanti, S.T., M.T.**

**DEPARTEMEN TEKNIK PERKAPALAN
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2017**



FINAL PROJECT - MN 141581

**ANALYSIS OF STOPPER DIMENSION EFFECT AT THE
SHIP JOINT PLATE TO THE RESIDUAL STRESS AND
DEFORMATION USING FINITE ELEMENT METHOD**

**Rafid Buana Putra
NRP 4112100074**

**Supervisors
Prof. Ir. Achmad Zubaydi, M.Eng., Ph.D.
Septia Hardy Sujiatanti, S.T., M.T.**

**DEPARTMENT OF NAVAL ARCHITECTURE & SHIPBUILDING ENGINEERING
FACULTY OF MARINE TECHNOLOGY
SEPULUH NOPEMBER INSTITUTE OF TECHNOLOGY
SURABAYA
2017**

LEMBAR PENGESAHAN
ANALISIS PENGARUH UKURAN STOPPER PADA
SAMBUNGAN PELAT KAPAL TERHADAP TEGANGAN SISA
DAN DEFORMASI MENGGUNAKAN METODE ELEMEN
HINGGA

TUGAS AKHIR

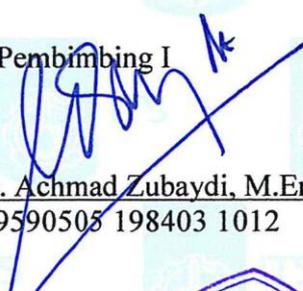
Diajukan Guna Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada
Bidang Keahlian Rekayasa Perkapalan – Konstruksi dan Kekuatan Kapal
Program S1 Jurusan Teknik Perkapalan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

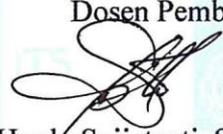
RAFID BUANA PUTRA
NRP 4112100074

Disetujui oleh Dosen Pembimbing Tugas Akhir:

Dosen Pembimbing I


Prof. Ir. Achmad Zubaydi, M.Eng., Ph.D.
NIP. 19590505 198403 1012

Dosen Pembimbing II


Septia Hardy Sujatanti, S.T., M.T.
NIP. 19840921 201212 2001

Mengetahui,

Kepala Departemen Teknik Perkapalan




Ir. Wasis Dwi Aryawan, M.Sc., Ph.D.
NIP 19640210 198903 1 001

SURABAYA, 20 JULI 2017

LEMBAR REVISI

ANALISIS PENGARUH UKURAN STOPPER PADA SAMBUNGAN PELAT KAPAL TERHADAP TEGANGAN SISA DAN DEFORMASI MENGGUNAKAN METODE ELEMEN HINGGA

TUGAS AKHIR

Telah direvisi sesuai dengan hasil Ujian Tugas Akhir
Tanggal 06 Juli 2017

Bidang Keahlian Rekayasa Perkapalan – Konstruksi dan Kekuatan Kapal
Program Sarjana Departemen Teknik Perkapalan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

RAFID BUANA PUTRA
NRP 4112100074

Disetujui oleh Tim Penguji Ujian Tugas Akhir:

1. Sri Rejeki Wahyu Pribadi, S.T., M.T.

2. Totok Yulianto, S.T., M.T.

3. Wing Hendroprasetyo A. P., S.T., M.Eng.

Disetujui oleh Dosen Pembimbing Tugas Akhir:

1. Prof. Ir. Achmad Zubaydi, M.Eng., Ph.D.

2. Septia Hardy Sujatanti, S.T., M.T.

SURABAYA, 20 JULI 2017

Dipersembahkan kepada kedua orang tua atas segala dukungan dan doanya

KATA PENGANTAR

Puji Syukur Alhamdulillah penulis panjatkan kepada Allah SWT atas hidayah dan rahmat-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan Tugas Akhir dengan judul “ANALISIS PENGARUH UKURAN STOPPER PADA SAMBUNGAN PELAT KAPAL TERHADAP TEGANGAN SISA DAN DEFORMASI MENGGUNAKAN METODE ELEMEN HINGGA”. Tugas Akhir ini dapat diselesaikan dengan baik tentunya tidak lepas dari dukungan banyak pihak, baik secara langsung maupun tidak langsung. Untuk itu penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Prof. Ir. Achmad Zubaydi, M.Eng., Ph.D. selaku Dosen Pembimbing dan Dosen Wali atas bimbingan dan motivasinya selama penyusunan Tugas Akhir dan menjalankan perkuliahan di Departemen Teknik Perkapalan;
2. Ibu Septia Hardy Sujiatanti, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing atas bimbingan dan motivasinya dalam pengerjaan dan penyusunan Tugas Akhir ini;
3. Bapak Ir. Wasis Dwi Aryawan, M.Sc., Ph.D. selaku Kepala Departemen Teknik Perkapalan FTK ITS;
4. Ibu Sri Rejeki Wahyu Pribadi, S.T., M.T., Bapak Totok Yulianto, S.T., M.T., dan Bapak Wing Hendropasetyo A. P., S.T., M.Eng. selaku Dosen Penguji yang telah memberikan kritik dan sarannya untuk perbaikan Laporan Tugas Akhir ini;
5. Seluruh Dosen Departemen Teknik Perkapalan FTK ITS, khususnya pada bidang keahlian Rekayasa Perkapalan yang senantiasa memberikan manfaat dalam bidang akademik;
6. Keluarga tercinta, Ibu Uken Sukeni, Ayah Bambang Tribuana, dan Adik Redyantara yang senantiasa selalu mendoakan dan mendukung baik secara moril maupun materiil yang tiada terkira hingga terselesaikannya Tugas Akhir ini dengan baik;
7. Seluruh staf Ruang Baca FTK ITS atas bantuan literturnya selama proses pengerjaan Laporan Tugas Akhir;
8. Prayoga Relanda, Dwi Rendra Pramono, dan M. Ansori Hasibuan atas bimbingan dan bantuannya selama pengerjaan Tugas Akhir ini;
9. Teman-teman angkatan FORECASTLE P-52;
10. Teman-teman *Liqo Batuta*, *Generasi Ayok*, dan *Durens Ranger* yang telah menemani dan memotivasi selama perkuliahan dan pengerjaan Tugas Akhir.

Dan semua pihak yang telah mendukung atas dapat terselesaikannya Tugas Akhir ini, yang tidak dapat disebutkan satu-persatu.

Penulis sadar bahwa Tugas Akhir ini masih jauh dari kesempurnaan, sehingga kritik dan saran yang bersifat membangun sangat diharapkan. Akhir kata semoga tulisan ini dapat bermanfaat bagi banyak pihak untuk memajukan industri maritim.

Surabaya, Juli 2017

Rafid Buana Putra

ANALISIS PENGARUH UKURAN STOPPER PADA SAMBUNGAN PELAT KAPAL TERHADAP TEGANGAN SISA DAN DEFORMASI MENGGUNAKAN METODE ELEMEN HINGGA

Nama Mahasiswa : Rafid Buana Putra
NRP : 4112 100 074
Jurusan / Fakultas : Teknik Perkapalan / Teknologi Kelautan
Dosen Pembimbing : Prof. Ir. Achmad Zubaydi, M.Eng., Ph.D
Septia Hardy Sujatanti, S.T., M.T.

ABSTRAK

Dalam proses pengelasan dapat terjadi deformasi dan meningkatnya tegangan sisa pada material. Maka dari itu dipasanglah stopper dalam proses *positioning*. Dalam proses pengelasan, stopper digunakan untuk membantu *welder* untuk mengekang pelat yang akan dilas. Dengan menggunakan stopper, pelat yang dilas tidak akan bergeser dan deformasi pada pelat dapat diminimalkan.

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui ukuran optimum dari stopper yang digunakan dalam proses pengelasan. Ukuran optimum dapat diketahui dari besarnya deformasi dan tegangan sisa yang terjadi pada pelat logam induk dengan variasi ukuran stopper (panjang 200, 300, 400, 500, dan 600 mm) dan variasi bentuk alur las (persegi, v tunggal, dan v ganda). Analisis dilakukan menggunakan metode elemen hingga dengan membuat pemodelan pengelasan pelat baja yang dipasang stopper.

Dari hasil pemodelan dan analisis, didapatkan hasil yaitu deformasi dan tegangan sisa maksimum terjadi pada panjang stopper 200 mm yaitu 2.40 mm dan 184.82 MPa. Sebaliknya, deformasi dan tegangan sisa minimum terjadi pada panjang stopper 600 mm yaitu 1.88 mm dan 138.29 MPa. Dapat disimpulkan bahwa semakin panjang stopper yang digunakan maka deformasi dan tegangan sisa yang dihasilkan semakin kecil. Dari hasil analisis didapat tegangan sisa pada variasi panjang stopper 200 mm masih di bawah *yield stress*, maka stopper paling optimum adalah panjang stopper 200 mm dan tidak perlu dilakukan analisis untuk panjang stopper lebih dari 600 mm.

Kata Kunci: Metode Elemen Hingga, Stopper, Tegangan Sisa, Deformasi

**ANALYSIS OF STOPPER DIMENSION EFFECT AT THE SHIP JOINT PLATE TO
THE RESIDUAL STRESS AND DEFORMATION USING FINITE ELEMENT
METHOD**

Author : Rafid Buana Putra
ID Number : 4112 100 074
Dept. / Faculty : Naval Architecture & Shipbuilding Engineering/
Faculty of Marine Technology
Supervisors : Prof. Ir. Achmad Zubaydi, M.Eng., Ph.D
Septia Hardy Sujiatanti, S.T., M.T.

ABSTRACT

The welding process can occur deformation and increase residual stress on the material. Therefore, the stopper are installed in the process of positioning. In the welding process, the stopper are used to help welder to curb the plate to be welded. By using stopper, the welded plate will not shift easily and deformation can be minimized.

The purpose of this study is to determine the optimum size of the stopper that used in the welding process. The optimum size can be reached based on the deformation and residual stresses value occurring on the base metal with the variation of stopper length i.e. 200, 300, 400, 500, and 600 mm. The analysis was performed using finite element method by making the modeling of steel plate welding with stopper in the finite element software.

Based on the analysis, the maximum deformation and residual stress occur at the length of stopper 200 mm, the maximum deformation is 2.40 mm and the maximum residual stress 184.82 MPa. But, the minimum deformations and residual stresses occur at 600 mm stopper lengths, the minimum deformation is 1.88 mm and the minimum residual stress is 138.29 MPa. It can be concluded that the longer the stopper is used the less deformation and residual stress are occurred. According to the analysis results, the residual stress on the variation of the stopper length of 200 mm is below than the yield stress, then the most optimum stopper is stopper with length 200 mm. The analysis for stopper with length 600 mm or more are not required.

Keywords: Finite Element Method, Stopper, Residual Stress, Deformation

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	iii
LEMBAR REVISI.....	iv
HALAMAN PERUNTUKAN.....	iv
KATA PENGANTAR.....	vi
ABSTRAK.....	vii
ABSTRACT	viii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR.....	xi
DAFTAR TABEL	xiv
BAB I PENDAHULUAN	1
I.1 Latar Belakang	1
I.2 Perumusan Masalah.....	2
I.3 Tujuan Penelitian.....	2
I.4 Manfaat Penelitian.....	2
I.5 Batasan Masalah.....	2
I.6 Hipotesis.....	3
BAB II STUDI LITERATUR	5
II. 1. Pengelasan.....	5
II.1.1. Definisi Las	5
II.1.2. Sambungan Las	5
II.1.3 Alur Las	6
II.2. <i>Thermal</i> Las	7
II.2.1 Perpindahan Panas	8
II.2.2 Distribusi Panas	9
II.3. Tegangan Sisa	10
II.3.1. Terjadinya Tegangan Sisa.....	10
II.3.2. Pengaruh Tegangan Sisa	12
II.4. Deformasi Pengelasan.....	13
II.4.1. Jenis-Jenis Deformasi Pengelasan	13
II.4.2. Pencegahan dan Perbaikan Deformasi	14
II.5. Stopper	15
II.6. Metode Elemen Hingga	16

II.6.1 <i>Transient Thermal Analysis</i>	17
II.6.2 <i>Static Structural Analysis</i>	18
II.6.3 Uji Konvergensi	18
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	19
III.1 Pendahuluan	19
III.2 Material Properties	20
III.3 Data Parameter Pengelasan	21
III.4 Pemodelan <i>Thermal</i>	21
III.5 Pemodelan <i>Structure</i>	26
BAB IV ANALISIS PERHITUNGAN DAN PEMBAHASAN	31
IV.1 Variabel Pembebanan <i>Thermal</i>	31
IV.2 Perhitungan Beban.....	32
IV.3 Uji Konvergensi.....	33
IV.4 Variasi Panjang Stopper dan Alur Las.....	34
IV.4.1 Variasi Alur Las Persegi	35
IV.4.2 Variasi Alur Las V Tunggal	48
IV.4.3 Variasi Alur Las V Ganda	61
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	77
V.1 Kesimpulan	77
V.2 Saran.....	78
DAFTAR PUSTAKA	79

DAFTAR GAMBAR

Gambar II. 1 Tipe Sambungan Las.....	6
Gambar II. 2 Groove Welds	7
Gambar II. 3 Heat Source Density.....	9
Gambar II. 4 Pembentukan Tegangan Sisa	11
Gambar II. 5 Jenis-Jenis Deformasi Pada Pengelasan.....	14
Gambar II. 6 Stopper	15
Gambar III. 1 Diagram Alir Metodologi	20
Gambar III. 2 Diagram Alir Pemodelan Thermal.....	22
Gambar III. 3 <i>Select Transient Thermal</i>	23
Gambar III. 4 <i>Engineering data</i>	23
Gambar III. 5 Geometri	24
Gambar III. 6 Hasil Geometri.....	24
Gambar III. 7 <i>Meshing</i>	25
Gambar III. 8 Hasil Meshing.....	25
Gambar III. 9 <i>Heat Flux and Convection</i>	26
Gambar III. 10 Diagram Alir Pemodelan Struktur	27
Gambar III. 11 <i>Select Static Structural</i>	28
Gambar III. 12 <i>Connect Geometry and Setup</i>	28
Gambar III. 13 <i>Meshing</i>	29
Gambar III. 14 <i>Import Load</i>	30
Gambar IV. 1 Grafik Hasil Uji Konvergensi.....	34
Gambar IV. 2 Sketsa Model Pelat Panjang 6000 x 1800 x 10 mm, Panjang Stopper 300 mm	34
Gambar IV. 3 Sketsa Model Stopper Panjang 300 mm.....	35
Gambar IV. 4 Hasil Analisis Thermal Variasi Alur Las Persegi , Panjang Stopper 200 mm	35
Gambar IV. 5 Hasil Analisis Thermal Variasi Alur Las Persegi , Panjang Stopper 300 mm	36
Gambar IV. 6 Hasil Analisis Thermal Variasi Alur Las Persegi , Panjang Stopper 400 mm	36
Gambar IV. 7 Hasil Analisis Thermal Variasi Alur Las Persegi , Panjang Stopper 500 mm	37
Gambar IV. 8 Hasil Analisis Thermal Variasi Alur Las Persegi , Panjang Stopper 600 mm	37
Gambar IV. 9 Hasil Analisis Deformasi Total Variasi Alur Las Persegi, Panjang Stopper 200 mm.....	38
Gambar IV. 10 Hasil Analisis Deformasi Total Variasi Alur Las Persegi, Panjang Stopper 300 mm.....	38
Gambar IV. 11 Hasil Analisis Deformasi Total Variasi Alur Las Persegi, Panjang Stopper 400 mm.....	39
Gambar IV. 12 Hasil Analisis Deformasi Total Variasi Alur Las Persegi, Panjang Stopper 500 mm.....	39
Gambar IV. 13 Hasil Analisis Deformasi Total Variasi Alur Las Persegi, Panjang Stopper 600 mm.....	40
Gambar IV. 14 Grafik Deformasi Total Variasi Alur Las Persegi.....	40

Gambar IV. 15 Grafik Deformasi Sumbu X Variasi Alur Persegi	41
Gambar IV. 16 Grafik Deformasi Sumbu Y Variasi ALur Las Persegi	42
Gambar IV. 17 Grafik Deformasi Sumbu Z Variasi Alur Persegi.....	43
Gambar IV. 18 Grafik Deformasi Sumbu X, Y, Z Variasi Alur Persegi	44
Gambar IV. 19 Hasil Analisis Struktur Tegangan Sisa Variasi Alur Las Persegi, Panjang Stopper 200 mm.....	45
Gambar IV. 20 Hasil Analisis Struktur Tegangan Sisa Variasi Alur Las Persegi, Panjang Stopper 300 mm.....	45
Gambar IV. 21 Hasil Analisis Struktur Tegangan Sisa Variasi Alur Las Persegi, Panjang Stopper 400 mm.....	46
Gambar IV. 22 Hasil Analisis Struktur Tegangan Sisa Variasi Alur Las Persegi, Panjang Stopper 500 mm.....	46
Gambar IV. 23 Hasil Analisis Struktur Tegangan Sisa Variasi Alur Las Persegi, Panjang Stopper 600 mm.....	47
Gambar IV. 24 Grafik Tegangan Sisa Variasi Alur Las Persegi	47
Gambar IV. 25 Hasil Analisis Thermal Variasi Alur Las V Tunggal , Panjang Stopper 200 mm	48
Gambar IV. 26 Hasil Analisis Thermal Variasi Alur Las V Tunggal , Panjang Stopper 300 mm	49
Gambar IV. 27 Hasil Analisis Thermal Variasi Alur Las V Tunggal , Panjang Stopper 400 mm	49
Gambar IV. 28 Hasil Analisis Thermal Variasi Alur Las V Tunggal , Panjang Stopper 500 mm	50
Gambar IV. 29 Hasil Analisis Thermal Variasi Alur Las V Tunggal , Panjang Stopper 600 mm	50
Gambar IV. 30 Hasil Analisis Deformasi Total Variasi Alur V Tunggal, Panjang Stopper 200 mm	51
Gambar IV. 31 Hasil Analisis Deformasi Total Variasi Alur V Tunggal, Panjang Stopper 300 mm	51
Gambar IV. 32 Hasil Analisis Deformasi Total Variasi Alur V Tunggal, Panjang Stopper 300 mm	52
Gambar IV. 33 Hasil Analisis Deformasi Total Variasi Alur V Tunggal, Panjang Stopper 400 mm	52
Gambar IV. 34 Hasil Analisis Deformasi Total Variasi Alur V Tunggal, Panjang Stopper 500 mm	53
Gambar IV. 35 Hasil Analisis Deformasi Total Variasi Alur V Tunggal, Panjang Stopper 600 mm	53
Gambar IV. 36 Grafik Deformasi Total Variasi Alur Las V Tunggal.....	54
Gambar IV. 37 Grafik Deformasi Sumbu X Variasi Alur Las V Tunggal	55
Gambar IV. 38 Grafik Deformasi Sumbu Y Variasi Alur Las V Tunggal.....	56
Gambar IV. 39 Grafik Deformasi Sumbu Z Variasi Alur Las V Tunggal	57
Gambar IV. 40 Grafik Deformasi Sumbu X, Y, Z Variasi Alur Las V Tunggal.....	58
Gambar IV. 41 Hasil Analisis Struktur Tegangan Sisa Variasi Alur V Tunggal, Panjang Stopper 200 mm.....	58
Gambar IV. 42 Hasil Analisis Struktur Tegangan Sisa Variasi Alur V Tunggal, Panjang Stopper 300 mm.....	59
Gambar IV. 43 Hasil Analisis Struktur Tegangan Sisa Variasi Alur V Tunggal, Panjang Stopper 400 mm.....	59
Gambar IV. 44 Hasil Analisis Struktur Tegangan Sisa Variasi Alur V Tunggal, Panjang Stopper 500 mm.....	60

Gambar IV. 45 Hasil Analisis Struktur Tegangan Sisa Variasi Alur V Tunggal, Panjang Stopper 600 mm.....	60
Gambar IV. 46 Grafik Tegangan Sisa Variasi Alur V Tunggal	61
Gambar IV. 47 Hasil Analisis Thermal Variasi Alur Las V Ganda, Panjang Stopper 200 mm.....	62
Gambar IV. 48 Hasil Analisis Thermal Variasi Alur Las V Ganda, Panjang Stopper 300 mm.....	62
Gambar IV. 49 Hasil Analisis Thermal Variasi Alur Las V Ganda, Panjang Stopper 400 mm.....	63
Gambar IV. 50 Hasil Analisis Thermal Variasi Alur Las V Ganda, Panjang Stopper 500 mm.....	63
Gambar IV. 51 Hasil Analisis Thermal Variasi Alur Las V Ganda, Panjang Stopper 600 mm.....	64
Gambar IV. 52 Hasil Analisis Deformasi Total Variasi Alur V Ganda, Panjang Stopper 300 mm.....	65
Gambar IV. 53 Hasil Analisis Deformasi Total Variasi Alur V Ganda, Panjang Stopper 300 mm.....	65
Gambar IV. 54 Hasil Analisis Deformasi Total Variasi Alur V Ganda, Panjang Stopper 400 mm.....	66
Gambar IV. 55 Hasil Analisis Deformasi Total Variasi Alur V Ganda, Panjang Stopper 500 mm.....	66
Gambar IV. 56 Hasil Analisis Deformasi Total Variasi Alur V Ganda, Panjang Stopper 600 mm.....	67
Gambar IV. 57 Grafik Deformasi Total Variasi Alur V Ganda	67
Gambar IV. 58 Grafik Deformasi Sumbu X Variasi Alur V Ganda	68
Gambar IV. 59 Grafik Deformasi Sumbu Y Variasi Alur V Ganda	69
Gambar IV. 60 Grafik Deformasi Sumbu Z Variasi Alur V Ganda.....	70
Gambar IV. 61 Grafik Deformasi Sumbu X, Y, Z Variasi Alur V Ganda	71
Gambar IV. 62 Hasil Analisis Struktur Tegangan Sisa Variasi Alur V Ganda, Panjang Stopper 200 mm.....	72
Gambar IV. 63 Hasil Analisis Struktur Tegangan Sisa Variasi Alur V Ganda, Panjang Stopper 300 mm.....	72
Gambar IV. 64 Hasil Analisis Struktur Tegangan Sisa Variasi Alur V Ganda, Panjang Stopper 400 mm.....	73
Gambar IV. 65 Hasil Analisis Struktur Tegangan Sisa Variasi Alur V Ganda, Panjang Stopper 500 mm.....	73
Gambar IV. 66 Hasil Analisis Struktur Tegangan Sisa Variasi Alur V Ganda, Panjang Stopper 500 mm.....	74
Gambar IV. 67 Grafik Tegangan Sisa Variasi Alur V Ganda.....	74

DAFTAR TABEL

Tabel III. 1 Material Properties Baja Karbon	21
Tabel IV. 1 Hasil Perhitungan Beban Thermal.....	32
Tabel IV. 2 Hasil Uji Konvergensi Tiap Elemen.....	33
Tabel IV. 3 Hasil Analisis Thermal Variasi Alur Las Persegi.....	37
Tabel IV. 4 Deformasi Total Variasi Alur Las Persegi	40
Tabel IV. 5 Deformasi Sumbu X Variasi Alur Las Persegi.....	41
Tabel IV. 6 Deformasi Sumbu Y Variasi Alur Las Persegi.....	42
Tabel IV. 7 Deformasi Sumbu Z Variasi Alur Persegi	43
Tabel IV. 8 Deformasi Sumbu X, Y, Z Variasi Alur Persegi	44
Tabel IV. 9 Tegangan Sisa Variasi Alur Las Persegi	47
Tabel IV. 10 Hasil Analisis Thermal Variasi Alur Las V Tunggal	50
Tabel IV. 11 Deformasi Total Variasi Alur Las V Tunggal	53
Tabel IV. 12 Deformasi Sumbu X Variasi Alur Las V Tunggal	54
Tabel IV. 13 Deformasi Sumbu Y Variasi Alur Las V Tunggal	55
Tabel IV. 14 Deformasi Sumbu Z Variasi Alur Las V Tunggal.....	56
Tabel IV. 15 Deformasi Sumbu X, Y, Z Variasi Alur Las V Tunggal	57
Tabel IV. 16 Tegangan Sisa Variasi Alur V Tunggal.....	61
Tabel IV. 17 Hasil Analisis Thermal Variasi Alur Las V Ganda	64
Tabel IV. 18 Deformasi Total Variasi Alur V Ganda.....	67
Tabel IV. 19 Deformasi Sumbu X Variasi Alur V Ganda.....	68
Tabel IV. 20 Deformasi Sumbu Y Variasi Alur V Ganda.....	69
Tabel IV. 21 Deformasi Sumbu Z Variasi Alur V Ganda	70
Tabel IV. 22 Deformasi Sumbu X, Y, Z Variasi Alur V Ganda.....	71
Tabel IV. 23 Tegangan Sisa Variasi Alur V Ganda.....	74

BAB I

PENDAHULUAN

I.1 Latar Belakang

Berdasarkan definisi dari Deutsche Industrie Normen (DIN), las adalah ikatan metalurgi pada sambungan logam atau logam paduan yang dilaksanakan dalam keadaan lumer atau cair. Dari definisi tersebut dapat dijabarkan lebih lanjut bahwa las adalah sambungan setempat dari beberapa batang logam dengan menggunakan energi panas (Wiryosumarto & Okumura, 1996).

Dari definisi tersebut, dapat disimpulkan bahwa pengelasan merupakan salah satu teknik penyambungan material logam dengan cara mencairkan sebagian logam induk (*base metal*) dan logam pengisi (*filler metal*) dengan atau tanpa tekanan dan dengan atau tanpa logam penambah dan menghasilkan sambungan yang kontinu. Dalam proses pengelasan itu sendiri, terdapat beberapa tahap persiapan yang perlu dilakukan berupa persiapan material, prosedur pengelasan, dan positioning.

Dalam praktiknya, proses pengelasan juga dapat menyebabkan deformasi dan meningkatkan tegangan sisa. Deformasi disebabkan karena adanya pengaruh dari besarnya panas yang diberikan (*heat input*) selama proses pengelasan yang berakibat pada kekuatan material menerima beban kejut (*impact*). Sedangkan tegangan sisa disebabkan karena adanya penyusutan pada waktu pendinginan setelah pengelasan. Oleh karena itu, dilakukan beberapa cara untuk meminimalkan deformasi dan tegangan sisa. Salah satunya adalah dengan menggunakan stopper pada material yang akan dilas. Namun penggunaan stopper yang berlebihan dapat menimbulkan tegangan sisa pada material, sehingga dapat menyebabkan retak pada hasil pengelasan.

Dalam tugas akhir ini akan dianalisis pengaruh ukuran stopper terhadap tegangan sisa dan deformasi pada pelat baja karbon ASTM A36 dengan variasi bentuk alur las untuk mengetahui ukuran optimum dari stopper yang digunakan pada masing-masing bentuk alur las. Proses analisis dilakukan menggunakan simulasi metode elemen hingga dengan membandingkan variasi ukuran stopper dan bentuk alur las sehingga didapatkan nilai tegangan sisa dan deformasinya.

I.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang disampaikan, maka permasalahan yang akan dikaji dalam Tugas Akhir meliputi:

1. Berapa besarnya deformasi yang terjadi pada material?
2. Berapa besarnya tegangan sisa yang terjadi pada material?
3. Berapa panjang stopper yang optimum pada sambungan pengelasan?

I.3 Tujuan Penelitian

Tujuan yang ingin dicapai dalam penulisan tugas akhir ini adalah:

1. Mengetahui besarnya deformasi pada material tiap variasi panjang stopper.
2. Mengetahui besarnya tegangan sisa pada material tiap variasi panjang stopper.
3. Mengetahui panjang stopper yang optimum pada sambungan pengelasan.

I.4 Manfaat Penelitian

Dari Tugas Akhir ini, diharapkan dapat diketahui faktor-faktor yang memengaruhi deformasi dan tegangan sisa akibat pengelasan pada sambungan pelat baja karbon ASTM A36 dan metode terbaik untuk meminimalkan deformasi atau tegangan sisa yang terjadi pada masing-masing alur las sehingga dihasilkan pengelasan dengan hasil yang paling baik.

I.5 Batasan Masalah

Untuk membatasi agar pembahasan dalam tugas akhir ini lebih fokus, maka digunakan batasan masalah sebagai berikut:

1. Material yang digunakan adalah pelat baja karbon ASTM A36.
2. Bentuk pelat adalah pelat datar ukuran 1800 x 6000 x 10 mm dengan sambungan butt joint.
3. Sudut pemasangan stopper yaitu 90°.
4. Variasi panjang stopper yaitu 200, 300 mm, 400 mm, 500 mm, dan 600 mm, dengan lebar 100 mm dan tebal 10 mm.
5. Variasi alur las yaitu persegi, v tunggal, dan v ganda.
6. Stopper dipasang setiap jarak 500 mm.
7. Proses pengelasan yang dilakukan adalah FCAW.
8. Metode yang digunakan untuk menghitung tegangan sisa dan deformasi yaitu simulasi model elemen hingga.

I.6 Hipotesis

Berdasarkan literatur yang ada, maka hipotesis dari penelitian ini adalah semakin panjang ukuran stopper yang digunakan, maka nilai deformasi akan semakin kecil dan tegangan sisa yang dihasilkan juga akan semakin kecil.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB II STUDI LITERATUR

II. 1. Pengelasan

II.1.1. Definisi Las

Proses awal pengelasan dimulai dari proses penyambungan logam yang sudah ada sebelum era revolusi industri yaitu dengan cara membuat cetakan berbahan pasir di atas pelat logam dan mengisinya dengan logam cair. Cetakan ini dapat dibentuk sesuai dengan bentuk yang diinginkan. Selain itu, proses penyambungan logam juga dilakukan dengan menyambung dua pelat logam dengan logam cair. Pada akhir abad ke-19, cara-cara dan teknik pengelasan mulai berkembang pesat yaitu dengan menggunakan energi listrik dan berkembang hingga sekarang.

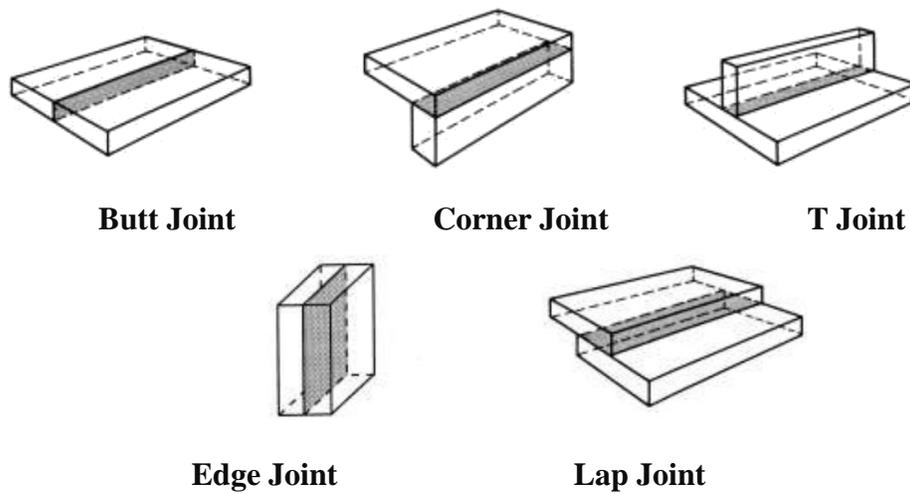
Sedangkan definisi las atau *weld* menurut *Deutsche Industrie Normen (DIN)* adalah ikatan metalurgi pada sambungan logam atau logam paduan yang dilaksanakan dalam keadaan lumer atau cair. Dari definisi tersebut, dapat dijabarkan lebih lanjut bahwa las adalah sambungan setempat dari beberapa batang logam dengan menggunakan energi panas (Wiriyosumarto & Okumura, 1996).

II.1.2. Sambungan Las

Sambungan las adalah dua atau lebih material yang digabungkan melalui proses pengelasan. Ada 5 tipe dasar dari sambungan las antara lain *butt*, *tee*, *corner*, *lap* dan *edge joint* seperti yang ditunjukkan pada Gambar II. 1. Tipe sambungan las dipilih berdasarkan metode pengelasan dan tebal pelat yang digunakan. Tipe sambungan dikatakan optimum apabila sambungan tersebut memenuhi kekuatan struktur dan kualitas dari proses pengelasan. Ukuran dari sambungan las akan memengaruhi biaya pengelasan, karena semakin besar volume yang dibentuk dari sambungan las maka akan semakin besar pula kebutuhan kawat las atau filler metal yang digunakan untuk mengisi volume tersebut. Oleh karena itu volume sambungan las diusahakan sekecil mungkin. Selain itu sambungan las juga berpengaruh pada besarnya panas yang diberikan (*heat input*) selama proses pengelasan. Hal tersebut akan berakibat pada kekuatan material menerima beban kejut (*impact*) dan deformasi pada material.

Walaupun sambungan las memiliki berbagai macam tipe, namun bagian dari sambungan las memiliki istilah yang sudah baku. Beberapa istilah tersebut yaitu antara lain: *bevel angle*,

groove angle, *groove radius* dan *root opening*. *Bevel angle* adalah sudut yang dibentuk dari garis tegak di ujung material dengan ujung yang lain dilihat secara melintang. *Groove angle* adalah besarnya sudut yang dibentuk oleh dua sudut *bevel*. *Groove radius* adalah radius yang dibentuk secara khusus untuk jenis *bevel* “J” dan “U”. *Groove radius* ini hanya digunakan untuk bentuk-bentuk sambungan las yang special. *Root opening* adalah jarak terdekat yang dibentuk antara dua material yang akan dilas (Pratama, 2016).



Gambar II. 1 Tipe Sambungan Las

Sumber: Wiryosumarto & Okumura, 1996

Dalam ASME Section IX dijelaskan bahwa *bevel angle*, *groove angle*, *groove radius* dan *root opening* termasuk dalam *Non-essential Variables* yaitu variabel pengelasan yang tidak mengandung makna bahwa perubahan terhadap variabel-variabel tersebut berpengaruh besar terhadap hasil dan kualitas sambungan las.

II.1.3 Alur Las

Bentuk alur dalam sambungan las sangat memengaruhi efisiensi pengerjaan, efisiensi sambungan, dan jaminan sambungan las. Karena itu pemilihan bentuk alur sangat penting. Bentuk dan ukuran alur sambungan datar sudah banyak distandarkan dalam standar AWS, BS, DIN, GOST, JSSC, dan lain-lainnya.

Pada dasarnya dalam memilih bentuk alur harus menuju kepada penurunan masukan panas dan penurunan logam las sampai kepada harga terendah yang tidak menurunkan mutu sambungan

las. Karena hal ini maka dalam pemilihan bentuk alur diperlukan kemampuan dan pengalaman yang luas. Bentuk-bentuk yang telah distandarkan pada umumnya hanya meliputi pelaksanaan pengelasan yang sering dilakukan sehingga dalam pengelasan khusus bentuk alur harus ditentukan sendiri berdasarkan pengalaman yang dipercaya. Bentuk alur dapat dilihat pada Gambar II. 2 (Wirjosumarto & Okumura, 1996).

WELD GROOVE TYPES	GROOVE WELDS			
	SINGLE	SYMBOL	DOUBLE	SYMBOL
SQUARE			 NOTE: JOINT DETAIL DOES NOT CHANGE	
V	 BACKING 0\" TO 1\""/>			
BEVEL	 BACKING 10\" TO 1\""/>			
U				
J				
FLARE V				
FLARE BEVEL				

Gambar II. 2 Groove Welds

Sumber: Wirjosumarto & Okumura, 1996

II.2. Thermal Las

Hampir semua proses pengelasan dilakukan dengan cara melakukan pemanasan setempat atau lokal. Beban *heat input* yang diberikan pada saat pengelasan menyebabkan peningkatan temperatur material yang terkena busur api las sampai pada suhu lebur. Perubahan temperatur pada daerah yang mengalami kontak langsung dengan busur las berlangsung dengan sangat cepat

sehingga menciptakan perbedaan temperatur dengan daerah di dekatnya. Segera setelah perbedaan temperatur terjadi panas mulai mengalir ke sekitar daerah pengelasan yang mempunyai temperatur lebih rendah sehingga terjadi distribusi panas ke daerah sekitar alur las.

Distribusi temperatur yang terjadi pada saat proses pemanasan maupun pendinginan tidak merata pada seluruh material. Distribusi temperatur yang tidak merata terjadi baik dalam hal tempatnya pada material maupun bila ditinjau dari segi waktu terjadinya. Ketidakteraturan distribusi temperatur menyebabkan timbulnya deformasi pada struktur las. Sehingga untuk dapat menyelesaikan berbagai persoalan dari tegangan dan deformasi hasil pengelasan harus diketahui dahulu bagaimana distribusi dari temperatur yang dihasilkan terhadap material las (Morna, 2012).

II.2.1 Perpindahan Panas

Dalam proses pengelasan tidak semua energy digunakan untuk memanaskan elektroda dan logam las. Sebagian energy yang dihasilkan terserap ke lingkungan karena adanya kontak dengan udara lingkungan sekitar, sehingga energi efektif yang digunakan dalam pengelasan dapat dirumuskan pada Persamaan II.1:

$$Q = \eta U I \quad \text{II.1}$$

- Ket: Q : Heat input bersih (Watt)
 η : Koefisien dari efisiensi las
 U : Tegangan yang digunakan pada saat pengelasan (Volt)
 I : Kuat arus (Ampere)

Sedangkan besarnya *heat flux* yang dikenakan pada material ditentukan dengan Persamaan II.2 dan Persamaan II.3:

$$q_1 = q_e \frac{A_1}{A_f} \quad \text{II.2}$$

$$q_e = \frac{Q}{A_e} \quad \text{II.3}$$

- Ket: A_1 : Luas area elemen yang dikenai beban *heat input* (mm²)
 A_f : Luas area pembebanan yang dihasilkan dari proses pengelasan (mm²)
 A_e : Luas area elektroda yang digunakan (mm²)

Sedangkan untuk mencari A_f , digunakan Persamaan II.4:

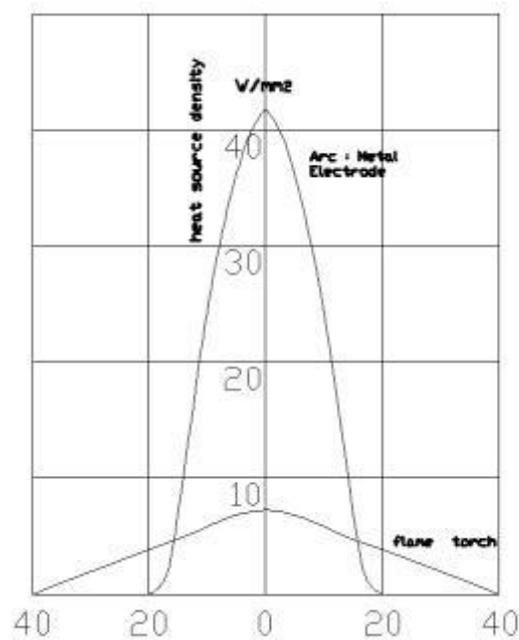
$$A_f = b \times v \times t \quad \text{II.4}$$

- Ket: b : Lebar kampuh las (mm)

v : kecepatan pengelasan satu elemen (mm/s)

t : waktu yang diperlukan untuk mengelas satu elemen (s)

Salah satu faktor penting yang memengaruhi proses pengelasan adalah panas jenis dari sumber energi panas (*Heat source power density*). Gambar II. 3 menjelaskan bagaimana besarnya perbedaan yang terjadi pada sumber energi panas dari pengelasan. Kurva dari busur api las berbentuk lebar dan rendah sedangkan kurva dari busur elektroda berbentuk sempit dan tinggi. Hal ini merupakan dasar dari perkiraan pendekatan dalam pemilihan sumber panas yang akan digunakan. Karena dapat membantu kita memilih jenis model dari sumber panas yang akan kita ambil, bisa berupa garis, titik, atau sembarang distribusi dari sumber panas. Pemilihan ini akan berpengaruh pada penyelesaian persoalan baik secara analisis maupun numeric (Wahyudi, 1999).



Gambar II. 3 Heat Source Density

Sumber: Wahyudi, 1999

II.2.2 Distribusi Panas

Pada proses pengelasan, distribusi panas pada setiap material tidak sama. Hal ini disebabkan oleh beberapa factor yang mempengaruhi distribusi panas antara lain:

- Sifat konduktivitas dari material kerja
- Besarnya massa dari logam yang berada di sekeliling daerah las
- Alur yang tersedia untuk proses konduksi panas
- Teknik pengelasan yang dilakukan

Jika dibandingkan dengan material yang lain, hampir semua logam adalah konduktor panas yang baik. Tetapi semua logam memiliki kemampuan yang berbeda dalam menghantarkan panas. Misalnya aluminium adalah penghantar panas yang lebih baik bila dibandingkan dengan *stainless steel*, dimana aluminium mengalami penurunan suhu yang lebih cepat pada daerah las bila dibandingkan dengan *stainless steel*. Sehingga panas akan lebih cepat menyebar ke seluruh aluminium dibandingkan penyebaran pada *stainless steel*.

Massa yang besar dari material di dekat daerah las cenderung akan menarik panas dari daerah las lebih cepat daripada massa yang kecil. Sebagai contoh pipa yang tebal dan berat cenderung dingin lebih cepat daripada pipa yang tipis dan ringan. Sebagai contoh yang lain sambungan *fillet* sudut dapat menarik panas lebih cepat daripada sambungan *fillet* biasa. Adanya bevel pada sambungan *butt joint* juga dapat memperluas daerah yang menyerap panas sehingga memiliki kemampuan menarik panas yang memadai (Bantami, 2009).

Faktor lain yang menentukan besarnya panas yang dapat diserap oleh material adalah jumlah alur panas yang tersedia yang memudahkan panas untuk mengalir. Sambungan *lap joint* akan lebih cepat menarik panas dari daerah las bila dibandingkan dengan sambungan sisi, hal ini disebabkan karena pada sambungan *lap joint* menyediakan dua arah penyebaran panas.

Distribusi panas pada daerah las juga dipengaruhi oleh teknik pengelasan yang dilakukan. Selama pengelasan, electrode dan busur api kadang-kadang sengaja digerakkan masuk dan keluar dari genangan logam yang mencair dalam sebuah pola yang teratur. Hal ini dilakukan untuk mengurangi temperature dari logam yang mencair dan sebagai pemanasan awal (*preheat*) pada bagian logam di depannya. Teknik seperti ini disebut *whipping*. Jika logam cair dari elektroda digerakkan ke kiri dan kanan melewati daerah las dengan pola *weaving*. Teknik ini digunakan untuk menyebarkan panas dan memperoleh alur las yang lebih lebar (Mahfud, 2012).

II.3. Tegangan Sisa

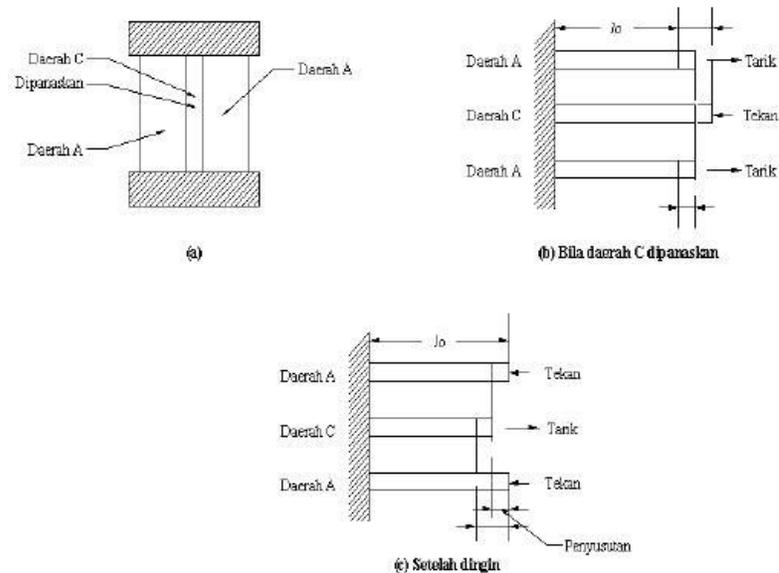
II.3.1. Terjadinya Tegangan Sisa

Menurut Wiryosumarto & Okumura (1996), tegangan sisa selalu muncul apabila sebuah material dikenai perubahan temperatur non-uniform, tegangan-tegangan ini disebut tegangan panas. Untuk membahas masalah pengelasan, tegangan sisa yang akan ditinjau adalah tegangan sisa yang ditimbulkan dari distribusi regangan non-elastik yang tidak merata pada material. Tegangan sisa pada logam dapat terjadi karena banyak hal selama proses produksi antara lain:

- a. Material yang termasuk bentuk pelat dan batangan dikenal dengan proses *roll*, *casting*, dan *forging*.
- b. Selama pembentukan bagian-bagian logam oleh proses-proses seperti *bending*, *grinding*, *shearing*, dan *machining*.
- c. Selama proses fabrikasi, seperti pengelasan.

Terjadinya tegangan sisa digambarkan pada Gambar II. 4, dimana daerah C mengembang pada waktu pengelasan, pengembangan pada daerah C ditahan oleh daerah A, sehingga pada daerah C terjadi tegangan tekan dan pada daerah A terjadi tegangan tarik. Tetapi bila luas pada daerah A jauh lebih besar daripada daerah C, maka daerah C akan terjadi perubahan bentuk tetap (distorsi), sedangkan pada daerah A terjadi perubahan bentuk elastis. Ketika proses pengelasan selesai, terjadi proses pendinginan dimana daerah C menyusut cukup besar karena disamping pendinginan juga karena tegangan tekan. Penyusutan ini ditahan oleh daerah A, oleh sebab itu daerah C akan terjadi tarik yang diimbangi oleh tegangan tekan pada daerah A.

Faktor-faktor yang memengaruhi pembentukan tegangan sisa adalah batas transformasi dan batas luluh beban, temperatur pemanasan tertinggi, kecepatan pendinginan, tahanan luar, dan pemanasan awal. Ketika material dipanaskan secara merata, akan terjadi tegangan. Tegangan sisa juga akan terjadi ketika regangan yang didistribusikan tidak merata seperti regangan plastis (Wiryosumarto & Okumura, 1996).



Gambar II. 4 Pembentukan Tegangan Sisa

Sumber: Wiryosumarto & Okumura, 1996

Sedangkan untuk distribusi tegangan sisa, dipengaruhi oleh jenis dan bentuk konfigurasi hasil pengelasan. Pada las tumpul (*butt weld*), garis hasil pengelasan arah memanjang akan mencapai batas kekuatan luluh pada garis las dan kemudian menurun dan mencapai nol pada ujung pelat. Sedangkan pada arah melintang garis las, terjadi keseimbangan antara tegangan tarik dan tekan.

II.3.2. Pengaruh Tegangan Sisa

Tegangan sisa dapat dikatakan tidak mempunyai pengaruh yang terlalu besar terhadap kekuatan statik logam selama logam induk dan logam las mempunyai keuletan yang sangat tinggi. Hal ini dapat dijelaskan sebagai berikut:

Pada pengelasan baja lunak, kekuatan luluh dan tarik logam pada daerah las lebih tinggi daripada logam induk, tetapi perpanjangannya lebih rendah. Kekuatan luluh secara keseluruhan menjadi lebih tinggi, maka tegangan sisa tidak memengaruhi kekuatan luluh dari sambungan secara keseluruhan. Perbandingan antara tegangan sisa dan tegangan yang terjadi sangat kecil, sehingga tegangan sisa boleh dikatakan tidak berpengaruh terhadap terjadinya patah (Wiryosumarto & Okumura, 1996).

Jumlah pemasangan tanggem/pengekangan pada proses pengelasan akan berpengaruh pada besarnya deformasi dan tegangan sisa yang terjadi. Semakin banyak pengekangan yang dilakukan, maka akan mengakibatkan semakin kecilnya deformasi yang terjadi tetapi di lain pihak hal ini akan memperbesar tegangan sisa.

Pengekangan pada proses pengelasan akan menghasilkan keseimbangan antara deformasi dan besarnya tegangan sisa. Pada kondisi pengekangan yang ekstrem, kecenderungan hasil pengelasan akan terjadi cacat retak yang tentunya harus dihindari. Besar derajat pengekangan pada proses pengelasan merupakan fungsi dari jenis sambungan, kekakuan struktur, jarak pemasangan tanggem dan tebal pelat.

Dalam kasus pengelasan, tegangan sisa terjadi karena adanya penyusutan material pada waktu pendinginan setelah pengelasan selesai. Besarnya tegangan sisa yang terjadi dapat diperkecil dengan cara mengurangi heat input dan banyaknya deposisi logam lasan dengan cara memperkecil *bevel/kampuh* las dan memperkecil *root space* pada alas tumpul. Untuk sudut las, dapat dilakukan dengan memperkecil panjang kaki las dan penguat. Urutan pengelasan yang baik juga digunakan untuk mengurangi tegangan sisa yang disebabkan oleh *external constraint*. Terdapat dua cara untuk

membebaskan tegangan sisa yaitu cara mekanik dan cara termal. Dari kedua cara ini yang paling banyak dilaksanakan adalah cara termal dalam proses *annealing*.

II.4. Deformasi Pengelasan

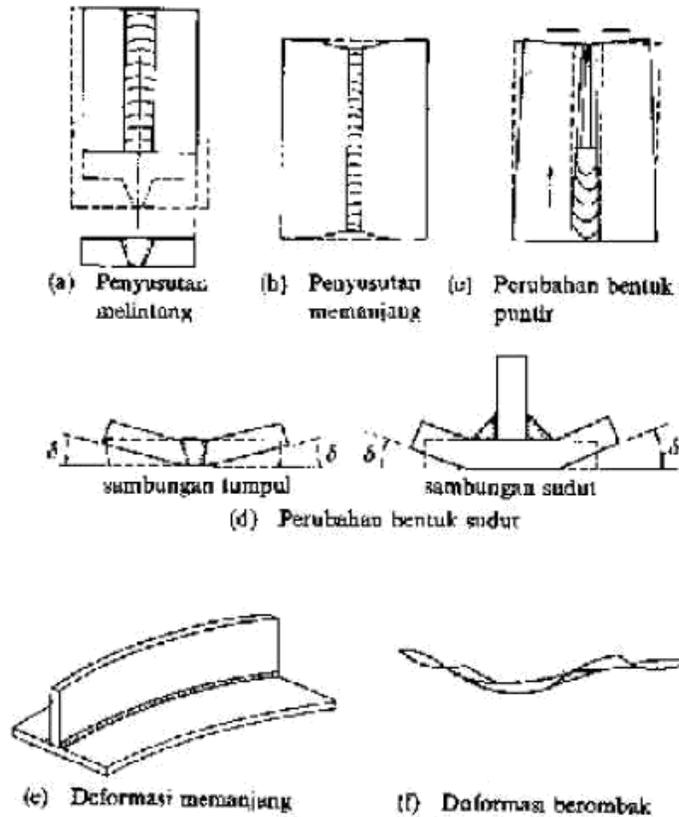
II.4.1. Jenis-Jenis Deformasi Pengelasan

Pada dasarnya deformasi dapat terjadi karena panas dan gaya luar. Panas dapat terjadi karena proses pengelasan atau pemotongan dengan las. Pada proses pengelasan, hal-hal yang memengaruhi deformasi adalah yang berhubungan dengan panas pengelasan dan juga yang berhubungan dengan penahan atau penghalang pada sambungan las. Jenis-jenis deformasi digambarkan pada Gambar II. 5 (Morna, 2012).

Berikut ini adalah jenis-jenis deformasi karena pengelasan:

- Penyusutan melintang (*transverse shrinkage*), yaitu penyusutan material tegak lurus terhadap garis las pada proses pengelasan. Faktor yang menyebabkan terjadinya penyusutan melintang adalah perubahan bentuk punter. Faktor yang lain adalah pegekangan, yaitu banyaknya penyusutan yang terjadi ditentukan oleh seberapa besar derajat pegekangan yang terjadi dalam sambungan.
- Penyusutan memanjang (*longitudinal shrinkage*), yaitu penyusutan material searah garis las pada proses pengelasan. Besarnya penyusutan yang terjadi biasanya sekitar 1/1000 dari panjang sambungan. Biasanya penyusutan seperti ini jarang terjadi oleh karena itu studi spesifik jarang dilakukan.
- Perubahan bentuk punter (*rotational deformation*), yaitu ketika pengelasan dilakukan secara progresif dan kontinu dari ujung ke ujung, bagian sambungan yang tidak mengalami pengelasan akan mengalami pergerakan sehingga terjadi puntiran.
- Perubahan bentuk sudut (*angular shrinkage*), yaitu perubahan sudut yang terjadi karena distribusi panas yang tidak merata.
- Deformasi memanjang (*bending*), yaitu deformasi dalam bidang yang melalui garis las dan tegak lurus pada pelat. Hal ini terjadi karena ketika garis lasan tidak sama dengan sumbu netral dari geometri struktur las, jadi penyusutan memanjang ikut termasuk terjadinya tekukan ke arah memanjang searah jalur las.

- Deformasi berombak, yaitu kompresi yang berkenaan dengan panas ketidakstabilan ketika pelatnya tipis. Pada deformasi ini terdapat lebih dari satu terdeformasi tetap dan relative lebih besar jika dibandingkan dengan bending.



Gambar II. 5 Jenis-Jenis Deformasi Pada Pengelasan

Sumber: Wiryosumarto & Okumura, 1996

II.4.2. Pencegahan dan Perbaikan Deformasi

Dalam mencegah dan memperbaiki deformasi, ada beberapa cara yang harus dilakukan, diantaranya:

- a. Sebelum proses pengelasan:
 1. Meluruskan bagian yang akan dilas sesuai dengan bentuk dan ukuran sebenarnya.
 2. Memilih electrode yang sesuai dengan material yang akan dilas.
 3. Memilih bentuk alur las yang sesuai.
 4. Membuat WPS yang sesuai.
 5. *Welder* yang berkualitas.
 6. Menggunakan stopper.

- b. Selama proses pengelasan:
1. Mengurangi masukan panas.
 2. Mengurangi deposit logam las.
 3. Urutan pengelasan yang tepat.
 4. Memberi penahan pada bagian yang dilas.
 5. Memberikan perubahan bentuk awal yang berlawanan arah dengan bentuk deformasi.
- c. Perbaiki deformasi:
1. Pelurusan termal, cara ini dapat dilakukan dengan pemanasan setempat, pemanasan dan penekanan atau gabungan diantara keduanya. Pemanasan setempat dapat dilakukan dengan pemanasan titik atau garis kemudian diikuti dengan pendinginan cepat atau pendinginan udara.
 2. Pelurusan mekanik, yang dapat dilakukan dengan cara ini adalah pining, pengerolan, penekanan dan penempaan atau pemukulan.

II.5. Stopper

Stopper merupakan alat penahan yang terbuat dari pelat dengan ketebalan sekitar 10 mm dipasang dengan sudut 45° hingga 90° terhadap garis las. Pelat ini berfungsi sebagai penahan dari kedua pelat yang hendak disambungkan dengan las. Penahanan pada pelat yang akan dilas berguna untuk mencegah terjadinya deformasi pada pelat akibat dari pengelasan. Pemasangan stopper yang berlebihan dapat menyebabkan cacat las di daerah sekitar stopper. Bentuk stopper digambarkan pada Gambar II. 6 (Pratama, 2016).



Gambar II. 6 Stopper

II.6. Metode Elemen Hingga

Metode elemen hingga merupakan metode numerik yang digunakan untuk menyelesaikan permasalahan dalam bidang rekayasa seperti geometri, pembebanan dan sifat-sifat dari material yang sangat rumit. Selain itu, metode ini juga dapat digunakan untuk menyelesaikan masalah *structural, thermal*, dan elektromagnetik. Dalam metode ini, seluruh masalah yang kompleks seperti variasi bentuk, kondisi batas, dan beban diselesaikan dengan metode pendekatan. Pendekatan metode elemen hingga adalah menggunakan informasi-informasi pada titik simpul (*node*). Dalam proses penentuan titik simpul yang di sebut dengan pendeskritan (*discretization*), suatu sistem dibagi menjadi bagian-bagian yang lebih kecil, kemudian penyelesaian masalah dilakukan pada bagian-bagian tersebut dan selanjutnya digabung kembali sehingga diperoleh solusi secara menyeluruh (Logan, 2005).

Prosedur elemen hingga mengurangi variabel yang tidak diketahui menjadi sejumlah berhingga dengan membagi daerah penyelesaian menjadi bagian kecil yang disebut elemen dan dinyatakan sebagai variabel medan yang tidak diketahui dalam istilah dianggap sebagai fungsi pendekatan (*approximation functions/interpolation functions/shape functions*) dalam setiap elemen. Fungsi pendekatan didefinisikan sebagai medan variabel dan titik *node*. Variabel medan dapat ditentukan pada beberapa titik menggunakan fungsi interpolasi. Setelah memilih elemen dan variabel titik yang tidak diketahui selanjutnya menyusun sifat bahan (*properties*) elemen untuk setiap elemen. Dengan demikian langkah-langkah dalam analisis elemen hingga adalah:

- Memilih variabel medan yang cocok dan elemen yang digunakan
- Deskritisasi kontinu
- Memilih fungsi interpolasi
- Menentukan sifat bahan elemen (*element properties*)
- Menyusun sifat bahan elemen untuk memperoleh sifat bahan secara global
- Menentukan kondisi batas *impose the boundary conditions*
- Memecahkan persamaan sistem untuk memperoleh *node* yang tidak diketahui
- Membuat perhitungan tambahan untuk memperoleh nilai yang diinginkan

Dalam pengerjaan Tugas Akhir ini, digunakan *software* metode elemen hingga. *Software* ini adalah program paket yang dapat memodelkan elemen hingga untuk menyelesaikan masalah yang berhubungan dengan mekanika, termasuk di dalamnya masalah static, dinamik, analisis

structural (baik linier maupun nonlinier), masalah perpindahan panas, masalah fluida, dan juga masalah yang berhubungan dengan akustik dan elektromagnetik. Secara umum penyelesaian elemen hingga dapat dibagi menjadi tiga tahap, yaitu:

1. *Preprocessing: pendefinisian masalah*

Langkah umum dalam *preprocessing* terdiri dari mendefinisikan *keypoint/lines/areas/volume*, mendefinisikan tipe elemen dan bahan yang digunakan/sifat geometrik, dan *mesh lines/areas/volumes* sebagaimana yang dibutuhkan. Jumlah detail yang dibutuhkan akan tergantung pada dimensi daerah yang dianalisis: 1D, 2D, *axisymmetric*, dan 3D.

2. *Solution: assigning loads, constraints, and solving*

Di bagian ini, perlu menentukan beban (titik atau tekanan), *constraints* (translasi dan rotasi), dan kemudian menyelesaikan hasil persamaan yang telah diset.

3. *Postprocessing: further processing and viewing of the results*

Dalam bagian ini, pengguna dapat melihat: daftar pergeseran nodal, gaya elemen dan momentum, *plot deflection*, dan diagram kontur tegangan (*stress*) atau pemetaan suhu (Hoque, 2013).

II.6.1 Transient Thermal Analysis

Analisis *transient thermal* digunakan untuk menentukan suhu dan jumlah termal lainnya yang menggunakan variasi waktu. Variasi distribusi suhu menggunakan waktu banyak digunakan pada banyak aplikasi seperti pendinginan paket elektronik atau analisis pendinginan untuk perlakuan panas. Hal yang menarik adalah hasil distribusi suhu dalam tekanan panas dapat menyebabkan kegagalan. Dalam kasus tersebut, suhu dari analisis *thermal* sementara digunakan sebagai beban pada analisis struktural statis untuk evaluasi tegangan *thermal*. Analisis ini dapat diaplikasikan dalam perpindahan panas seperti masalah perlakuan panas, desain paket elektronik, nozel, blok mesin, bejana tekan, dan lain-lain. Untuk menggunakan analisis *transient thermal* ini, tahapannya adalah sebagai berikut:

1. Tambahkan *template transient thermal analysis* dengan menyeret *template* dari *Toolbox* ke dalam Skema Proyek atau dengan mengklik dua kali *template* di *Toolbox*.
2. Muat geometri dengan mengklik kanan pada *cell* geometri dan pilih *import geometry*.

3. Lihat geometri dengan mengklik kanan pada *cell* model dan pilih edit, atau klik dua kali *cell* model. Sebagai alternatif, bisa klik kanan *setup cell* dan pilih edit. Langkah ini akan meluncurkan aplikasi *mechanical*.
4. Lanjutkan proses analisis menggunakan alat dan fitur pada halaman aplikasi *mechanical*.

II.6.2 Static Structural Analysis

Analisis struktur statis menentukan perpindahan, tekanan, ketegangan, dan gaya pada struktur atau komponen yang disebabkan oleh beban yang tidak menyebabkan inersia dan efek redaman yang signifikan. Kondisi pemuatan dan respons yang stabil diasumsikan; dengan kata lain, beban dan respons struktur diasumsikan bervariasi secara perlahan sehubungan dengan waktu. Untuk melakukan analisis struktur statis, berikut tahapannya:

1. Tambahkan *template static structural analysis* dengan menyeret *template* dari *Toolbox* ke dalam Skema Proyek atau dengan mengklik dua kali *template* di *Toolbox*.
2. Muat geometri dengan mengklik kanan pada *cell* geometri dan pilih *import geometry*.
3. Lihat geometri dengan mengklik kanan pada *cell* model dan pilih edit, atau klik dua kali *cell* model. Sebagai alternatif, bisa klik kanan *setup cell* dan pilih edit. Langkah ini akan meluncurkan aplikasi *mechanical*.
4. Lanjutkan proses analisis menggunakan alat dan fitur pada halaman aplikasi *mechanical*.

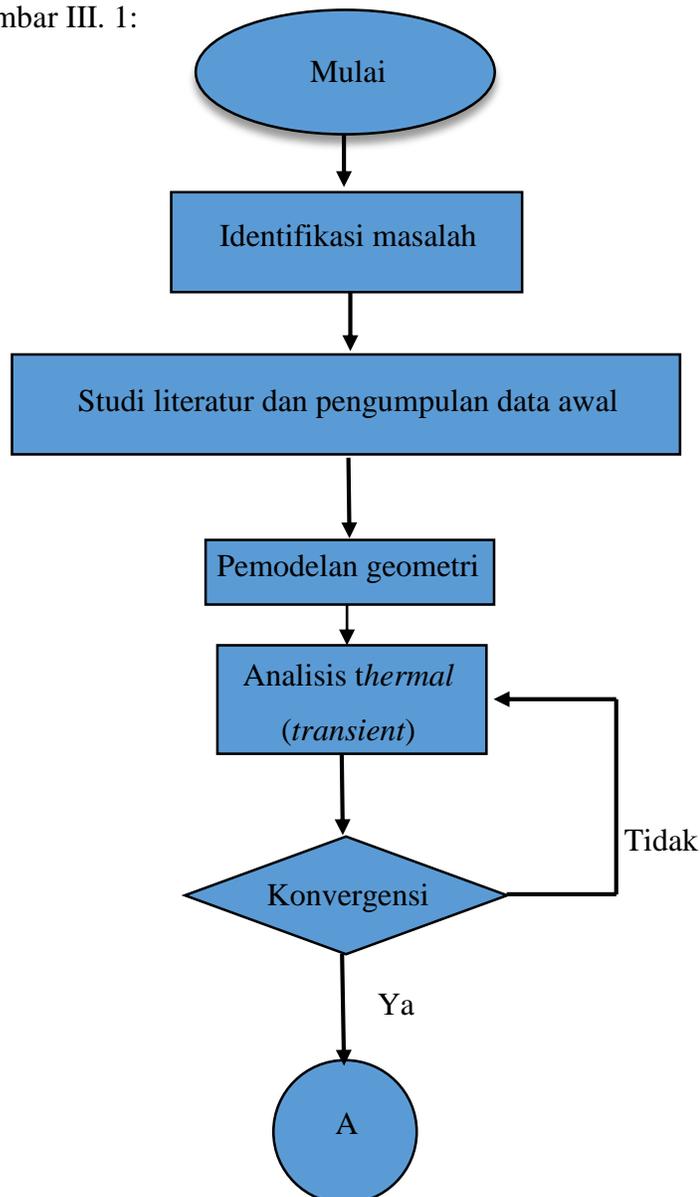
II.6.3 Uji Konvergensi

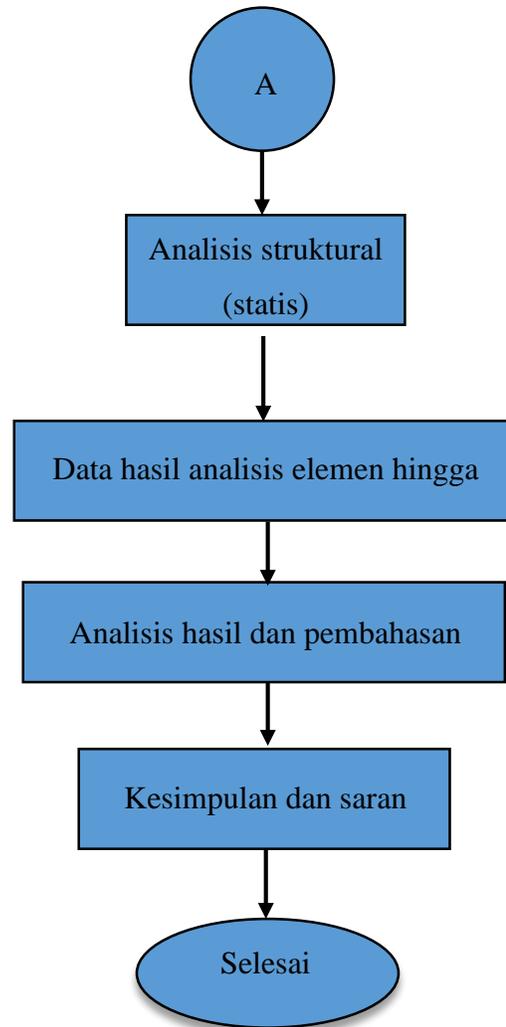
Uji konvergensi adalah salah satu cara dalam menentukan ukuran elemen yang tepat dalam pembuatan model elemen hingga sehingga model dapat menghasilkan nilai yang valid. Konvergensi dilakukan dengan cara membandingkan beberapa hasil pemodelan dengan ukuran elemen berbeda. Data yang digunakan sebagai acuan dalam melakukan uji konvergensi adalah hasil uji *thermal*. Hasil dapat dinyatakan valid dan dapat dijadikan acuan apabila hasil dari pengujian menunjukkan hasil yang tidak signifikan dan kurang dari dua persen ($< 2\%$). Model yang digunakan dalam uji konvergensi ini memiliki spesifikasi panjang 6000 mm, lebar 1800 mm, dan tebal 10 mm dengan stopper dengan panjang 300 mm. Sedangkan panjang elemen yang digunakan adalah dari 70 mm sampai dengan 25 mm dengan bentuk *all quad* (kotak).

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

III.1 Pendahuluan

Dalam tugas akhir ini akan dilakukan pemodelan pengelasan pelat datar yang diberikan stopper dengan menggunakan *software* metode elemen hingga. Pemodelan dilakukan dengan dua cara, yaitu pemodelan *thermal* dan *structural*. Pemodelan *thermal* digunakan untuk mengetahui distribusi panas selama pengelasan, dan pemodelan *structural* digunakan untuk mengetahui tegangan sisa dan deformasi yang terjadi akibat pengelasan. Secara garis besar dijelaskan dalam diagram alir pada Gambar III. 1:





Gambar III. 1 Diagram Alir Metodologi

III.2 Material Properties

Material yang digunakan untuk pemodelan ini yaitu baja karbon ASTM A36. Logam ini banyak digunakan dalam bidang perkapalan. Sifat dan karakteristik baja karbon yang digunakan dalam tugas akhir ini ada pada Tabel III. 1:

Tabel III. 1 Material Properties Baja Karbon

Temperature (°C)	Specific Heat (J/kg°C)	Conductivity (W/m°C)	Yield Stress (Mpa)	Thermal Expansion Coefficient (x10 ⁻⁵ /°C)	Youngs Modulus (Gpa)
0	480	60	380	1.1	210
100	500	50	340	1.15	200
200	520	45	315	1.2	200
400	650	38	230	1.3	170
600	750	30	110	1.42	80
800	1000	25	30	1.45	35
1000	1200	26	25	1.45	20
1200	1400	28	20	1.45	15
1400	1600	37	18	1.45	10
1550	1700	37	15	1.45	10

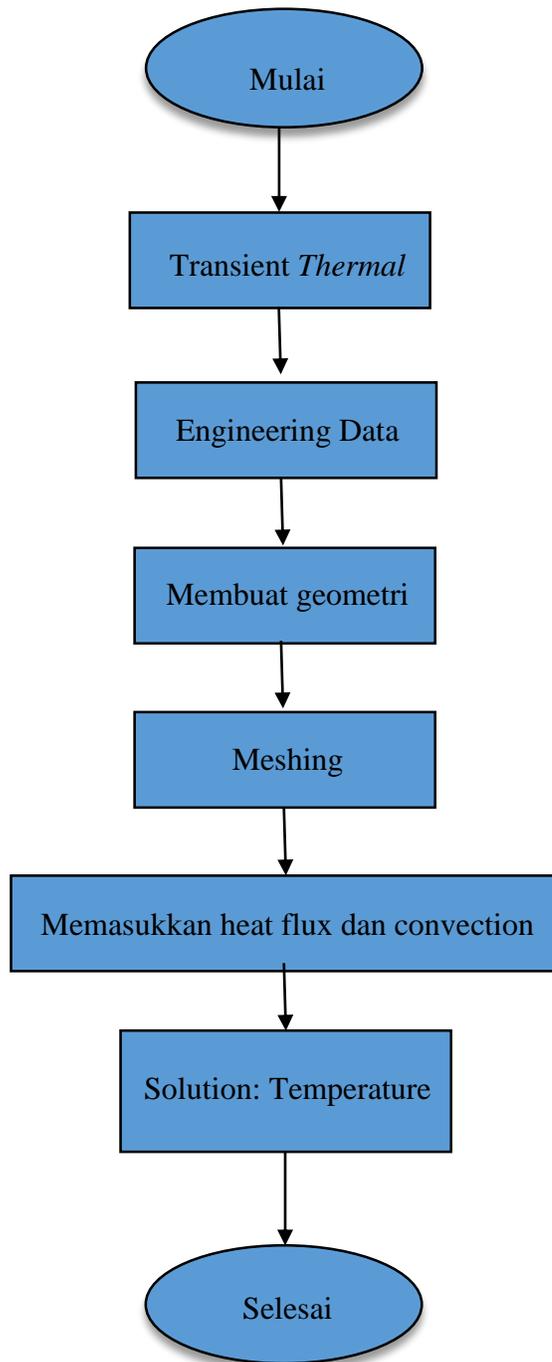
III.3 Data Parameter Pengelasan

Prosedur pengelasan yang digunakan dalam pemodelan adalah FCAW (*Flux Cored Arc Welding*). Adapun prosedur pengelasan yang digunakan secara spesifik adalah sebagai berikut:

- Tipe pengelasan : FCAW
- Kecepatan pengelasan : 5 mm/detik
- Kuat Arus : 200 A
- Voltase : 24 V
- Efisiensi Pengelasan : 83%
- Diameter electrode : 1.5875 mm

III.4 Pemodelan *Thermal*

Untuk analisis *thermal*, ada beberapa tahap yang harus dilakukan. Secara garis besar dapat dilihat pada diagram alir pada Gambar III. 2 Diagram Alir Pemodelan *Thermal*:

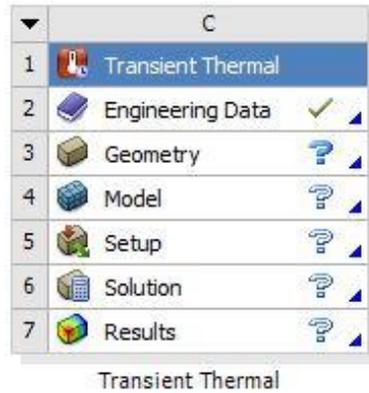


Gambar III. 2 Diagram Alir Pemodelan Thermal

Tahap-tahap pemodelan *thermal*:

a. Select: *Transient Thermal*

Langkah pertama untuk pemodelan menggunakan metode elemen hingga yaitu dengan memilih *analysis system* yang akan digunakan. Pada saat ini yang dipilih adalah *transient thermal*. Perintah yang digunakan adalah *drag transient thermal > project schematic > create standalone system*. Perintah digambarkan pada Gambar III. 3.



Gambar III. 3 *Select Transient Thermal*

b. Pemilihan Engineering Data

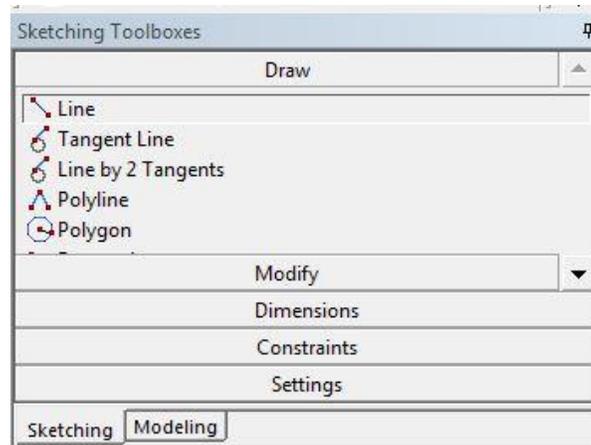
Pemilihan *engineering data* adalah salah satu hal yang paling penting, karena hal ini menyangkut material apa yang akan kita gunakan dalam proses analisis. Karena material yang akan digunakan adalah baja karbon ASTM A36, maka yang dipilih adalah *structural steel* seperti yang dapat dilihat pada Gambar III. 4. Untuk detailnya, dapat diubah dan menyesuaikan dengan material properties seperti yang ditunjukkan pada Tabel III. 1.



Gambar III. 4 *Engineering data*

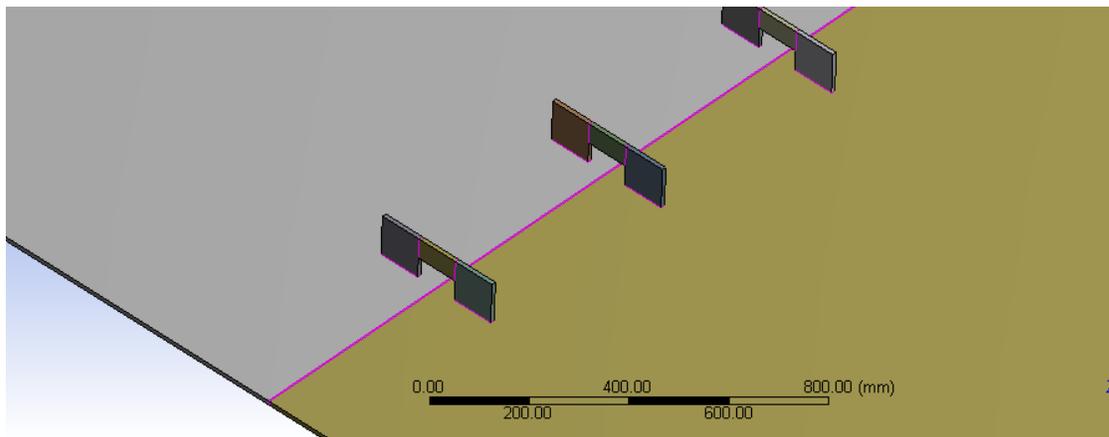
c. Pembuatan geometri

Geometri pada model dilakukan dengan menggunakan sketsa (*sketch*). Karena model yang dibuat lebih sederhana, maka hal pertama yang dibuat adalah sketsa pelat 1800 x 6000mm. Kemudian dibuat kampuh las, dan selanjutnya adalah stoppernya. Perintah yang dilakukan adalah: *geometry > scetching > line > dimension > general*. Perintah digambarkan pada Gambar III. 5.



Gambar III. 5 Geometri

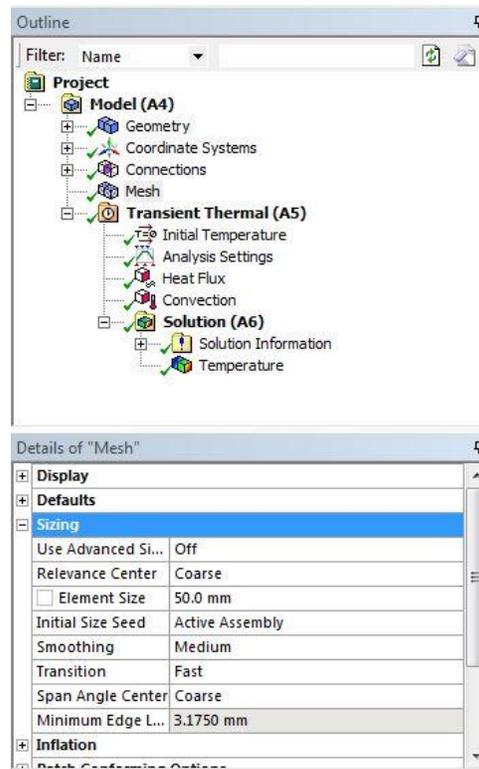
Setelah dibuat geometri, maka hasilnya akan tampak seperti pada Gambar III. 6.



Gambar III. 6 Hasil Geometri

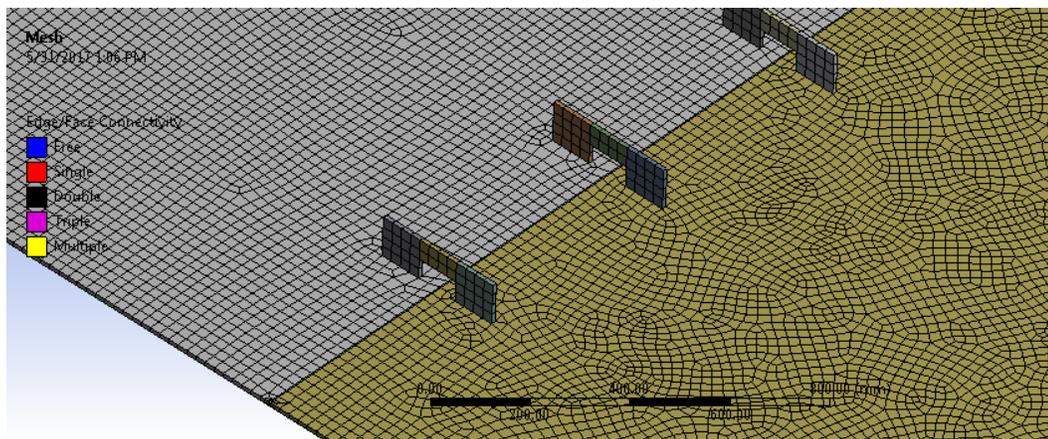
d. Meshing

Proses selanjutnya adalah proses *meshing*. Proses ini adalah proses membagi keseluruhan sistem ke dalam elemen-elemen kecil yang seragam dengan tujuan agar analisis menjadi semakin detail pada keseluruhan sistem tersebut. Perintah yang digunakan adalah *model > mesh > sizing > generate mesh*. Perintah digambarkan pada Gambar III. 7. Sizing dilakukan untuk menentukan ukuran dari elemen yang akan digunakan.



Gambar III. 7 Meshing

Setelah dilakukan meshing, maka hasilnya akan tampak seperti pada Gambar III. 8.

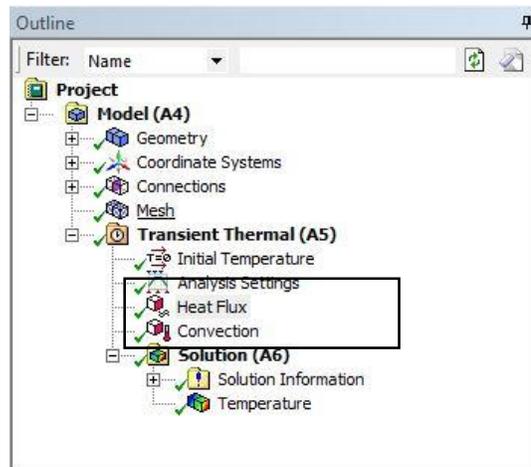


Gambar III. 8 Hasil Meshing

e. Memasukkan Heat Flux dan Convection

Proses selanjutnya adalah memasukkan *heat flux* dan *convection*. Proses ini dilakukan sebagai pemodelan pengelasan. *Heat flux* yang sudah dihitung sebelumnya dimasukkan ke *tabular data (time)*. Begitu pun dengan *convection*. Perintah yang digunakan adalah

environment > *heat* > *heat flux*. Dan *environment* > *convection*. Perintah digambarkan pada Gambar III. 9.



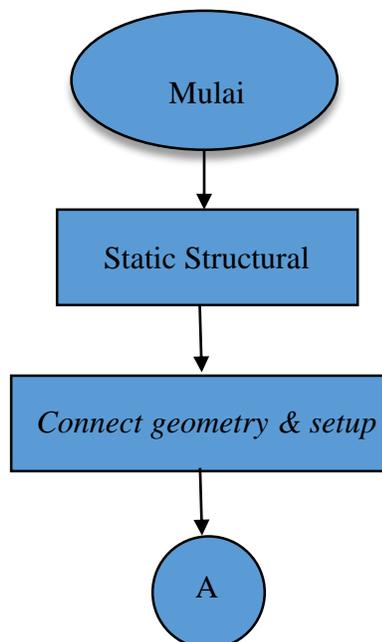
Gambar III. 9 *Heat Flux and Convection*

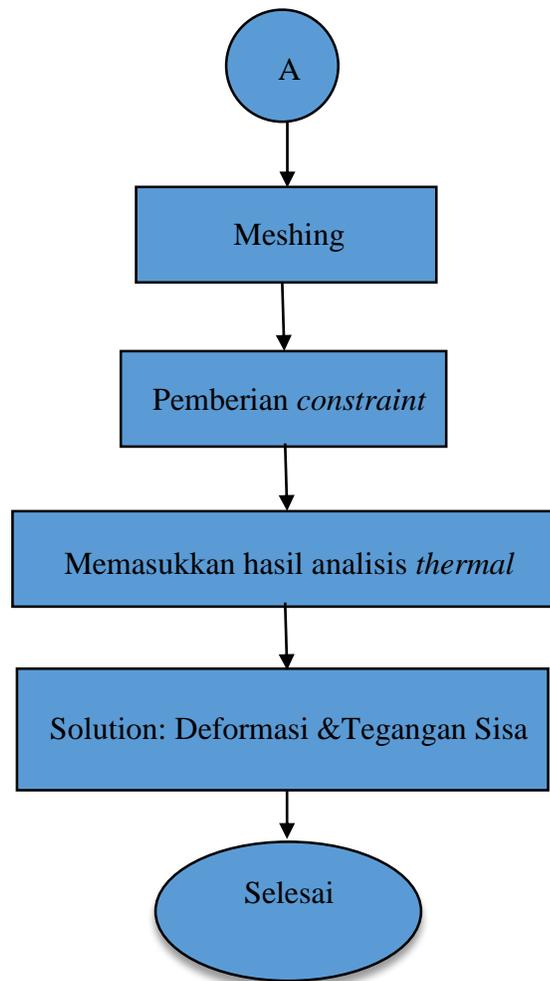
f. Solution: Temperature

Setelah semua *environment* sudah diset, maka kita pilih hasil yang akan kita ambil, yaitu *temperature*. Perintah yang digunakan adalah *solution* > *heat* > *temperature*. Setelah itu kita pilih klik kanan > *solve* untuk analisis programnya.

III.5 Pemodelan *Structure*

Untuk analisis struktur, ada beberapa tahap yang harus dilakukan. Secara garis besar dapat dilihat dalam diagram alir pada Gambar III. 10:





Gambar III. 10 Diagram Alir Pemodelan Struktur

Tahap-tahap pemodelan struktur:

a. Select: *Static Structural*

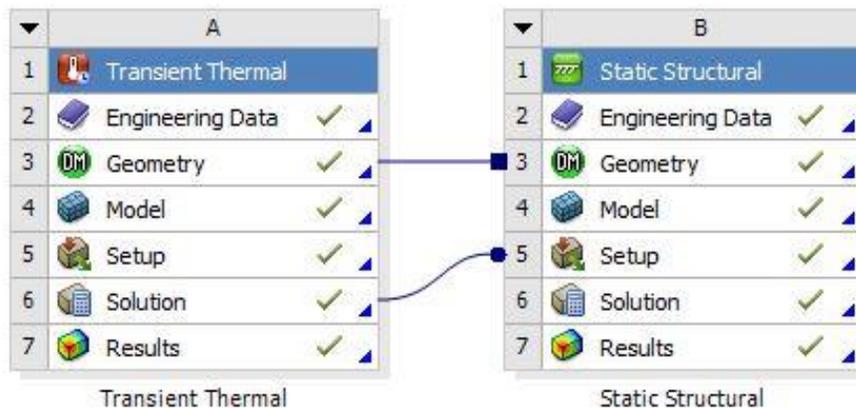
Langkah pertama untuk pemodelan menggunakan Metode elemen hingga yaitu dengan memilih *analysis system* yang akan digunakan. Pada saat ini yang dipilih adalah *static structural*. Perintah yang digunakan adalah *drag static structural > project schematic > create standalone system*. Perintah digambarkan pada Gambar III. 11.



Gambar III. 11 *Select Static Structural*

b. *Connect geometry & setup*

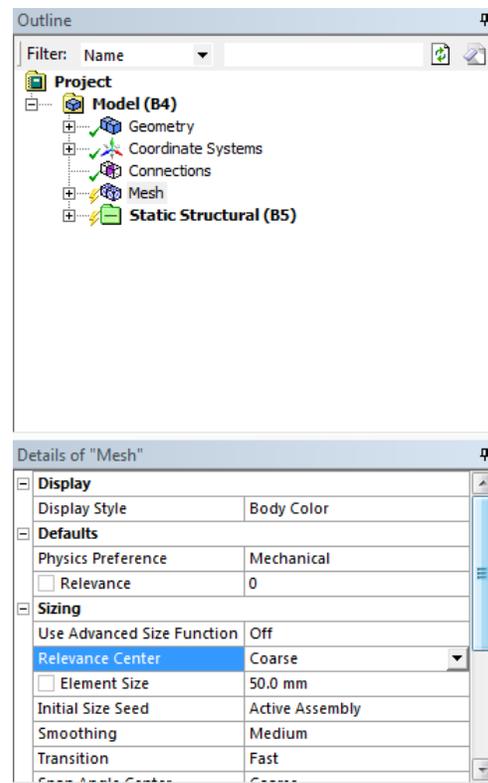
Langkah selanjutnya adalah menghubungkan geometri dan setup dari analisis *thermal* ke *static structural*. Hal ini dilakukan karena model yang akan dianalisis sama dan beban yang diberikan berasal dari hasil analisis *thermal*. Perintah yang digunakan adalah *drag geometry* dari *transient thermal* > *geometry static structural*, kemudian *drag solution* dari *transient thermal* > *setup static structural*. Perintah digambarkan pada Gambar III. 12.



Gambar III. 12 *Connect Geometry and Setup*

c. *Meshing*

Proses selanjutnya adalah proses *meshing*. Proses ini adalah proses membagi keseluruhan sistem ke dalam elemen-elemen kecil yang seragam dengan tujuan agar analisis menjadi semakin detail pada keseluruhan sistem tersebut. Perintah yang digunakan adalah *model > mesh > sizing > generate mesh*. Perintah digambarkan pada Gambar III. 13. Sizing dilakukan untuk menentukan ukuran dari elemen yang akan digunakan.



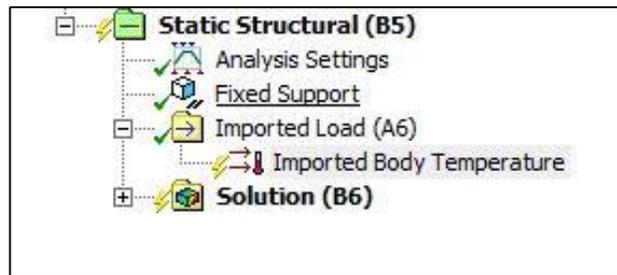
Gambar III. 13 *Meshing*

d. Pemberian *constraint*

Langkah selanjutnya adalah pemberian tumpuan pada model *stopper*. Pemberian tumpuan ini berguna agar proses perhitungan dapat dilakukan. Jika model tidak diberi tumpuan maka gaya reaksi akan sangat besar sehingga tidak sesuai dengan kondisi sebenarnya. Tumpuan dalam pemodelan diberikan pada daerah *stopper* yang dianggap tidak bergerak selama proses pengelasan. Perintah yang digunakan adalah *environment > supports > fixed supports > select geometry*.

- e. Memasukkan hasil analisis *thermal*

Setelah *solutions* dari analisis *thermal* dihubungkan dengan *setup* analisis struktur, beban dari hasil analisis *thermal* pun diberikan ke seluruh bagian dari model. Perintah yang digunakan adalah *imported load* > *imported body temperature* > *select geometry* > klik kanan *import load*. Perintah digambarkan pada Gambar III. 14.



Gambar III. 14 *Import Load*

- f. Solution

Setelah semua *environment* sudah diset, maka kita pilih hasil yang akan kita ambil, yaitu *deformation* dan *equivalent stress*. Perintah yang digunakan adalah *solution* > *deformation* > *total & directional*. Selanjutnya *solution* > *stress* > *equivalent (von-mises)*. Setelah itu kita pilih klik kanan > *solve* untuk analisis programnya.

BAB IV

ANALISIS PERHITUNGAN DAN PEMBAHASAN

IV.1 Variabel Pembebanan *Thermal*

Beban yang diterima oleh *base metal* dalam proses pengelasan adalah *heat input*. *Heat input* yang terjadi pada pengelasan dipengaruhi oleh beberapa faktor yaitu arus listrik, tegangan, kecepatan pengelasan, dll. Dalam pemodelan pengelasan, *heat input* diberikan pada setiap elemen yang dilalui alur las dan berjalan sesuai dengan fungsi waktu.

Variabel-variabel pengelasan yang digunakan dalam proses perhitungan beban *heat input* yaitu:

1. Efisiensi pengelasan (η). Nilai efisiensi diambil dari katalog pengelasan FCAW merk ESAB yaitu 0.83.
2. Tegangan (U). Nilai tegangan diambil dari rata-rata tegangan pengelasan dari dua specimen pengelasan.
3. Arus pengelasan (I). Besarnya arus pengelasan diambil dari rata-rata arus pengelasan dua specimen pengelasan.
4. Luas pembebanan (A). Luas pembebanan diperoleh dengan menghitung panjang dan lebar elemen yang dikenai beban.
5. *Heat input* bersih (Q). Besarnya *heat input* diperoleh dengan rumus perkalian antara tegangan dengan kuat arus yang digunakan dan dikalikan dengan efisiensi pengelasan.
6. *Heat flux* (q). Perhitungan *heat flux* yang diterima elemen pembebanan diperoleh dari rumus besarnya *heat input* yang diterima tiap layer per luasan elemen pembebanan.
7. Lama pembebanan. Kecepatan pengelasan yang digunakan menentukan lamanya beban panas yang diterima elemen material.
8. Kondisi batas. Permukaan pelat dengan udara terjadi kontak langsung sehingga diperlukan suatu koefisien konveksi yang dapat mewakili hal tersebut. Koefisien itu disebut Film

Koefisien dan diatur bernilai 30 pada suhu kamar sekitar 300°K. Selain pemberian film koefisien dan penetapan suhu kamar pengelasan, pada analisa *structural* juga diberikan kondisi batas (*displacement*) pada daerah stopper yang bersentuhan dengan *base metal*.

IV.2 Perhitungan Beban

Input beban yang dimasukkan berupa *heat flux*, dimana besarnya *heat flux* yang dihasilkan busur las didefinisikan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \eta &= 83\% \\ U &= 24 \text{ Volt} \\ I &= 200 \text{ A} \\ Q &= \eta \times U \times I \\ &= 0.83 \times 24 \times 200 \\ &= 3984 \text{ Watt} \end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan beban *thermal* pada model didapatkan hasil seperti pada Tabel

IV. 1:

Tabel IV. 1 Hasil Perhitungan Beban Thermal

1	Q =	$\eta \times U \times I$	
		3984	Watt
2	Af =	$b \times v \times t$	
		79.375	mm ²
3	Ae =	$1/4 \times \pi \times D^2$	
		1.978322656	mm ²
4	A1 =	$P \times L$	
		270.6329387	mm ²
5	qe =	Q / Ae	
		2013.827212	Watt/mm ²
		2013827212	Watt/m ²
6	q1 =	$qe \times (A1/Af)$	
		6866242223.40	Watt/mm ²

Dengan demikian telah diketahui besarnya beban *heat flux* yang dikenakan pada setiap elemen yang dilalui alur las pada model. Beban ini dikenakan secara *transient* atau berjalan sesuai dengan fungsi waktu.

Selain beban *heat flux* ada juga kondisi batas yang harus dimasukkan ke dalam pembebanan model. Kondisi batas ini merupakan kenyataan bahwa antara permukaan pelat dengan udara

mengalami kontak langsung sehingga harus dimasukkan koefisien yang digunakan untuk memasukkan faktor konveksi dalam pemodelan. Koefisien yang harus dimasukkan yaitu :

$$\text{Film Koefisien} = 30 \text{ W/m}^2\text{°K}$$

$$\text{Bulk Temperature} = 300 \text{ K}$$

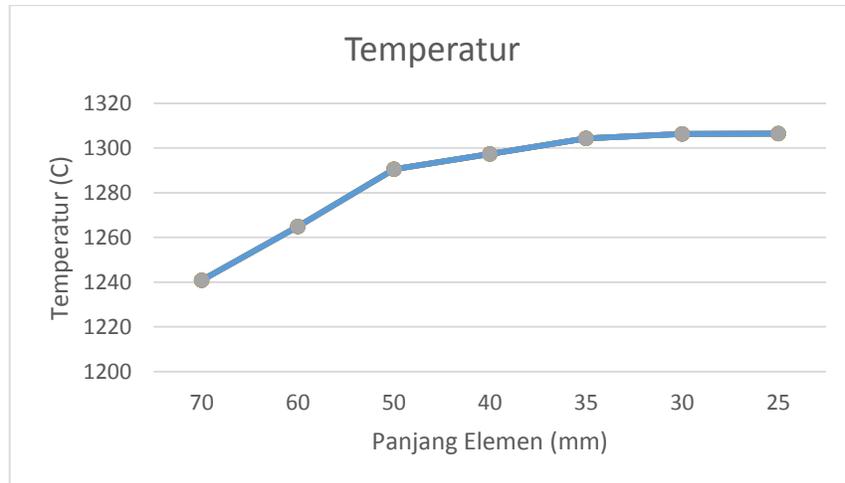
Film koefisien merupakan koefisien faktor konveksi yang terjadi antara logam yang dipanaskan dengan udara. Sedangkan *bulk temperature* adalah temperatur ruang yang terjadi pada saat pengelasan dilakukan. Temperatur ruang diasumsikan sebesar 27°C atau sebesar 300° Kelvin. (Pratama, 2016)

IV.3 Uji Konvergensi

Adapun hasil temperatur dari uji konvergensi dapat dilihat dalam Tabel IV.2:

Tabel IV. 2 Hasil Uji Konvergensi Tiap Elemen

Panjang Elemen (mm)	Temperatur (C)	Selisih (%)
70	1240.8	
60	1264.9	1.91
50	1290.5	1.98
40	1297.3	0.52
35	1304.3	0.54
30	1306.3	0.15
25	1306.4	0.01

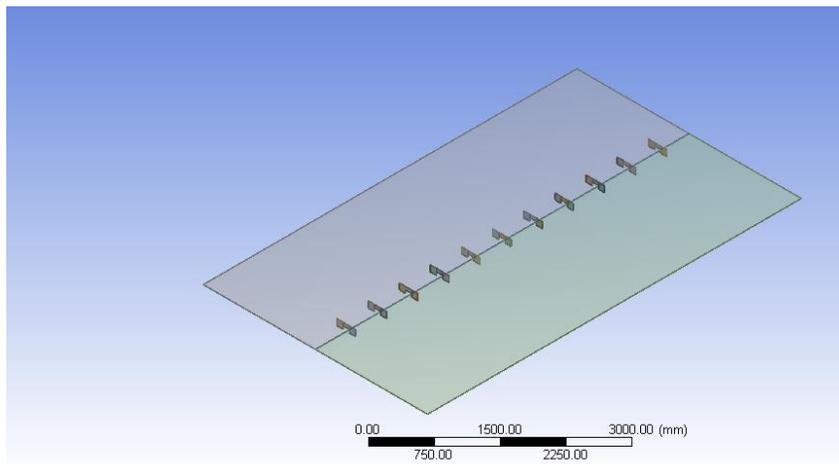


Gambar IV. 1 Grafik Hasil Uji Konvergensi

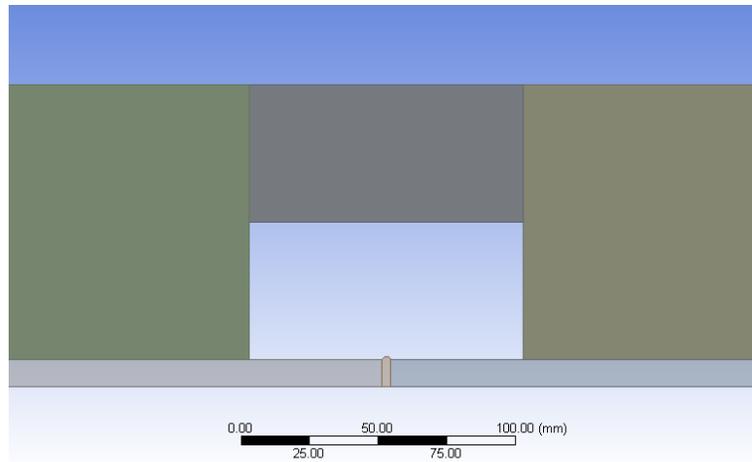
Setelah dilakukan uji konvergensi, panjang elemen paling valid adalah panjang elemen 25 mm, hasil inilah yang digunakan acuan untuk menjadi panjang elemen dalam pemodelan.

IV.4 Variasi Panjang Stopper dan Alur Las

Dalam pemodelan, dilakukan variasi panjang stopper dan alur las. Variasi panjang stopper yaitu 200, 300, 400, 500, dan 600 mm dengan ketebalan sama yaitu 10 mm. Sedangkan variasi alur las yaitu persegi, v tunggal, dan v ganda. Untuk jarak stopper yaitu 500 mm. Hasil yang diambil adalah besar nilai deformasi dan tegangan sisa dari masing-masing variasi.



Gambar IV. 2 Sketsa Model Pelat Panjang 6000 x 1800 x 10 mm, Panjang Stopper 300 mm

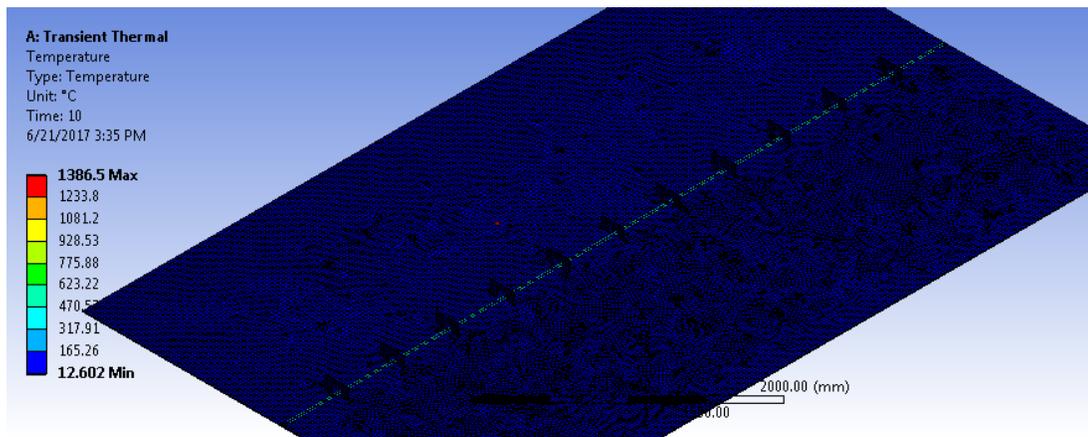


Gambar IV. 3 Sketsa Model Stopper Panjang 300 mm

IV.4.1 Variasi Alur Las Persegi

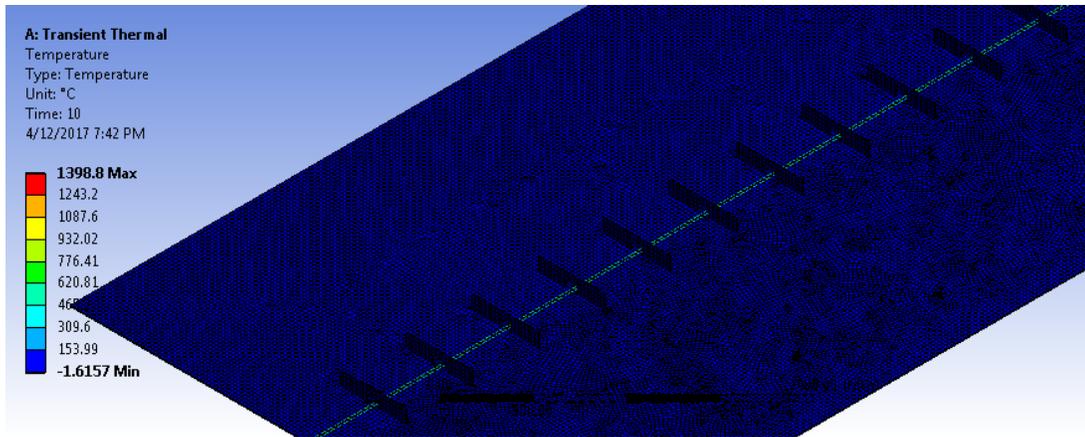
IV.4.1.1 Hasil Analisis *Thermal*

Setelah dilakukan analisis thermal pada variasi alur las persegi dan panjang stopper 200 mm, didapatkan hasil seperti pada Gambar IV. 4.



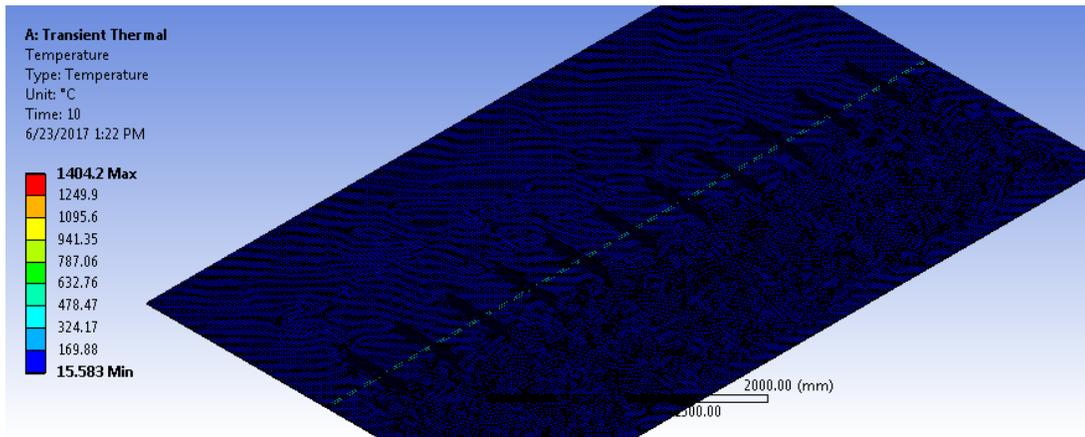
Gambar IV. 4 Hasil Analisis Thermal Variasi Alur Las Persegi , Panjang Stopper 200 mm

Setelah dilakukan analisis thermal pada variasi alur las persegi dan panjang stopper 300 mm, didapatkan hasil seperti pada Gambar IV. 5.



Gambar IV. 7 Hasil Analisis Thermal Variasi Alur Las Persegi , Panjang Stopper 500 mm

Setelah dilakukan analisis thermal pada variasi alur las persegi dan panjang stopper 600 mm, didapatkan hasil seperti pada Gambar IV. 8.



Gambar IV. 8 Hasil Analisis Thermal Variasi Alur Las Persegi , Panjang Stopper 600 mm

Pada Tabel IV.3 adalah rekap dari hasil analisis thermal pada variasi alur las persegi. Hasil analisis berupa temperatur pada tiap panjang stopper.

Tabel IV. 3 Hasil Analisis Thermal Variasi Alur Las Persegi

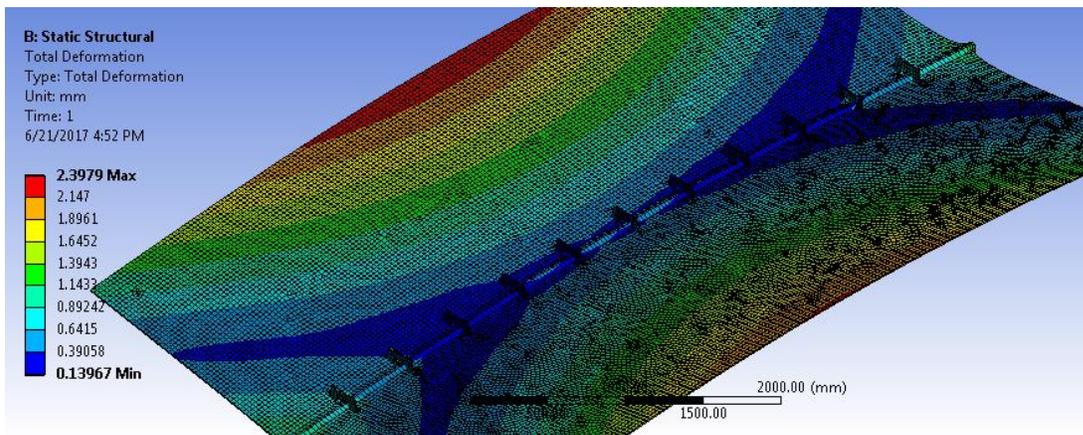
No	Jenis Model	Temperatur (C)
1	Model 200 mm	1386.5
2	Model 300 mm	1386.5
3	Model 400 mm	1386.6
4	Model 500 mm	1398.8
5	Model 600 mm	1404.2

Berdasarkan Tabel IV. 3 didapatkan nilai temperatur pada pada panjang stopper 600 mm adalah 1404.2 °C, pada panjang stopper 500 mm adalah 1398.8 °C, pada panjang stopper 400 mm

adalah 1386.6 °C, pada panjang stopper 300 mm adalah 1386 °C, panjang stopper 200 mm adalah 1386.5 °C. Semakin panjang stopper, maka temperatur hasil uji *thermal* akan semakin besar.

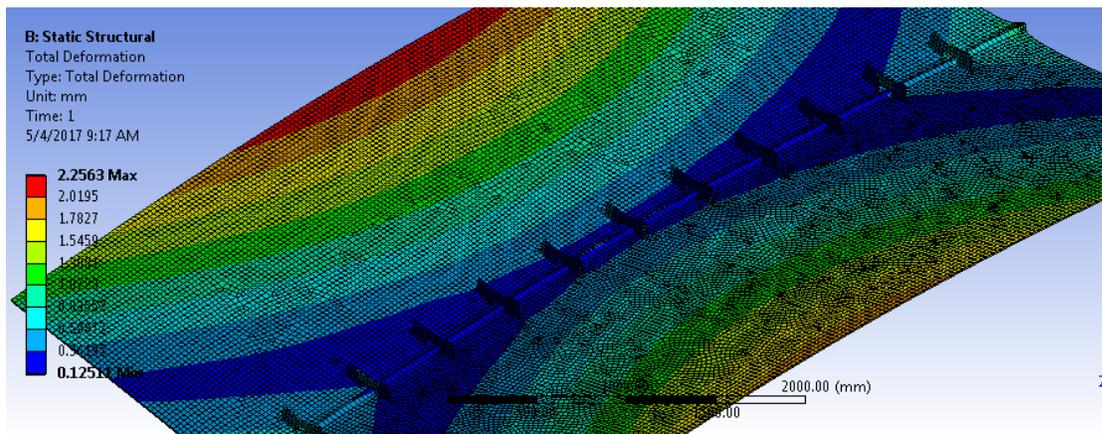
IV.4.1.2 Hasil Analisis Struktur: Deformasi Total

Setelah dilakukan analisis struktur pada variasi alur las persegi dan panjang stopper 300 mm, didapatkan nilai deformasi total seperti pada Gambar IV. 9.



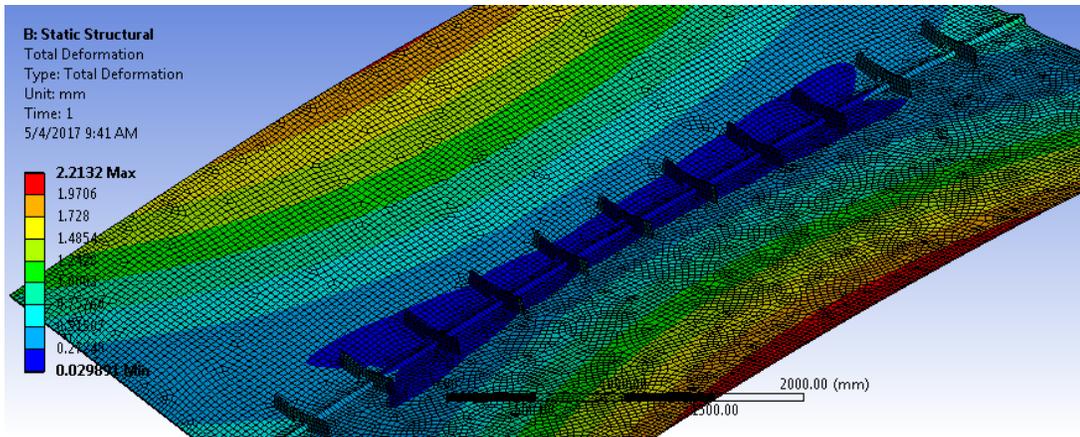
Gambar IV. 9 Hasil Analisis Deformasi Total Variasi Alur Las Persegi, Panjang Stopper 200 mm

Setelah dilakukan analisis struktur pada variasi alur las persegi dan panjang stopper 300 mm, didapatkan nilai deformasi total seperti pada Gambar IV. 10.



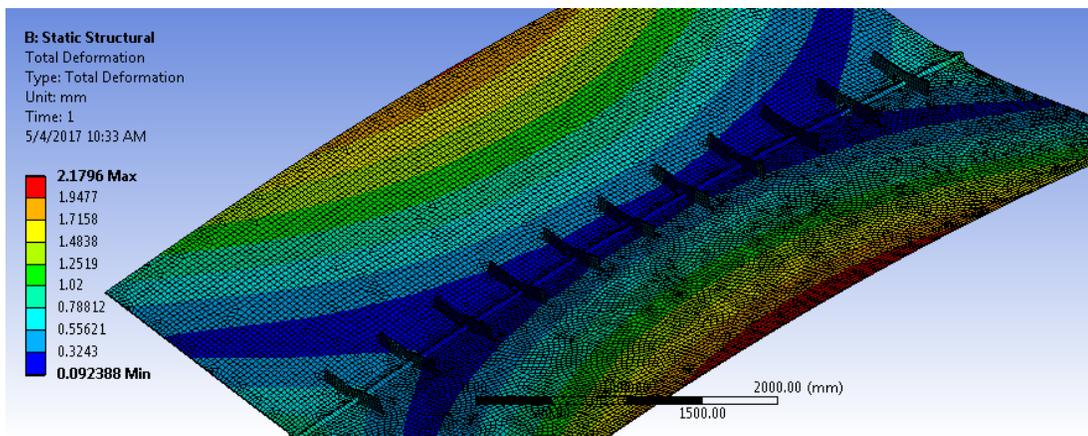
Gambar IV. 10 Hasil Analisis Deformasi Total Variasi Alur Las Persegi, Panjang Stopper 300 mm

Setelah dilakukan analisis struktur pada variasi alur las persegi dan panjang stopper 400 mm, didapatkan nilai deformasi total seperti pada Gambar IV. 11.



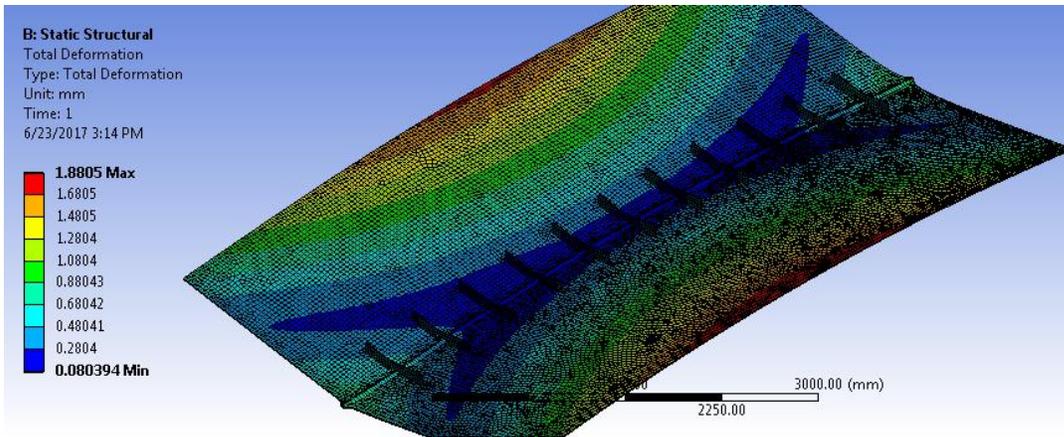
Gambar IV. 11 Hasil Analisis Deformasi Total Variasi Alur Las Persegi, Panjang Stopper 400 mm

Setelah dilakukan analisis struktur pada variasi alur las persegi dan panjang stopper 500 mm, didapatkan nilai deformasi total seperti pada Gambar IV. 12.



Gambar IV. 12 Hasil Analisis Deformasi Total Variasi Alur Las Persegi, Panjang Stopper 500 mm

Setelah dilakukan analisis struktur pada variasi alur las persegi dan panjang stopper 500 mm, didapatkan nilai deformasi total seperti pada Gambar IV. 13.

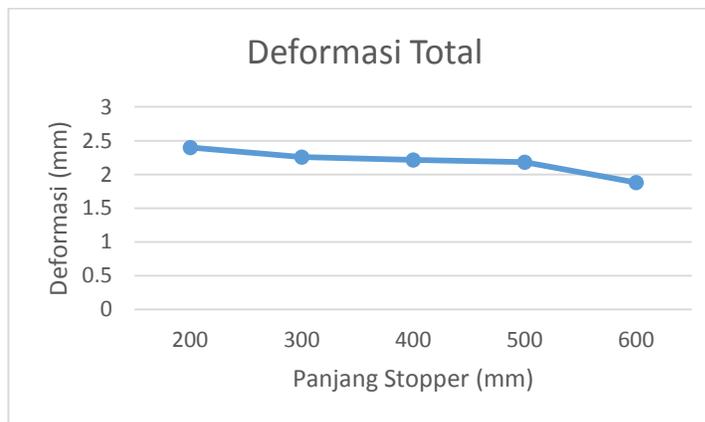


Gambar IV. 13 Hasil Analisis Deformasi Total Variasi Alur Las Persegi, Panjang Stopper 600 mm

Pada Tabel IV. 4 adalah rekap dari analisis struktural pada variasi alur las persegi. Hasil analisis berupa besar deformasi total pada tiap panjang stopper.

Tabel IV. 4 Deformasi Total Variasi Alur Las Persegi

Panjang Stopper	Deformasi Total (mm)
Model 200 mm	2.3979
Model 300 mm	2.2563
Model 400 mm	2.2132
Model 500 mm	2.1796
Model 600 mm	1.8805



Gambar IV. 14 Grafik Deformasi Total Variasi Alur Las Persegi

Berdasarkan Tabel IV.4 didapatkan nilai deformasi total pada variasi panjang stopper 600 mm adalah 1.8805 mm, pada variasi panjang stopper 500 mm adalah 2.1796 mm, panjang stopper 400 mm adalah 2.2132 mm, panjang stopper 300 mm adalah 2.2563 mm, panjang stopper 200 mm

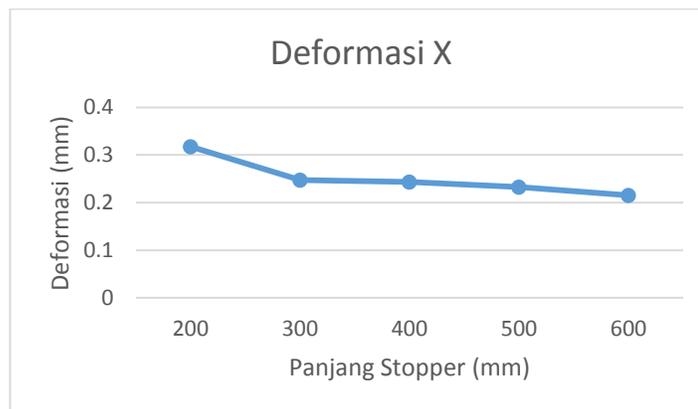
adalah 2.3979 mm. Didapatkan nilai deformasi terkecil pada variasi panjang stopper 600 mm. Dari hasil ini dapat disimpulkan bahwa semakin panjang stopper, maka deformasi yang dihasilkan akan semakin kecil. Melihat kondisi di lapangan, stopper paling optimum adalah stopper panjang 200 mm karena nilai deformasi masih di bawah batas dari BKI. Oleh karena itu, tidak perlu diadakan analisis lebih lanjut untuk stopper di atas 600 mm karena akan merugikan (boros) dan stopper di bawah 200 mm karena menyulitkan dalam pengerjaan di lapangan.

IV.4.1.3 Hasil Analisis Struktur: Deformasi Sumbu X

Pada Tabel IV. 5 adalah rekap dari analisis struktural pada variasi alur las persegi. Hasil analisis berupa besar deformasi sumbu X pada tiap panjang stopper.

Tabel IV. 5 Deformasi Sumbu X Variasi Alur Las Persegi

Panjang Stopper	Deformasi X (mm)
Model 200 mm	0.31768
Model 300 mm	0.24762
Model 400 mm	0.24321
Model 500 mm	0.2326
Model 600 mm	0.21553



Gambar IV. 15 Grafik Deformasi Sumbu X Variasi Alur Persegi

Berdasarkan Tabel IV. 5 didapatkan nilai deformasi sumbu x pada variasi panjang stopper 600 mm adalah 0.21553 mm, panjang stopper 500 mm adalah 0.2326 mm, panjang stopper 400 mm adalah 0.24321 mm, panjang stopper 300 mm adalah 0.24762 mm, dan panjang stopper 200 mm adalah 0.31768 mm. Didapatkan nilai deformasi terkecil pada variasi panjang stopper 600 mm.

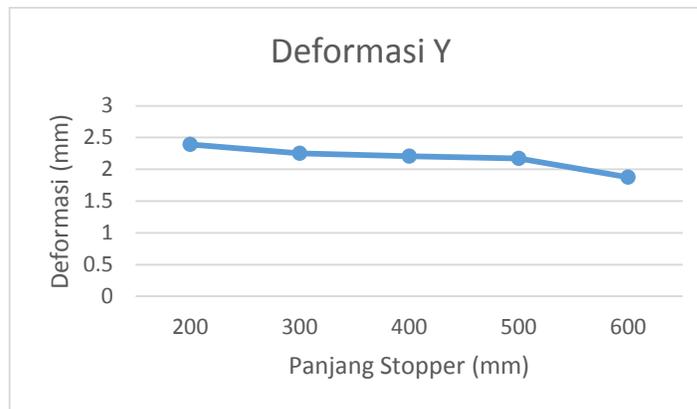
Dari hasil ini dapat disimpulkan bahwa semakin panjang stopper, maka deformasi yang dihasilkan akan semakin kecil.

IV.4.1.4 Hasil Analisis Struktur: Deformasi Sumbu Y

Pada Tabel IV. 6 adalah rekap dari analisis struktural pada variasi alur las persegi. Hasil analisis berupa besar deformasi sumbu Y pada tiap panjang stopper.

Tabel IV. 6 Deformasi Sumbu Y Variasi Alur Las Persegi

Panjang Stopper	Deformasi Y (mm)
Model 200 mm	2.3904
Model 300 mm	2.2499
Model 400 mm	2.2062
Model 500 mm	2.173
Model 600 mm	1.8737



Gambar IV. 16 Grafik Deformasi Sumbu Y Variasi Alur Las Persegi

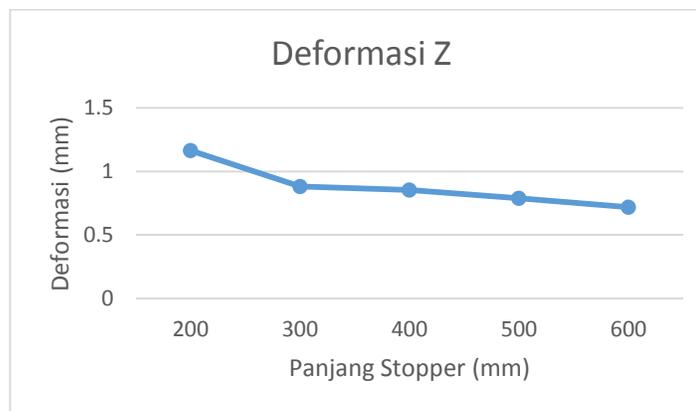
Berdasarkan Tabel IV. 6 didapatkan nilai deformasi sumbu y pada variasi panjang stopper 600 mm adalah 1.8737 mm, variasi panjang stopper 500 mm adalah 2.173 mm, panjang stopper 400 mm adalah 2.2062 mm, panjang stopper 300 mm adalah 2.2449 mm, dan variasi panjang stopper 200 mm adalah 2.3904 mm. Didapatkan nilai deformasi terkecil pada variasi panjang stopper 600 mm. Dari hasil ini dapat disimpulkan bahwa semakin panjang stopper, maka deformasi yang dihasilkan akan semakin kecil.

IV.4.1.5 Hasil Analisis Struktur: Deformasi Sumbu Z

Pada Tabel IV. 7 adalah rekap dari analisis struktural pada variasi alur las persegi. Hasil analisis berupa besar deformasi sumbu Z pada tiap panjang stopper.

Tabel IV. 7 Deformasi Sumbu Z Variasi Alur Persegi

Panjang Stopper	Deformasi Z (mm)
Model 200 mm	1.1653
Model 300 mm	0.88213
Model 400 mm	0.85454
Model 500 mm	0.78776
Model 600 mm	0.71834



Gambar IV. 17 Grafik Deformasi Sumbu Z Variasi Alur Persegi

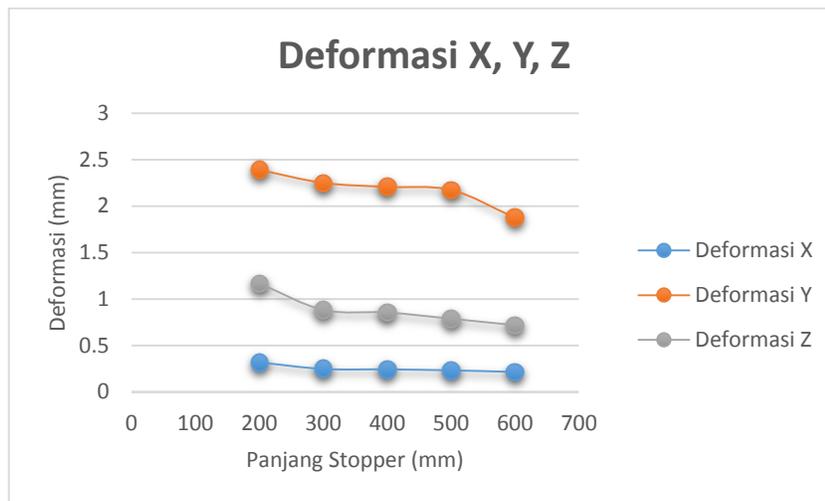
Berdasarkan Tabel IV. 7 didapatkan nilai deformasi sumbu z pada variasi panjang stopper 600 mm adalah 0.71834 mm, panjang stopper 500 mm adalah 0.78776 mm, panjang stopper 400 mm adalah 0.85454 mm, panjang stopper 300 mm adalah 0.88213 mm, dan panjang stopper 200 mm adalah 1.1653 mm. Didapatkan nilai deformasi terkecil pada variasi panjang stopper 600 mm. Dari hasil ini dapat disimpulkan bahwa semakin panjang stopper, maka deformasi yang dihasilkan akan semakin kecil.

IV.4.1.6 Hasil Analisis Struktur: Deformasi sumbu X, Y, Z

Pada Tabel IV. 8 adalah rekap dari analisis struktural pada variasi alur las persegi. Hasil analisis berupa besar deformasi sumbu X, Y, Z pada tiap panjang stopper.

Tabel IV. 8 Deformasi Sumbu X, Y, Z Variasi Alur Persegi

Panjang Stopper	Deformasi X (mm)	Deformasi Y (mm)	Deformasi Z (mm)
Model 200 mm	0.31768	2.3904	1.1653
Model 300 mm	0.24762	2.2499	0.88213
Model 400 mm	0.24321	2.2062	0.85454
Model 500 mm	0.2326	2.173	0.78776
Model 600 mm	0.21553	1.8737	0.71834

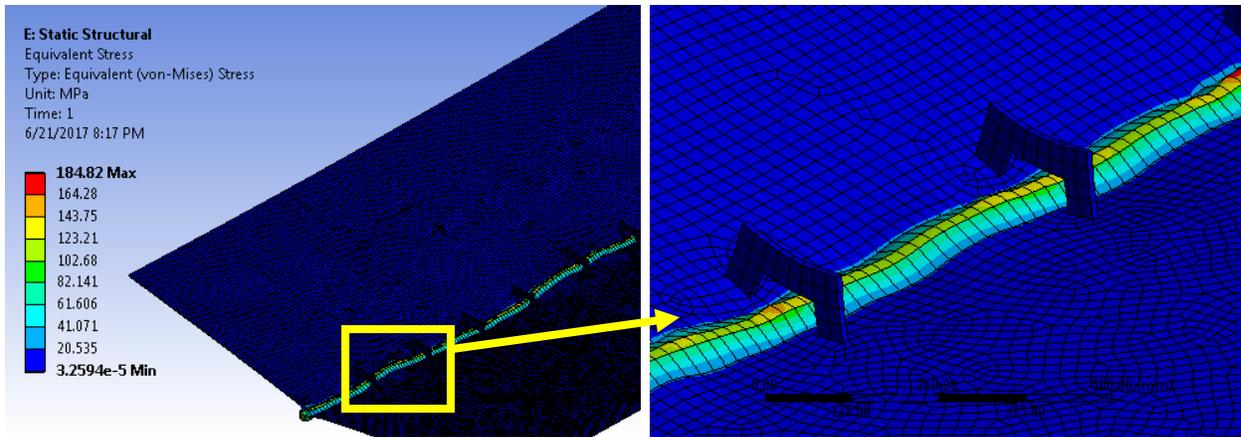


Gambar IV. 18 Grafik Deformasi Sumbu X, Y, Z Variasi Alur Persegi

Pada Gambar IV. 18, grafik menunjukkan bahwa semakin panjang stopper yang digunakan maka semakin kecil deformasi yang terjadi. Grafik juga menunjukkan bahwa deformasi terbesar ada pada sumbu Y. Hal ini terjadi karena dilakukan pembatasan (*fixed constraint*) pada sumbu X dan Z, sedangkan pada sumbu Y tidak diberi pembatasan/dilepas.

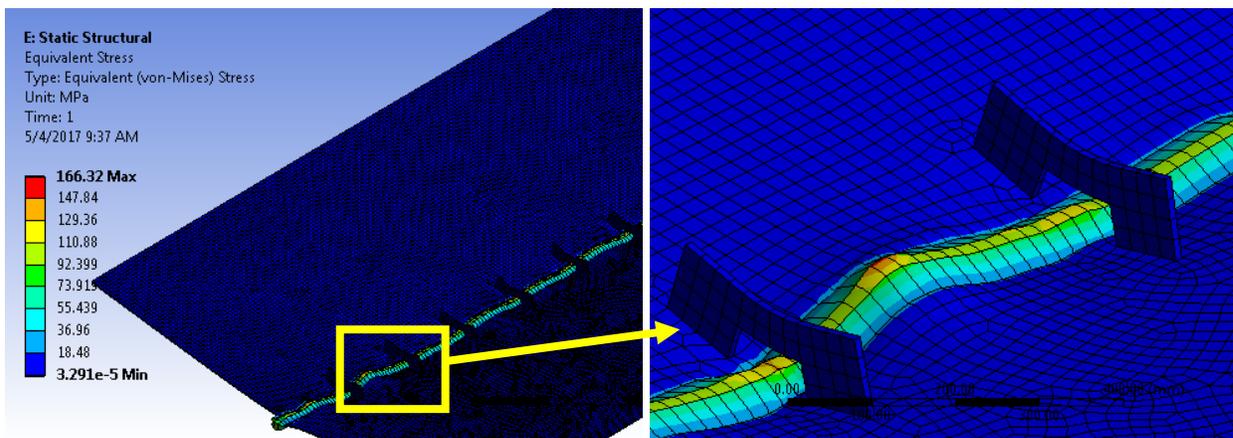
IV.4.1.7 Hasil Analisis Struktur: Von Mises Stress

Setelah dilakukan analisis struktur pada variasi alur las persegi dan panjang stopper 300 mm, didapatkan nilai tegangan sisa seperti pada Gambar IV. 19.



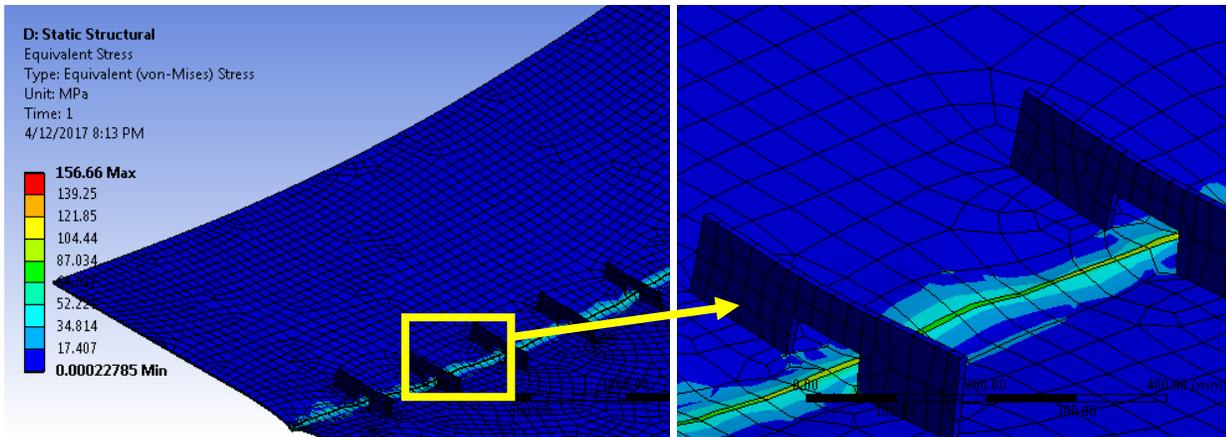
Gambar IV. 19 Hasil Analisis Struktur Tegangan Sisa Variasi Alur Las Persegi, Panjang Stopper 200 mm

Setelah dilakukan analisis struktur pada variasi alur las persegi dan panjang stopper 300 mm, didapatkan nilai tegangan sisa seperti pada Gambar IV. 20.



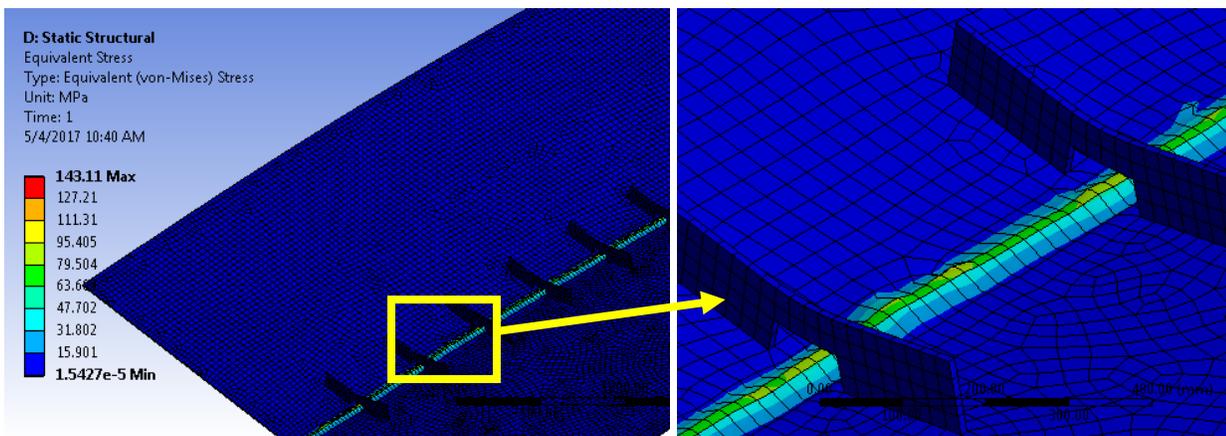
Gambar IV. 20 Hasil Analisis Struktur Tegangan Sisa Variasi Alur Las Persegi, Panjang Stopper 300 mm

Setelah dilakukan analisis struktur pada variasi alur las persegi dan panjang stopper 400 mm, didapatkan nilai tegangan sisa seperti pada Gambar IV. 21.



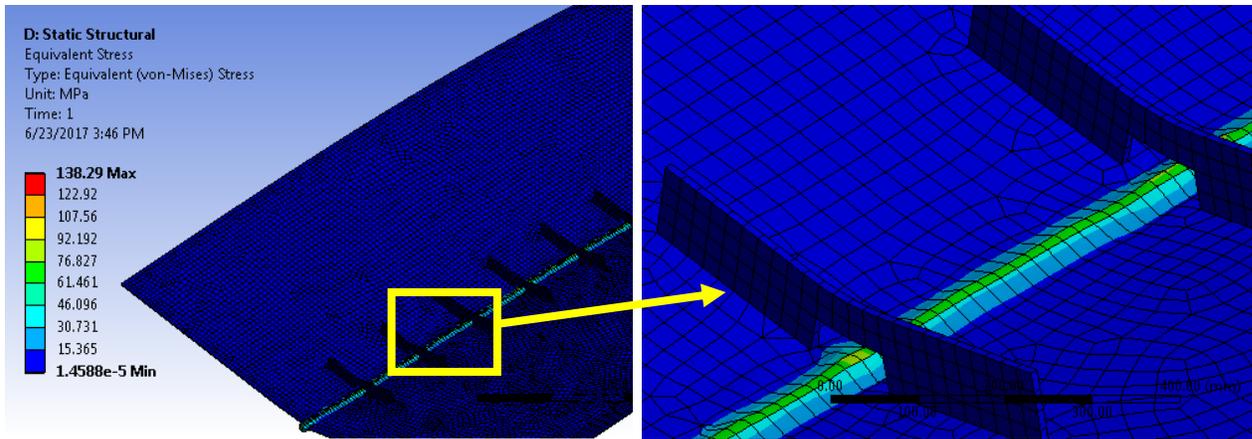
Gambar IV. 21 Hasil Analisis Struktur Tegangan Sisa Variasi Alur Las Persegi, Panjang Stopper 400 mm

Setelah dilakukan analisis struktur pada variasi alur las persegi dan panjang stopper 500 mm, didapatkan nilai tegangan sisa seperti pada Gambar IV. 22.



Gambar IV. 22 Hasil Analisis Struktur Tegangan Sisa Variasi Alur Las Persegi, Panjang Stopper 500 mm

Setelah dilakukan analisis struktur pada variasi alur las persegi dan panjang stopper 500 mm, didapatkan nilai tegangan sisa seperti pada Gambar IV. 23.

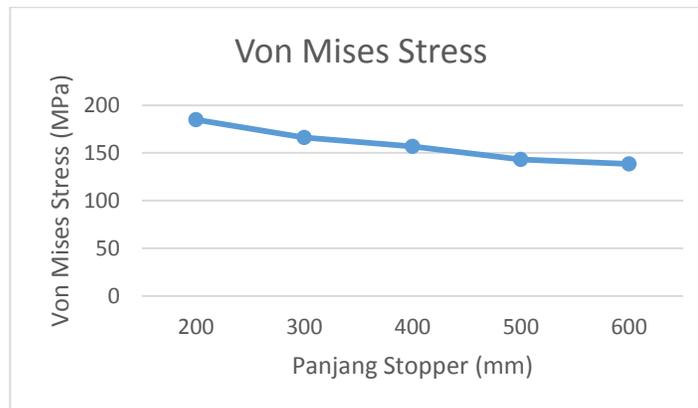


Gambar IV. 23 Hasil Analisis Struktur Tegangan Sisa Variasi Alur Las Persegi, Panjang Stopper 600 mm

Pada Tabel IV. 9 adalah rekap dari analisis struktural pada variasi alur las persegi. Hasil analisis berupa besar tegangan sisa (*von mises stress*) pada tiap panjang stopper.

Tabel IV. 9 Tegangan Sisa Variasi Alur Las Persegi

Panjang Stopper	Von Mises Stress (MPa)
Model 200 mm	184.82
Model 300 mm	166.32
Model 400 mm	156.66
Model 500 mm	143.11
Model 600 mm	138.29



Gambar IV. 24 Grafik Tegangan Sisa Variasi Alur Las Persegi

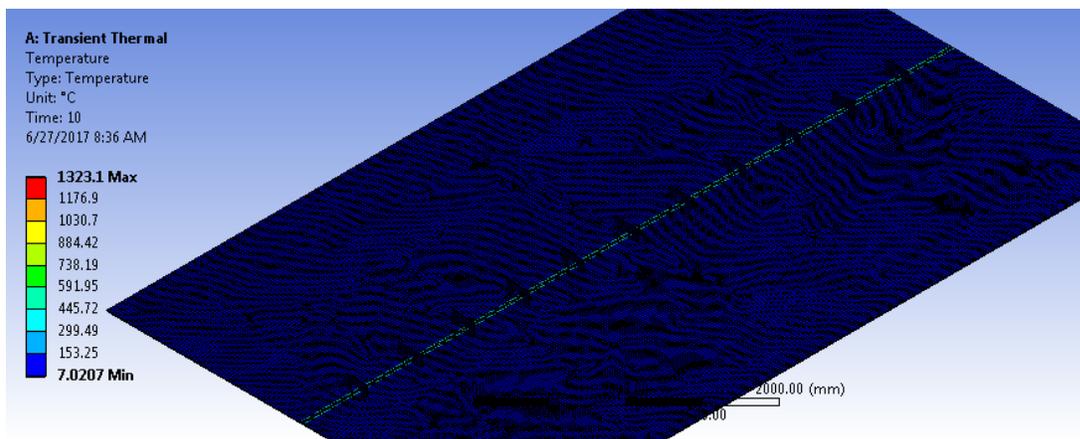
Berdasarkan Tabel IV. 9 didapatkan nilai tegangan sisa pada variasi panjang stopper 600 mm adalah 138.29 MPa, panjang stopper 500 mm adalah 143.11 MPa, panjang stopper 400 mm adalah 156.66 MPa, panjang stopper 300 mm adalah 166.32 MPa, dan panjang stopper 200 mm

adalah 184.82 MPa. Didapatkan nilai tegangan sisa terbesar pada variasi panjang stopper 200 mm. Dari hasil ini dapat disimpulkan bahwa semakin panjang stopper, maka nilai tegangan sisa yang dihasilkan akan semakin kecil. Dari hasil analisis didapat tegangan sisa pada variasi panjang stopper 200 mm masih di bawah *yield stress*, maka stopper paling optimum adalah panjang stopper 200 mm dan tidak perlu dilakukan analisis untuk panjang stopper lebih dari 600 mm.

IV.4.2 Variasi Alur Las V Tunggal

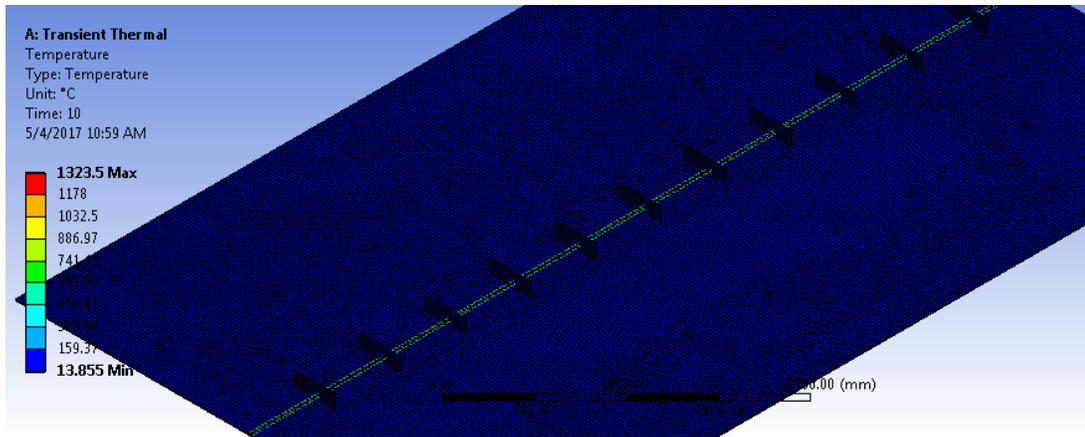
IV.4.2.1 Hasil Analisis *Thermal*

Setelah dilakukan analisis thermal pada variasi alur las V tunggal dan panjang stopper 200 mm, didapatkan hasil seperti pada Gambar IV. 25.



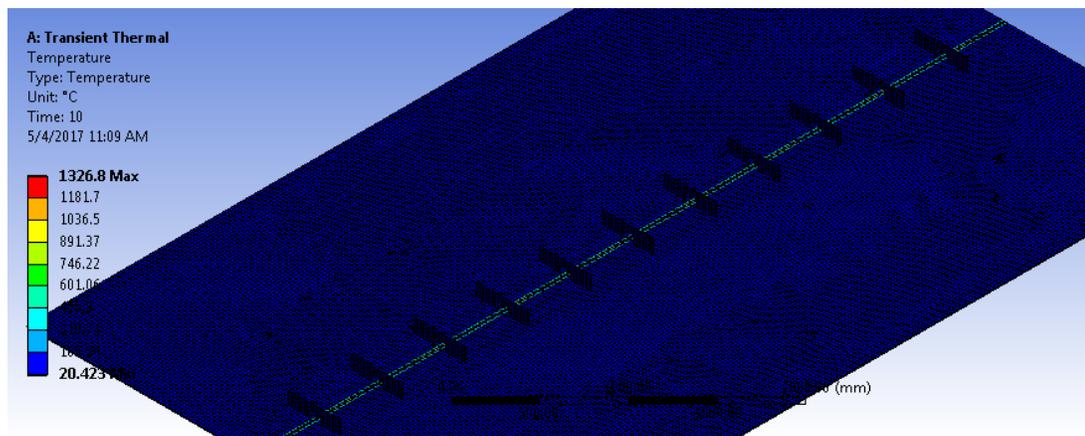
Gambar IV. 25 Hasil Analisis Thermal Variasi Alur Las V Tunggal , Panjang Stopper 200 mm

Setelah dilakukan analisis thermal pada variasi alur las V tunggal dan panjang stopper 300 mm, didapatkan hasil seperti pada Gambar IV. 26.



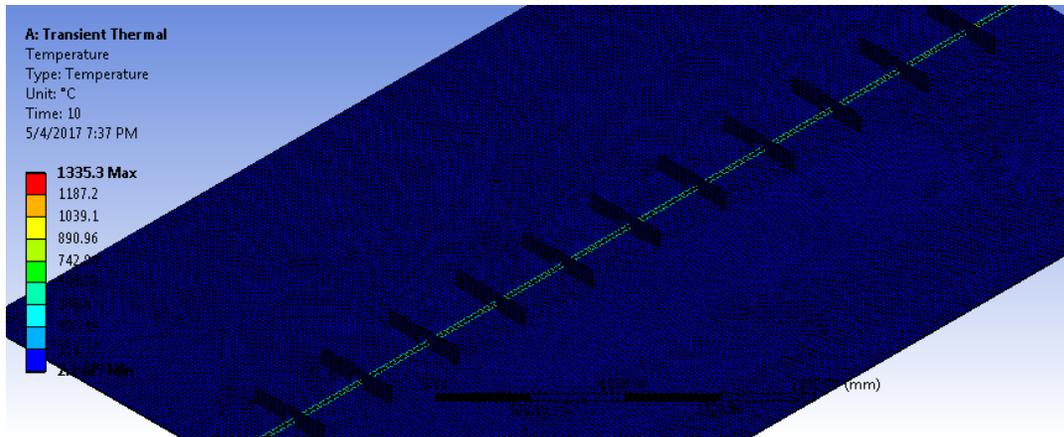
Gambar IV. 26 Hasil Analisis Thermal Variasi Alur Las V Tunggal , Panjang Stopper 300 mm

Setelah dilakukan analisis thermal pada variasi alur las V tunggal dan panjang stopper 400 mm, didapatkan hasil seperti pada Gambar IV. 27.



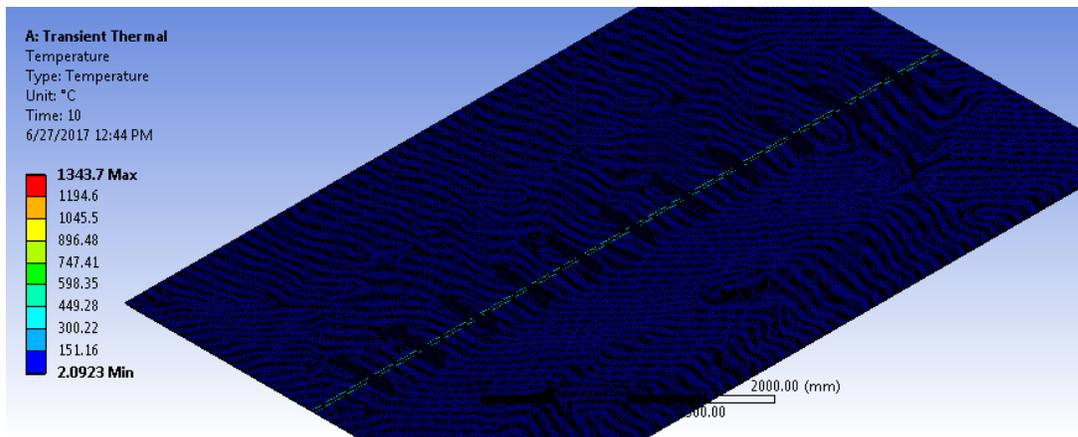
Gambar IV. 27 Hasil Analisis Thermal Variasi Alur Las V Tunggal , Panjang Stopper 400 mm

Setelah dilakukan analisis thermal pada variasi alur las V tunggal dan panjang stopper 500 mm, didapatkan hasil seperti pada Gambar IV. 28.



Gambar IV. 28 Hasil Analisis Thermal Variasi Alur Las V Tunggal , Panjang Stopper 500 mm

Setelah dilakukan analisis thermal pada variasi alur las V tunggal dan panjang stopper 600 mm, didapatkan hasil seperti pada Gambar IV. 28.



Gambar IV. 29 Hasil Analisis Thermal Variasi Alur Las V Tunggal , Panjang Stopper 600 mm

Pada Tabel IV. 10 adalah rekap dari hasil analisis thermal pada variasi alur las V tunggal. Hasil analisis berupa temperatur pada tiap panjang stopper.

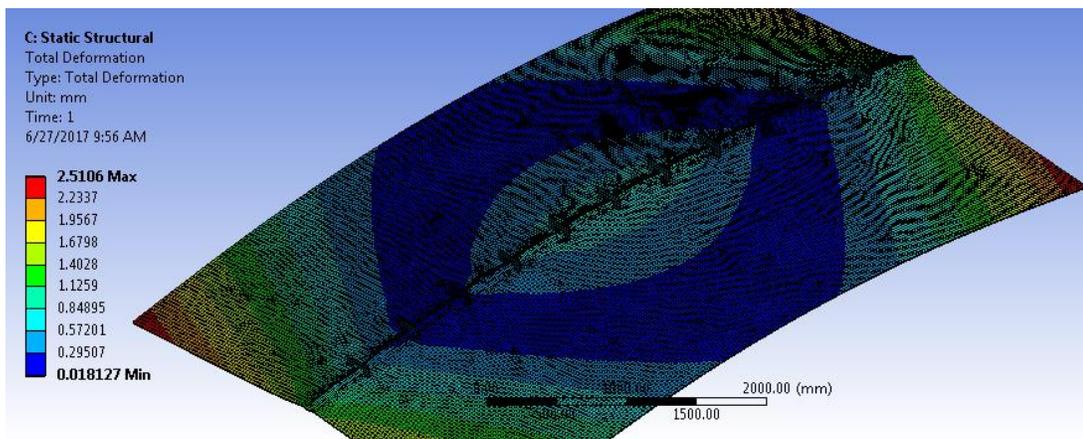
Tabel IV. 10 Hasil Analisis Thermal Variasi Alur Las V Tunggal

No	Jenis Model	Temperatur (C)
1	Model 200 mm	1323.1
2	Model 300 mm	1323.5
3	Model 400 mm	1326.8
4	Model 500 mm	1335.3
5	Model 600 mm	1343.7

Berdasarkan Tabel IV.10 didapatkan nilai temperatur pada panjang stopper 600 mm adalah 1343.7 °C, panjang stopper 500 mm adalah 1335.3 °C, pada panjang stopper 400 mm adalah 1326.8 °C, pada panjang stopper 300 mm adalah 1323.5 °C, dan panjang stopper 200 mm adalah 1323.1 °C. Semakin panjang stopper, maka temperatur hasil uji *thermal* akan semakin besar.

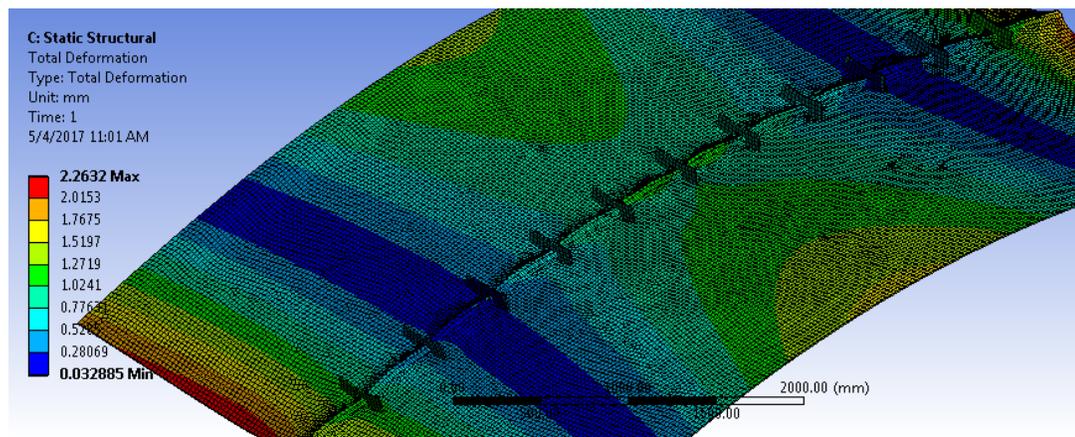
IV.4.2.2 Hasil Analisis Struktur: Deformasi Total

Setelah dilakukan analisis struktur pada variasi alur las V tunggal dan panjang stopper 200 mm, didapatkan nilai deformasi total seperti pada Gambar IV. 30.



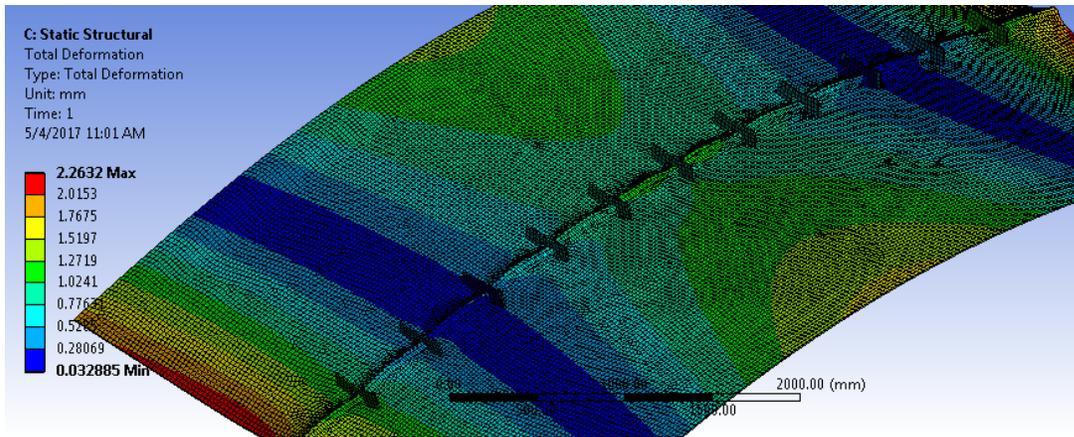
Gambar IV. 30 Hasil Analisis Deformasi Total Variasi Alur V Tunggal, Panjang Stopper 200 mm

Setelah dilakukan analisis struktur pada variasi alur las V tunggal dan panjang stopper 300 mm, didapatkan nilai deformasi total seperti pada Gambar IV. 31.



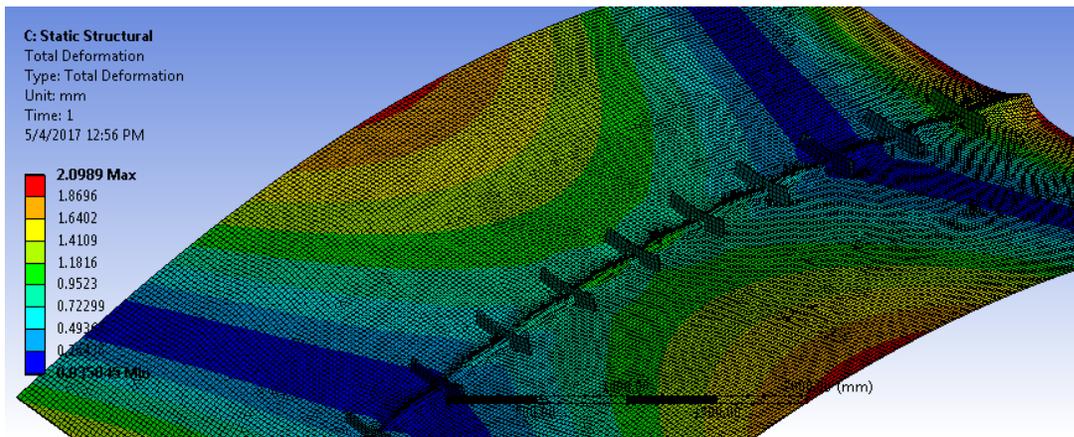
Gambar IV. 31 Hasil Analisis Deformasi Total Variasi Alur V Tunggal, Panjang Stopper 300 mm

Setelah dilakukan analisis struktur pada variasi alur las V tunggal dan panjang stopper 300 mm, didapatkan nilai deformasi total seperti pada Gambar IV.32.



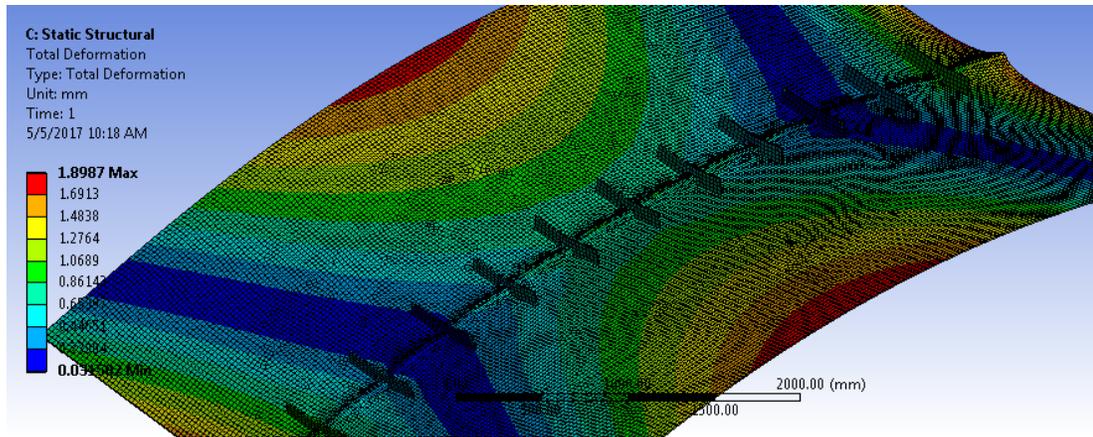
Gambar IV. 32 Hasil Analisis Deformasi Total Variasi Alur V Tunggal, Panjang Stopper 300 mm

Setelah dilakukan analisis struktur pada variasi alur las V tunggal dan panjang stopper 400 mm, didapatkan nilai deformasi total seperti pada Gambar IV. 33.



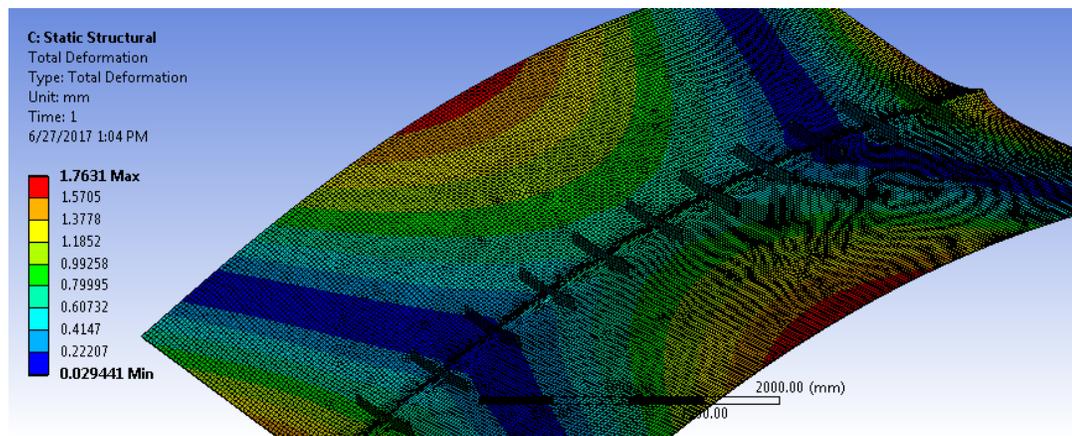
Gambar IV. 33 Hasil Analisis Deformasi Total Variasi Alur V Tunggal, Panjang Stopper 400 mm

Setelah dilakukan analisis struktur pada variasi alur las V tunggal dan panjang stopper 500 mm, didapatkan nilai deformasi total seperti pada Gambar IV. 34.



Gambar IV. 34 Hasil Analisis Deformasi Total Variasi Alur V Tunggal, Panjang Stopper 500 mm

Setelah dilakukan analisis struktur pada variasi alur las V tunggal dan panjang stopper 600 mm, didapatkan nilai deformasi total seperti pada Gambar IV. 35.

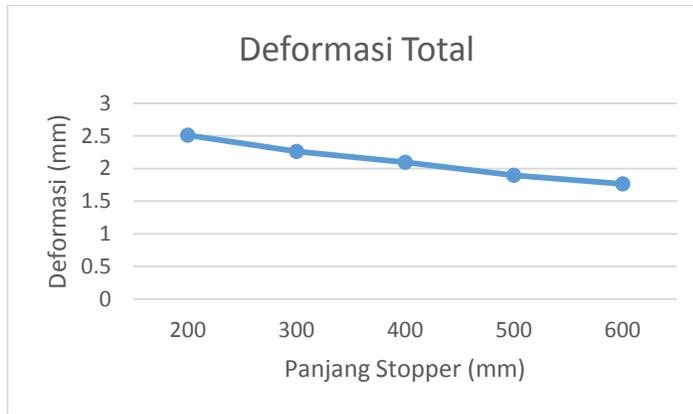


Gambar IV. 35 Hasil Analisis Deformasi Total Variasi Alur V Tunggal, Panjang Stopper 600 mm

Pada Tabel IV. 11 adalah rekap dari analisis struktural pada variasi alur las V tunggal. Hasil analisis berupa besar deformasi total pada tiap panjang stopper.

Tabel IV. 11 Deformasi Total Variasi Alur Las V Tunggal

Panjang Stopper	Deformasi Total (mm)
Model 200 mm	2.5106
Model 300 mm	2.2634
Model 400 mm	2.0989
Model 500 mm	1.8987
Model 600 mm	1.7631



Gambar IV. 36 Grafik Deformasi Total Variasi Alur Las V Tunggal

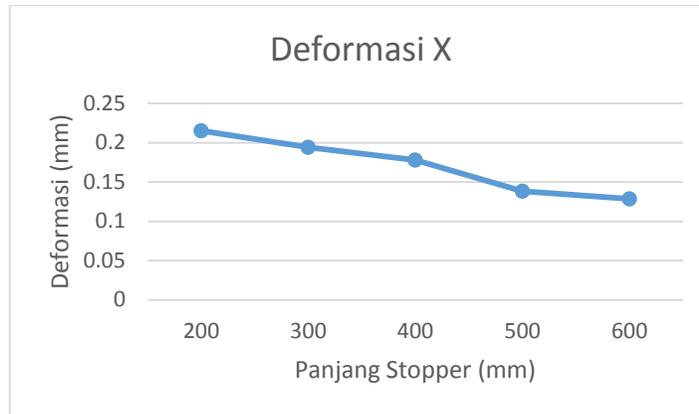
Berdasarkan Tabel IV. 11 didapatkan nilai deformasi total pada variasi panjang stopper 600 mm adalah 1.7631 mm, panjang stopper 500 mm adalah 1.8987 mm, panjang stopper 400 mm adalah 2.0989 mm, dan panjang stopper 300 mm adalah 2.2634 mm, panjang stopper 200 mm adalah 2.5106 mm. Didapatkan nilai deformasi terkecil pada variasi panjang stopper 600 mm. Dari hasil ini dapat disimpulkan bahwa semakin panjang stopper, maka deformasi yang dihasilkan akan semakin kecil. Melihat kondisi di lapangan, stopper paling optimum adalah stopper panjang 200 mm karena nilai deformasi masih di bawah batas dari BKI. Oleh karena itu, tidak perlu diadakan analisis lebih lanjut untuk stopper di atas 600 mm karena akan merugikan (boros) dan stopper di bawah 200 mm karena menyulitkan dalam pengerjaan di lapangan.

IV.4.2.3 Hasil Analisis Struktur: Deformasi Sumbu X

Pada Tabel IV. 12 adalah rekap dari analisis struktural pada variasi alur las V tunggal. Hasil analisis berupa besar deformasi sumbu X pada tiap panjang stopper.

Tabel IV. 12 Deformasi Sumbu X Variasi Alur Las V Tunggal

Panjang Stopper	Deformasi X (mm)
Model 200 mm	0.21505
Model 300 mm	0.19431
Model 400 mm	0.17809
Model 500 mm	0.13834
Model 600 mm	0.12846



Gambar IV. 37 Grafik Deformasi Sumbu X Variasi Alur Las V Tunggal

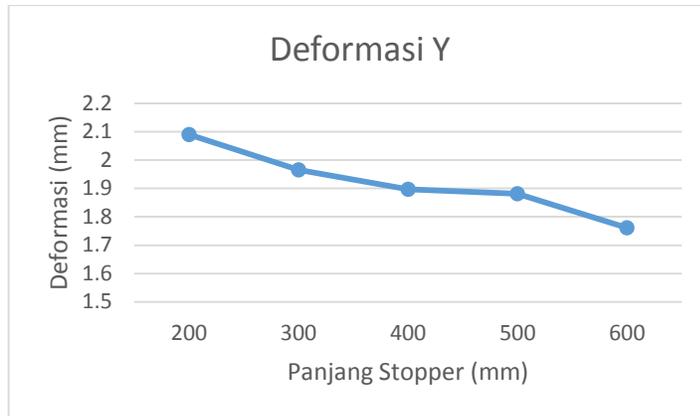
Berdasarkan Tabel IV. 12 didapatkan nilai deformasi sumbu x pada variasi panjang stopper 600 mm adalah 0.12846 mm, panjang stopper 500 mm adalah 0.13834 mm, panjang stopper 400 mm adalah 0.17809 mm, panjang stopper 300 mm adalah 0.19431 mm, dan panjang stopper 200 mm adalah 0.21505 mm. Didapatkan nilai deformasi terkecil pada variasi panjang stopper 600 mm. Dari hasil ini dapat disimpulkan bahwa semakin panjang stopper, maka deformasi yang dihasilkan akan semakin kecil.

IV.4.2.4 Hasil Analisis Struktur: Deformasi Sumbu Y

Pada Tabel IV. 13 adalah rekap dari analisis struktural pada variasi alur las V tunggal. Hasil analisis berupa besar deformasi sumbu Y pada tiap panjang stopper.

Tabel IV. 13 Deformasi Sumbu Y Variasi Alur Las V Tunggal

Panjang Stopper	Deformasi Y (mm)
Model 200 mm	2.0901
Model 300 mm	1.9651
Model 400 mm	1.8973
Model 500 mm	1.8818
Model 600 mm	1.7617



Gambar IV. 38 Grafik Deformasi Sumbu Y Variasi Alur Las V Tunggal

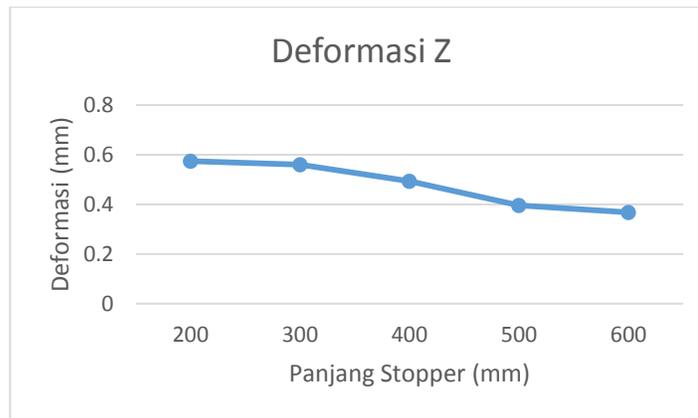
Berdasarkan Tabel IV. 13 didapatkan nilai deformasi sumbu y pada variasi panjang stopper 600 mm adalah 1.7617 mm, panjang stopper 500 mm adalah 1.5918 mm, panjang stopper 400 mm adalah 1.8973 mm, panjang stopper 300 mm adalah 1.9651 mm, dan panjang stopper 200 mm adalah 2.0901 mm. Didapatkan nilai deformasi terkecil pada variasi panjang stopper 600 mm. Dari hasil ini dapat disimpulkan bahwa semakin panjang stopper, maka deformasi yang dihasilkan akan semakin kecil.

IV.4.2.5 Hasil Analisis Struktur: Deformasi Sumbu Z

Pada Tabel IV. 14 adalah rekap dari analisis struktural pada variasi alur las V tunggal. Hasil analisis berupa besar deformasi sumbu Z pada tiap panjang stopper.

Tabel IV. 14 Deformasi Sumbu Z Variasi Alur Las V Tunggal

Panjang Stopper	Deformasi Z (mm)
Model 200 mm	0.5743
Model 300 mm	0.56135
Model 400 mm	0.49464
Model 500 mm	0.39716
Model 600 mm	0.36891



Gambar IV. 39 Grafik Deformasi Sumbu Z Variasi Alur Las V Tunggal

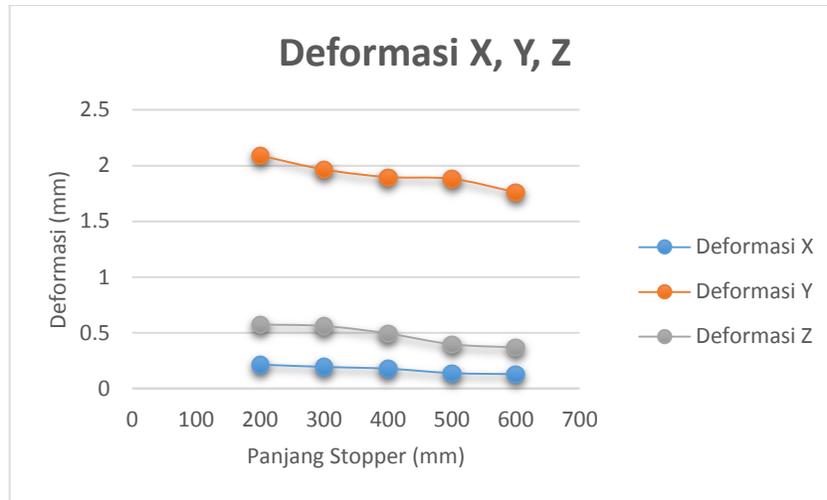
Berdasarkan Tabel IV. 14 didapatkan nilai deformasi sumbu z pada variasi panjang stopper 600 mm adalah 0.36891 mm, panjang stopper 500 mm adalah 0.39716 mm, panjang stopper 400 mm adalah 0.49464 mm, panjang stopper 300 mm adalah 0.56135 mm, dan panjang stopper 200 mm adalah 0.5743 mm. Didapatkan nilai deformasi terkecil pada variasi panjang stopper 500 mm. Dari hasil ini dapat disimpulkan bahwa semakin panjang stopper, maka deformasi yang dihasilkan akan semakin kecil.

IV.4.2.6 Hasil Analisis Struktur: Deformasi sumbu X, Y, Z

Pada Tabel IV. 15 adalah rekap dari analisis struktural pada variasi alur las persegi. Hasil analisis berupa besar deformasi sumbu X, Y, Z pada tiap panjang stopper.

Tabel IV. 15 Deformasi Sumbu X, Y, Z Variasi Alur Las V Tunggal

Panjang Stopper	Deformasi X (mm)	Deformasi Y (mm)	Deformasi Z (mm)
Model 200 mm	0.21505	2.0901	0.5743
Model 300 mm	0.19431	1.9651	0.56135
Model 400 mm	0.17809	1.8973	0.49464
Model 500 mm	0.13834	1.8818	0.39716
Model 600 mm	0.12846	1.7617	0.36891

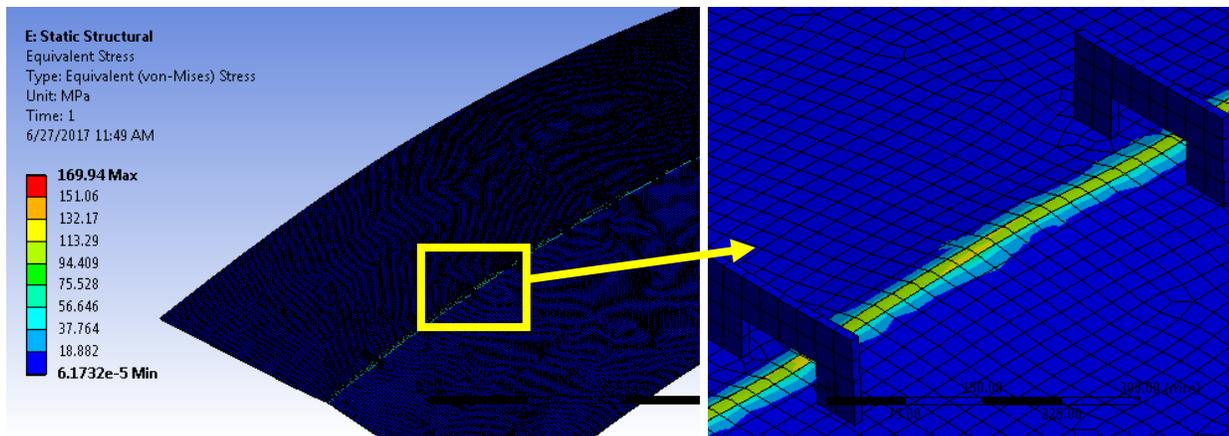


Gambar IV. 40 Grafik Deformasi Sumbu X, Y, Z Variasi Alur Las V Tunggal

Pada Gambar IV. 40 Grafik Deformasi Sumbu X, Y, Z Variasi Alur Las V Tunggal, grafik menunjukkan bahwa semakin panjang stopper yang digunakan maka semakin kecil deformasi yang terjadi. Grafik juga menunjukkan bahwa deformasi terbesar ada pada sumbu Y. Hal ini terjadi karena dilakukan pembatasan (*fixed constraint*) pada sumbu X dan Z, sedangkan pada sumbu Y tidak diberi pembatasan/dilepas.

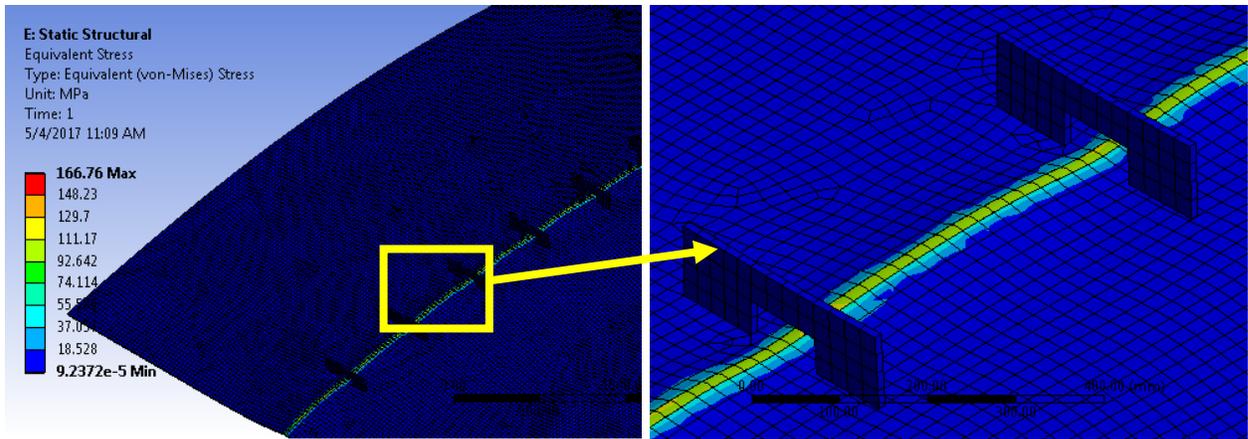
IV.4.2.7 Hasil Analisis Struktur: Von Mises Stress

Setelah dilakukan analisis struktur pada variasi alur las V tunggal dan panjang stopper 200 mm, didapatkan nilai tegangan sisa seperti pada Gambar IV. 41.



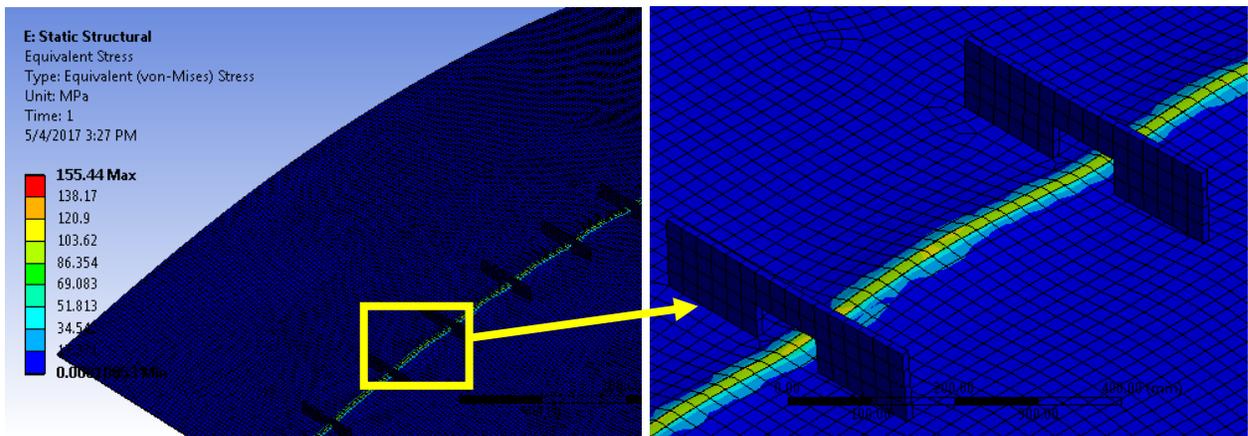
Gambar IV. 41 Hasil Analisis Struktur Tegangan Sisa Variasi Alur V Tunggal, Panjang Stopper 200 mm

Setelah dilakukan analisis struktur pada variasi alur las V tunggal dan panjang stopper 300 mm, didapatkan nilai tegangan sisa seperti pada Gambar IV. 42.



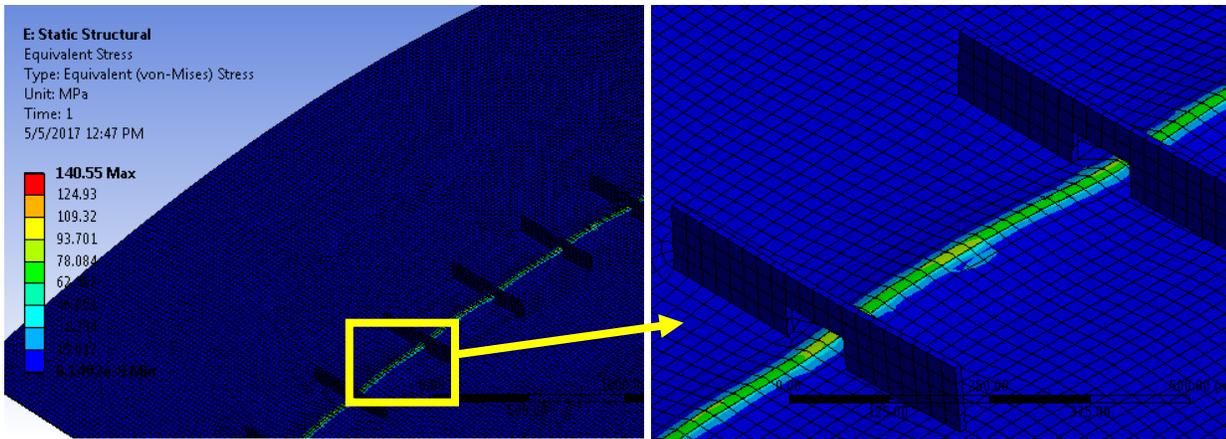
Gambar IV. 42 Hasil Analisis Struktur Tegangan Sisa Variasi Alur V Tunggal, Panjang Stopper 300 mm

Setelah dilakukan analisis struktur pada variasi alur las V tunggal dan panjang stopper 400 mm, didapatkan nilai tegangan sisa seperti pada Gambar IV. 43.



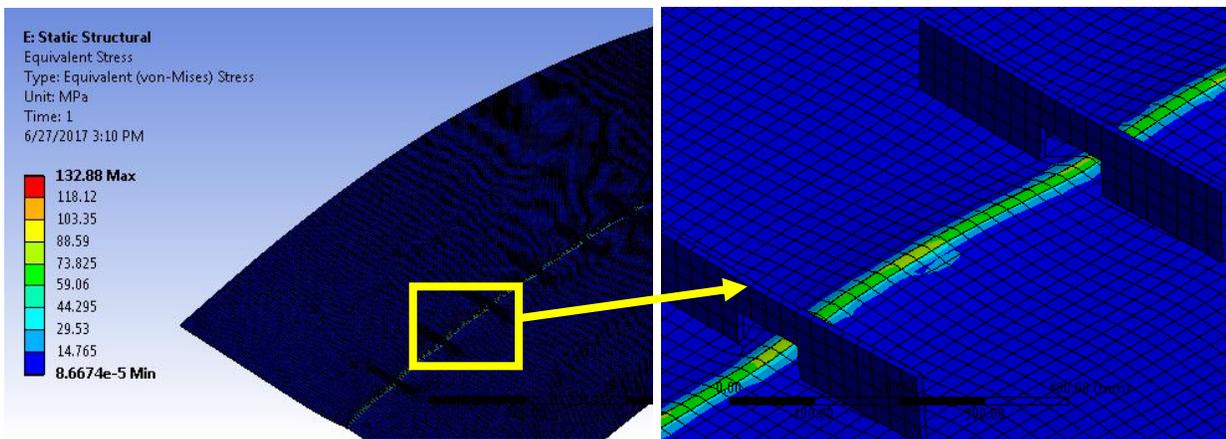
Gambar IV. 43 Hasil Analisis Struktur Tegangan Sisa Variasi Alur V Tunggal, Panjang Stopper 400 mm

Setelah dilakukan analisis struktur pada variasi alur las V tunggal dan panjang stopper 500 mm, didapatkan nilai tegangan sisa seperti pada Gambar IV. 44.



Gambar IV. 44 Hasil Analisis Struktur Tegangan Sisa Variasi Alur V Tunggal, Panjang Stopper 500 mm

Setelah dilakukan analisis struktur pada variasi alur las V tunggal dan panjang stopper 600 mm, didapatkan nilai tegangan sisa seperti pada Gambar IV. 45.

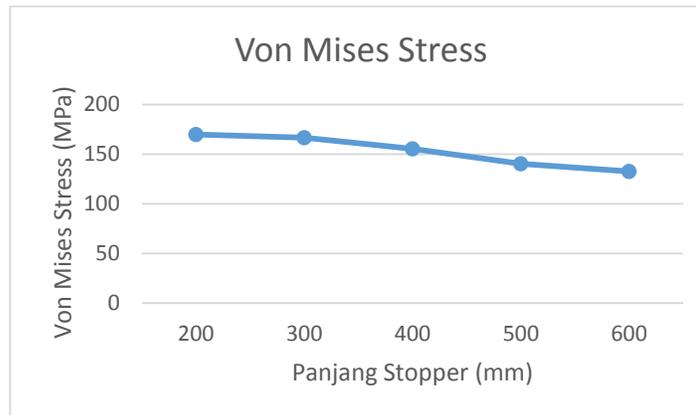


Gambar IV. 45 Hasil Analisis Struktur Tegangan Sisa Variasi Alur V Tunggal, Panjang Stopper 600 mm

Pada Tabel IV.16 adalah rekap dari analisis struktural pada variasi alur las V tunggal. Hasil analisis berupa besar tegangan sisa (*von mises stress*) pada tiap panjang stopper.

Tabel IV. 16 Tegangan Sisa Variasi Alur V Tunggal

Panjang Stopper	Von Mises Stress (MPa)
Model 200 mm	169.94
Model 300 mm	166.76
Model 400 mm	155.44
Model 500 mm	140.55
Model 600 mm	132.88



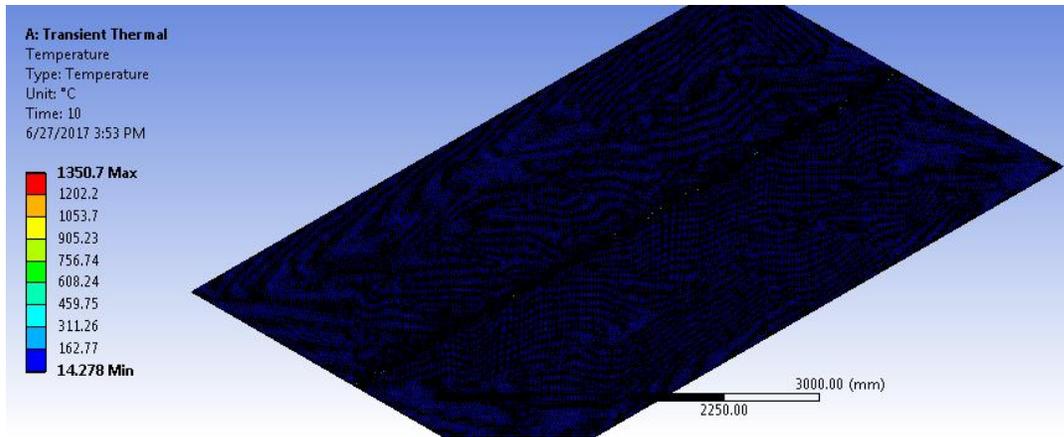
Gambar IV. 46 Grafik Tegangan Sisa Variasi Alur V Tunggal

Berdasarkan Tabel IV.16 didapatkan nilai tegangan sisa pada variasi panjang stopper 600 mm adalah 132.88 MPa, panjang stopper 500 mm adalah 140.55 MPa, panjang stopper 400 mm adalah 155.44 MPa, panjang stopper 300 mm adalah 166.76 MPa, dan panjang stopper 200 mm adalah 169.94 MPa. Didapatkan nilai tegangan sisa terbesar pada variasi panjang stopper 300 mm. Dari hasil ini dapat disimpulkan bahwa semakin panjang stopper, maka nilai tegangan sisa yang dihasilkan akan semakin kecil. Dari hasil analisis didapat tegangan sisa pada variasi panjang stopper 200 mm masih di bawah *yield stress*, maka stopper paling optimum adalah panjang stopper 200 mm dan tidak perlu dilakukan analisis untuk panjang stopper lebih dari 600 mm.

IV.4.3 Variasi Alur Las V Ganda

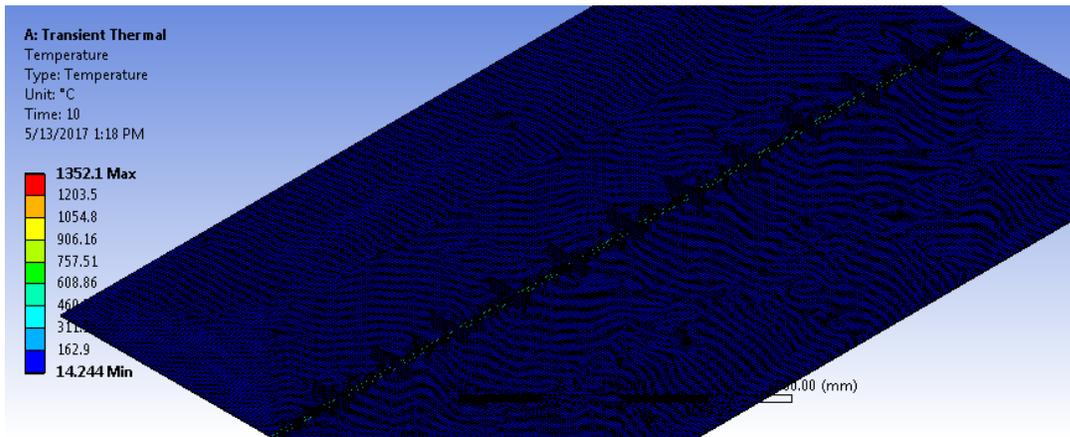
IV.4.3.1 Hasil Analisis *Thermal*

Setelah dilakukan analisis thermal pada variasi alur las V ganda dan panjang stopper 200 mm, didapatkan hasil seperti pada Gambar IV. 47.



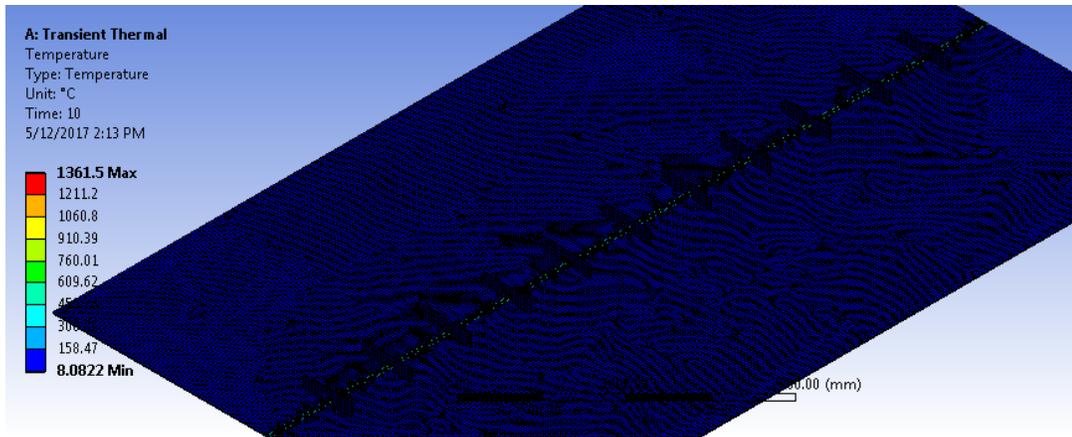
Gambar IV. 47 Hasil Analisis Thermal Variasi Alur Las V Ganda, Panjang Stopper 200 mm

Setelah dilakukan analisis thermal pada variasi alur las V ganda dan panjang stopper 300 mm, didapatkan hasil seperti pada Gambar IV. 48.



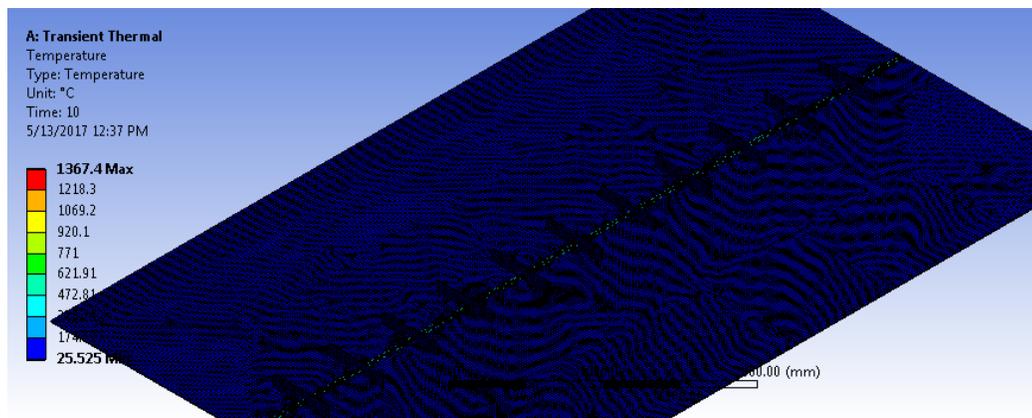
Gambar IV. 48 Hasil Analisis Thermal Variasi Alur Las V Ganda, Panjang Stopper 300 mm

Setelah dilakukan analisis thermal pada variasi alur las V ganda dan panjang stopper 400 mm, didapatkan hasil seperti pada Gambar IV. 49.



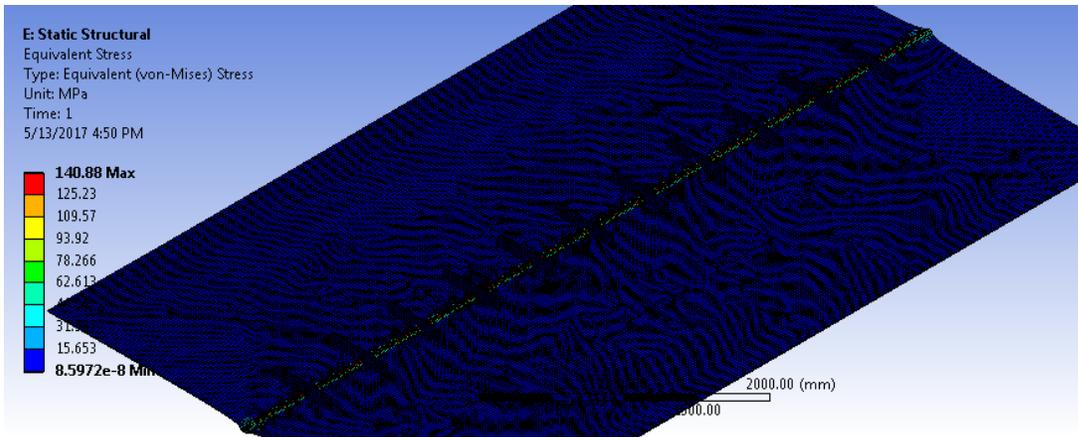
Gambar IV. 49 Hasil Analisis Thermal Variasi Alur Las V Ganda, Panjang Stopper 400 mm

Setelah dilakukan analisis thermal pada variasi alur las V ganda dan panjang stopper 500 mm, didapatkan hasil seperti pada Gambar IV. 50.



Gambar IV. 50 Hasil Analisis Thermal Variasi Alur Las V Ganda, Panjang Stopper 500 mm

Setelah dilakukan analisis thermal pada variasi alur las V ganda dan panjang stopper 600 mm, didapatkan hasil seperti pada Gambar IV. 51.



Gambar IV. 51 Hasil Analisis Thermal Variasi Alur Las V Ganda, Panjang Stopper 600 mm

Pada Tabel IV. 17 adalah rekap dari hasil analisis thermal pada variasi alur las V ganda. Hasil analisis berupa temperatur pada tiap panjang stopper.

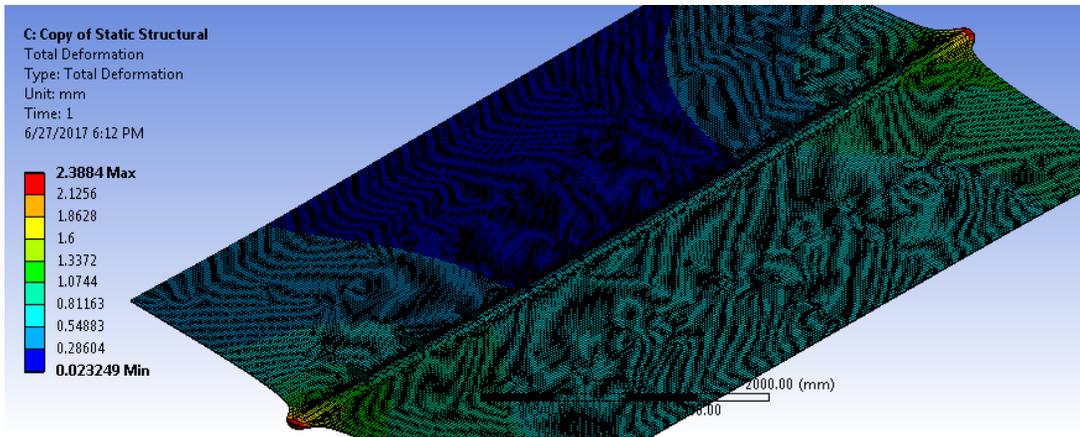
Tabel IV. 17 Hasil Analisis Thermal Variasi Alur Las V Ganda

No	Jenis Model	Temperatur (C)
1	Model 200 mm	1350.7
2	Model 300 mm	1352.1
3	Model 400 mm	1361.5
4	Model 500 mm	1367.4
5	Model 600 mm	1375.8

Berdasarkan Tabel IV. 17 didapatkan nilai temperatur pada panjang stopper 600 mm adalah 1375.8 °C, panjang stopper 500 mm adalah 1367.4 °C, pada panjang stopper 400 mm adalah 1361.5 °C, pada panjang stopper 300 mm adalah 1352.1 °C, dan panjang stopper 200 mm adalah 1350.7 °C. Semakin panjang stopper, maka temperatur hasil uji *thermal* akan semakin besar.

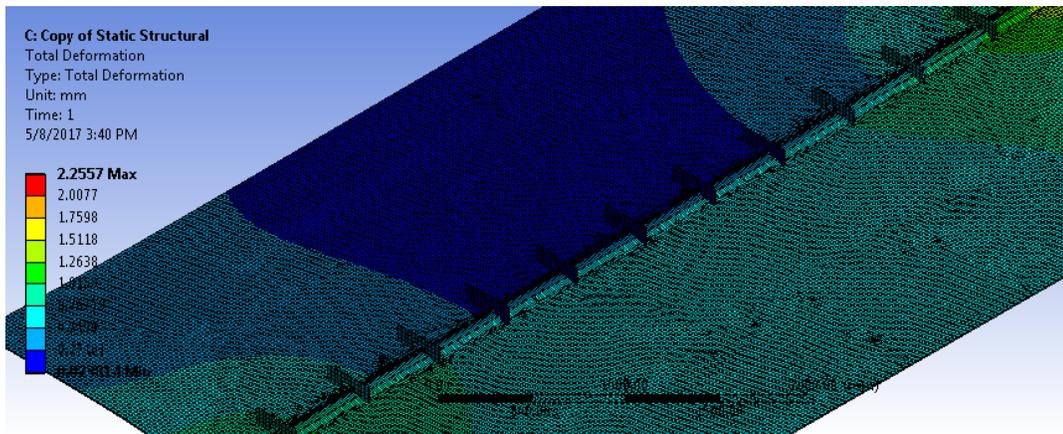
IV.4.3.2 Hasil Analisis Struktur: Deformasi Total

Setelah dilakukan analisis struktur pada variasi alur las V ganda dan panjang stopper 200 mm, didapatkan nilai deformasi total seperti pada Gambar IV. 52.



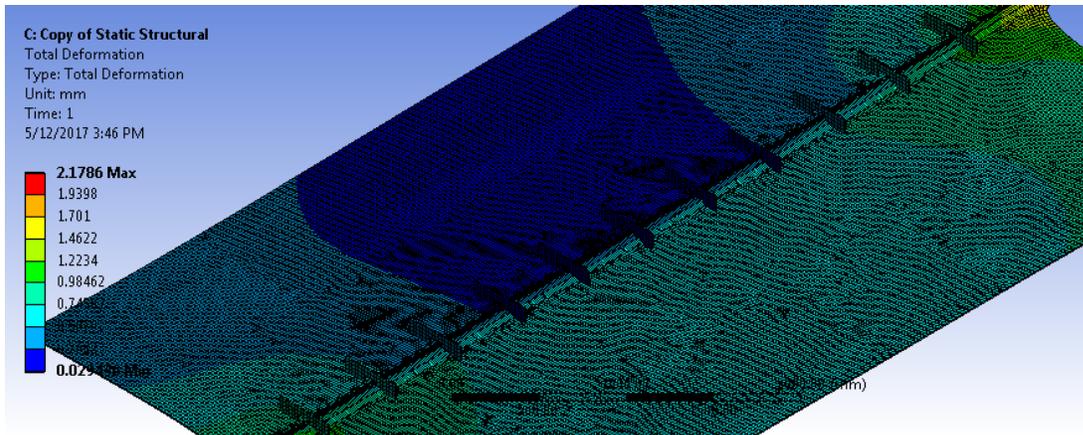
Gambar IV. 52 Hasil Analisis Deformasi Total Variasi Alur V Ganda, Panjang Stopper 300 mm

Setelah dilakukan analisis struktur pada variasi alur las V ganda dan panjang stopper 300 mm, didapatkan nilai deformasi total seperti pada Gambar IV. 53.



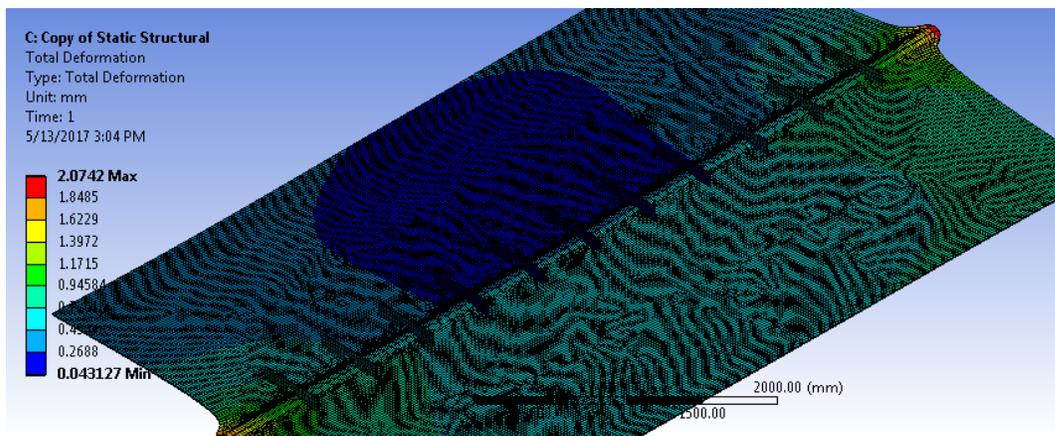
Gambar IV. 53 Hasil Analisis Deformasi Total Variasi Alur V Ganda, Panjang Stopper 300 mm

Setelah dilakukan analisis struktur pada variasi alur las V ganda dan panjang stopper 400 mm, didapatkan nilai deformasi total seperti pada Gambar IV. 54.



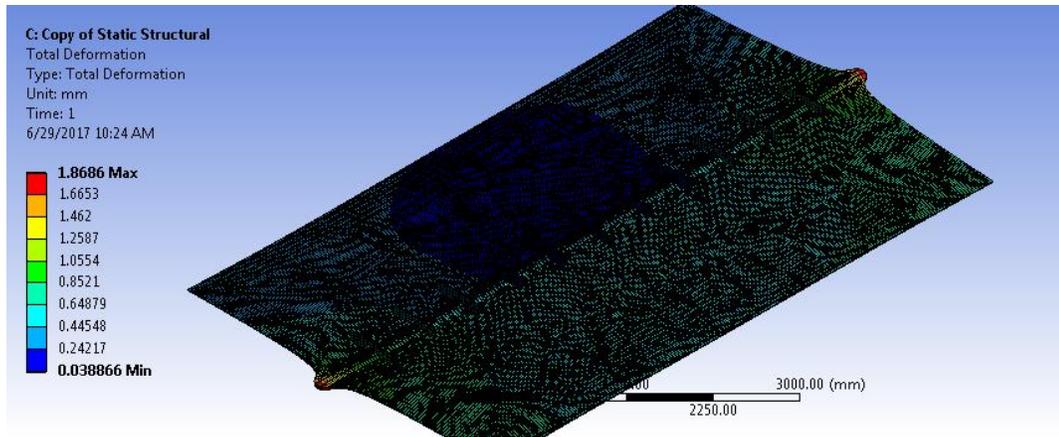
Gambar IV. 54 Hasil Analisis Deformasi Total Variasi Alur V Ganda, Panjang Stopper 400 mm

Setelah dilakukan analisis struktur pada variasi alur las V ganda dan panjang stopper 500 mm, didapatkan nilai deformasi total seperti pada Gambar IV. 55.



Gambar IV. 55 Hasil Analisis Deformasi Total Variasi Alur V Ganda, Panjang Stopper 500 mm

Setelah dilakukan analisis struktur pada variasi alur las V ganda dan panjang stopper 500 mm, didapatkan nilai deformasi total seperti pada Gambar IV. 56.

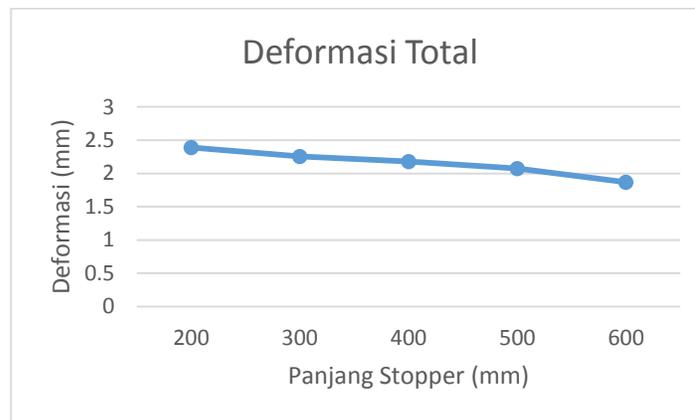


Gambar IV. 56 Hasil Analisis Deformasi Total Variasi Alur V Ganda, Panjang Stopper 600 mm

Pada Tabel IV. 18 adalah rekap dari analisis struktural pada variasi alur las V ganda. Hasil analisis berupa besar deformasi total pada tiap panjang stopper.

Tabel IV. 18 Deformasi Total Variasi Alur V Ganda

Panjang Stopper	Deformasi Total (mm)
Model 200 mm	2.3884
Model 300 mm	2.2557
Model 400 mm	2.1786
Model 500 mm	2.0742
Model 600 mm	1.8686



Gambar IV. 57 Grafik Deformasi Total Variasi Alur V Ganda

Berdasarkan Tabel IV. 18 didapatkan nilai deformasi total pada variasi panjang stopper 600 mm adalah 1.8686 mm, panjang stopper 500 mm adalah 2.0742 mm, panjang stopper 400 mm adalah 2.1786 mm, panjang stopper 300 mm adalah 2.2557 mm, dan panjang stopper 200 mm

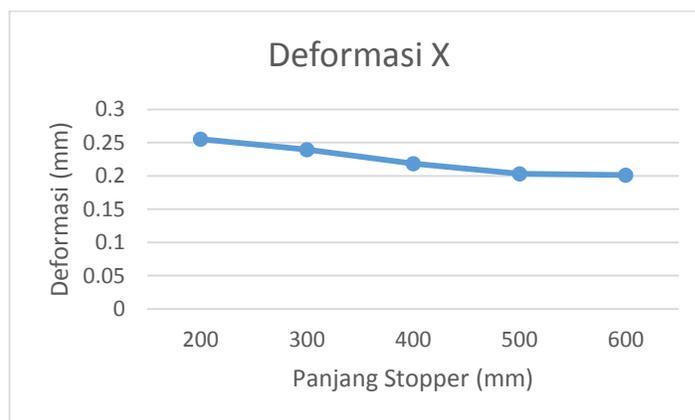
adalah 2.3884 mm. Didapatkan nilai deformasi terkecil pada variasi panjang stopper 600 mm. Dari hasil ini dapat disimpulkan bahwa semakin panjang stopper, maka deformasi yang dihasilkan akan semakin kecil. Melihat kondisi di lapangan, stopper paling optimum adalah stopper panjang 200 mm karena nilai deformasi masih di bawah batas dari BKI. Oleh karena itu, tidak perlu diadakan analisis lebih lanjut untuk stopper di atas 600 mm karena akan merugikan (boros) dan stopper di bawah 200 mm karena menyulitkan dalam pengerjaan di lapangan.

IV.4.3.3 Hasil Analisis Struktur: Deformasi Sumbu X

Pada Tabel IV. 19 adalah rekap dari analisis struktural pada variasi alur las V ganda. Hasil analisis berupa besar deformasi sumbu X pada tiap panjang stopper.

Tabel IV. 19 Deformasi Sumbu X Variasi Alur V Ganda

Panjang Stopper	Deformasi X (mm)
Model 200 mm	0.25527
Model 300 mm	0.23969
Model 400 mm	0.21867
Model 500 mm	0.20326
Model 600 mm	0.20132



Gambar IV. 58 Grafik Deformasi Sumbu X Variasi Alur V Ganda

Berdasarkan Tabel IV. 19 didapatkan nilai deformasi sumbu x pada variasi panjang stopper 600 mm adalah 0.20132 mm, panjang stopper 500 mm adalah 0.20326 mm, panjang stopper 400 mm adalah 0.21867 mm, panjang stopper 300 mm adalah 0.23969 mm, dan panjang stopper 200 mm adalah 0.25527 mm. Didapatkan nilai deformasi terkecil pada variasi panjang stopper 600 mm.

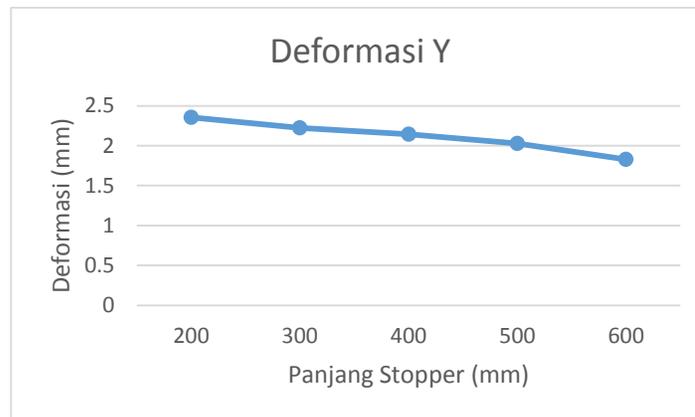
Dari hasil ini dapat disimpulkan bahwa semakin panjang stopper, maka deformasi yang dihasilkan akan semakin kecil.

IV.4.3.4 Hasil Analisis Struktur: Deformasi Sumbu Y

Pada Tabel IV. 20 adalah rekap dari analisis struktural pada variasi alur las V ganda. Hasil analisis berupa besar deformasi sumbu Y pada tiap panjang stopper.

Tabel IV. 20 Deformasi Sumbu Y Variasi Alur V Ganda

Panjang Stopper	Deformasi Y (mm)
Model 200 mm	2.3551
Model 300 mm	2.2253
Model 400 mm	2.1439
Model 500 mm	2.0293
Model 600 mm	1.8284



Gambar IV. 59 Grafik Deformasi Sumbu Y Variasi Alur V Ganda

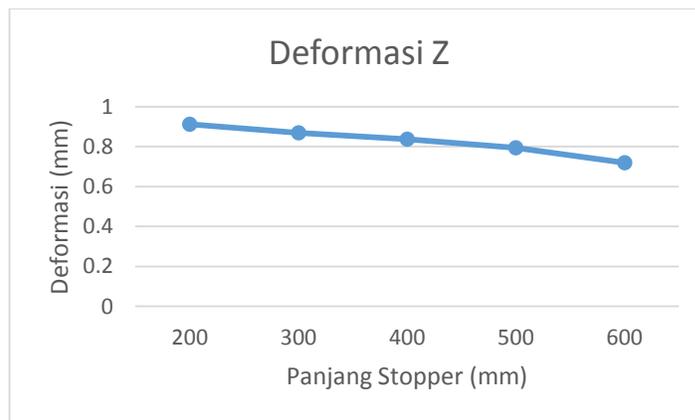
Berdasarkan Tabel IV. 20 didapatkan nilai deformasi sumbu y pada variasi panjang stopper 600 mm adalah 1.8284 mm, panjang stopper 500 mm adalah 2.0293 mm, panjang stopper 400 mm adalah 2.1439 mm, panjang stopper 300 mm adalah 2.2253 mm, dan panjang stopper 200 mm adalah 2.3551 mm. Didapatkan nilai deformasi terkecil pada variasi panjang stopper 600 mm. Dari hasil ini dapat disimpulkan bahwa semakin panjang stopper, maka deformasi yang dihasilkan akan semakin kecil.

IV.4.3.5 Hasil Analisis Struktur: Deformasi Sumbu Z

Pada Tabel IV.21 adalah rekap dari analisis struktural pada variasi alur las V ganda. Hasil analisis berupa besar deformasi sumbu Z pada tiap panjang stopper.

Tabel IV. 21 Deformasi Sumbu Z Variasi Alur V Ganda

Panjang Stopper	Deformasi Z (mm)
Model 200 mm	0.91271
Model 300 mm	0.86885
Model 400 mm	0.83743
Model 500 mm	0.79391
Model 600 mm	0.72004



Gambar IV. 60 Grafik Deformasi Sumbu Z Variasi Alur V Ganda

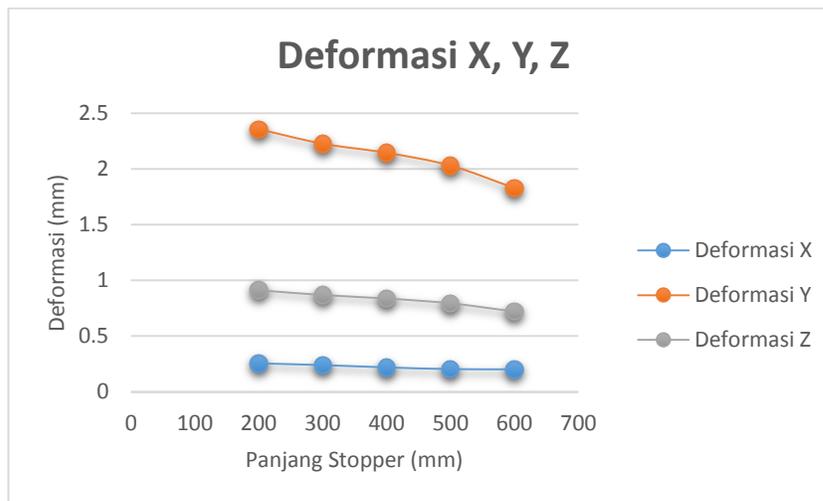
Berdasarkan Tabel IV.21 didapatkan nilai deformasi sumbu z pada variasi panjang stopper 200 mm adalah 0.91271 mm, panjang stopper 300 mm adalah 0.86885 mm, panjang stopper 400 mm adalah 0.83743 mm, panjang stopper 500 mm adalah 0.79391 mm, dan panjang stopper 600 mm adalah 0.72003 mm. Didapatkan nilai deformasi terkecil pada variasi panjang stopper 600 mm. Dari hasil ini dapat disimpulkan bahwa semakin panjang stopper, maka deformasi yang dihasilkan akan semakin kecil.

IV.4.2.6 Hasil Analisis Struktur: Deformasi sumbu X, Y, Z

Pada Tabel IV. 22 Deformasi Sumbu X, Y, Z Variasi Alur V Ganda adalah rekap dari analisis struktural pada variasi alur las persegi. Hasil analisis berupa besar deformasi sumbu X, Y, Z pada tiap panjang stopper.

Tabel IV. 22 Deformasi Sumbu X, Y, Z Variasi Alur V Ganda

Panjang Stopper	Deformasi X (mm)	Deformasi Y (mm)	Deformasi Z (mm)
Model 200 mm	0.25527	2.3551	0.91271
Model 300 mm	0.23969	2.2253	0.86885
Model 400 mm	0.21867	2.1439	0.83743
Model 500 mm	0.20326	2.0293	0.79391
Model 600 mm	0.20132	1.8284	0.72004

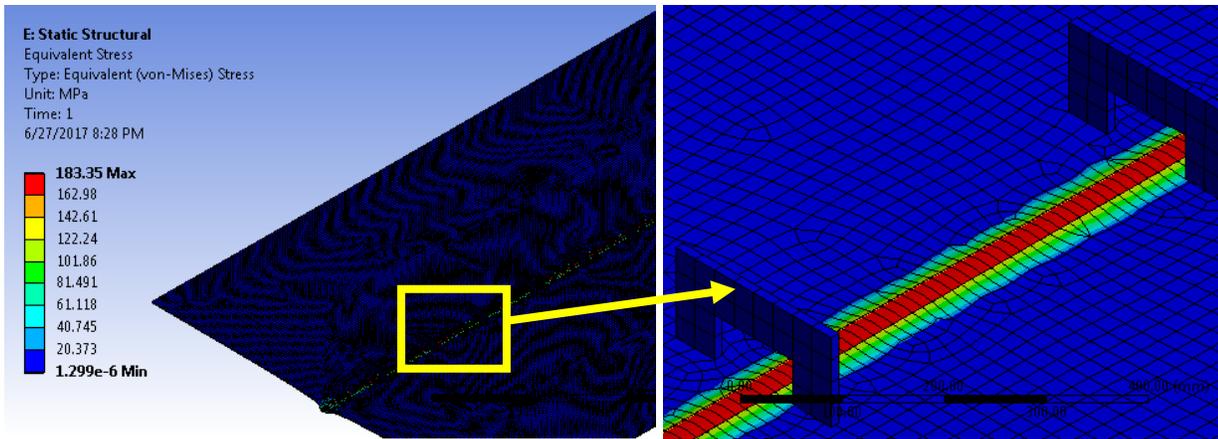


Gambar IV. 61 Grafik Deformasi Sumbu X, Y, Z Variasi Alur V Ganda

Pada Gambar IV. 61, grafik menunjukkan bahwa semakin panjang stopper yang digunakan maka semakin kecil deformasi yang terjadi. Grafik juga menunjukkan bahwa deformasi terbesar ada pada sumbu Y. Hal ini terjadi karena dilakukan pembatasan (*fixed constraint*) pada sumbu X dan Z, sedangkan pada sumbu Y tidak diberi pembatasan/dilepas.

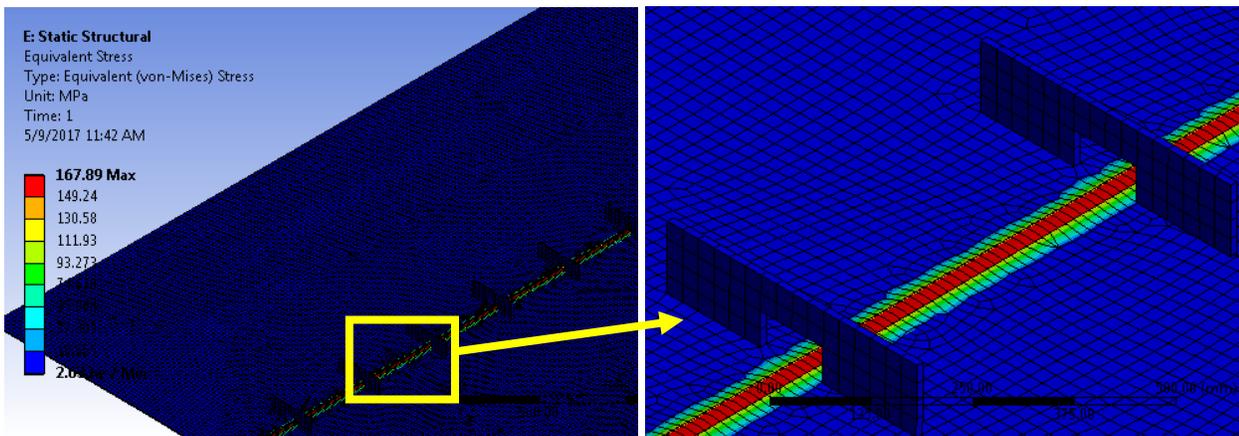
IV.4.2.7 Hasil Analisis Struktur: Von Mises Stress

Setelah dilakukan analisis struktur pada variasi alur las V ganda dan panjang stopper 300 mm, didapatkan nilai tegangan sisa seperti pada Gambar IV. 62.



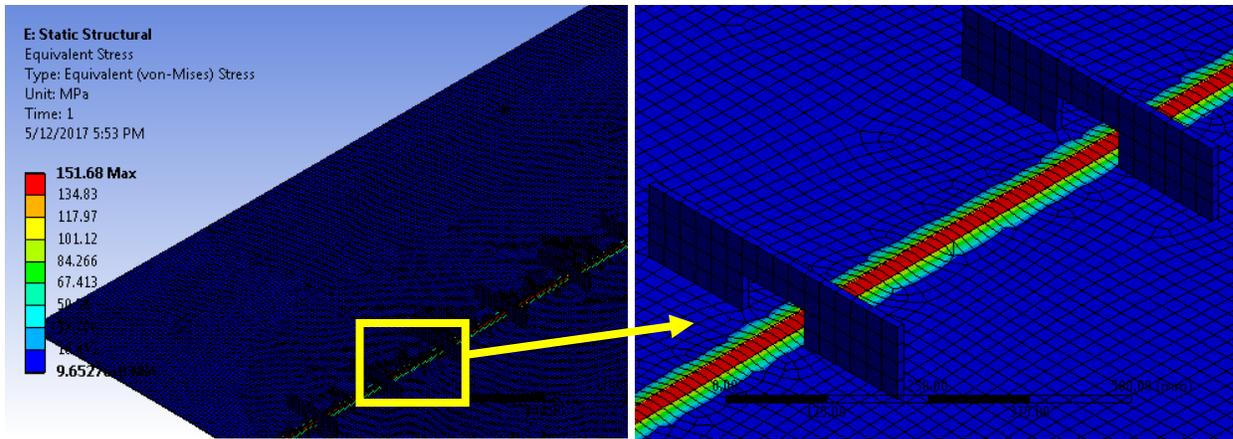
Gambar IV. 62 Hasil Analisis Struktur Tegangan Sisa Variasi Alur V Ganda, Panjang Stopper 200 mm

Setelah dilakukan analisis struktur pada variasi alur las V ganda dan panjang stopper 300 mm, didapatkan nilai tegangan sisa seperti pada Gambar IV. 63.



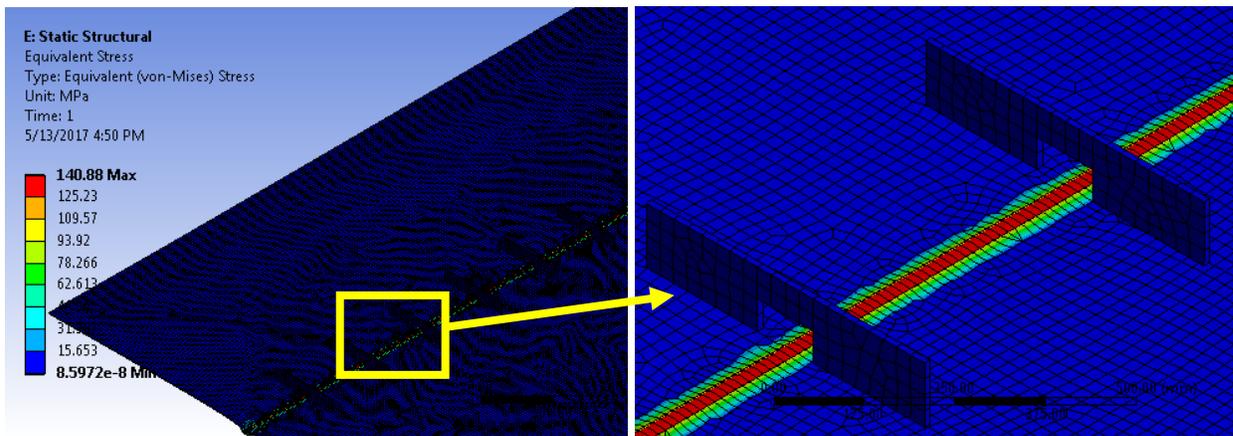
Gambar IV. 63 Hasil Analisis Struktur Tegangan Sisa Variasi Alur V Ganda, Panjang Stopper 300 mm

Setelah dilakukan analisis struktur pada variasi alur las V ganda dan panjang stopper 400 mm, didapatkan nilai tegangan sisa seperti pada Gambar IV. 64.



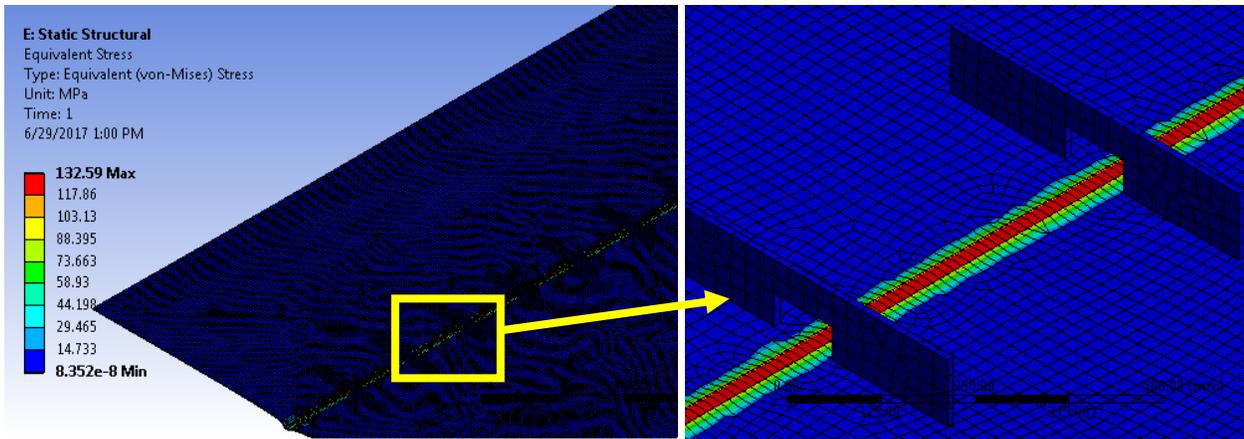
Gambar IV. 64 Hasil Analisis Struktur Tegangan Sisa Variasi Alur V Ganda, Panjang Stopper 400 mm

Setelah dilakukan analisis struktur pada variasi alur las V ganda dan panjang stopper 500 mm, didapatkan nilai tegangan sisa seperti pada Gambar IV. 65.



Gambar IV. 65 Hasil Analisis Struktur Tegangan Sisa Variasi Alur V Ganda, Panjang Stopper 500 mm

Setelah dilakukan analisis struktur pada variasi alur las V ganda dan panjang stopper 500 mm, didapatkan nilai tegangan sisa seperti pada Gambar IV. 66.

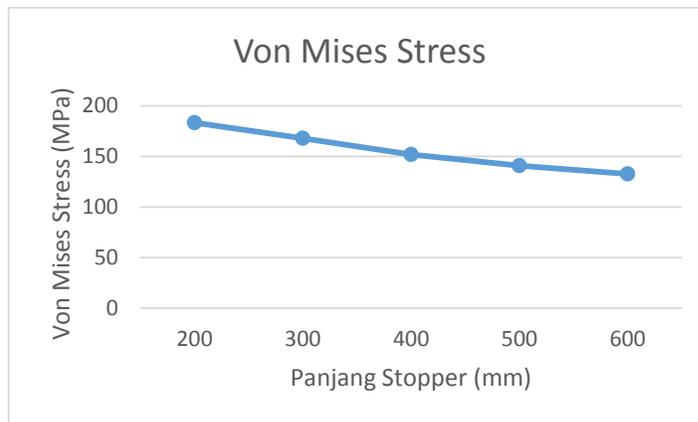


Gambar IV. 66 Hasil Analisis Struktur Tegangan Sisa Variasi Alur V Ganda, Panjang Stopper 500 mm

Pada Tabel IV. 23 adalah rekap dari analisis struktural pada variasi alur las V ganda. Hasil analisis berupa besar tegangan sisa (*von mises stress*) pada tiap panjang stopper.

Tabel IV. 23 Tegangan Sisa Variasi Alur V Ganda

Panjang Stopper	Von Mises Stress (MPa)
Model 200 mm	183.35
Model 300 mm	167.89
Model 400 mm	151.68
Model 500 mm	140.88
Model 600 mm	132.59



Gambar IV. 67 Grafik Tegangan Sisa Variasi Alur V Ganda

Berdasarkan Tabel IV. 23 didapatkan nilai tegangan sisa pada variasi panjang stopper 600 mm adalah 132.59 MPa, panjang stopper 500 mm adalah 140.88 MPa, panjang stopper 400 mm adalah 151.68 MPa, panjang stopper 300 mm adalah 167.89 MPa, dan panjang stopper 200 mm

adalah 183.35 MPa. Didapatkan nilai tegangan sisa terbesar pada variasi panjang stopper 300 mm. Dari hasil ini dapat disimpulkan bahwa semakin panjang stopper, maka nilai tegangan sisa yang dihasilkan akan semakin kecil. Dari hasil analisis didapat tegangan sisa pada variasi panjang stopper 200 mm masih di bawah *yield stress*, maka stopper paling optimum adalah panjang stopper 200 mm dan tidak perlu dilakukan analisis untuk panjang stopper lebih dari 600 mm.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

V.1 Kesimpulan

Berdasarkan pemodelan pengelasan pelat datar menggunakan stopper yang telah dilakukan, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Deformasi maksimum pada alur las persegi sebesar 2.40 mm terjadi pada variasi panjang stopper 200 mm, sedangkan deformasi minimum sebesar 1.88 mm pada variasi panjang stopper 600 mm.
2. Deformasi maksimum pada alur las V tunggal sebesar 2.51 mm terjadi pada variasi panjang stopper 200 mm, sedangkan deformasi minimum sebesar 1.76 mm pada variasi panjang stopper 600 mm.
3. Deformasi maksimum pada alur las V ganda sebesar 2.39 mm terjadi pada variasi panjang stopper 200 mm, sedangkan deformasi minimum sebesar 1.87 mm pada variasi panjang stopper 600 mm.
4. Tegangan maksimum pada alur las persegi sebesar 184.82 MPa dan tegangan minimum sebesar 138.29 MPa.
5. Tegangan maksimum pada alur las V tunggal sebesar 169.94 MPa dan tegangan minimum sebesar 132.88 MPa.
6. Tegangan maksimum pada alur las persegi sebesar 183.35 MPa dan tegangan minimum sebesar 132.59 MPa.
7. Semakin besar ukuran stopper maka semakin kecil deformasi dan tegangan sisa yang dihasilkan, tetapi melihat kondisi di lapangan yaitu semakin kecil stopper yang digunakan semakin baik. Maka dapat disimpulkan stopper paling optimum adalah stopper dengan panjang 200 mm.

V.2 Saran

Dalam pengerjaan tugas akhir ini terdapat beberapa kekurangan. Oleh karena itu penulis memberikan saran-saran untuk perbaikan pada penelitian selanjutnya, yaitu:

1. Jenis karakteristik material yang digunakan adalah ASTM A36. Dapat dilakukan pemodelan dengan jenis material lain sehingga dapat dibandingkan hasil analisisnya.
2. Perlu dilakukan analisa dengan variasi panjang stopper yang lebih beragam agar ditemukan hasil yang lebih optimum.

DAFTAR PUSTAKA

- Bantami, W. (2009). *Pengaruh Jarak Tanggem Terhadap Deformasi dan Cacat Retak Pada Sambungan Butt Joint Material Baja SS 41 Dengan Pengelasan SMAW*. Tugas Akhir Jurusan Teknik Perkapalan. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- BKI. (2009). *Rules For The Classification And Construction Of Seagoing Steel Ships*. Jakarta: Biro Klasifikasi Indonesia.
- Hoque, K. N. (2013). Thesis. *Analysis of Structural Discontinuities in Ship Hull Using Finite Element Method*.
- Logan, D. L. (2005). *A First Course in The Finite Element Method*. Platteville: University of Wisconsin.
- Mahfud. (2012). *Analisa Pengaruh Variasi Tanggem Pada Pengelasan Pipa Carbon Steel Dengan Metode Pengelasan SMAW dan FCAW Terhadap Deformasi dan Tegangan Sisa Menggunakan Analisa Pemodelan Elemen Hingga*. Tugas Akhir Jurusan Teknik Perkapalan. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Morna, M. Z. (2012). *Analisa Terbentuknya Tegangan Sisa Dan Deformasi Pada Pengelasan Pipa Beda Jenis Menggunakan Metode Elemen Hingga*. Tugas Akhir Jurusan Teknik Perkapalan. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Pratama, P. R. (2016). *Pengaruh Stopper Terhadap Tegangan Sisa dan Deformasi Pada Sambungan Butt Weld Pelat Datar Menggunakan Metode Elemen Hingga*. Tugas Akhir Jurusan Teknik Perkapalan. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Wahyudi. (1999). *Studi Pengaruh Sudut Tanggem Terhadap Retak Pada Pengelasan Butt-Joint dengan Las SMAW*. Tugas Akhir Jurusan Teknik Perkapalan. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Wirjosumarto, H. dan Okumura, T. (1996). *Teknologi Pengelasan Logam*, Pradnya Paramita, Jakarta.

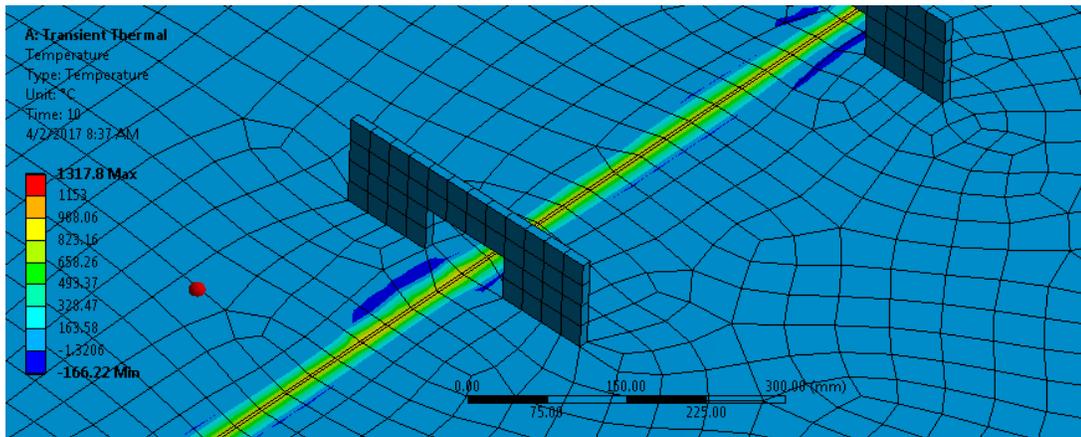
LAMPIRAN

LAMPIRAN I : HASIL UJI KONVERGENSI ELEMEN

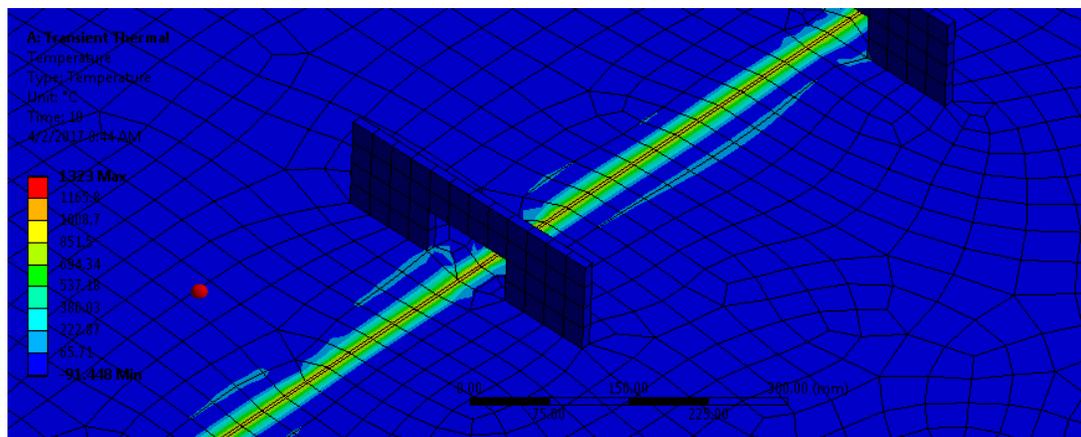
LAMPIRAN II : BIODATA PENULIS

Hasil Uji Konvergensi Elemen

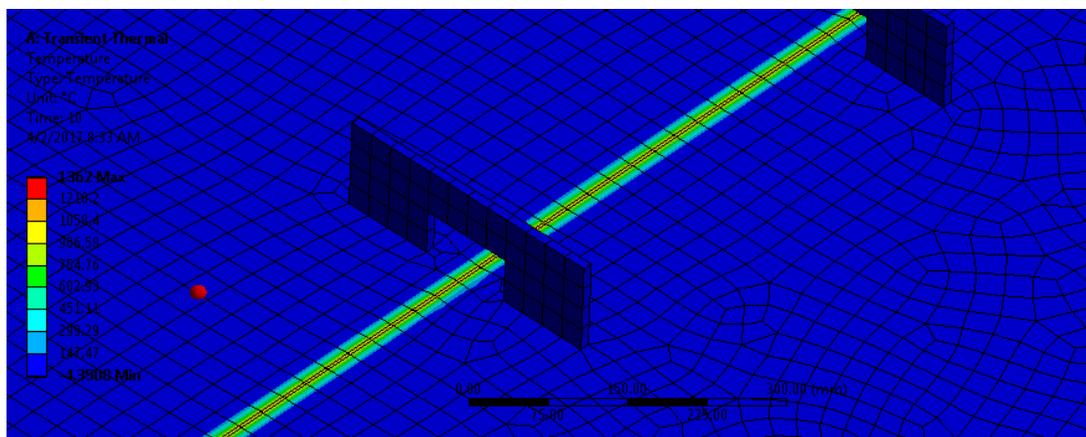
Panjang elemen 70



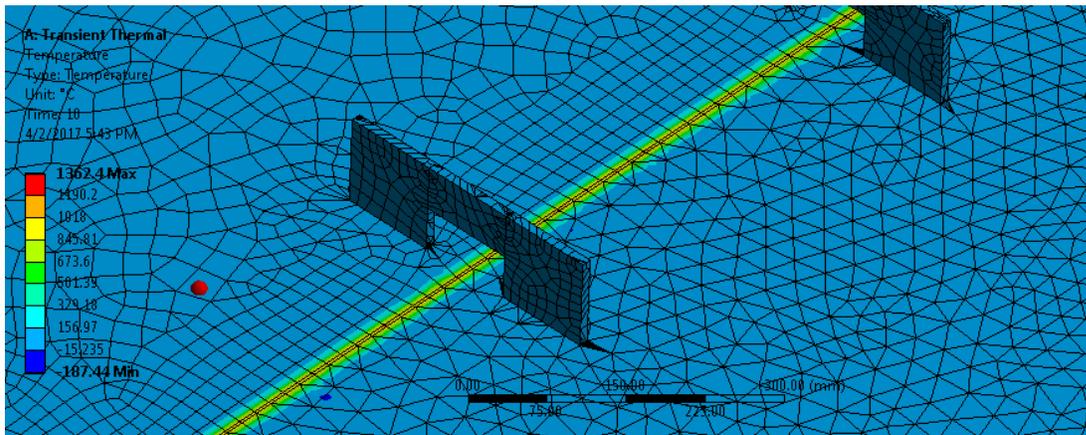
Panjang elemen 60



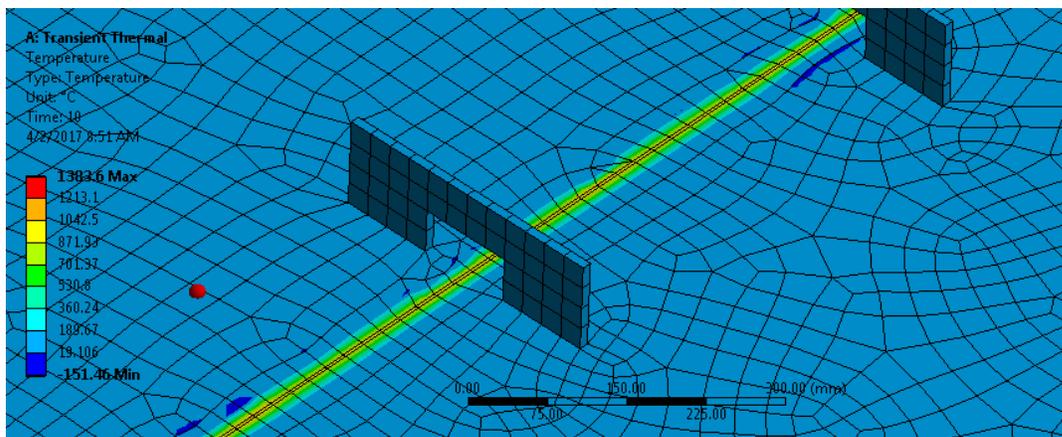
Panjang elemen 50



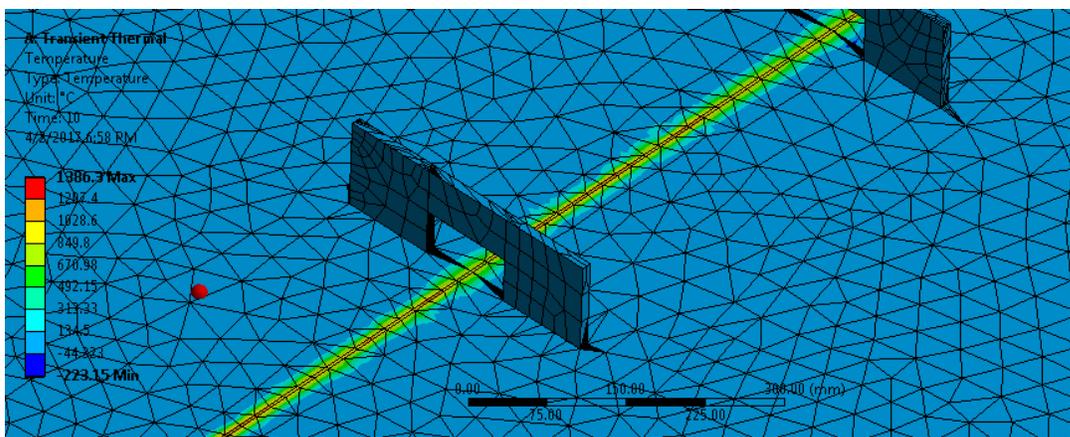
Panjang elemen 40



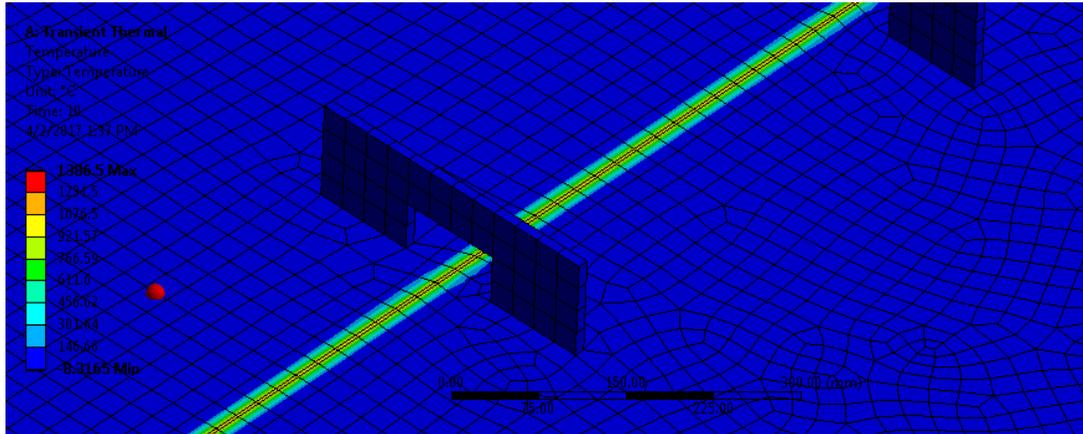
Panjang elemen 35



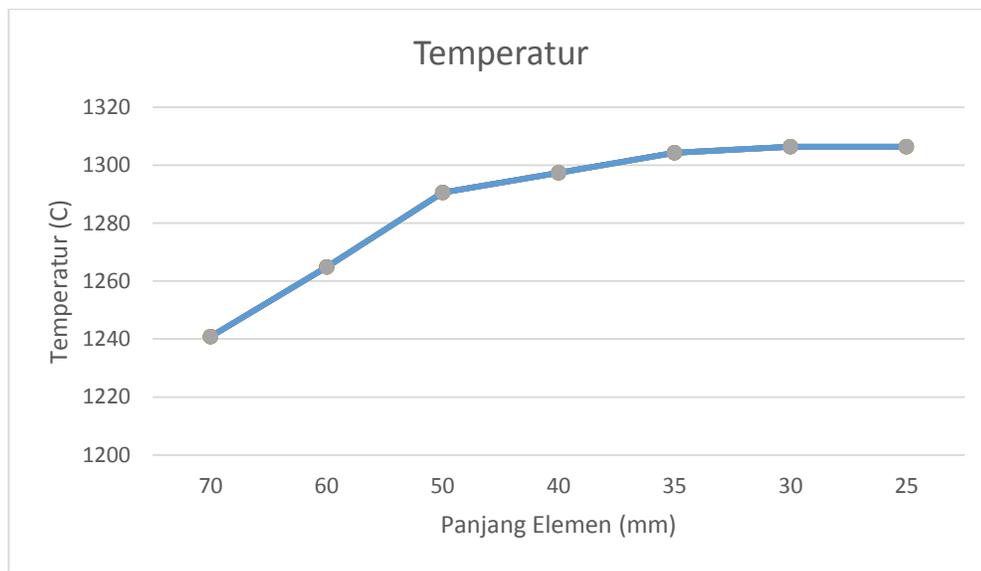
Panjang elemen 30



Panjang elemen 25



Panjang Elemen	Temperatur (C)	Selisih (%)
70	1317.8	
60	1323	0.39
50	1362	2.86
40	1362.4	0.03
35	1383.6	1.53
30	1386.3	0.19
25	1386.5	0.01



BIODATA PENULIS



Rafid Buana Putra dilahirkan di Kuningan, Jawa Barat pada tanggal 13 Oktober 1994. Penulis merupakan anak pertama dari dua bersaudara. Penulis menempuh pendidikan formal tingkat dasar di SD Kartika Siliwangi 4 (2000-2006), kemudian melanjutkan ke SMPN 1 Cimahi (2006-2009) dan SMAN 2 Cimahi (2009-2012). Setelah lulus SMA, Penulis diterima di Departemen Teknik Perkapalan FTK ITS pada tahun 2012 melalui jalur SNMPTN tulis. Penulis melakukan kerja praktek pertama di PT. Daya Radar Utama Jakarta pada tahun 2015 dan melakukan kerja praktek kedua di Lloyd's Register Surabaya pada tahun 2016.

Di Departemen Teknik Perkapalan, Penulis mengambil Bidang Studi Rekayasa Perkapalan – Konstruksi dan Kekuatan Kapal. Selama masa studi di ITS, selain kuliah pada tahun kedua dan ketiga Penulis juga pernah mengikuti organisasi AIESEC Surabaya dan dipercaya menjadi University Committee Vice President of Outgoing Exchange ITS. Selain itu, Penulis juga pernah mengikuti kepanitiaan ITS EXPO 2014 sebagai staf ahli sie acara pusat dan dipercaya menjadi wakil ketua Semarak Mahasiswa Perkapalan 9 (SAMPAN 9) pada tahun 2015. Dalam bidang keilmiahan, Penulis juga pernah menjadi peserta PKM Kewirausahaan dan didanai DIKTI pada tahun 2015.

Email: rafidbputra@gmail.com