



TUGAS AKHIR - MO.141326

ANALISIS NUMERIK TEGANGAN SISA DAN DISTORSI MENGGUNAKAN METODE ELEMEN HINGGA PADA KONSTRUKSI *INNER BOTTOM* KAPAL SURVEY GEOMARIN IV DENGAN VARIASI URUTAN PENGELASAN

ALFAN BAGUS WIN HARTONO

NRP. 4313100048

Dosen Pembimbing :

Nur Syahroni, S.T., MT., Ph.D.
Ir. Mas Murtedjo, M.Eng.

JURUSAN TEKNIK KELAUTAN

Fakultas Teknologi Kelautan

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya

2017



FINAL PROJECT - MO.141326

NUMERICAL ANALYSIS OF RESIDUAL STRESS AND DISTORTION USE
FINITE ELEMENT METHOD ON INNER BOTTOM CONSTRUCTION OF
GEOMARIN IV SURVEY SHIP WITH WELDING SEQUENCE VARIATIONS

ALFAN BAGUS WIN HARTONO

NRP. 4313100048

Supervisors :

Nur Syahroni, S.T., MT., Ph.D.

Ir. Mas Murtedjo, M.Eng.

DEPARTMENT OF OCEAN ENGINEERING

Marine Technology Faculty

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya

2017

**ANALISIS NUMERIK TEGANGAN SISA DAN DISTORSI
MENGUNAKAN METODE ELEMEN HINGGA PADA KONSTRUKSI
INNER BOTTOM KAPAL SURVEY GEOMARIN IV DENGAN VARIASI
URUTAN PENGELASAN**

TUGAS AKHIR

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


Oleh:


ALFAN BAGUS WIN HARTONO


NRP. 4313 100 048

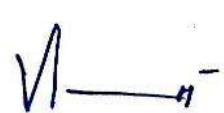
Disetujui oleh:


1. Nur Syahroni, S.T., M.T., Ph.D.  (Pembimbing I)

2. Ir. Mas Murtedjo, M.Eng.  (Pembimbing II)

3. Ir. Imam Rochani, M.Sc.  (Penguji I)

4. Ir. Handayanu, M.Sc., Ph.D.  (Penguji II)

5. Yoyok Setyo Hadiwidodo, S.T., M.T., Ph.D.  (Penguji III)

6. Yeyes Mulyadi, S.T., M.T., Ph.D.  (Penguji IV)

SURABAYA, JULI 2017

ABSTRAK

Analisis Numerik Tegangan Sisa dan Distorsi menggunakan Metode Elemen Hingga pada Konstruksi *Inner Bottom* Kapal Survey Geomarin IV dengan Variasi Urutan Pengelasan

Nama Mahasiswa : Alfian Bagus Win Hartono
NRP : 4313100048
Departemen : Teknik Kelautan
Dosen Pembimbing : Nur Syahroni, S.T., M.T., Ph.D.
Ir. Mas Murtedjo, M.Eng.

Dalam industri fabrikasi kapal, pengelasan merupakan tahapan paling kritis. Jika kualitas pengelasan pada fabrikasi kapal tidak baik, maka hal tersebut akan berpengaruh pada kekuatan maupun tampilan struktur secara keseluruhan. Salah satu faktor yang mempengaruhi kualitas pengelasan adalah tegangan sisa dan distorsi. Dalam penelitian ini dilakukan simulasi pengelasan pada konstruksi *inner bottom* Kapal Survey Geomarin IV dengan menggunakan elemen *shell* serta memiliki variasi terhadap urutan pengelasan. Pada penelitian ini dilakukan simulasi pengelasan konstruksi *inner bottom* menggunakan elemen *shell* yang menghasilkan suhu puncak sebesar 2490 K pada variasi 4. Sedangkan suhu puncak terendah dihasilkan oleh variasi 2 dengan suhu sebesar 2339 K. Setelah simulasi pengelasan dilakukan, maka dilanjutkan simulasi tegangan sisa dan distorsi. Berdasarkan simulasi yang telah dilakukan, tegangan sisa tarik maksimum paling kecil yang terdapat pada konstruksi *inner bottom* ialah 375,23 MPa, sedangkan tegangan sisa tekan maksimum paling kecil bernilai -20,18 MPa. Tegangan sisa tersebut dihasilkan dari variasi urutan pengelasan ketiga. Distorsi yang terjadi di konstruksi *inner bottom* untuk $X=720$ mm sebesar 4,2 mm dan untuk $X=-720$ mm, distorsi yang terjadi sebesar 4,92 mm. Distorsi tersebut dihasilkan oleh variasi urutan pengelasan ketiga. Pada daerah *frame* atau dekat area pengelasan, nilai distorsi mencapai titik minimumnya. Hal ini dikarenakan adanya *stiffener* berupa *frames* yang berfungsi sebagai penahan agar tidak terjadi distorsi pada daerah tersebut.

Kata Kunci – Metode Elemen Hingga, Inner Bottom, Frames, Tegangan Sisa, Distorsi.

ABSTRACT

Numerical Analysis of Residual Stress and Distortion use Finite Element Method on Inner Bottom Construction of Survey Ship GEOMARIN IV with Welding Sequences' Variation

Name : *Alfan Bagus Win Hartono*
REG. : *4313100048*
Department : *Teknik Kelautan*
Supervisors : *Nur Syahroni, S.T., M.T., Ph.D.*
Ir. Mas Murtedjo, M.Eng.

In the ship's fabrication industry, the welding process is the most critical step. If the quality of welding in ship's fabrication is not good enough, it will affect the strength and appearance of the structure as a whole. One of the factors that affect the quality of welding is residual stress and distortion. In this research, welding simulation is performed on the inner bottom construction of Geomarin IV Ship Survey using shell element and has variation to welding sequence. In this research, welding simulation of inner bottom construction using shell element yielded peak temperature of 2490 K in variation 4 at 808,7 s. While the lowest peak temperature was produced by variation 2 with temperature of 2339 K at 1243,7 s. After welding simulation was done, it was continued simulation of residual stress and distortion. Based on the simulation which has been done, the lowest maximum tensile residual stress is 375,23 MPa, while the lowest maximum compressive residual stress is -20,18 MPa. Those residual stresses are produced by variation 3 of welding sequence. The distortion which happened on inner bottom for X=720 mm is 4,2 mm, and for X=-720 mm is 4,92 mm. Those distortions are produced by variation 3 of welding sequence. At the frame area or near the welding area, the distortion value reaches its minimum point. This is because the stiffener in the form of frames, that serves as a buffer so that no distortion occurs in those area.

Keywords – Finite Element Method, Inner Bottom, Frames, Residual Stress, Distortion.

KATA PENGANTAR

Puji syukur saya panjatkan atas kehadiran Allah SWT karena atas rahmat dan karunia-Nya Tugas Akhir ini dapat selesai dengan sebaik-baiknya.

Selain itu, ucapan terimakasih atas bimbingan materi, dorongan dan semangat dalam menyelesaikan rancangan ini, saya sampaikan kepada dosen pembimbing, orang tua, dan teman-teman.

Tak ada sesuatu yang sempurna di dunia, begitu juga Tugas Akhir saya. Masih terdapat banyak hal yang perlu diubah ataupun ditambahkan demi kenyamanan pembaca serta kelancaran lanjutan Tugas Akhir ini kedepannya. Oleh karena itu, saya sangat mengharapkan kritik dan saran dari para pembaca.

Surabaya, Juli 2017

Penulis

UCAPAN TERIMAKASIH

Dalam rangka penyelesaian Tugas Akhir ini, penulis menyampaikan terima kasih kepada:

1. Allah SWT yang telah memberi rahmat dan hidayah selama pengerjaan Tugas Akhir ini.
2. Nabi Muhammad SAW yang telah memberi panduan ke jalan yang benar.
3. Kedua orang tua yang selalu memberikan dukungan moril maupun materiil.
4. Bapak Nur Syahroni S.T.,M.T.,Ph.D. selaku dosen pembimbing I yang telah memberikan ilmu dan pengarahan dalam penyelesaian Tugas Akhir.
5. Bapak Ir. Mas Murtedjo, M.Eng. selaku dosen pembimbing II yang telah memberikan ilmu dan pengarahan dalam penyelesaian Tugas Akhir.
6. Nando yang selalu mengajarkan arti perjuangan dan kesabaran.
7. Keluarga besar AKS yang telah memberikan pelajaran hidup selama 4 tahun ini.
8. Teman-teman Tugas Akhir bimbingan Bapak Nur Syahroni S.T.,M.T.,Ph.D.
9. Teman-teman angkatan 2013 Teknik Kelautan ITS.

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN.....	iii
ABSTRAK.....	iv
KATA PENGANTAR	vi
UCAPAN TERIMAKASIH.....	vii
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL.....	xiv
BAB I	
PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang Masalah.....	1
1.2. Rumusan Masalah	2
1.3. Tujuan.....	2
1.4. Manfaat.....	2
1.5. Batasan Masalah.....	3
BAB II	
TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI	4
2.1. Tinjauan Pustaka	4
2.2. Dasar Teori.....	5
2.2.1. SAW (<i>Submerged Arc Welding</i>).....	5
2.2.2. Distribusi Suhu.....	10
2.2.3. Tegangan Sisa	14
2.2.4. Distorsi	17
2.2.5. Proses Pengelasan pada Kapal	19

2.2.6.	<i>Keel</i>	19
2.2.7.	Metode Elemen Hingga.....	22
2.2.8.	Analisis <i>Transient Thermal</i> dengan ANSYS <i>Mechanical</i>	27
2.2.9.	Analisis <i>Transient Structural</i> dengan ANSYS <i>Mechanical</i>	29
BAB III		
METODOLOGI PENELITIAN		31
3.1.	Skema Diagram Alir.....	31
BAB IV		
HASIL DAN PEMBAHASAN.....		42
4.1.	Permodelan Konstruksi <i>Inner Bottom</i> Kapal Survey Geomarin IV	42
4.2.	<i>Input</i> Hasil Geometris dari AutoCAD ke ANSYS <i>Mechanical</i>	45
4.3.	Perhitungan Beban <i>Heat Flux</i>	51
4.4.	<i>Meshing Sensitivity</i>	59
4.5.	Validasi Hasil	60
4.5.1.	<i>Temperature History</i>	60
4.5.2.	Tegangan Sisa	64
4.5.3.	Distorsi.....	66
4.6.	Variasi Urutan Pengelasan	67
4.7.	Variasi Hasil Distribusi Panas	68
4.7.1.	Variasi Kedua	68
4.7.2.	Variasi Ketiga	69
4.7.3.	Variasi Keempat	70
4.8.	Grafik Tegangan Sisa Hasil Variasi Urutan Pengelasan	72
4.8.1.	Grafik Tegangan Sisa Variasi Kedua.....	72
4.8.2.	Grafik Tegangan Sisa Variasi Ketiga	73
4.8.3.	Grafik Tegangan Sisa Variasi Keempat.....	74

4.9. Grafik Distorsi Hasil Variasi Urutan Pengelasan	75
4.9.1. Grafik Distorsi Variasi Kedua	75
4.9.2. Grafik Distorsi Variasi Ketiga	76
4.9.3. Grafik Variasi Keempat	77
4.10. Pengaruh Variasi Urutan Pengelasan	78
BAB V	
KESIMPULAN DAN SARAN	80
5.1. Kesimpulan	80
5.2. Saran	80
Daftar Pustaka	82
LAMPIRAN	85
LAMPIRAN A	A1
LAMPIRAN B	B1
LAMPIRAN C	C1
LAMPIRAN D	D1

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Komponen-komponen Tipe Pengelasan.....	6
Gambar 2.2. Perbandingan Hasil Pengelasan SAW <i>semiautomatic</i> dengan Variasi Arus	6
Gambar 2.3. Perbandingan Hasil Pengelasan SAW <i>automatic</i> dengan Variasi Arus	7
Gambar 2.4. Perbandingan Hasil Pengelasan SAW <i>semiautomatic</i> dengan Variasi <i>Travel Speed</i>	7
Gambar 2.5. Perbandingan Hasil Pengelasan SAW <i>automatic</i> dengan Variasi <i>Travel Speed</i>	8
Gambar 2.6. Perbandingan Hasil Pengelasan SAW <i>automatic</i> dengan Variasi Ukuran Elektroda	8
Gambar 2.7. Perbandingan Hasil Pengelasan SAW <i>semiautomatic</i> dengan Variasi Ukuran Elektroda	9
Gambar 2.8. Perbandingan Hasil Pengelasan SAW <i>automatic</i> dengan Variasi Ukuran Elektroda	9
Gambar 2.9. Grafik Pengaruh <i>Heat Input</i> terhadap <i>Cooling Rate</i>	10
Gambar 2.10. Terjadinya Tegangan Sisa Akibat <i>Structural Mismatch</i>	14
Gambar 2.11. Hubungan antara Tegangan Sisa dan Distorsi	18
Gambar 2.12. Jenis-jenis Distorsi pada Logam Pengelasan	18
Gambar 2.13. Struktur <i>Duct Keel</i>	20
Gambar 2.14. Struktur <i>Flat Keel</i>	20
Gambar 2.15. Struktur <i>Girder</i> dengan <i>Solid Floor</i>	21
Gambar 2.16. Struktur <i>Girder</i> dengan <i>Plate Floor</i>	21
Gambar 2.17. Struktur <i>Girder</i> dengan <i>Bracket Floor</i>	21
Gambar 2.18. Massa Titik Termal menggunakan Sifat <i>Isothermal</i>	28
Gambar 2.19. Massa Titik Termal menggunakan Sifat Distribusi <i>Heat-Flux</i>	28
Gambar 3. 1 Diagram Alir Metodologi Penelitian.....	31
Gambar 3. 2 Gambar Detail Pembagian Blok Kapal Survey Geomarin IV Tampak Samping	33

Gambar 3. 3 Gambar Pembagian Blok Kapal Survey Geomarin IV dilihat dari <i>Inner Bottom Deck</i>	33
Gambar 3. 4 Gambar <i>Inner Bottom</i> Blok 1.6 Kapal Survey Geomarin IV	34
Gambar 3. 5 <i>Frame 63</i> dari <i>Inner Bottom</i> Kapal Survey Geomarin IV	34
Gambar 3. 6 Detail Elemen SHELL132 pada ANSYS	36
Gambar 3. 7 Urutan Pengelasan dari Tengah ke Sisi pada Pelat Kapal secara Memanjang	36
Gambar 3. 8 Diagram Alir Analisis Termal	37
Gambar 3. 9 Detail Elemen SHELL281 pada ANSYS	39
Gambar 3. 10 Diagram Alir Analisis Struktural	40
Gambar 4. 1 Permodelan <i>Frames</i> pada Blok 1.6 Kapal Survey Geomarin IV	42
Gambar 4. 2 Permodelan <i>Inner Bottom</i> pada Blok 1.6 Kapal Survey Geomarin IV	43
Gambar 4. 3 <i>Frame</i> dengan Jenis <i>Solid Floor</i>	43
Gambar 4. 4 <i>Frame</i> dengan Jenis <i>Watertight Floor</i>	44
Gambar 4. 5 <i>Frame</i> dengan Jenis <i>Open Floor</i>	44
Gambar 4. 6 Gabungan <i>Frame 74, 75, dan 76</i> beserta <i>Inner Bottom</i>	45
Gambar 4. 7 Tahapan Awal dalam <i>Convert</i> Hasil Geometris di AutoCAD 2016	46
Gambar 4. 8 Mengklik Tombol <i>Home</i> di Ujung Kiri Atas pada AutoCAD 2016	47
Gambar 4. 9 Mengarahkan Kursor pada Pilihan <i>Export</i>	47
Gambar 4. 10 Mengarahkan Kursor dan Mengklik ke Pilihan <i>Other Formats</i>	48
Gambar 4. 11 Tampilan <i>Pop-up Window Import Data</i>	48
Gambar 4. 12 Memblok Ulang Keseluruhan Struktur yang akan Dikonversi	49
Gambar 4. 13 Notifikasi Proses <i>Import</i> telah Selesai	50
Gambar 4. 14 Hasil File <i>Output</i> dengan Ekstensi <i>.iges</i>	50
Gambar 4. 15 Komposisi Kimia Elektrode untuk Pengelasan SAW	52
Gambar 4. 16 Panjang Area Pengelasan <i>Frame 74</i>	54
Gambar 4. 17 Ilustrasi <i>Fillet Weld Features</i>	55
Gambar 4. 18 Detail Pengelasan <i>Fillet</i> yang digunakan	55
Gambar 4. 19 Panjang Area Pengelasan <i>Frame 75</i>	57
Gambar 4. 20 Panjang Area Pengelasan <i>Frame 76</i>	58

Gambar 4. 21 Grafik <i>Meshing Sensitivity</i>	59
Gambar 4. 22 <i>Meshing</i> ukuran 0.2 mm <i>Quadrilateral</i> dan 0.5 mm <i>Triangle</i>	60
Gambar 4. 23 Area Pembebanan Pengelasan di tiap Elemen	61
Gambar 4. 24 Kondisi Akhir Distribusi Panas pada Analisis Termal.....	62
Gambar 4. 25 Grafik Distribusi Panas Hasil Analisis Termal	62
Gambar 4. 26 Grafik Suhu Puncak pada Penelitian Sebelumnya	63
Gambar 4. 27 <i>Pathline</i> (Anak Panah Ungu) untuk Analisis Tegangan Sisa.....	64
Gambar 4. 28 Gambar Grafik Tegangan Sisa Longitudinal Variasi 1	65
Gambar 4. 29 Grafik Distorsi Pasca Simulasi Pengelasan.....	66
Gambar 4. 30 Gambar Penampang <i>Inner Bottom</i> Tampak Atas.....	68
Gambar 4. 31 Kondisi Akhir Distribusi Panas pada Analisis Termal Variasi Kedua	69
Gambar 4. 32 Grafik Distribusi Panas Hasil Analisis Termal Variasi Kedua	69
Gambar 4. 33 Kondisi Akhir Distribusi Panas pada Analisis Termal Variasi Ketiga	70
Gambar 4. 34 Grafik Distribusi Panas Hasil Analisis Termal Variasi Ketiga.....	70
Gambar 4.35 Kondisi Akhir Distribusi Panas pada Analisis Termal Variasi Keempat	71
Gambar 4. 36 Grafik Distribusi Panas Hasil Analisis Termal Variasi Keempat ..	71
Gambar 4. 37 Variasi Urutan Pengelasan Kedua.....	72
Gambar 4. 38 Grafik Tegangan Sisa Variasi Kedua	72
Gambar 4. 39 Variasi Urutan Pengelasan Ketiga.....	73
Gambar 4. 40 Grafik Tegangan Sisa Variasi Ketiga.....	73
Gambar 4. 41 Variasi Urutan Pengelasan Keempat.....	74
Gambar 4. 42 Grafik Tegangan Sisa Variasi Keempat	74
Gambar 4. 43 Grafik Distorsi Variasi Kedua.....	76
Gambar 4. 44 Grafik Distorsi Variasi Ketiga.....	76
Gambar 4. 45 Grafik Distorsi Variasi Keempat.....	77
Gambar 4. 46. Ilustrasi Tegangan Sisa Variasi Urutan Pengelasan 3	78
Gambar 4. 47. Ilustrasi Distorsi Variasi Urutan Pengelasan 3.....	79

DAFTAR TABEL

Tabel 3. 1. <i>Rules</i> Perbandingan Tebal Plat	38
Tabel 4. 1 Nilai Efisiensi Termal setiap Jenis Pengelasan.....	53
Tabel 4. 2 Tabel Pembagian <i>Load Step</i> untuk <i>Frame 74</i>	54
Tabel 4. 3 Pembagian <i>Load Step</i> dan Perhitungan Parameter Pengelasan	58
Tabel 4. 4 Perbandingan <i>Size Meshing</i> , Jumlah Elemen, dan Tegangan Maksimum untuk Elemen <i>Shell</i>	59
Tabel 4. 5 Total Waktu Pengelasan <i>Frame 74</i> hingga 76	61
Tabel 4. 6 Perbandingan Suhu Puncak.....	63
Tabel 4. 7 Validasi Tegangan Sisa terhadap Penelitian Sebelumnya	66
Tabel 4. 8 Variasi Urutan Pengelasan	67
Tabel 4. 9 Suhu Puncak Seluruh Variasi Arah Pengelasan.....	71
Tabel 4. 10 Hasil Tegangan Maksimum pada Seluruh Variasi Urutan Pengelasan	75
Tabel 4. 11 Hasil Distorsi Seluruh Variasi	78

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang Masalah

Tahapan fabrikasi kapal survey pada dasarnya memiliki kesamaan prinsip dengan kapal komersial lainnya seperti dalam tahap perakitan hingga pembangunan. Namun, dalam Tugas Akhir ini salah satu bagian blok kapal survey yaitu *inner bottom*, mendapatkan perhatian khusus terutama proses pengelasannya.

Pada pembangunan satu kapal, pengelasan memiliki persentase sekitar 35% dari total seluruh kegiatan. Pengelasan ialah proses penggabungan dua logam atau lebih berdasarkan prinsip proses difusi yang memiliki kelebihan yaitu mampu membuat konstruksi ringan, dapat menahan kekuatan yang tinggi, mudah dalam proses pengerjaan, dan ekonomis (Djamiko, 2008). Sedangkan menurut Prasetya (2010), pengelasan ialah proses penggabungan dua material melalui suatu ikatan kimia yang dihasilkan dari penggunaan panas dan atau tekanan.

Selama proses pengelasan, terjadi *heat transfer* di sepanjang area las yang memungkinkan distribusi panas menjadi tidak merata yang memicu terjadinya pengembangan termal. Pada area yang telah dingin, timbul suatu penghalang peregangan yang mampu menimbulkan perubahan bentuk atau seringkali disebut sebagai tegangan sisa (Magga, 2009). Ketika sedang berlangsung siklus pemanasan dan pendinginan, maka akan timbul regangan panas diantara *weld metal* dan *base metal* pada area dekat dengan *weld bead*, regangan panas tersebut mampu menimbulkan *buckling*, *bending*, dan rotasi yang disebut sebagai distorsi (Putra, 2007).

Munculnya tegangan sisa dan distorsi mampu memberikan efek buruk terhadap kinerja kapal. Tegangan sisa mampu mengurangi kapasitas beban yang turut andil dalam terjadinya *brittle fracture* dan perubahan bentuk permukaan (Zaroog, 2014). Distorsi mampu memperkecil kekuatan tekuk struktur hingga berpengaruh pada keandalan (Wibowo, 2016). Secara singkat, tegangan sisa dapat muncul ketika terdapat perubahan suhu dengan rentang yang besar, sedangkan distorsi timbul apabila selama proses pendinginan, logam dibiarkan bergerak leluasa.

Dalam rangka mengetahui besar tegangan sisa dan distorsi, berbagai macam eksperimen dan simulasi telah dilakukan meskipun dengan obyek sederhana. Pada Tugas Akhir ini akan dilaksanakan simulasi untuk mengetahui besarnya tegangan sisa dan distorsi pada konstruksi yang lebih kompleks. Penelitian dilakukan menggunakan metode elemen hingga dengan bantuan software ANSYS *Mechanical* untuk memperoleh besar tegangan sisa dan distorsi pada konstruksi *inner bottom* Kapal Survey Geomarin IV yang divariasikan terhadap urutan pengelasan.

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dituliskan, berikut adalah rumusan masalah yang akan diselesaikan dalam Tugas Akhir ini:

1. Bagaimana bentuk grafik distribusi tegangan sisa dan distorsi pada konstruksi *inner bottom* Kapal Survey Geomarin IV pasca proses pengelasan?
2. Bagaimana pengaruh variasi urutan pengelasan terhadap besar tegangan sisa dan distorsi pada konstruksi *inner bottom* Kapal Survey Geomarin IV?

1.3. Tujuan

Berkenaan dengan rumusan masalah yang diangkat, tujuan yang diharapkan dalam Tugas Akhir ini ialah:

1. Mendapatkan grafik distribusi tegangan sisa dan distorsi pada konstruksi *inner bottom* Kapal Survey Geomarin IV pasca proses pengelasan.
2. Mengetahui pengaruh variasi urutan pengelasan terhadap besar tegangan sisa dan distorsi pada konstruksi *inner bottom* Kapal Survey Geomarin IV.

1.4. Manfaat

Manfaat Tugas Akhir ini yaitu berupa pengetahuan mengenai grafik distribusi panas yang digunakan untuk memperoleh grafik distribusi tegangan sisa serta distorsi pada konstruksi *inner bottom* Kapal Survey Geomarin IV dengan variasi urutan pengelasan.

1.5. Batasan Masalah

1. Metode pengelasan yang digunakan ialah SAW (*Submerged Arc Welding*).
2. Sambungan pengelasan yang digunakan ialah *fillet welded T-joint* 2 sisi.
3. Posisi pengelasan yang digunakan ialah Horizontal-PB/2F.
4. *Frame* diasumsikan telah dilakukan pengelasan.
5. Terdapat 2 mesin pengelasan jenis SAW.
6. Simulasi pengelasan terjadi saat fabrikasi pada tahap penyambungan *frames* ke *inner bottom*.
7. Elemen yang digunakan pada simulasi ialah *shell*.
8. Selama proses pengelasan diasumsikan tidak terdapat cacat.
9. Jenis elektroda yang digunakan ialah EM13K.
10. Efek radiasi pengelasan diabaikann.
11. Terdapat 4 variasi urutan pengelasan.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

2.1. Tinjauan Pustaka

Untuk memenuhi tujuan Tugas Akhir yang telah diuraikan pada bab sebelumnya, kegiatan awal yang perlu dilakukan adalah tinjauan pustaka. Sumber tinjauan pustaka meliputi buku teks, jurnal internasional, *handout* kuliah, serta hasil penelitian Tugas Akhir di Departemen Teknik Kelautan, FTK-ITS. Sumber-sumber tersebut membahas mengenai besarnya tegangan sisa dan distorsi pasca pengelasan, metode elemen hingga untuk simulasi, distribusi panas pasca pengelasan, variasi-variasi untuk memperoleh distribusi tegangan sisa dan distorsi, metode pengelasan SAW, konstruksi *inner bottom*, serta cara pengoperasian *software* ANSYS *Mechanical*.

Gannon (2011) melakukan penelitian mengenai efek tegangan sisa dan distorsi pada kekuatan *ultimate* jenis panel plat. Hasilnya didapatkan bahwa kekuatan *ultimate* telah berkurang sebesar 15% pada tipe *angle-stiffened panels*, 13,5% pada *tee-stiffened panels*, dan 16,5% pada *flat bar-stiffened plates*, hal ini menunjukkan bahwa tegangan sisa dan distorsi sangat berpengaruh pada kekuatan *ultimate* struktur.

Syahrone (2012) telah melakukan penelitian mengenai pengaruh variasi arah pengelasan terhadap tegangan sisa dan distorsi pada *T-joint fillet weld* menggunakan simulasi 3D elemen hingga. Berdasarkan penelitian tersebut, didapatkan hasil bahwa arah pengelasan sangat berpengaruh terhadap distribusi panas, tegangan sisa baik longitudinal maupun transversal, serta distorsi angular. Variasi *contrary direction welding* menghasilkan nilai distribusi tegangan sisa yang kecil, sedangkan distorsi angular terkecil diperoleh ketika variasi *welding from centres of two sides*. Wibisono (2017) melakukan simulasi serupa dengan menitikberatkan kecepatan analisis menggunakan elemen *solid* dan *shell* untuk memperoleh besarnya tegangan sisa serta distorsi. Hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa elemen *shell* memiliki waktu *running* yang lebih cepat.

Penelitian mengenai besarnya tegangan sisa dan distorsi oleh Daneshgar (2016) menunjukkan bahwa *stiffened cylindrical shell* yang dilas di dua sisi dengan urutan

yang berbeda, akan menimbulkan hasil tegangan sisa dan distorsi yang berbeda pula. Dua jenis urutan yang dilakukan ialah pengelasan dua sisi secara bersamaan, dan pengelasan dua sisi secara bergantian. Hasilnya menunjukkan bahwa pengelasan dua sisi secara bergantian memiliki besar tegangan sisa dan distorsi yang paling kecil.

2.2. Dasar Teori

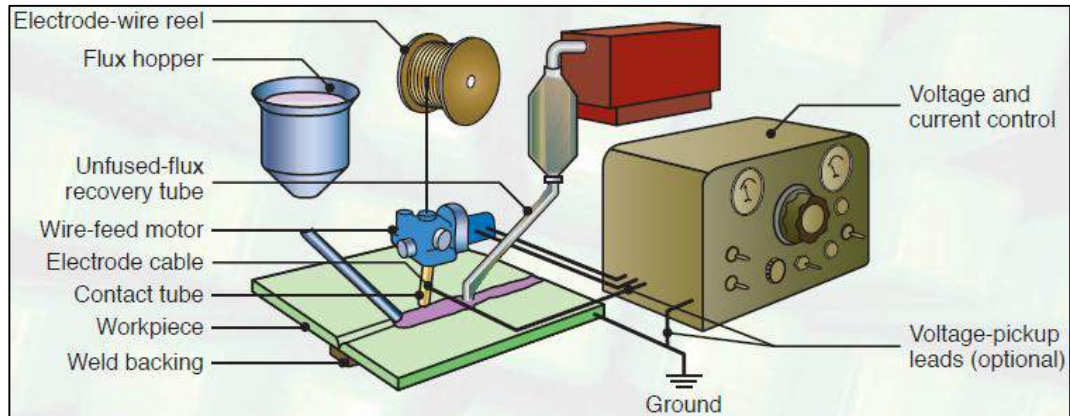
2.2.1. SAW (*Submerged Arc Welding*)

SAW ialah salah satu jenis metode pengelasan paling terkenal di dunia dikarenakan kemampuannya untuk mengelas material yang tebal. Jenis pengelasan ini bekerja dengan cara memanaskan dan mencairkan logam pengelasan serta elektroda oleh busur las yang terletak diantara logam utama dan elektroda, Elektroda dari SAW memiliki pelindung yang disebut *flux* berupa butiran. Fungsi *flux* tersebut adalah untuk melindungi hasil pengelasan dari kontaminasi lingkungan sekitar tempat pengelasan.

SAW bekerja secara otomatis dan bekerja tanpa *pressure*. Selain itu, pengelasan jenis ini juga mampu berjalan di arus DC maupun AC. Susunan komponen-komponen metode pengelasan SAW telah tercantum pada Gambar 2.1

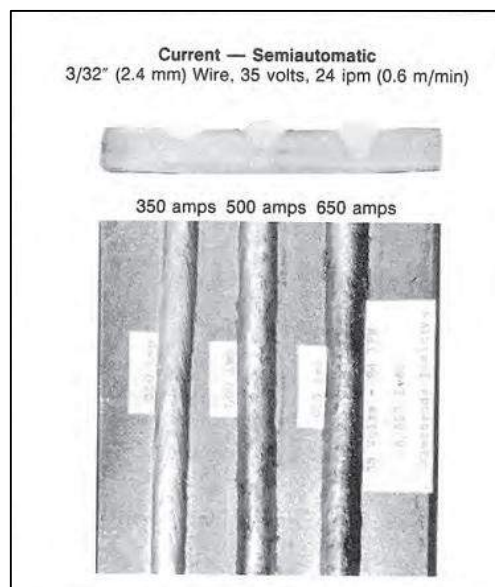
Komponen penyusun jenis pengelasan SAW merupakan komponen yang berjalan secara otomatis. Sumber tenaga yang digunakan harus memiliki *duty cycle* senilai 100% karena pengelasan ini berjalan secara kontinyu dan umumnya memiliki durasi waktu pengelasan lebih dari 10 menit. Selain itu, arus yang digunakan untuk pengelasan jenis SAW berkisar antara 300 A hingga 1500 A. Hal tersebut dikarenakan jenis pengelasan SAW berfungsi untuk menyambungkan logam yang cukup tebal.

Ilustrasi susunan komponen jenis pengelasan SAW telah dicantumkan dalam Gambar 2.1.

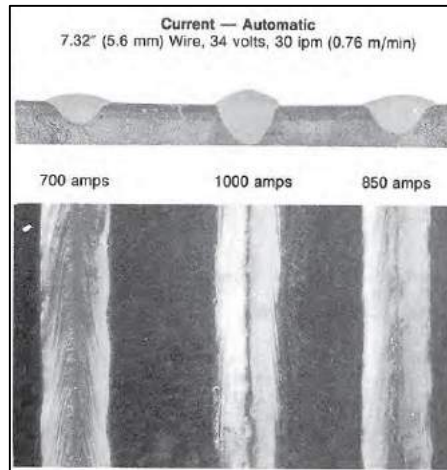


Gambar 2.1. Komponen-komponen Tipe Pengelasan (ME-MechanicalEngineering, 2016)

Pada semua jenis pengelasan terutama SAW, beberapa hal yang perlu diperhatikan ialah mengenai arus, kecepatan pengelasan, ukuran elektroda, dan tegangan. Parameter-parameter tersebut mampu mempengaruhi hasil pengelasan. Gambar 2.2 hingga 2.8 memberikan ilustrasi mengenai pengaruh arus, kecepatan pengelasan, ukuran elektroda dan tegangan pada hasil akhir pengelasan SAW.

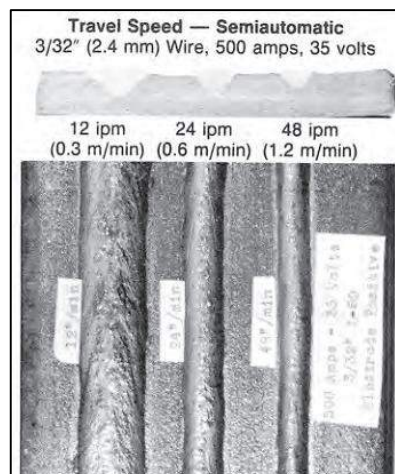


Gambar 2.2. Perbandingan Hasil Pengelasan SAW *semiautomatic* dengan Variasi Arus (Miller, 2014)

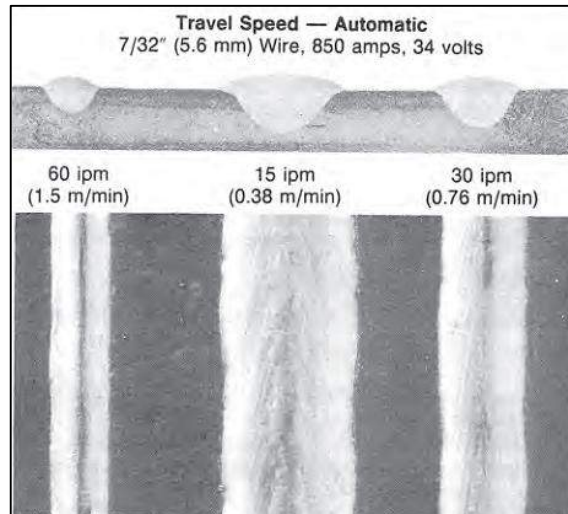


Gambar 2.3. Perbandingan Hasil Pengelasan SAW *automatic* dengan Variasi Arus (Miller, 2014)

Berdasarkan Gambar 2.2 dan 2.3, jika semua variabel dianggap sama dan hanya arus listrik yang divariasikan, maka ketika arus ditingkatkan, penetrasi dan *melt-off rate* juga akan naik. Selain itu, jika arus yang digunakan terlalu besar, maka bisa dipastikan produksi busur las yang tidak teratur, serta hasil pengelasan yang tergolong jensi *high narrow bead*. Sebaliknya, jika arus yang digunakan terlalu rendah, maka akan menimbulkan ketidakstabilan pada busur las.

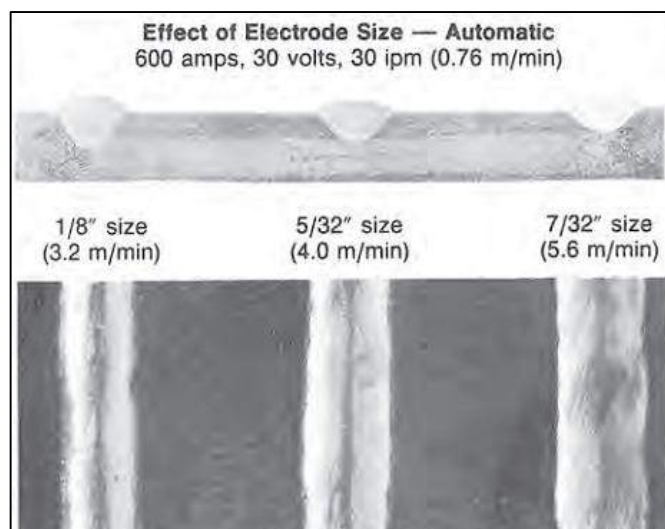


Gambar 2.4. Perbandingan Hasil Pengelasan SAW *semiautomatic* dengan Variasi *Travel Speed* (Miller, 2014)



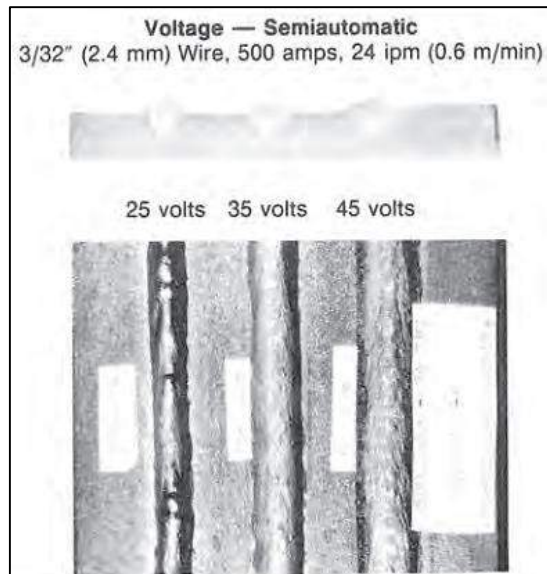
Gambar 2.5. Perbandingan Hasil Pengelasan SAW *automatic* dengan Variasi *Travel Speed* (Miller, 2014)

Sama halnya dengan arus, kecepatan pengelasan akan sangat mempengaruhi hasil pengelasan. Kecepatan pengelasan yang terlalu berlebihan mampu meningkatkan kecenderungan *undercut*, *arc blow*, *porosity*, dan *weld bead* yang tak diinginkan. Namun, jika kecepatan pengelasan terlalu lambat, maka akan menimbulkan hasil pengelasan yang mudah mengalami *crack* dan kurang berpenetrasi.

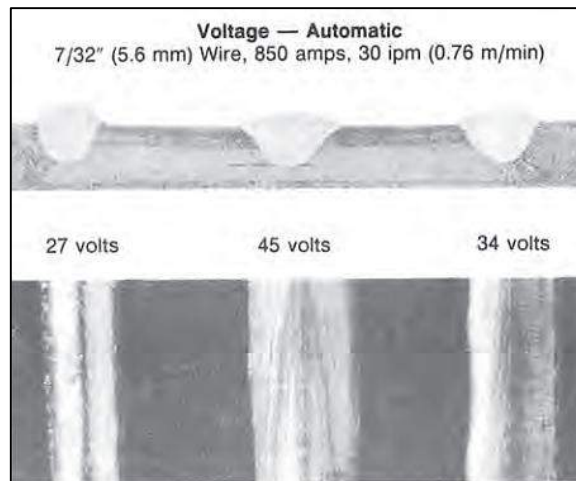


Gambar 2.6. Perbandingan Hasil Pengelasan SAW *automatic* dengan Variasi Ukuran Elektroda (Miller, 2014)

Jika ukuran elektroda divariasikan, maka akan memerlukan proses instalasi ulang yang memakan waktu. Sehingga, umumnya ukuran elektroda telah ditentukan dengan matang untuk meminimalisir ketidakefektifitasan waktu. Ukuran elektroda yang besar membutuhkan arus yang besar pula. Sebaliknya, ukuran elektroda yang kecil akan menciptakan penetrasi dan stabilitas busur yang lebih baik.



Gambar 2.7. Perbandingan Hasil Pengelasan SAW *semiautomatic* dengan Variasi Ukuran Elektroda (Miller, 2014)



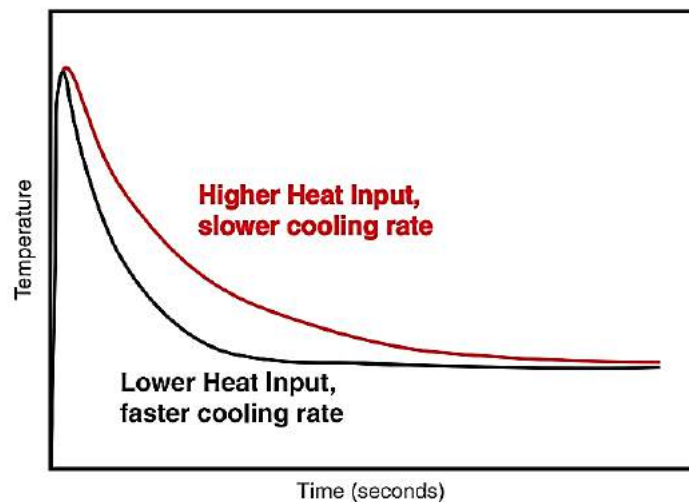
Gambar 2.8. Perbandingan Hasil Pengelasan SAW *automatic* dengan Variasi Ukuran Elektroda (Miller, 2014)

Tegangan listrik sangat menentukan bentuk dari hasil pengelasan. Semakin bertambahnya tegangan, maka semakin banyak produksi cipratan serta hasil pengelasan yang lebih luas. Selain itu, bertambahnya tegangan juga semakin mengkonsumsi *flux*, sehingga *slag* yang dihasilkan cukup banyak dan sulit untuk dibersihkan. Sedangkan jika tegangan semakin kecil, maka busur akan terasa kaku yang berguna untuk mengelas *deep groove* dan mempermudah pembersihan *slag*.

2.2.2. Distribusi Suhu

a. Heat Input

Pada teknik pengelasan busur, energi panas ditransfer dari elektroda ke logam pengelasan yang bergantung pada tenaga yang diberikan, dalam hal ini yang dimaksud tenaga yaitu kuat arus listrik dan tegangan listrik. Parameter tenaga tersebut kemudian disesuaikan dengan kecepatan pengelasan yang kemudian dikombinasikan dengan efisiensi termal untuk memperoleh *heat input* yang diinginkan. Menurut Funderburk (1999), *heat input* sangat mempengaruhi laju pendinginan yang berhubungan dengan properti mekanik, metalurgi struktur, dan *heat affected zone* (HAZ) seperti pada Gambar 2.9.



Gambar 2.9. Grafik Pengaruh *Heat Input* terhadap *Cooling Rate* (Funderburk, 1999)

Pada *heat input* yang telah diaplikasikan pada suatu teknik pengelasan, maka akan dapat diketahui distribusinya, dimana distribusi panas tersebut dipastikan tidak akan merata di keseluruhan logam pengelasan. Menurut

Wirjosumarto (2000), terjadinya distribusi panas yang tidak merata mampu menimbulkan deformasi pada obyek pengelasan. Oleh karena itu, sebelum dilakukan pengelasan, pengelas harus memperhitungkan dengan tepat dan teliti mengenai *heat input* yang akan digunakan berkenaan dengan distribusi suhu. Formulasi *heat input* terdapat pada persamaan 2.1.

$$Q = \eta \frac{V \cdot I}{v} \dots\dots\dots(2.1)$$

Keterangan:

- Q = Heat Input (J/mm)
- η = Efisiensi Termal (%)
- V = Tegangan(V)
- I = Arus (A)
- v = Kecepatan Pengelasan (mm/s)

Menurut Wibowo (2016), tenaga yang merupakan hasil perkalian antara arus dan tegangan, harus dibagi dengan kecepatan pengelasan dikarenakan tenaga dihitung terhadap tiap-tiap satuan panjang garis las dalam 1 s. Efisiensi termal merupakan variabel yang mendeskripsikan bahwa panas yang diberikan ke logam pengelasan tidak sepenuhnya tersalurkan, melainkan terdapat beberapa persen yang terbuang ke lingkungan. Oleh karena itu, efisiensi termal ditentukan berdasarkan metode pengelasan yang digunakan.

b. Aliran Panas

Hukum Fourier telah menyatakan bahwa aliran panas mengalir langsung ke material secara proporsional baik dari area bagian *orthogonal* menuju ke arah aliran panas ataupun menuju ke gradien suhu pada arah tersebut. Formulasi aliran panas satu dimensi telah dituliskan dalam persamaan 2.2.

$$q(x, t) = -\kappa \left(\frac{dT}{dx} \right) \dots\dots\dots (2.2)$$

Keterangan:

- q(x,t) = Aliran Panas

- κ = Konduktivitas Thermal
- T = Suhu

Untuk menentukan formulasi aliran panas tiga dimensi, langkah awal yang dilakukan ialah menetapkan suatu panjang homogen secara diferensial untuk *insulated rod* mulai dari x hingga $x+\Delta x$ dengan luasan sebesar A . Jika ρ merupakan masa jenis maka formulasi massa kecil (*small mass*) dapat dilihat pada persamaan (2.3).

$$\Delta m = \rho A \Delta x \dots\dots\dots(2.3)$$

Heat flux juga berhubungan langsung dengan massa (m), suhu, dan *volumetric specific heat* (c) seperti pada persamaan (2.4).

$$q(x,t) = cmT(x,t) \dots\dots\dots (2.4)$$

Jika persamaan (2.3) disubstitusikan ke persamaan (2.4), maka akan terbentuk formulasi *volume element equivalent heat* seperti pada persamaan (2.5).

$$q = c\rho A \Delta x T \dots\dots\dots (2.5)$$

Laju perubahan energi merupakan perbedaan antara laju *heat input* dengan laju *heat output*, dan telah dituliskan di persamaan (2.6).

$$\frac{dq}{dt} = q_{in}(x,t)A - q_{out}(x + \Delta x, t)A \dots\dots\dots (2.6)$$

Laju perubahan energi juga dapat didiferensiasikan dari persamaan (2.5) hingga menjadi persamaan (2.7).

$$\frac{dq}{dt} = c\rho A \Delta x \frac{dT}{dt} \dots\dots\dots (2.7)$$

Apabila persamaan (2.7) dikombinasikan dengan persamaan (2.6) maka akan menghasilkan formulasi seperti di persamaan (2.8).

$$\rho c A \Delta x \frac{dT}{dt} = A[q(x, t) - q(x + \Delta x, t)] \dots \dots \dots (2.8)$$

Kemudian ketika dibagi dengan Δx dan A , maka akan menghasilkan persamaan (2.9).

$$\rho c \frac{dT}{dt} = \frac{q(x+\Delta x, t) - q(x, t)}{\Delta x} \dots \dots \dots (2.9)$$

Limit $\Delta x \rightarrow 0$ pada ruas kanan persamaan (2.9) merupakan turunan dari q terhadap x yang memberikan persamaan (2.10).

$$\rho c \frac{dT}{dt} = \frac{dq}{dx} \dots \dots \dots (2.10)$$

Dengan menggunakan Hukun Fourier mengenai aliran panas satu dimensi seperti persamaan (2.2), persamaan panas dapat diformulasikan seperti pada persamaan (2.11).

$$\rho c \frac{dT}{dt} = k \frac{d^2T}{dx^2} \dots \dots \dots (2.11)$$

Hingga kemudian dapat dinyatakan untuk memperoleh formulasi aliran panas tiga dimensi seperti pada persamaan (2.12).

$$c \frac{\partial T}{\partial t} = k_x \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + k_y \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + k_z \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \dots \dots \dots (2.12)$$

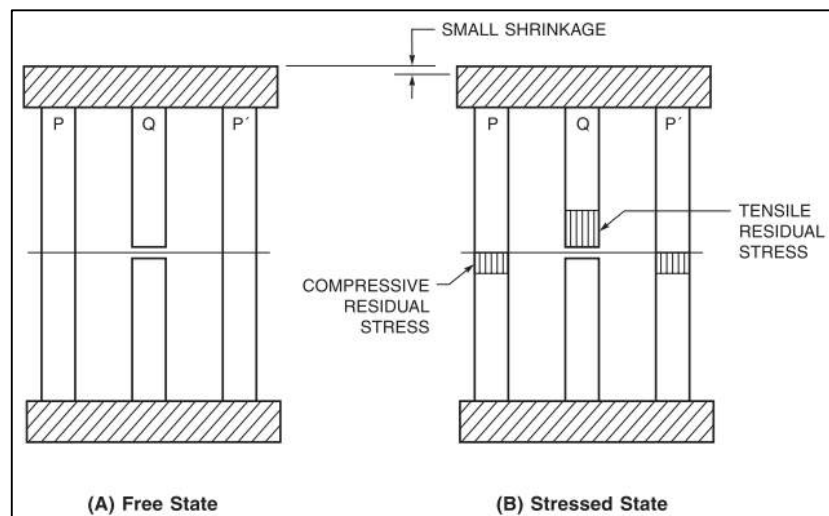
dimana $k = \frac{k}{\rho}$.

2.2.3. Tegangan Sisa

Dalam proses pengelasan jenis apapun, dapat dipastikan timbul suatu perbedaan suhu di sepanjang logam pengelasan. Area yang sedang dilas memiliki panas dengan suhu yang tinggi, namun pasca pengelasan, area pengelasan mengalami penurunan suhu yang terkadang cukup signifikan. Perbedaan suhu tersebut memungkinkan terjadinya pemuaihan dan dekomposisi fasa yang menghambat kinerja obyek, sehingga otomatis akan mengurangi tingkat keefektifitasannya dalam berbagai hal seperti waktu dan biaya.

2.2.3.1. Mekanisme Terjadinya Tegangan Sisa

Tegangan sisa pasca pengelasan umumnya terjadi akibat 2 hal utama yaitu ketidaksesuaian struktural (*structural mismatch*) dan persebaran tak merata dari regangan tak elastis (Masubuchi, 2001). Terdapat visualisasi terjadinya tegangan sisa akibat *structural mismatch* seperti yang telah tercantum pada Gambar 2.10.



Gambar 2.10. Terjadinya Tegangan Sisa Akibat Structural Mismatch (Masubuchi, 2001)

Pada Gambar 2.10 bagian (A) merupakan kondisi *free state* sedangkan bagian (B) merupakan kondisi *stressed state*. Kondisi bagian (B) menunjukkan bahwa jika dua bagian *bar Q* disatukan maka akan terjadi tegangan sisa berupa tegangan tarik yang memberi efek terhadap terjadinya tegangan sisa pula di bar P dan P' yang berupa tegangan tekan.

Proses kedua yang menyebabkan timbulnya tegangan sisa yaitu ketika panas mengalir secara tidak merata ke logam pengelasan, maka akan muncul tegangan termal. Namun, jika panas mengalir secara seragam ke logam pengelasan, maka dapat dipastikan logam akan mengalami perluasan secara seragam juga dan tidak terjadi tegangan termal.

2.2.3.2. Pengukuran Tegangan Sisa

Kalkulasi besarnya tegangan sisa dapat dilaksanakan menggunakan Hukum Hooke. Tegangan sisa didapatkan dari perubahan panjang logam pengelasan sebelum dan setelah pengelasan. Hukum Hooke menyatakan bahwa perubahan ukuran disebabkan oleh adanya tegangan, sehingga besarnya tegangan sisa dapat dinyatakan menggunakan formulasi seperti persamaan (2.13).

$$\sigma = E \frac{\Delta l}{l} \dots\dots\dots(2.13)$$

dimana:

E = Modulus Elastisitas

σ = Tegangan Sisa yang Terjadi

Δl = Perubahan Panjang Sebelum dan Sesudah dipotong

l = Panjang Sebelum dipotong

Menurut Wiryosumarto (2000), untuk tegangan sisa dua dimensi dapat dihitung menggunakan formulasi pada persamaan (2.14) dan (2.15).

$$\sigma_x = \frac{E}{(1-\nu^2)} (\epsilon_x + \nu\epsilon_y) \dots\dots\dots(2.14)$$

$$\sigma_y = \frac{E}{(1-\nu^2)} (\epsilon_y + \nu\epsilon_x) \dots\dots\dots(2.15)$$

dimana:

σ_x = Tegangan Sisa Tegak Lurus Garis Las

σ_y = Tegangan Sisa Searah Garis Las

ν = *Poisson Ratio*

ϵ_x = Regangan Sisa Tegak Lurus Garis Las

ϵ_y = Regangan Sisa Searah Garis Las

2.2.3.3. Cara Mengurangi Tegangan Sisa

Secara umum, tegangan sisa pada area logam pasca pengelasan dapat dihilangkan atau diminimalisir dengan 2 cara, yaitu penghilangan sebelum pengelasan dan pasca pengelasan. Namun, dewasa ini teknik mengurangi tegangan sisa lebih terfokus pada pengurangan secara termal dan mekanikal. Berikut adalah teknik-teknik yang telah sering digunakan:

A. *Conventional Thermal Techniques*

1. *Post Weld Heat Treatment (PWHT)*

Jenis teknik pengurangan tegangan sisa ini dilakukan pada suhu beberapa ratus derajat kelvin diatas suhu lingkungan sekitarnya. Hal tersebut terjadi karena untuk membiarkan logam terelaksasi secara otomatis. PWHT ialah pemberian panas ulang (*reheating*) ke logam pengelasan hingga mencapai suhu dibawah suhu tranformasi (Arifin, 2016). Pemberian panas ulang tersebut dilakukan dengan laju pemanasan yang stabil, beserta laju pendinginan yang stabil pula.

2. Kontrol Masukan Panas Selama Pengelasan

Masukan panas yang dimaksud dalam teknik ini ialah *preheat*, dimana *preheat* harus diberikan secara seragam. Pemberian *preheat* secara seragam pada area pengelasan dilakukan untuk mengurangi *thermal gradient* agar peleburan dapat terjadi pada permukaan area pengelasan (Coules, 2012).

B. *Conventional Mechanical Techniques (Peening)*

Pada teknik ini, terdapat butiran-butiran baja berdiameter kecil yang ditembakkan ke logam pengelasan untuk menghasilkan tegangan sisa tekan di permukaan logam pengelasan. *Peening* mampu membuat logam pengelasan memiliki kekuatan *fatigue* yang besar. Tegangan sisa tekan di permukaan logam pengelasan tersebut mampu mengurangi efek konsentrasi tegangan dari *notches*, *fillets*, *forging pits*, dan *surface defect*,

selain itu juga mampu mengurangi tegangan sisa yang dihasilkan pasca proses pengelasan (Prasetyo, 2012).

C. *Advanced Thermal Techniques*

1. *Localised Cooling*

Teknik *localised cooling* dilakukan dengan cara memanipulasi distribusi suhu pada logam pengelasan. Pada teknik ini, *intense heat sink* mengikuti sumber panas pengelasan untuk membentuk distribusi suhu dengan bentuk *valey-shaped*.

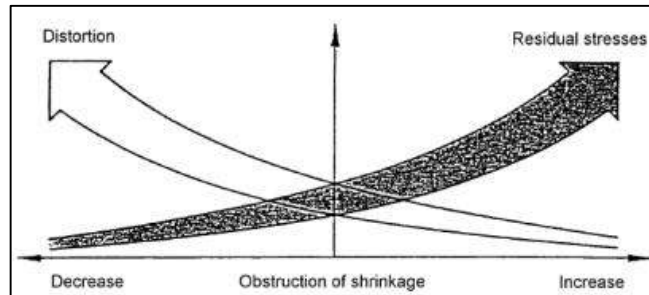
2. *Localised Heating*

Pada teknik *localised heating*, teknik ini memproduksi *tensile stress* disepanjang arah longitudinal selama proses pengelasan (Coules, 2012). *Localised heating* diaplikasikan disamping area pengelasan setelah proses pengelasan untuk memberikan *stress* berlebih pada logam pengelasan. Setelah itu, terjadilah proses *yielding* yang mampu menghilangkan tegangan sisa tarik.

2.2.4. Distorsi

Distorsi pada pengelasan didapatkan dari ekspansi dan kontraksi logam pengelasan selama siklus pemanasan dan pendinginan. Faktor yang mempengaruhi terjadinya distorsi yaitu properti fisik maupun mekanik. Sebagai contoh, jika suhu di area pengelasan meningkat maka *yield strenght*, elastisitas, dan konduktivitas termal akan mengalami penyusutan, sedangkan ekspansi termal dan *specific heat* meningkat.

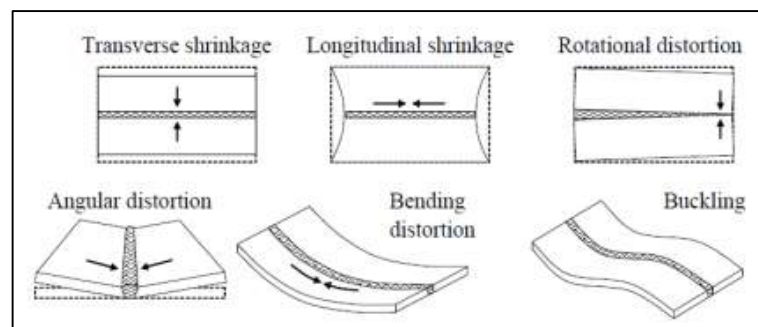
Distorsi dan tegangan sisa memiliki hubungan satu sama lain. Hal ini dikarenakan keduanya timbul karena adanya suatu kejadian yang sama, yaitu perbedaan suhu secara signifikan antara logam yang sedang dilakukan pengelasan dengan logam pasca pengelasan. Hubungan antara tegangan sisa dan distorsi terdapat pada Gambar 2.11.



Gambar 2.11. Hubungan antara Tegangan Sisa dan Distorsi (Syahroni, 2012)

Pada Gambar 2.11 menyatakan bahwa semakin tebal material maka tegangan sisa semakin tinggi namun distorsi semakin kecil. Sebaliknya, semakin tipis material maka tegangan sisa semakin kecil namun distorsi semakin tinggi.

Jenis-jenis distorsi pada logam pengelasan dibagi menjadi 6 jenis seperti terdapat pada Gambar 2.12.



Gambar 2.12. Jenis-jenis Distorsi pada Logam Pengelasan (Shen, 2013)

a) *Transverse Shrinkage*

Penyusutan yang memiliki arah tegak lurus terhadap garis pengelasan.

b) *Longitudinal Shrinkage*

Penyusutan yang searah terhadap garis pengelasan.

c) *Rotational Distortion*

Deformasi pada bidang logam di area garis las yang tegak lurus terhadap plat.

d) *Angular Distortion*

Distorsi ini terjadi jika pengelasan hanya dilakukan di satu sisi, sehingga sudut di garis las mengalami perubahan.

e) *Bending Distortion*

Ketidakmerataan distribusi panas yang menyebabkan logam las mengalami pelenturan, yaitu menuju titik tengah garis las.

f) *Buckling Distortion*

Ketidakmerataan distribusi panas yang menyebabkan logam las mengalami penekukan dengan arah cenderung acak.

2.2.5. Proses Pengelasan pada Kapal

Satu pertiga dari seluruh kegiatan pembangunan kapal merupakan proses pengelasan (Wirjosumarto, 2000). Beberapa variabel yang mempengaruhi keefektifitasan suatu pengelasan kapal ialah jenis pengelasan yang digunakan, posisi pengelasan sesuai dengan konstruksi kapal, bahan yang digunakan selama pengelasan, variasi dalam urutan pengelasan, serta kemampuan *welding supervisor*, insinyur las, dan pengelas.

Menurut Wirjosumarto (2000), langkah-langkah untuk melakukan pengelasan pada tiap-tiap bagian blok *assembly* berupa kotak yang telah disusun ialah sebagai berikut:

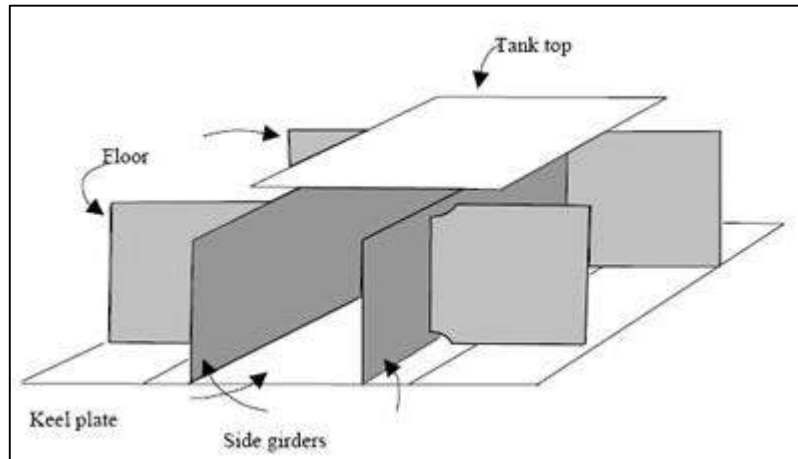
- a) Pemeriksaan ukuran alur.
- b) Penyusunan dan pentanahan mesin las.
- c) Pemilihan bahan las.
- d) Penentuan urutan pengelasan.
- e) Pembersihan alur dari debu, minyak, dan karat.

Setelah seluruh material tergabung, sambungan pengelasan harus diperiksa berkenaan dengan bentuk las yang meliputi lebar, tinggi, bentuk gelombang, panjang kaki, adanya takik, serta adanya lubang di dalam (Wirjosumarto, 2000).

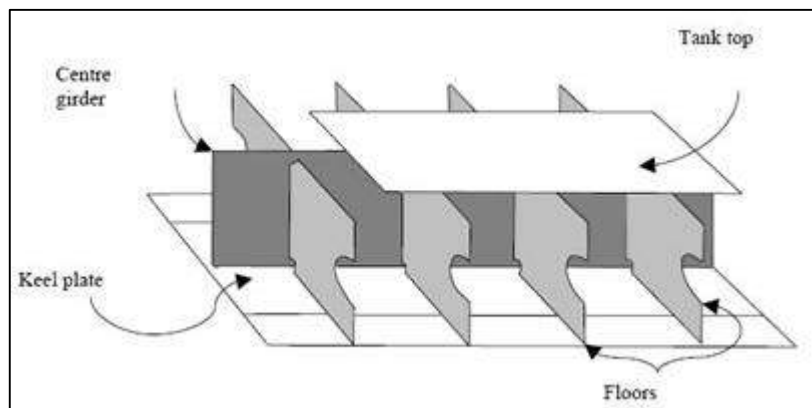
2.2.6. Keel

Keel merupakan salah satu bagian dari struktur kapal yang disusun secara longitudinal hingga membentuk dasar struktur dari suatu kapal. Posisi *keel* harus selalu disesuaikan dengan *centreline*. *Keel* merupakan komponen utama dalam hal menyediakan kekuatan longitudinal dan *efficiently distributes local stresses* ketika kapal sedang *dry docked*. Terdapat 2 jenis *keel* yang seringkali digunakan dalam

pembangunan kapal yaitu *duct keel* dan *flat keel* seperti yang tertera pada Gambar 2.13. dan 2.14.

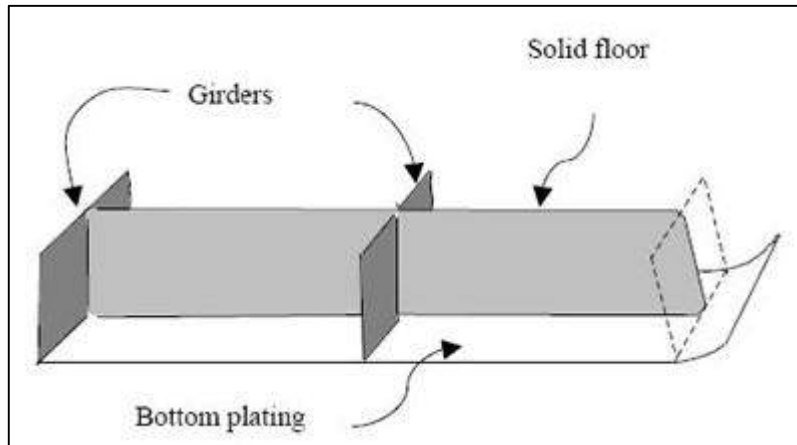


Gambar 2.13. Struktur *Duct Keel* (Transport, 2010)

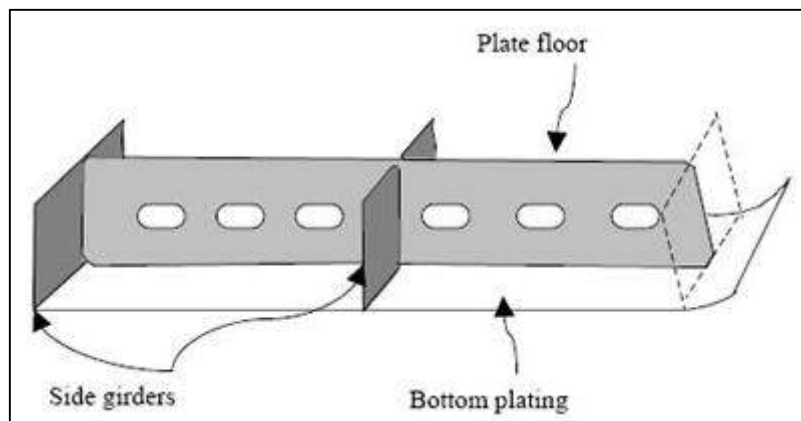


Gambar 2.14. Struktur *Flat Keel* (Transport, 2010)

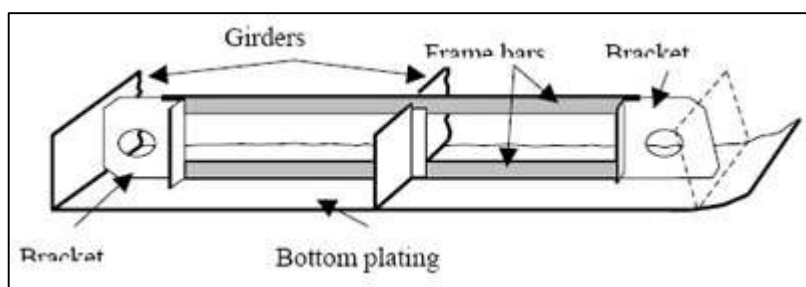
Pada Gambar 2.13 dan 2.14 *keel plate* tersusun atas *girder* yang merupakan *longitudinal member* berupa susunan kontinyu atau dipisahkan oleh *floor sections*. *Girder* yang berperan sebagai *girder* kontinyu selalu berupa satu kesatuan yang kontinyu dan harus ditempatkan diatas *keel* dengan cara pengelasan kontinyu juga. *Girder* harus diperpanjang sepanjang mungkin dari depan hingga belakang kapal. Struktur yang memberi sekat atau pemisah untuk *girder* disebut sebagai *floor*, yaitu *member* yang disusun tegak lurus *keel* dan *girder*. Terdapat 3 jenis *floor* yaitu *solid*, *plate*, dan *bracket* seperti ditunjukkan pada Gambar 2.15 hingga 2.17.



Gambar 2.15. Struktur *Girder* dengan *Solid Floor* (Transport, 2010)



Gambar 2.16. Struktur *Girder* dengan *Plate Floor* (Transport, 2010)



Gambar 2.17. Struktur *Girder* dengan *Bracket Floor* (Transport, 2010)

2.2.7. Metode Elemen Hingga

Dewasa ini metode elemen hingga seringkali digunakan dalam proses manufaktur perindustrian, namun masih belum menjadi hal yang biasa, padahal metode elemen hingga mampu meningkatkan produktivitas dan kualitas suatu produk. Menurut Anca (2008), keuntungan aplikasi metode elemen hingga ialah evolusi dalam memprediksi terjadinya tegangan dan deformasi. Sebagai contoh ialah metode elemen hingga mampu memberikan informasi mengenai kerentanan suatu struktur untuk retak, sehingga dapat mencegah terjadinya kegagalan dalam proses produksi maupun *service*. Selain itu juga dapat digunakan pula untuk mengoptimalkan kegiatan-kegiatan selama proses manufaktur.

Analisis menggunakan simulasi metode elemen hingga merupakan jawaban dari sulitnya menggunakan analisis matematis dalam rangka penyelesaian analisis struktural. Menurut Wibowo (2016), simulasi metode elemen hingga dilakukan dengan cara membagi suatu sistem menjadi beberapa titik simpul (*node*) atau seringkali disebut pendiskretan untuk selanjutnya dilakukan penyelesaian masalah pada titik-titik tersebut, lalu menggabungkan hasil keseluruhannya untuk memperoleh solusi total yang diinginkan.

Secara umum, analisis menggunakan metode elemen hingga untuk mengetahui besarnya tegangan sisa dan distorsi pada pengelasan ialah *transient thermal analysis* dan *transient structural analysis*.

a) Analisis *Transient Thermal* menggunakan Metode Elemen Hingga

Menurut Radovanovic (1998), langkah awal dalam melakukan analisis *transient thermal* menggunakan metode elemen hingga ialah menentukan kondisi inisial berupa suhu seragam di semua titik nodal. Kemudian proses *transient* dimulai dan *thermal field* didapatkan dengan menyelesaikan persamaan panas klasik seperti pada persamaan (2.13).

$$\rho c_p \frac{\partial T}{\partial t} = q + \frac{\partial}{\partial x} \left(k_x \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(k_y \frac{\partial T}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(k_z \frac{\partial T}{\partial z} \right) \dots \dots \dots (2.13)$$

dimana:

ρ = Massa Jenis

c_p = *Specific Heat*

T = Suhu $T = T(x,y,z,t)$

t = Waktu

q = Laju *Heat Generation* per Unit Volume

k_x, k_y, k_z = Konduktivitas pada Arah Elemen $x, y,$ dan z secara berurutan

Kondisi batas (*boundary condition*) yang digunakan dalam analisis termal dapat diuraikan sebagai berikut:

- Suhu yang telah ditentukan untuk bekerja pada permukaan S_1 . Permukaan tersebut merupakan permukaan yang berhubungan langsung dengan bagian dasar. Formulasi kondisi batasnya ialah seperti pada persamaan (2.14).

$$T = T' \dots\dots\dots 2.14)$$

T' merupakan suhu yang telah ditentukan.

- Laju panas yang telah ditentukan untuk bekerja pada permukaan S_2 . Permukaan tersebut merupakan permukaan yang berhubungan langsung dengan udara. Formulasi kondisi batasnya ialah seperti pada persamaan (2.15).

$$\left(k_x \frac{\partial T}{\partial x} + k_y \frac{\partial T}{\partial y} + k_z \frac{\partial T}{\partial z} \right) = q^* \dots\dots\dots (2.15)$$

q^* merupakan laju panas yang telah ditentukan.

Persamaan (2.13) dapat dituliskan dalam bentuk matriks seperti pada persamaan (2.16) di bawah ini.

$$[C]\{\dot{T}\} + [\bar{K}]\{T\} = \{\bar{Q}\} \dots\dots\dots (2.16)$$

dimana:

$[C]$ = Matrik *Specific Heat*

$\{\dot{T}\}$ = Vektor Penurunan Waktu diatas Suhu *Nodal*

$[\bar{K}]$ = Matriks Konduktivitas Panas

$\{T\}$ = Vektor Suhu *Nodal*

$\{\bar{Q}\} = \text{Vektor Heat Flux}$

Jika ingin menghitung suhu *nodal* maka persamaan (2.16) dapat diintegrasikan. Kemudian hasilnya dapat digunakan sebagai beban termal pada analisis struktural.

b) Analisis *Transient Structural* menggunakan Metode Elemen Hingga

Menurut Radovanovic (1998), langkah awal dalam melakukan analisis *transient structural* menggunakan metode elemen hingga ialah menentukan hubungan tegangan-regangan untuk material linier. Formulasinya telah dituliskan di persamaan (2.17).

$$\{\sigma\} = [D](\{\varepsilon\} - \{\varepsilon^{th}\}) \dots\dots\dots(3.17)$$

dimana:

$\{\sigma\}$ = Vektor Tegangan yaitu $[\sigma_x \sigma_y \sigma_z \sigma_{xy} \sigma_{yz} \sigma_{xz}]^T$

$[D]$ = Matriks Elastisitas

$\{\varepsilon\}$ = Vektor Regangan yaitu $[\varepsilon_x \varepsilon_y \varepsilon_z \varepsilon_{xy} \varepsilon_{yz} \varepsilon_{xz}]^T$

$\{\varepsilon^{th}\}$ = Vektor Regangan Termal

Tanda minus menunjukkan kompresi, sedangkan plus menunjukkan tegangan. Untuk mengetahui regangan, persamaan (2.17) dapat dituliskan kembali seperti pada persamaan (2.18).

$$\{\varepsilon\} = \{\varepsilon^{th}\} + [D]^{-1}\{\sigma\} \dots\dots\dots(2.18)$$

Langkah selanjutnya ialah menentukan matriks kekakuan elemen dari prinsip kerja virtual. Formulasi yang kerja virtual telah dituliskan di persamaan (2.19).

$$\delta U = \delta V \dots\dots\dots(2.19)$$

dimana:

U = Energi Regangan (kerja internal) yang dinyatakan dengan $U_1 + U_2$

- V = Kerja Eksternal yang dinyatakan dengan $V_1 + V_2 + V_3$
- δ = Operator Variasi

Energi regangan virtual lalu dapat dituliskan seperti pada persamaan (2.20) di bawah ini.

$$\delta U = \int \{\delta \epsilon\}^T \{\sigma\} dV \dots\dots\dots(2.20)$$

dimana:

- $\{\delta \epsilon\}$ = Vektor Regangan
- $\{\sigma\}$ = Vektor Tegangan

Jika diasumsikan properti material dan geometrinya linier, maka persamaan (2.20) dapat dituliskan kembali menjadi persamaan (2.21).

$$\delta U = \int (\{\delta \epsilon\}^T [D] \{\epsilon\} - \{\delta \epsilon\}^T [D] \{\epsilon^{th}\}) dV \dots\dots\dots (2.21)$$

Kemudian hubungan antara regangan dengan displasemen nodal dapat dituliskan seperti pada persamaan (2.22).

$$\{\epsilon\} = [D] (\{\epsilon\} - \{\epsilon^{th}\}) \dots\dots\dots(2.22)$$

Ketika persamaan (2.21) dikombinasikan dengan persamaan (2.22) maka akan didapatkan persamaan (2.23).

$$\delta U = \{\delta u\}^T \int [B]^T [D] [B] dV \{u\} - \{\delta u\}^T \int [B]^T [D] [\epsilon^{th}] dV \dots\dots\dots (2.23)$$

dimana:

- [B] = Matriks Tegangan-Displasemen, berdasarkan fungsi bentuk elemen
- {u} = Vektor Displasemen Nodal

Untuk memperoleh matriks kekakuan element, maka perlu mengetahui formulasi kerja virtual eksternal akibat gaya yang diberikan kepada titik nodal seperti pada persamaan (2.24).

$$\delta V = \{\delta u\}^T \{F_e^{nd}\} \dots\dots\dots(2.24)$$

dimana:

$$\{F_e^{nd}\} = \textit{Generalized Nodal Point Forces}$$

Kerja virtual internal harus memiliki kesesuaian dengan kerja virtual eksternal. Menyamakan persamaan (2.23) dengan (2.24) dan penghilangan $\{\delta u\}^T$ dari kedua sisi akan didapatkan persamaan (2.25) seperti di bawah ini.

$$[K_e]\{u\} - \{F_e^{th}\} = \{F_e^{nd}\} \dots\dots\dots (2.25)$$

dimana:

$$[K_e] = \int_v [B]^T [D] [B] dV \quad \text{adalah Matriks Kekakuan Elemen}$$

$$\{F_e^{th}\} = \int_v [B]^T [D] \{e^{th}\} dV \quad \text{adalah Vektor Beban Termal}$$

Persamaan (2.25) menyatakan keseimbangan dalam persamaan satu elemen. Selanjutnya, matriks kekakuan elemen harus diintegalkan secara sistematis menggunakan formulasi kekakuan elemen-elemen seperti pada persamaan (2.26).

$$\{F\} = [K] \{u\} \dots\dots\dots(2.26)$$

dimana:

$$\{F\} = \text{Beban Titik Nodal Eksternal (diketahui)}$$

$$\{u\} = \text{Displasemen Titik Nodal yang tidak diketahui dan harus diselesaikan.}$$

Jika displasemen titik nodal telah diketahui, maka tegangan di setiap elemen dapat diketahui dengan menggunakan persamaan (2.27).

$$\{\sigma\} = [D][B]\{u\} \dots\dots\dots(2.27)$$

2.2.8. Analisis *Transient Thermal* dengan ANSYS *Mechanical*

Analisis *transient thermal* memiliki fungsi untuk menentukan suhu maupun berbagai paramater termal yang memiliki variasi terhadap waktu. Hasil yang akan diperoleh yaitu berupa distribusi suhu (panas) yang mampu memicu terjadinya kegagalan suatu struktur atau material. Hasil analisis *transient thermal* ini dapat digunakan untuk melakukan analisis struktural berkenaan dengan beban-beban apa saja yang terdapat pada struktur atau material analisis.

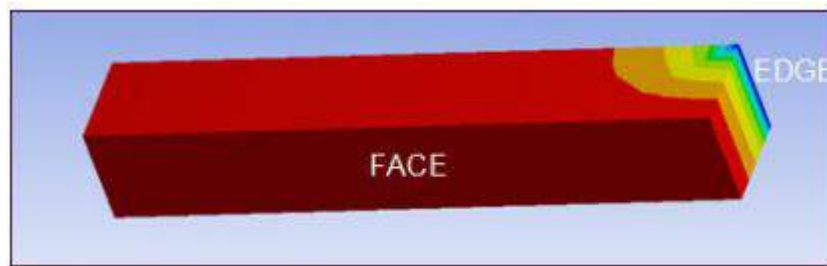
Analisis *transient thermal* memiliki 2 jenis, yaitu dapat berupa analisis linier ataupun non-linier. Umumnya analisis non-linier terjadi akibat suhu yang sangat bergantung pada properti yang dimiliki material seperti konduktivitas termal, *specific heat*, dan massa jenis, serta suhu yang bergantung pada koefisien konveksi ataupun efek radiasi. Mayoritas material memiliki properti termal yang bervariasi terhadap suhu, oleh karena itu analisis *transient thermal* non-linier seringkali digunakan.

Berikut adalah langkah-langkah umum pengerjaan analisis *transient thermal* berdasarkan ANSYS *Mechanical User's Guide*:

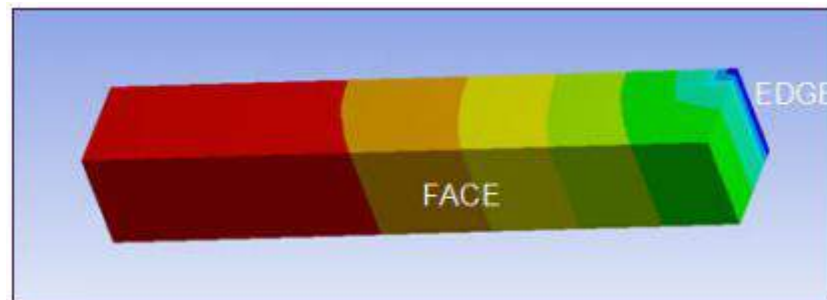
- Memilih jenis analisis, yaitu *transient thermal analysis*. Dalam satu jenis analisis, terdapat satu sistem analisis independen yang merepresentasikan satu jenis analisis tertentu yang memiliki beberapa parameter seperti properti geometri dan model. Beberapa jenis analisis memiliki hasil akhir yang mampu dijadikan bahan dasar untuk melakukan analisis lain, seperti halnya hasil *transient thermal analysis* mampu dijadikan bahan dasar analisis struktural.
- Menetapkan data *engineering* sesuai jenis analisis yang dipilih. Pada analisis *transient thermal*, data yang harus ditetapkan yaitu konduktivitas termal, massa jenis, dan *specific heat*. Data *engineering* yang ditetapkan sehubungan dengan properti material dapat berupa linier atau non-linier, konstan atau *temperature-dependent*, serta *isotropik* atau *ortotropik*.
- Melampirkan data geometri. ANSYS memiliki keterbatasan berupa ketidakmampuan untuk melakukan permodelan geometri. Oleh karena itu, permodelan geometri harus dilakukan di *software* permodelan pendukung yang

hasilnya mampu diimpor ke ANSYS dengan beberapa ketentuan sesuai dengan jenis analisis yang dilakukan. Beberapa *software* permodelan yang hasilnya mampu diimpor ke ANSYS yaitu DesignModeler, CAD, dan SolidWorks.

- Menetapkan parameter jenis analisis. Analisis *transient thermal* memiliki parameter yang harus ditentukan yaitu massa titik termal (*thermal point mass*). Massa titik termal memiliki fungsi untuk menunjukkan kapasitas termal dari suatu material atau struktur yang sedang dianalisis. Massa titik termal mempunyai 3 pilihan sifat yang mampu mengatur interaksinya dengan struktur atau material yang sedang dianalisis, yaitu meliputi *isothermal*, *coupled*, dan *heat-flux distributed*. Contoh sifat isothermal dan distribusi *heat-flux* telah ditampilkan pada Gambar 2.18 dan 2.19.



Gambar 2.18. Massa Titik Termal menggunakan Sifat Isothermal (Panduan Penggunaan ANSYSMechanical, 2013)



Gambar 2.19. Massa Titik Termal menggunakan Sifat Distribusi Heat-Flux (Panduan Penggunaan ANSYSMechanical, 2013)

- Menentukan jenis sambungan. Setelah mengimpor permodelan geometri serta menentukan parameter sesuai jenis analisis yang dipilih, maka langkah selanjutnya ialah menentukan jenis sambungan yang mampu mempertahankan

struktur atau material yang sedang dianalisis. Pada analisis *transient thermal*, jenis sambungan yang digunakan ialah *contact*.

- Mengaplikasikan *Mesh Controls* dan *Preview Mesh*. Ketika melakukan *meshing*, jika suhu dalam analisis yang dipilih digunakan dalam analisis struktural, maka *meshing* yang digunakan haruslah identik. Oleh karena itu, pemilihan dalam *meshing* harus benar-benar diperhatikan agar analisis struktural dapat berjalan lancar.
- Menetapkan pengaturan analisis. Pengaturan analisis *transient thermal* yang harus diperhatikan yaitu waktu berakhirnya analisis, durasi setiap langkah analisis, dan penetapan langkah tambahan jika dibutuhkan.
- Menentukan kondisi inisial. Kondisi inisial dalam analisis *transient thermal* meliputi distribusi suhu pada waktu $(t) = 0$, dan suhu inisial yang pada umumnya sebesar 22°C atau $71,6^{\circ}\text{F}$.
- Mengaplikasikan beban yang terdapat pada analisis *transient thermal*, yaitu suhu, konveksi, radiasi, laju panas, *perfectly insulated*, *heat flux*, *internal heat generation*, *imported temperature*, dan *imported convection coefficient*.
- Melakukan *running* analisis.
- Memperoleh hasil analisis. Setelah hasil analisis muncul, maka hasil tersebut dapat divisualisasikan dengan cara mengkontur ataupun menganimasikannya untuk meninjau ulang respon struktur atau material yang telah dianalisis.

2.2.9. Analisis Transient Structural dengan ANSYS Mechanical

Analisis *transient structural* pada dasarnya juga memiliki jenis linier ataupun non-linier. Tujuan dari analisis ini ialah untuk memperoleh respon dinamis struktur akibat beban yang bergantung terhadap waktu. Berikut adalah langkah-langkah analisis *transient structural* berdasarkan panduan penggunaan ANSYS *Mechanical*:

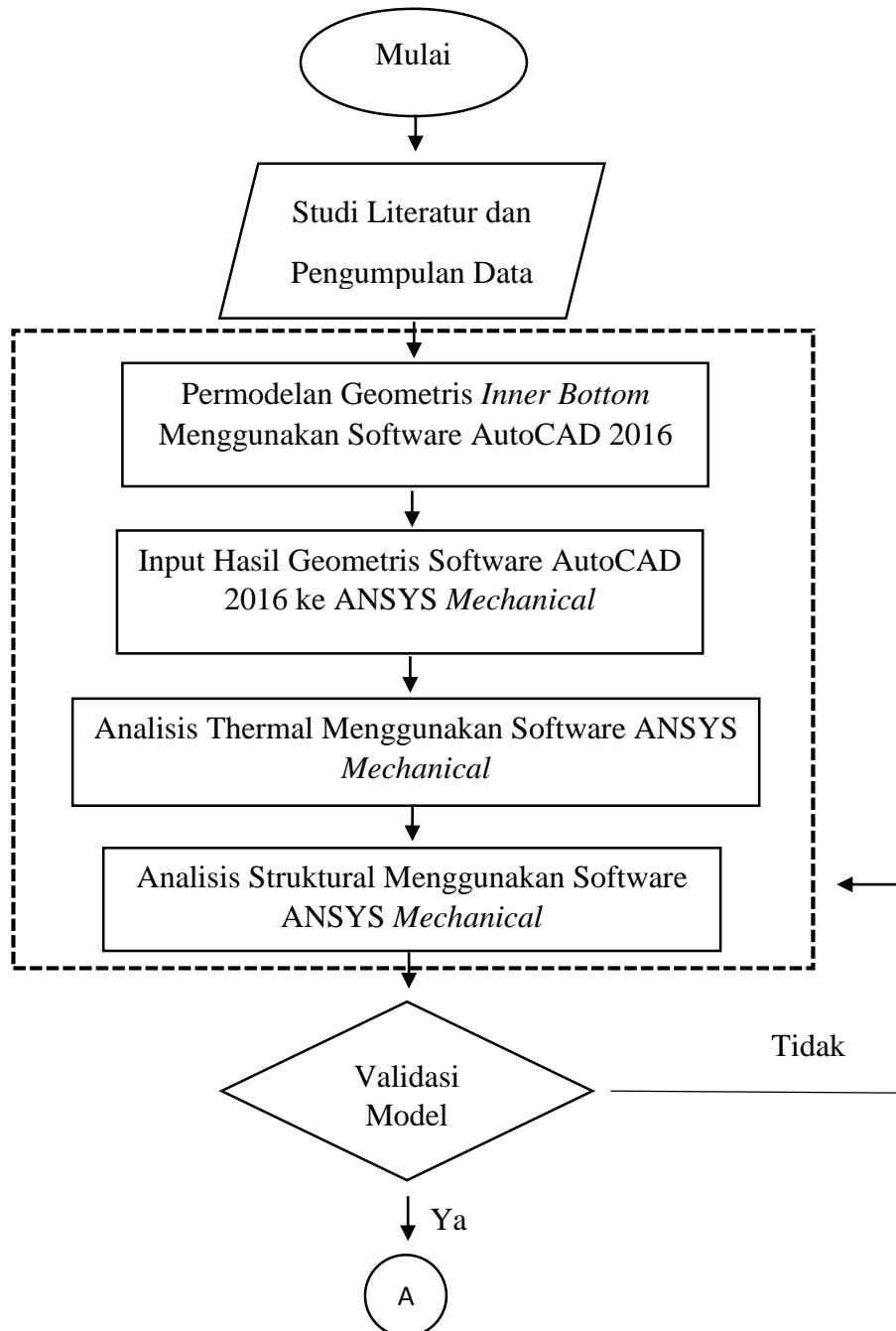
- Memilih jenis analisis, yaitu *transien structural analysis*.
- Menetapkan data *engineering* sesuai jenis analisis yang dipilih. Pada analisis *transient structural*, data yang harus ditetapkan yaitu properti material. Properti material dapat berupa bentuk linier atau non-linier, *isotropik* atau

ortotropik, dan konstan atau *temperature-dependent*. Modulus *Young* berkenaan dengan kekakuan serta massa jenis juga harus ditetapkan dalam langkah ini.

- Melampirkan data geometri. Data yang dilampirkan merupakan data geometri yang telah dimodelkan di *software* permodelan seperti DesignModeler, CAD, dan SolidWorks.
- Menetapkan parameter jenis analisis. Analisis *transient structural* memiliki parameter yang harus ditentukan yaitu massa titik (*point mass*). Massa titik dalam hal ini yaitu berupa bagian kaku (*rigid*) dari struktur atau material yang sedang dianalisis yang terhubung ke seluruh komponen sistem struktural melalui sambungan (*joints*). Beban yang digunakan ialah percepatan dan kecepatan rotasional.
- Menentukan jenis sambungan. Pada analisis *transient structural*, jenis sambungan yang digunakan ialah *contact*, *springs*, dan *joints*.
- Mengaplikasikan *Mesh Controls* dan *Preview Mesh*. Pada jenis analisis jenis *transient structural*, *mesh* harus cukup sesuai untuk merepresentasikan *mode shape* tertinggi yang diinginkan.
- Menetapkan pengaturan analisis. Pengaturan analisis *transient structural* yang harus diperhatikan yaitu defleksi yang besar, durasi setiap langkah analisis, waktu tunggu yang diperlukan untuk dapat melakukan analisis selanjutnya berdasarkan hasil akhir, modifikasi kriteria konvergensi, penentuan koefisien kekakuan, koefisien massa, dan *numerical damping*, serta pengaturan hasil akhir analisis untuk dapat digunakan sebagai bahan dasar jenis analisis berikutnya.
- Menentukan kondisi inisial. Kondisi inisial yang harus ditentukan diantaranya waktu ($t = 0$), serta displasemen dan kecepatan harus nol.
- Mengaplikasikan beban yang terdapat pada analisis *transient structural* harus memiliki nilai yang konstan serta bervariasi terhadap waktu.
- Melakukan *running* analisis
- Memperoleh hasil analisis. Setelah hasil analisis muncul, maka hasil tersebut dapat divisualisasikan dengan cara mengkontur ataupun menganimasikannya untuk meninjau ulang respon struktur atau material yang telah dianalisis.

BAB III
METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Skema Diagram Alir



Gambar 3. 1 Diagram Alir Metodologi Penelitian



Gambar 3.1. Diagram Alir Metodologi Penelitian (lanjutan)

Berikut adalah Penjelasan Diagram Alir:

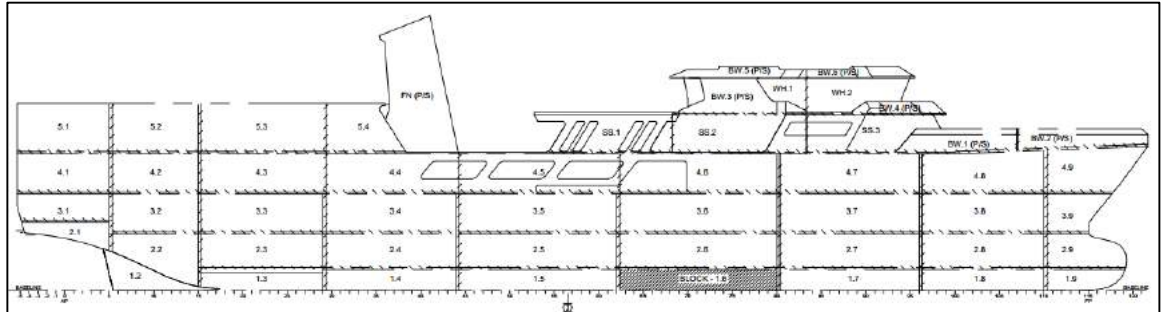
a) Studi Literatur

Studi literatur pada rancangan proposal tugas akhir ini dilakukan dengan mengumpulkan bahan referensi dan rujukan untuk dipelajari sebagai pendukung dalam kegiatan penelitian, diantaranya adalah dengan mencari beberapa referensi berupa buku serta laporan tugas akhir terdahulu untuk mencari dasar teori yang digunakan selama pengerjaan berkenaan dengan pengaruh variasi urutan pengelasan terhadap tegangan sisa dan distorsi pada konstruksi *inner bottom* Kapal Survey Geomarin IV.

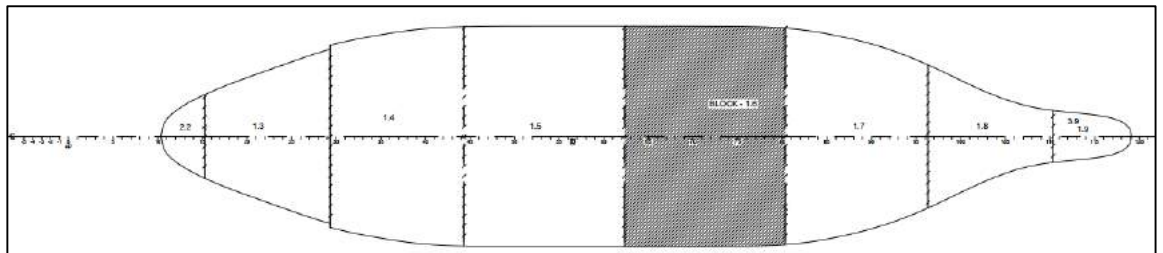
b) Pengumpulan Data

Pengumpulan data dilakukan untuk memperoleh data dimensi *inner bottom* Kapal Survey Geomarin IV yang sesuai dengan kondisi sebenarnya. Selain itu, referensi variasi urutan pengelasan SAW serta pengaruhnya terhadap besar tegangan sisa dan distorsi juga diperlukan untuk mencapai tujuan penelitian.

Gambar Desain Kapal Survey Geomarin IV yang telah dibagi menjadi beberapa blok *assembly* telah dicantumkan pada Gambar 3.1.



Gambar 3. 2 Gambar Detail Pembagian Blok Kapal Survey Geomarin IV Tampak Samping (Citra Mas, 2016)



Gambar 3. 3 Gambar Pembagian Blok Kapal Survey Geomarin IV dilihat dari *Inner Bottom Deck* (Citra Mas, 2016)

Blok yang diambil untuk analisis tegangan sisa dan distorsi pada Tugas Akhir ini ialah Blok 1.6 karena memiliki tegangan struktural paling kritis.

Gambar *inner bottom* Blok 1.6 tampak atas dan detail salah satu *frame inner bottom* telah tercantum pada Gambar 3.3 dan 3.4 secara berurutan.

Detail dimensi tiap *floor* yang dilas di *inner bottom* telah tersedia juga pada Gambar 3.4 diatas yang selanjutnya dapat dijadikan *input* permodelan geometris. Terdapat 3 bagian utama dari *double bottom*, yaitu bagian *inner bottom*, *bilge*, dan plat alas, namun yang dianalisis dalam Tugas Akhir ini ialah bagian *inner bottom*.

c) Permodelan Geometris *Inner Bottom* Menggunakan *Software AutoCAD 2016*

Permodelan dilakukan menggunakan *Software AutoCAD 2016* untuk membuat bentuk geometris dari struktur *inner bottom*.

d) *Input* Hasil Geometris *Software AutoCAD 2016* ke *ANSYS Mechanical*

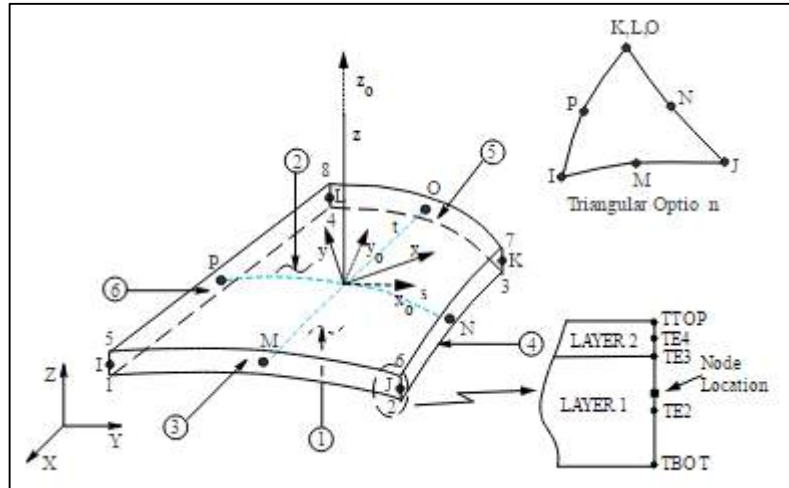
Hasil dari permodelan geometris pada *software AutoCAD 2016* diinputkan pada *software ANSYS Mechanical*. Hasil masukan bentuk geometris pada *ANSYS Mechanical* harus tampak sama dengan bentuk geometris sesungguhnya

e) Analisis Termal Menggunakan *Software ANSYS Mechanical*

Setelah dipastikan bentuk geometri yang akan dianalisis sesuai, maka dilakukan *meshing* atau pembagian struktur jadi bentuk elemen-elemen kecil. Pada Tugas Akhir ini, *meshing* hanya dilakukan pada elemen *shell*. Penjelasan detail alasan pemilihan elemen *shell* ialah sebagai berikut:

- *Meshing* dengan jenis *shell* lebih mudah untuk dibuat.
- Elemen *shell* memiliki durasi waktu *running* simulai yang cepat daripada elemen lainnya seperti elemen *solid*, sehingga hal tersebut mampu meningkatkan keefektifitasan proses fabrikasi kapal (Wibisono, 2017).
- Masalah yang terjadi akibat stabilitas jarang terjadi.
- Elemen *shell* membutuhkan sedikit penyimpanan sehingga sangat cocok untuk analisis dengan obyek yang kompleks dan besar.

Jenis elemen *shell* yang digunakan untuk analisis thermal yaitu SHELL132, dimana menurut panduan manual ANSYS (1999) SHELL132 merupakan elemen tiga dimensi yang memiliki *in-plane thermal conductivity capabilities*. Detail elemen SHELL132 telah tercantum pada Gambar 3.5.

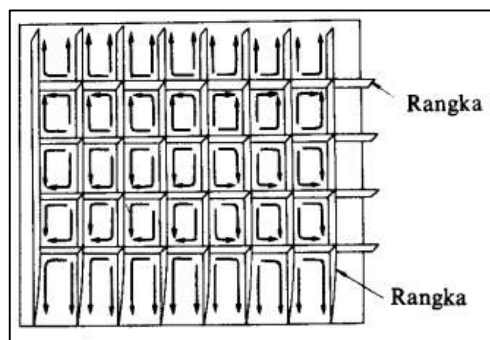


Gambar 3. 6 Detail Elemen SHELL132 pada ANSYS (Panduan Manual ANSYS, 1999)

Berikutnya dimasukkan data-data properti material. Selanjutnya dilakukan pembebanan panas secara *transient* sesuai dengan alur pengelasan. Alur pengelasan yang akan dilakukan ada 4 jenis, yaitu:

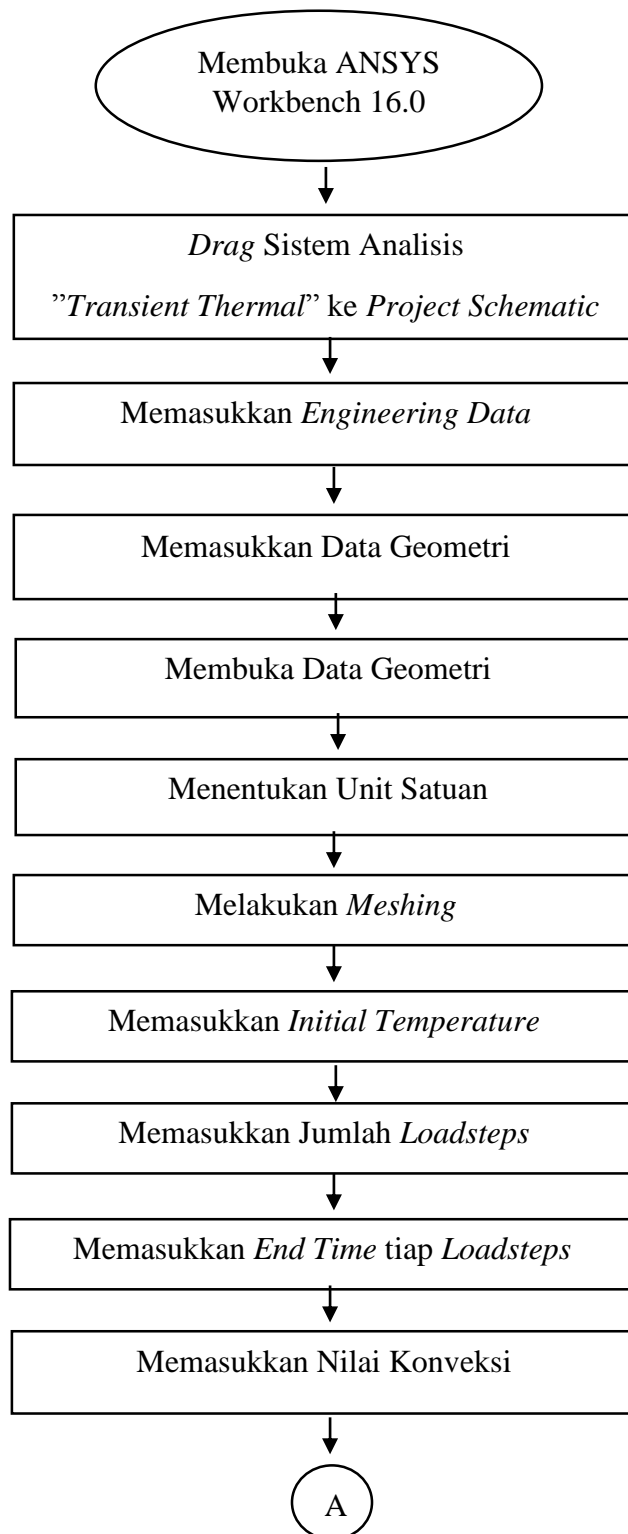
- Dari *Starboard* ke *Port Side* mulai *frame* 76 hingga *frame* 74.
- Dari *Port Side* ke *Starboard* mulai *frame* 76 hingga *frame* 74.
- *Zigzag* mulai dari *Starboard* mulai *frame* 74 hingga *frame* 76.
- *Zigzag* mulai dari *Port Side* mulai *frame* 74 hingga *frame* 76.

Visualisasi detail salah satu urutan pengelasan terdapat pada Gambar 4.6.

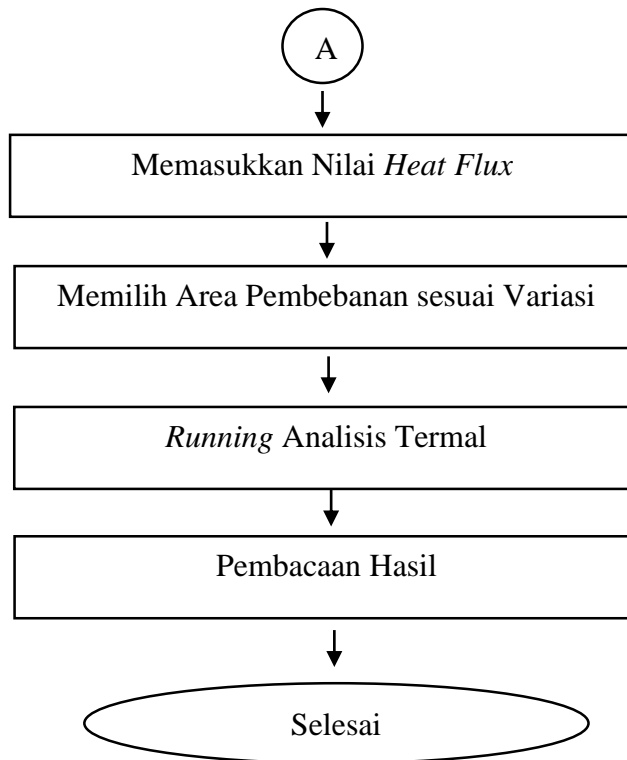


Gambar 3. 7 Urutan Pengelasan dari Tengah ke Sisi pada Pelat Kapal secara Memanjang (Wirjosumarto, 2000)

Berikut adalah skema diagram alir untuk analisis *transient thermal*.



Gambar 3. 8 Diagram Alir Analisis Termal



Gambar 3.8. Diagram Alir Analisis Termal (lanjutan)

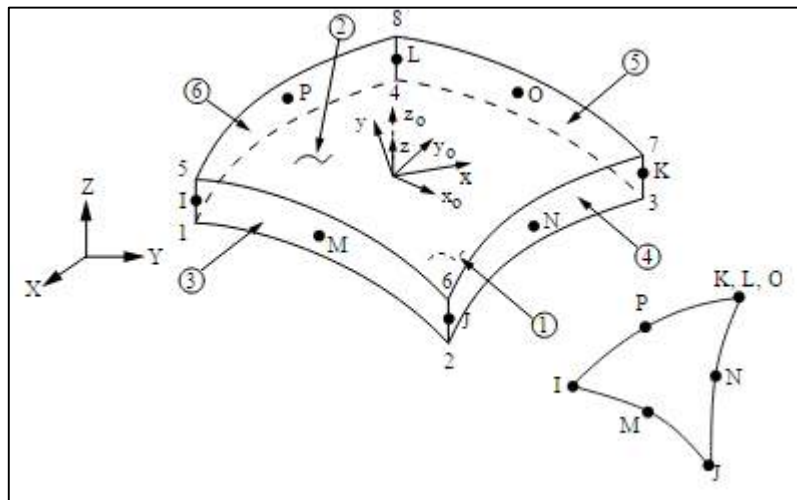
f) Analisis Struktural Menggunakan *Software ANSYS Mechanical*

Hasil dari analisis termal adalah regangan termal. Regangan termal tersebut juga bervariasi diakibatkan urutan pengelasan yang bervariasi. Regangan termal kemudian diubah menjadi regangan struktural sehingga bentuk elemen dapat berubah. Jenis material yang digunakan ialah ASTM A131 *Grade AH36* dengan ketebalan *frame* bervariasi dari 10 mm hingga 14 mm, serta ketebalan *inner bottom* 8,5 mm untuk semua area. Sebagai perbandingan, Gambar 3.9 menunjukkan tabel tebal plat maksimum material jenis AH36 (lingkaran merah) oleh beberapa *rules*.

Tabel 3. 1. Rules Perbandingan Tebal Plat

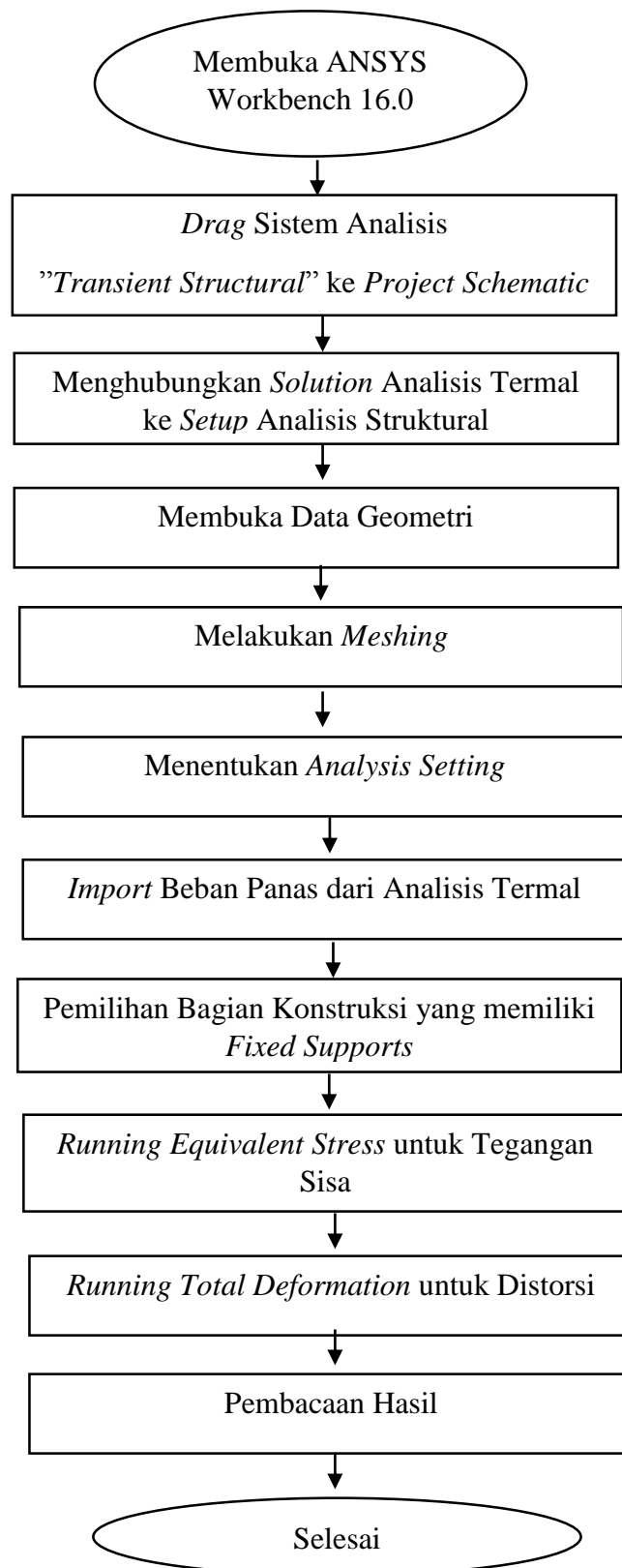
Grade		Class ¹	NK	ABS	LR	DNV	BV	GL	KR	CCS
Mild Steel	A,B,D		200	200	200	200	200	200	200	—
	E		200	200	200	100	200	200	200	—
YP32	A~EH32		150	150	150	150	150	150	150	50 ²
	FH32		—	—	32	—	—	—	—	—
YP36	A~EH36		150	150	150	150	150	150	150	50 ²
	FH36		—	—	32	—	—	—	—	—
YP40	A~EH40		—	—	—	—	—	—	—	—
	FH40		—	—	—	—	—	—	—	—
YP47	A~EH47 ²		—	—	—	—	—	—	—	

Tabel 3.1 merupakan tabel material yang bersifat normal dan *high strength*. Jenis elemen *shell* yang digunakan diusahakan harus ekuivalen dengan elemen yang digunakan ketika analisis *transient thermal*, jenis elemen yang dimaksud ialah SHELL281. SHELL281 merupakan elemen *shell* tiga dimensi dengan 8 titik nodal yang memiliki kemampuan *bending* serta mampu menerima beban *in-plane* maupun normal. Setiap satu titik nodal memiliki 6 derajat kebebasan yaitu 3 translasi dan 3 rotasi. Bentuk SHELL281 telah terdapat pada Gambar 3.7.



Gambar 3. 9 Detail Elemen SHELL281 pada ANSYS (Panduan Manual ANSYS, 1999)

Struktur yang dianalisis diberikan beban sesuai dengan data, lalu *running* untuk mendapatkan regangan struktural dan juga bentuk distorsi yang dialami struktur. Dari regangan struktural tersebut dapat diperoleh tegangan sisa dan distorsi. Berikut adalah skema diagram alir analisis *transient* struktural pada ANSYS.



Gambar 3. 10 Diagram Alir Analisis Struktural

g) Validasi Model

Validasi dilakukan pada distribusi panas, distribusi tegangan sisa, dan distribusi distorsi terhadap referensi yang digunakan yaitu Chen (2015), Wibowo (2016), dan Wibisono (2017). Pada penelitian ini, jenis material yang digunakan ialah ASTM A131 *Grade* AH36 yang memiliki *yield stress* sebesar 350 MPa. Sehingga, variasi urutan pengelasan dengan tegangan sisa yang mendekati *yield stress* akan dipilih menjadi variasi urutan pengelasan paling efektif.

h) Kesimpulan

Pengambilan kesimpulan pada rancangan proposal tugas akhir ini yaitu meliputi grafik distribusi panas, grafik distribusi tegangan sisa dan distorsi pada *inner bottom* Kapal Survey Geomarin IV yang divariasikan terhadap urutan pengelasan. Setelah itu akan disusun urutan pengelasan mana yang paling menghasilkan tegangan sisa dan distorsi paling kecil hingga besar.

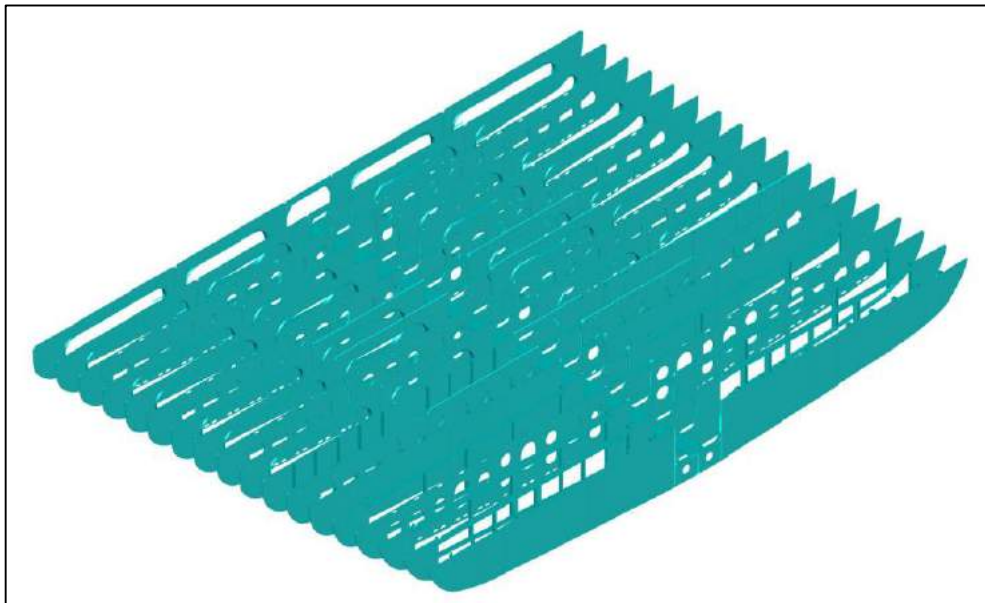
BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

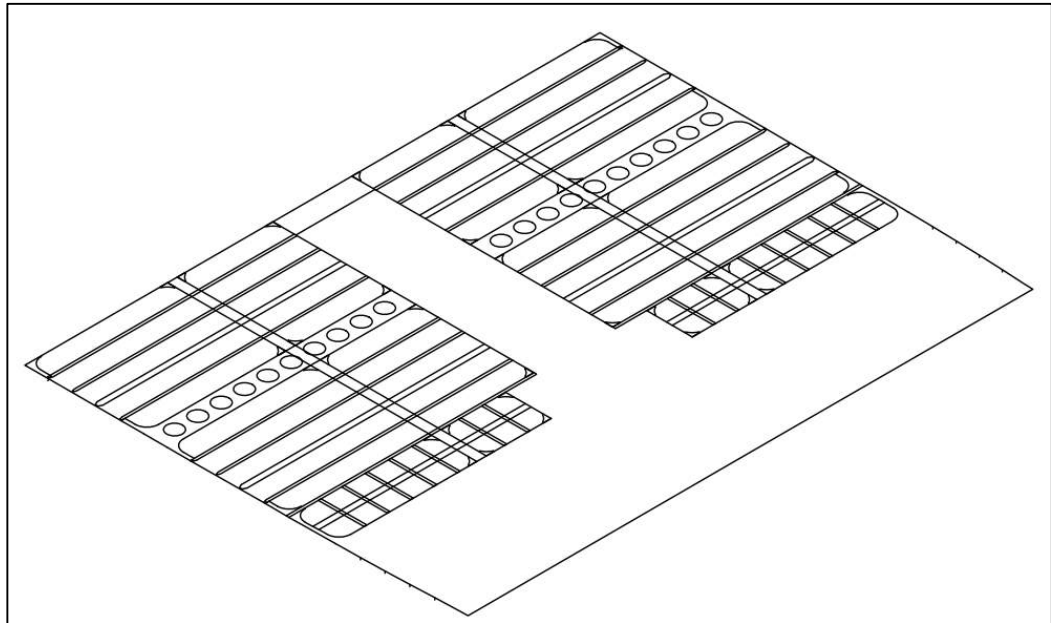
4.1. Permodelan Konstruksi *Inner Bottom* Kapal Survey Geomarin IV

Proses permodelan konstruksi *inner bottom* adalah tahapan paling awal dalam analisis yang dilakukan dalam tugas akhir ini. *Software* AutoCAD 2016 digunakan untuk membantu proses permodelan konstruksi *inner bottom*. Bagian Kapal Survey Geomarin IV yang dianalisis ialah Blok 1.6 dikarenakan memiliki tegangan struktural yang tinggi berdasarkan referensi data yang diperoleh. Blok 1.6 memiliki 18 *frame* yang terdiri dari *open floor*, *solid floor*, dan *watertight floor*. Atas dasar keberagaman *frame* tersebut pula, blok 1.6 dijadikan obyek analisis.

Hasil permodelan seluruh *frame* di blok 1.6 telah tercantum di Gambar 4.1 beserta *inner bottom* pada Gambar 4.2.

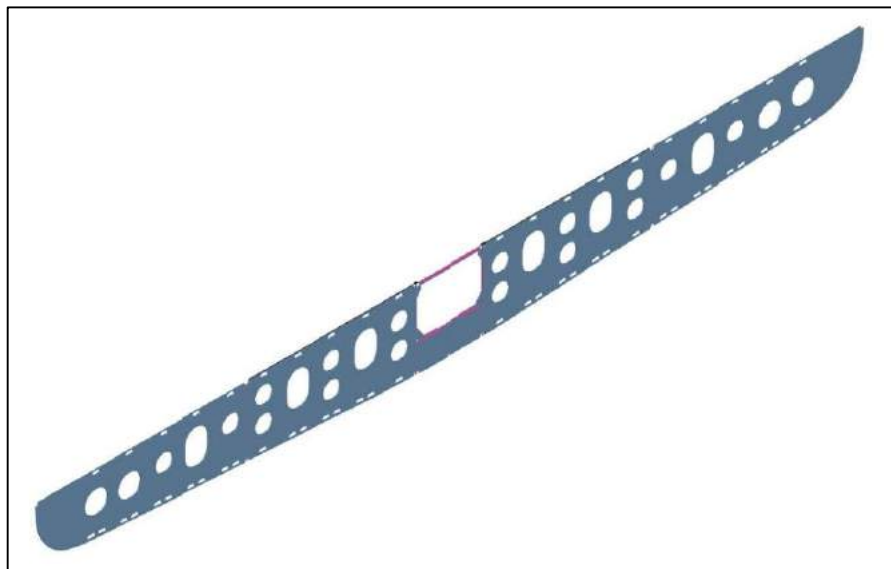


Gambar 4. 1 Permodelan *Frames* pada Blok 1.6 Kapal Survey Geomarin IV

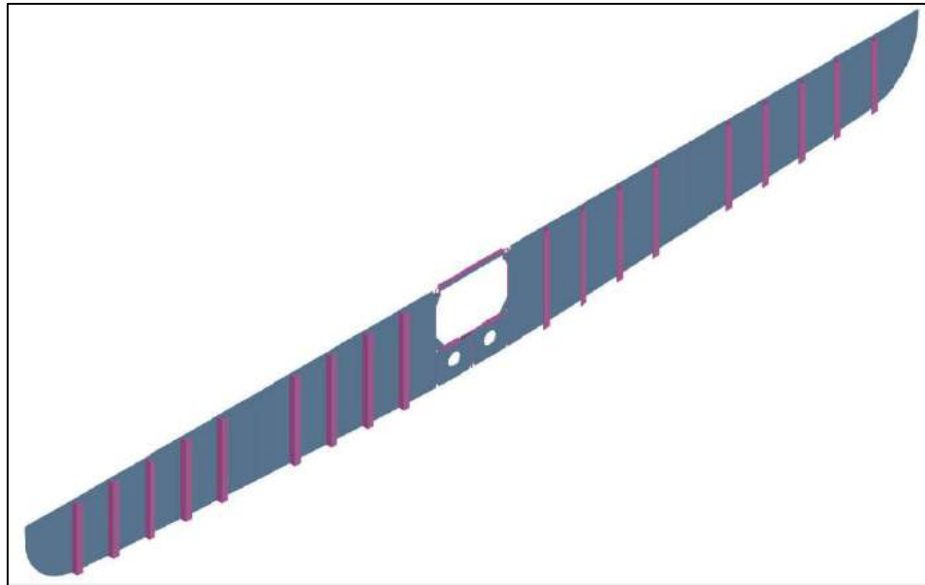


Gambar 4. 2 Permodelan *Inner Bottom* pada Blok 1.6 Kapal Survey Geomarin IV

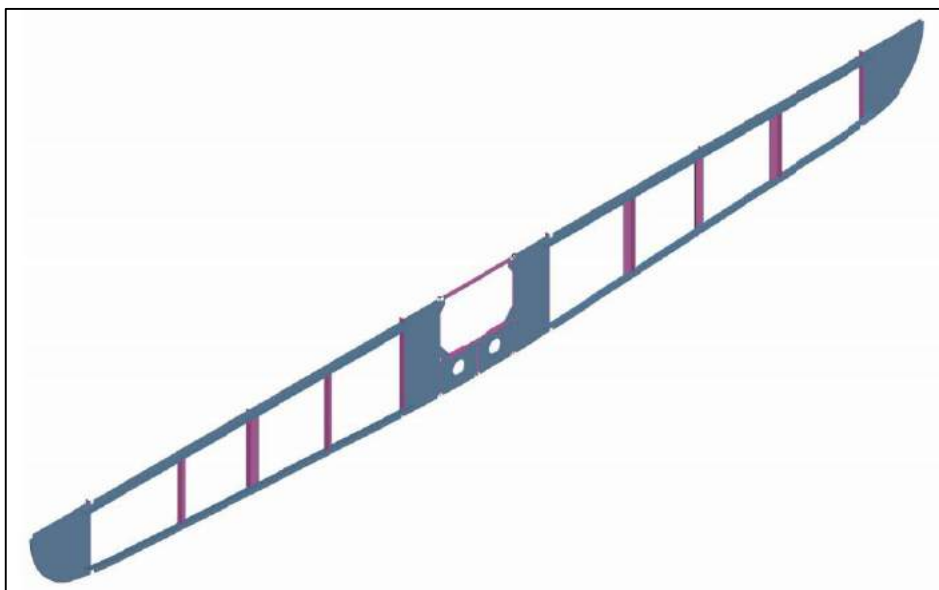
Kapal Survey Geomarin IV memiliki 3 jenis *frame*, yaitu *solid floor*, *watertight floor*, dan *open floor* yang telah dicantumkan pada Gambar 4.3, 4.4, dan 4.5 secara berurutan.



Gambar 4. 3 *Frame* dengan Jenis *Solid Floor*

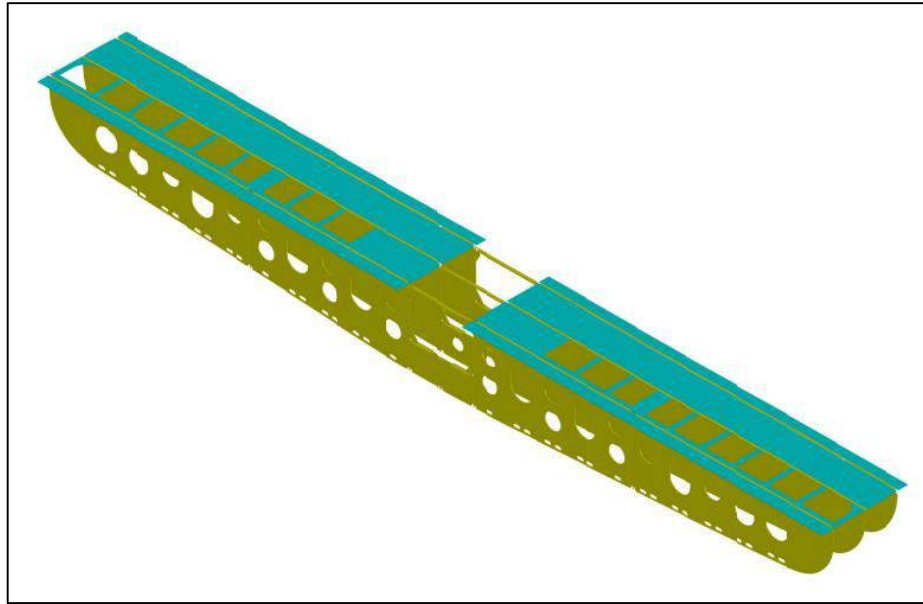


Gambar 4. 4 *Frame* dengan Jenis *Watertight Floor*



Gambar 4. 5 *Frame* dengan Jenis *Open Floor*

Dalam penelitian ini, *frame* yang digunakan ialah *frame* 74, 75, dan 76 yang berbeda jenis satu sama lain. Hal tersebut dilakukan untuk mengetahui distribusi panas, besarnya tegangan sisa, dan distorsi yang terjadi di ketiga jenis *frame* yang berbeda. Permodelan *frame* 74, 75, dan 76 beserta *inner bottom* telah terdapat pada Gambar 4.6.

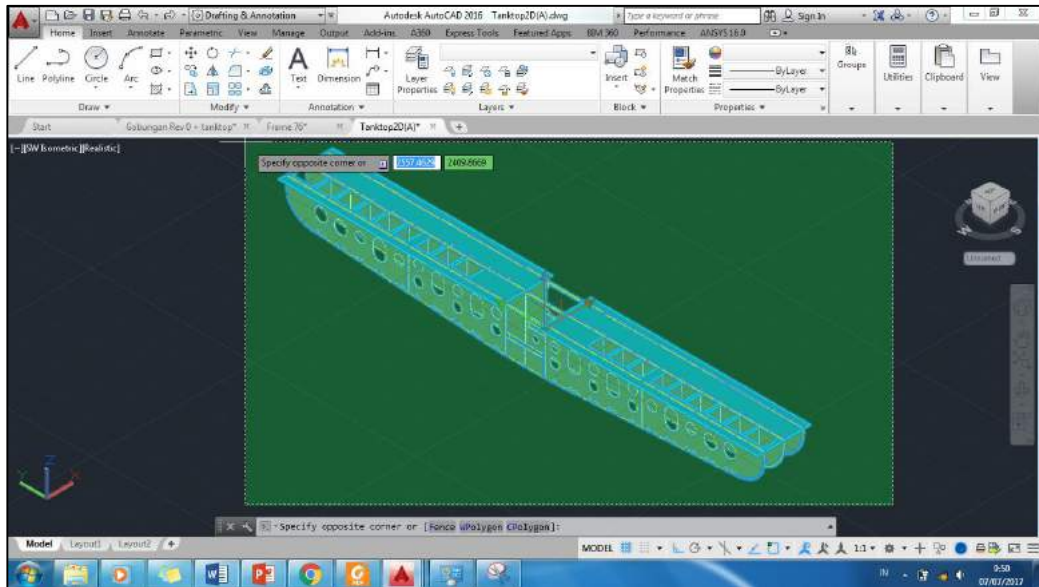


Gambar 4. 6 Gabungan *Frame* 74, 75, dan 76 beserta *Inner Bottom*

4.2. Input Hasil Geometris dari AutoCAD ke ANSYS Mechanical

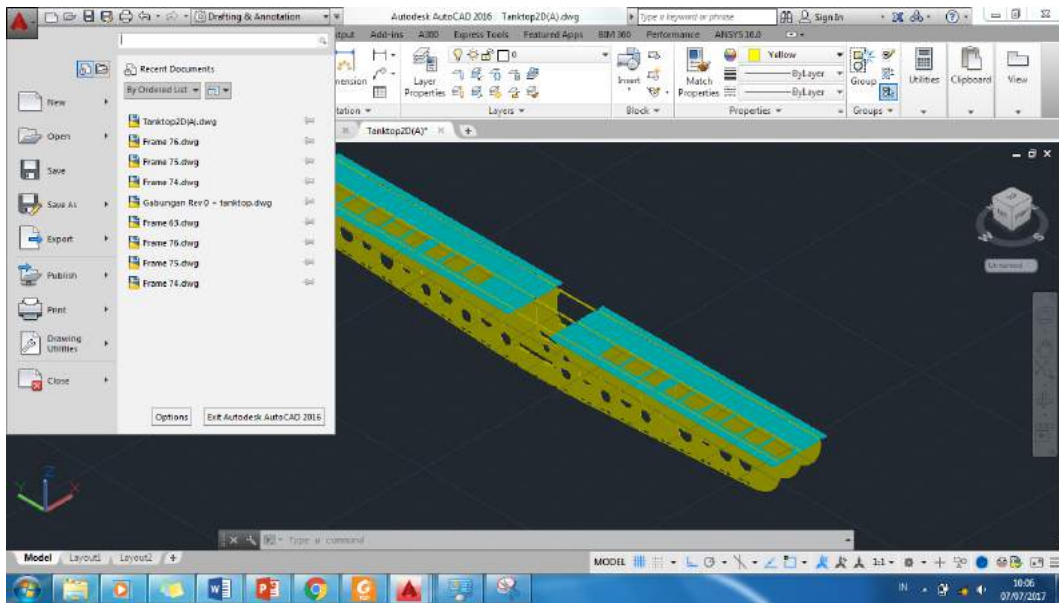
Perpindahan data geometris dari AutoCAD ke ANSYS *Mechanical* dapat dilakukan dengan berbagai cara, salah satunya yaitu *export* data geometris menggunakan fitur *export* yang terdapat pada AutoCAD 2016. Hasil *output* data geometris yang akan dipindahkan ke ANSYS *Mechanical* memiliki beberapa ekstensi *valid*. Ekstensi tersebut ialah *.iges*, *.igs*, dan *.sat*. Pada penelitian ini, ekstensi yang digunakan ialah *.iges* karena sangat umum digunakan dan mudah dalam pengoperasian untuk analisis berikutnya.

Proses *input* hasil geometris dari AutoCAD ke ANSYS *Mechanical* dilakukan dengan cara memblok keseluruhan konstruksi yang telah selesai dimodelkan seperti pada Gambar 4.7.

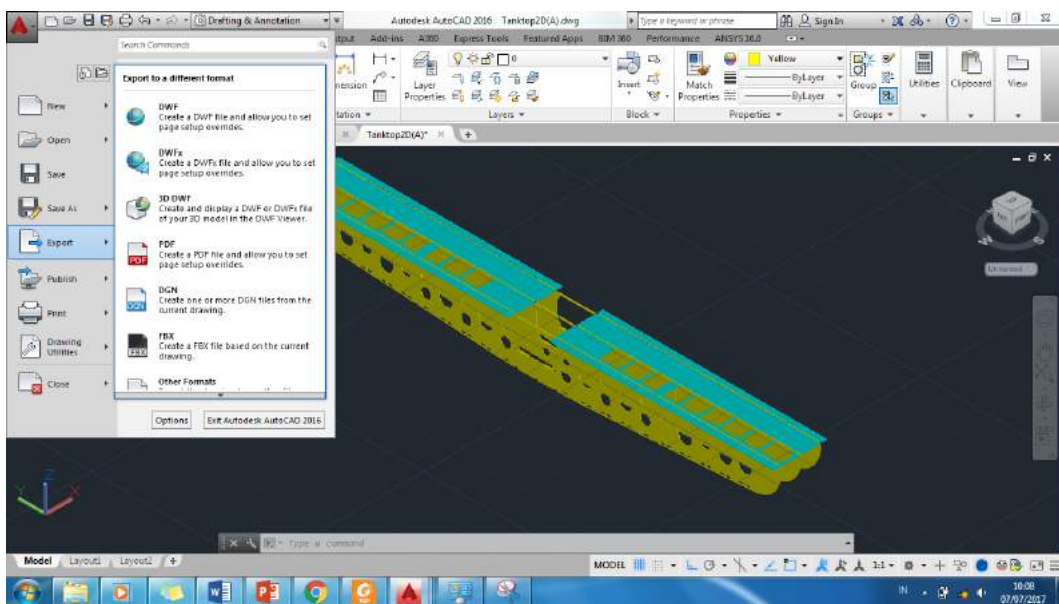


Gambar 4. 7 Tahapan Awal dalam *Convert* Hasil Geometris di AutoCAD 2016

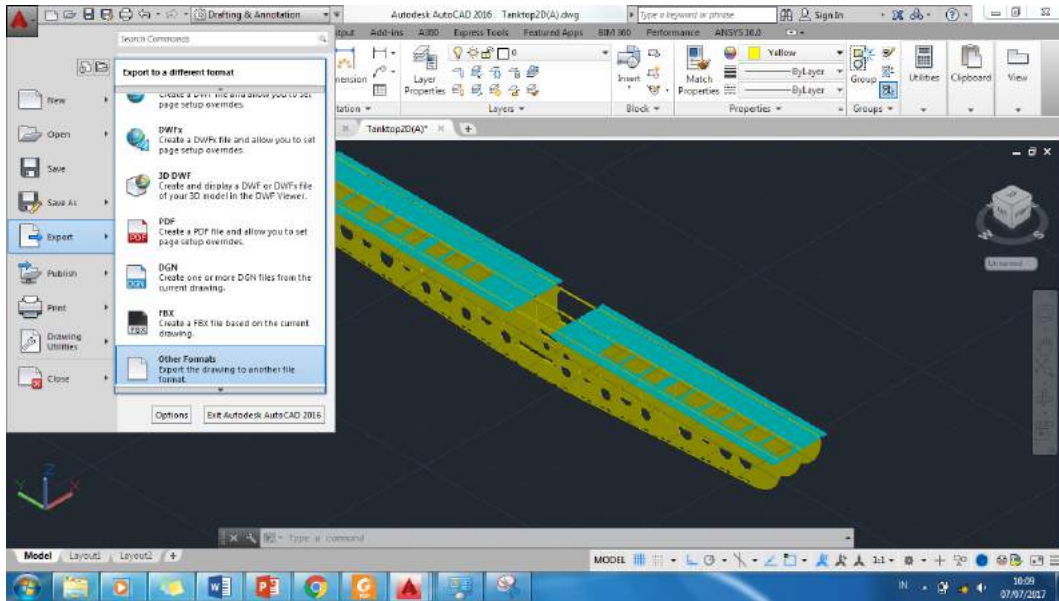
Setelah memblok keseluruhan konstruksi selesai, maka langkah selanjutnya ialah melakukan *convert* ke ekstensi yang telah ditentukan, yaitu .iges. Hal yang perlu dilakukan ialah mengklik *home* pada bagian ujung kiri atas *window* AutoCAD 2016. Lalu, mencari perintah *export*, kemudian memilih *other formats*, dan mengklik jenis ekstensi yang telah ditentukan. Langkah terakhir yaitu mengklik *save*, sebelum disimpan, AutoCAD akan memerintahkan pengguna untuk memblok kembali konstruksi yang akan dikonversikan. Visualisasi tahapan konversi data geometris dari AutoCAD 2016 ke ANSYS *Mechanical* telah dicantumkan pada Gambar 4.8 hingga 4.14.



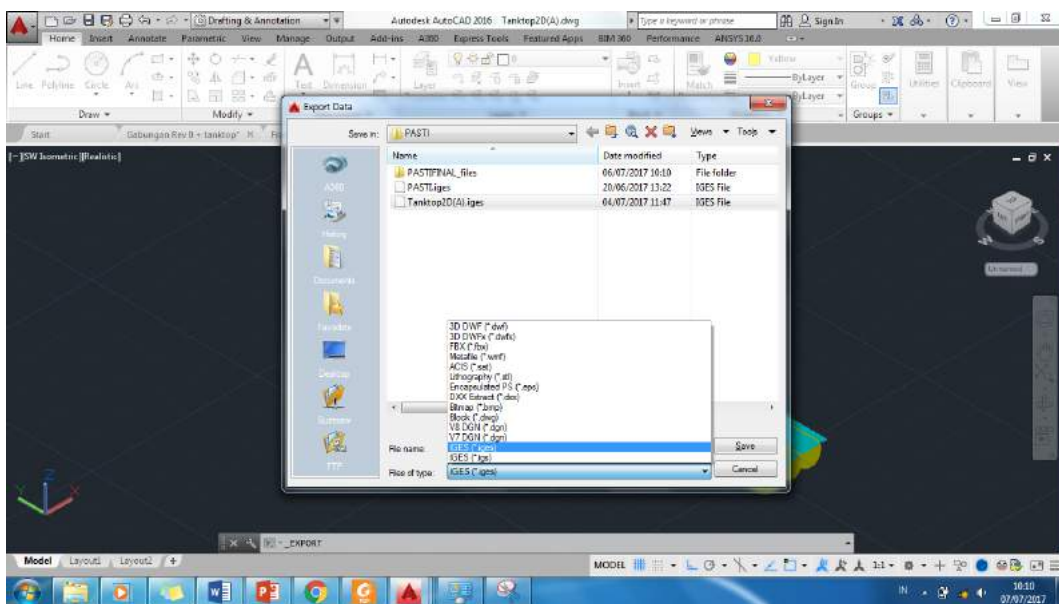
Gambar 4. 8 Mengklik Tombol *Home* di Ujung Kiri Atas pada AutoCAD 2016



Gambar 4. 9 Mengarahkan Kursor pada Pilihan *Export*

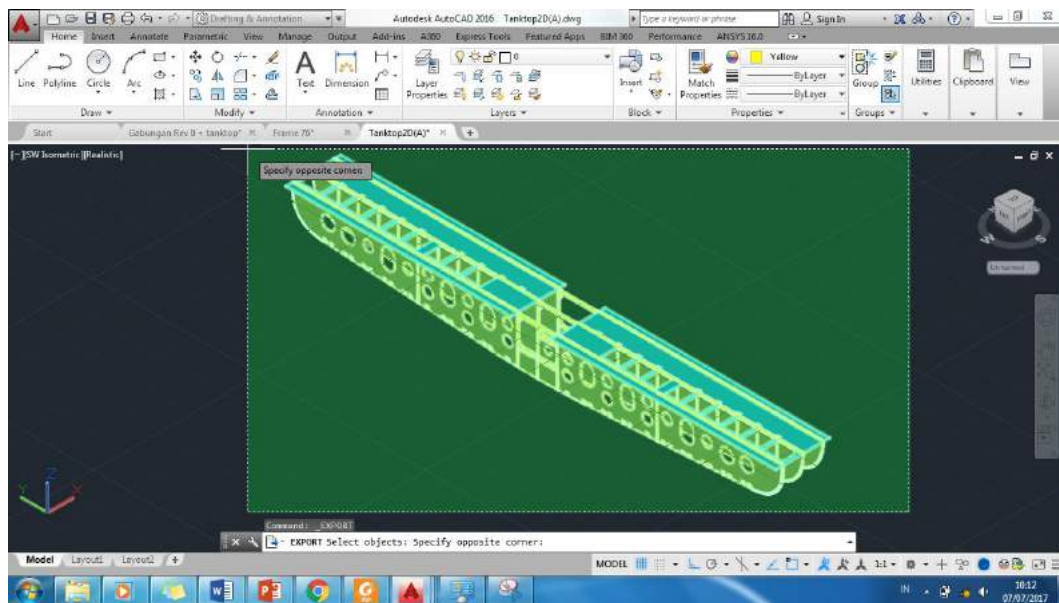


Gambar 4. 10 Mengarahkan Kursor dan Mengklik ke Pilihan *Other Formats*



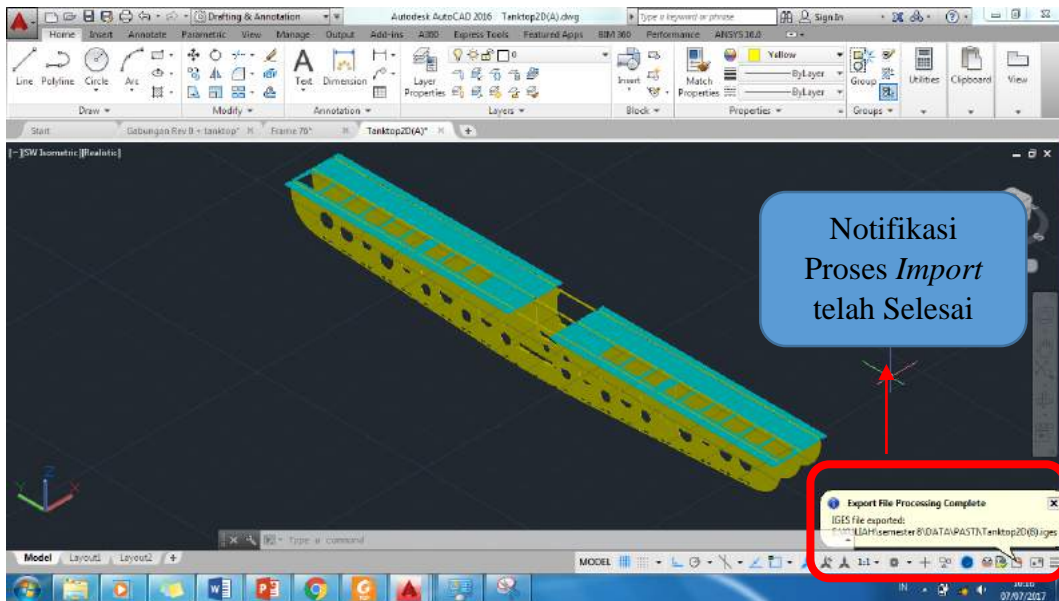
Gambar 4. 11 Tampilan *Pop-up Window Import Data*

Sebagai yang telah ada pada Gambar 4.11, sebelum mengklik *save*, pengguna harus memilih letak dimana *file* akan disimpan, memberikan nama file, serta memilih ekstensi yang akan digunakan. Berbagai macam pilihan jenis ekstensi telah ada pada AutoCAD 2016 seperti Gambar 4.11, yang dipilih berdasarkan kebutuhan analisis. Pada penelitian ini, ekstensi yang dipilih ialah ekstensi *.iges*.

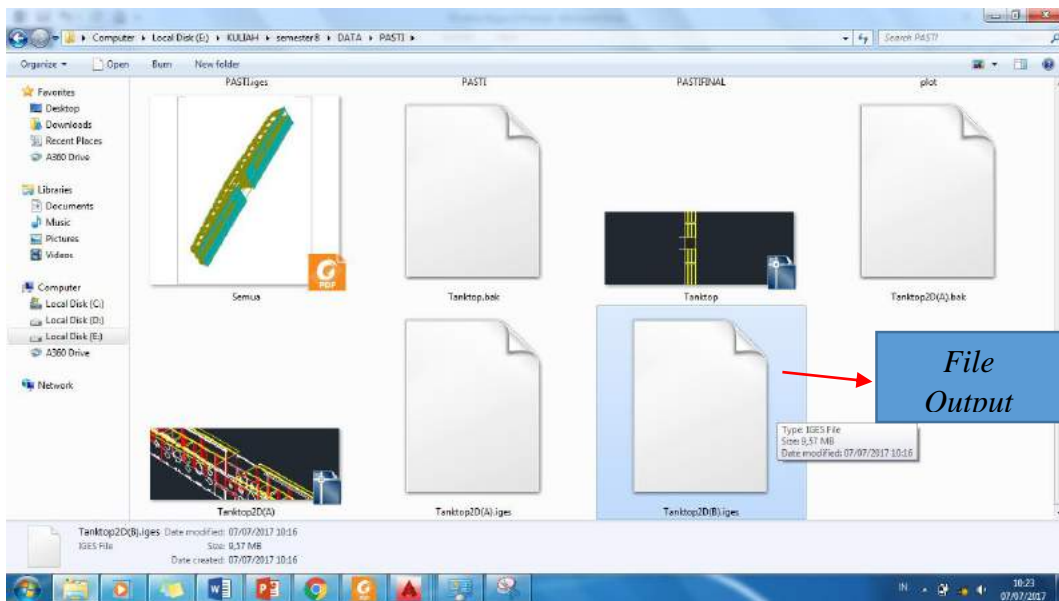


Gambar 4. 12 Memblok Ulang Keseluruhan Struktur yang akan Dikonversi

Setelah tahapan seperti pada Gambar 4.12 dilakukan, maka langkah selanjutnya yaitu mengklik tombol *enter* pada *keyboard*. Kemudian, pengguna diharuskan menunggu selama beberapa saat hingga muncul notifikasi pada *window* AutoCAD 2016 di bagian ujung kanan sebelah bawah. Notifikasi tersebut memberi informasi mengenai *progress import file* AutoCAD 2016 yang akan dimasukkan ke ANSYS *Mechanical*. Jika telah selesai, maka notifikasi tersebut akan muncul seperti pada Gambar 4.13.



Gambar 4. 13 Notifikasi Proses *Import* telah Selesai



Gambar 4. 14 Hasil *File Output* dengan Ekstensi .iges

4.3. Perhitungan Beban *Heat Flux*

Parameter pengelasan merupakan faktor yang harus ditentukan besarnya berkenaan dengan *heat input* yang akan diberikan pada model pengelasan. Pada tugas akhir ini, parameter beserta nilainya yang digunakan dibedakan berdasarkan *frame* yang sedang dilas. Jumlah *frame* yang dipasang pada konstruksi *inner bottom* ialah sebanyak 3 *frame*. Material yang digunakan pada penelitian ini ialah baja ASTM A131, *grade* AH36. Parameter umum pengelasan yang digunakan dalam penelitian ini mengacu pada buku “*The Procedure Handbook of Arc Welding*” dari *Lincoln Electric Company*. Parameter-parameter tersebut ialah sebagai berikut:

Proses	: SAW (<i>Submerged Arc Welding</i>)
Jenis lasan	: <i>Fillet welded T-joint</i>
Arus	: 575 A
Voltase	: 34 V
Kecepatan las	: 9,31 mm/s (22 in/min)
Diameter Elektroda	: 3,96875 mm (5/32 in)
<i>Heat efficiency</i>	: 0,91

Berdasarkan data properti komponen elemen penyusun material AH36, maka jenis elektroda yang digunakan ialah EM13K. Gambar 4.15 menunjukkan komposisi kimia dari elektroda EM13K yang telah sesuai dengan data properti komponen elemen penyusun material AH36. Data EM13K yang digunakan mengacu pada buku “*Modern Welding Technology*” edisi ketiga milik Cary terbitan tahun 1994.

Gambar 4. 15 Komposisi Kimia Elektrode untuk Pengelasan SAW

Electrode Classification	CHEMICAL COMPOSITION (WT %) ^{a,b}					
	C	Mn	Si	S	P	Cu ^c
Low-manganese steel electrodes						
EL8	0.10	0.25/0.60	0.07	0.035	0.035	0.35
EL8K	0.10	0.25/0.60	0.10/0.25	0.035	0.035	0.35
EL12	0.05/0.15	0.25/0.60	0.07	0.035	0.035	0.35
Medium-manganese steel electrodes						
EM12	0.06/0.15	0.80/1.25	0.10	0.035	0.035	0.35
EM12K	0.05/0.15	0.80/1.25	0.10/0.35	0.035	0.035	0.35
EM13K	0.07/0.19	0.90/1.40	0.35/0.75	0.035	0.035	0.35
EM15K	0.10/0.20	0.80/1.25	0.10/0.35	0.035	0.035	0.35
High-manganese steel electrodes						
EH14	0.10/0.20	1.70/2.20	0.10	0.035	0.035	0.35

^a Single values are maximums.
^b Electrodes shall be analyzed for those elements for which specific values are shown. Elements other than those shown, which are intentionally added (except iron), shall also be reported. The total of these latter elements and all other elements not intentionally added shall not exceed 0.50%.
^c The copper limit includes any copper coating that may be applied to the electrode.

FIGURE 6-103 Electrode composition. (See Ref. 22 for low-alloy steels.)

Perhitungan parameter yang memiliki nilai berbeda telah dicantumkan untuk frame 74 hingga 76.

a) **Frame 74**

Menurut Wibisono 2017 (2001), formulasi *heat input* yang digunakan ialah:

$$Q = \eta V I \dots\dots\dots(4.1)$$

Keterangan:

- Q = *heat input* (W)
- η = efisiensi termal (%)
- V = tegangan (V)
- I = arus (A)

Setiap jenis pengelesan memiliki nilai efisiensi termal yang berbeda-beda, berikut adalah tabel nilai efisiensi termal yang telah dicantumkan pada Tabel 4.1.

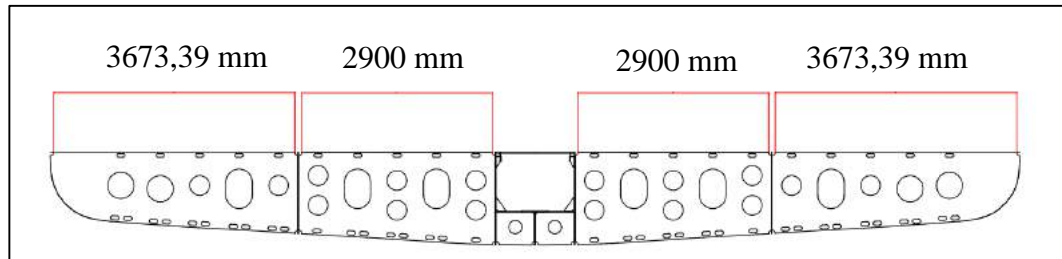
Tabel 4. 1 Nilai Efisiensi Termal setiap Jenis Pengelasan

Jenis Pengelasan	η
SAW – Steel	0,91 – 0,99
SMAW – Steel	0,66 – 0,85
FCAW – SS	0,78 – 0,87
GMAW – CO ₂ ; Steel	0,75 – 0,93
GMAW – Ar ; Steel	0,66 – 0,77
GTAW – Ar ; Steel	0,25 – 0,75
GTAW – He ; Al	0,50 – 0,80
GTAW – Ar ; Al	0,22 – 0,46

Berdasarkan parameter dasar simulasi pengelasan yang telah ditentukan, maka nilai *heat input* yang didapatkan adalah:

$$\begin{aligned}
 Q &= \eta V I \\
 &= 0,91 \times 34 \times 575 \\
 &= 17.790,5 \text{ W}
 \end{aligned}$$

Dalam permodelan, panjang area pengelasan untuk *frame* 74 ialah 13146,78 mm. Area tersebut terdiri atas 2 area dengan panjang 3673,39 mm dan 2 area dengan panjang 2900 mm. Area pengelasan 3673,39 mm dibagi menjadi 120 *loadsteps*, dan area pengelasan 2900 mm dibagi menjadi 90 *loadsteps*. Sehingga, ukuran satu elemen yang dibebani *heat flux* adalah 61,22 mm dan 64,4 mm. Kecepatan pengelasan dalam penelitian ini sebesar 10,16 mm/s, maka durasi waktu pembebanan pada satu elemen ialah 6,58 s dan 6,92 s. Dikarenakan perbedaan durasi waktu pembebanan paada satu elemen yang tidak terpaut jauh, maka dapat diasumsikan waktu yang diperlukan ialah 6,92 s. Gambar 4.16 dan Tabel 4.2 telah mencantumkan secara sistematis mengenai hasil pembagian *load step*.

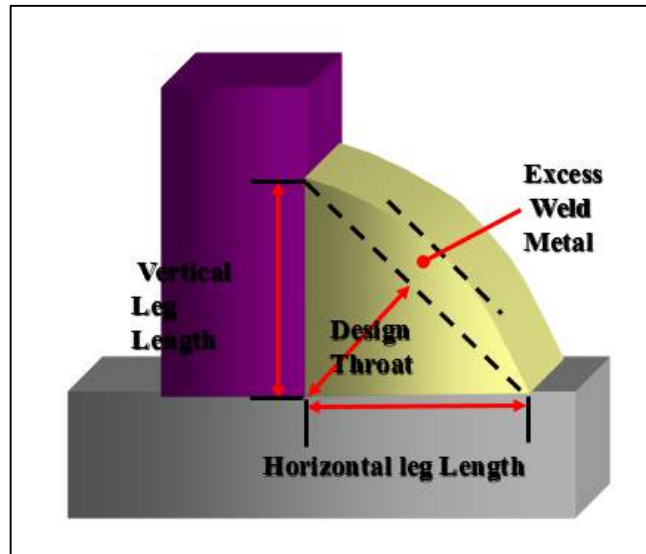


Gambar 4. 16 Panjang Area Pengelasan Frame 74

Tabel 4. 2 Tabel Pembagian *Load Step* untuk *Frame 74*

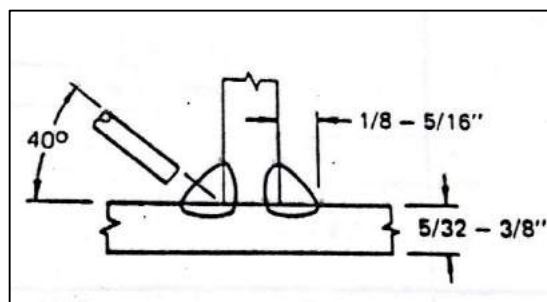
Panjang Area Pengelasan (mm)	Pembagian <i>Load Step</i>	Ukuran Satu Elemen (mm)	Durasi Pembebanan Tiap Elemen (s)
3673,39	60	61,22	6,58
2900	45	64,4	6,92
2900	45	64,4	6,92
3673,39	60	61,22	6,58
Jumlah <i>Load Step</i>	210		

Setelah dilakukan pembagian area pembebanan, maka selanjutnya ialah menentukan panjang kaki dari pengelasan *fillet*. Panjang kaki pengelasan atau sering disebut dengan *leg length* ialah ketebalan *weld metal* hasil pengelasan yang diukur secara horizontal dan vertikal. Panjang kaki pengelasan bergantung pada *throat thickness*. *Throat thickness* ialah sisi miring dari geometri *weld metal*, dimana *throat thickness* ini memiliki 2 jenis, yaitu *design throat thickness* (ketebalan desain) dan *excess weld metal* (ketebalan pasca pengelasan). Ilustrasi mengenai detail pengelasan *fillet* telah dicantumkan pada Gambar 4.17.



Gambar 4. 17 Ilustrasi *Fillet Weld Features*

Ketebalan *frame* yang dianalisis dalam penelitian ini yaitu 14 mm (0.5512 inch) serta *inner bottom* memiliki ketebalan 8,5 mm (0,3347 inch). Berdasarkan *The Procedure Handbook of Arc Welding* dari The Lincoln Electric Company dan data konstruksi yang telah didapat, maka detail pengelasan *fillet* yang digunakan dalam penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 4.18.



Gambar 4. 18 Detail Pengelasan *Fillet* yang digunakan (The Lincoln Electric Company, 1973)

Plat horizontal pada Gambar 4.18 diasumsikan sebagai *inner bottom*, sehingga jika dilihat dari rentang ukuran yang telah ditentukan yaitu 5/16 inch (0,3125 inch) hingga 5/8 inch (0,625 inch), maka *inner bottom* setebal 14 mm (0.5512 inch) masih masuk dalam rentang tersebut. Dalam perhitungan selanjutnya, parameter yang

sangat dibutuhkan yaitu panjang kaki las (*leg length*). Asumsi yang digunakan ialah, *horizontal leg length* dan *vertical leg length* memiliki panjang yang sama. Pada Gambar 4.17, panjang kaki las memiliki rentang 1/8 inch (0,318 cm) hingga 5/16 inch (0,795 cm), maka dalam penelitian ini panjang kaki pengelasan yang digunakan ialah 5/16 inch (0,795 cm).

Besarnya luas area pembebanan yang dihasilkan oleh elektroda selama 6,92 s adalah sebesar,

$$\begin{aligned} A_f &= b \times v \times t \\ &= 7,99375 \times 9,31 \times 6,92 \\ &= 515,15 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Luasan lain yang berpengaruh adalah luas dari elektroda yang digunakan pada waktu proses pengelasan. Luas elektroda bergantung pada besar kecilnya ukuran diameter elektroda yang digunakan. Luas penampang elektroda yang digunakan adalah sebagai berikut,

$$\begin{aligned} A_e &= \frac{1}{4} \pi D^2 \\ &= \frac{1}{4} \pi \times (3,96875)^2 \\ &= 12,37 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Setelah semua parameter dihitung, maka besarnya *heat flux* yang akan digunakan pada simulasi pengelasan untuk memperoleh distribusi panas, tegangan sisa, dan distorsi adalah sebagai berikut,

- *Heat flux* yang dihasilkan oleh elektroda.

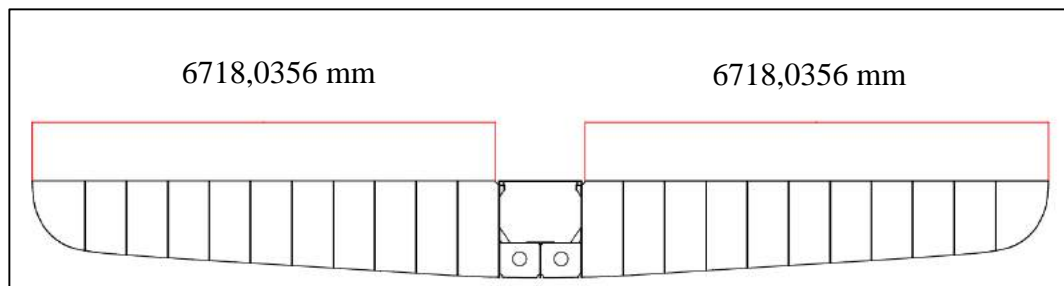
$$\begin{aligned} q_e &= \frac{Q}{A_e} \\ &= \frac{17.790,5}{12,37} \\ &= 1438,1 \text{ W/mm}^2 \end{aligned}$$

- *Heat flux* yang dibebankan pada satu elemen.

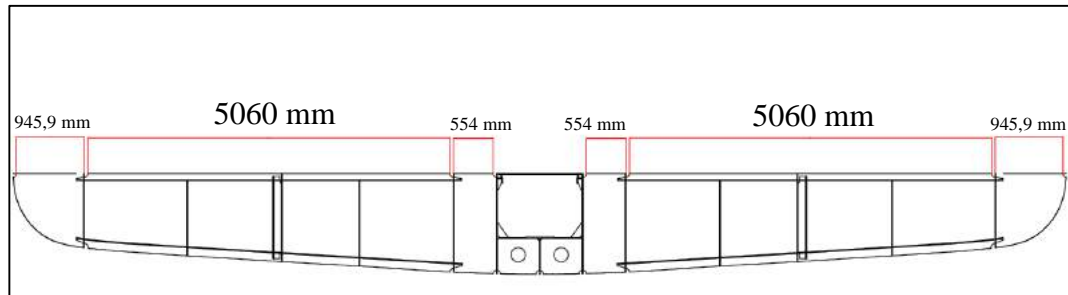
$$\begin{aligned}q_{el} &= q_e \frac{A_1}{A_f} \\ &= 1438,1 \times \frac{64,44}{515,15} \\ &= 179,9 \text{ W/mm}^2 \\ &= 179,9 \times 10^6 \text{ W/m}^2\end{aligned}$$

b) *Frame 75 dan 76*

Gambar visualisasi pembagian area pengelasan dan tabel hasil perhitungan parameter pengelasan untuk *frame 64* hingga *67* telah dicantumkan pada Gambar 4.19, 4.20, dan Tabel 4.3.



Gambar 4. 19 Panjang Area Pengelasan *Frame 75*



Gambar 4. 20 Panjang Area Pengelasan *Frame 76*

Tabel 4. 3 Pembagian *Load Step* dan Perhitungan Parameter Pengelasan

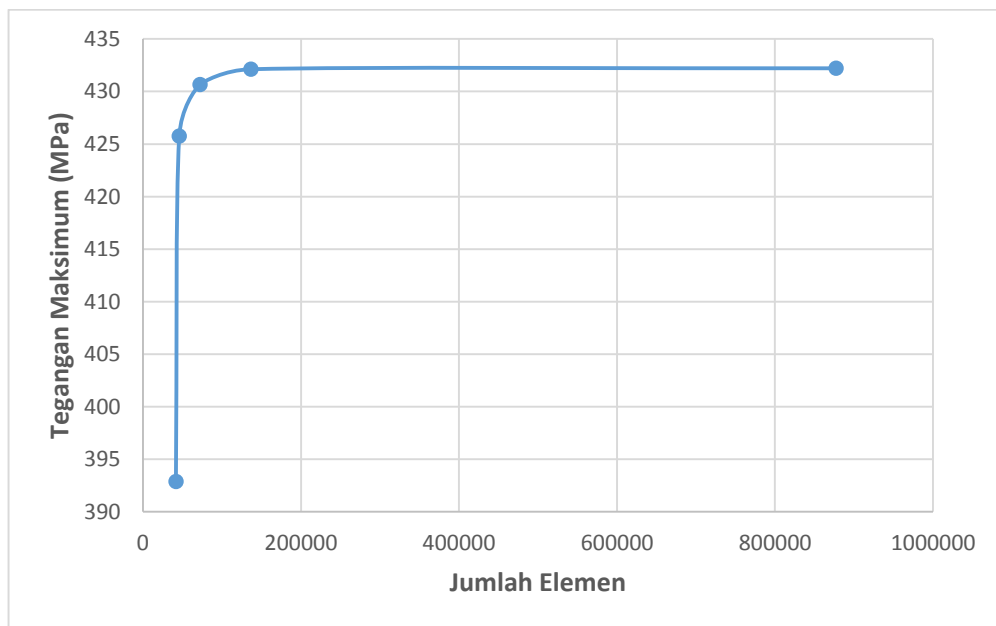
<u>Parameter</u>	<u>Frame 75</u> (2 area simetris)	<u>Frame 76</u> (945,8763 mm)	<u>Frame 76</u> (5060 mm)	<u>Frame 76</u> (554 mm)
Panjang Area Pengelasan (mm)	6718,0356	945,8763	5060	554
Jumlah Elemen	105	15	80	10
Panjang 1 Elemen (mm)	63,98	63,06	63,25	55,4
Durasi Pengelasan 1 Elemen (s)	6,87	6,77	6,79	5,95
Luas Area Pembebanan 1 Elemen (Af) (mm²)	511,45	504,07	505,61	442,85
Luas Penampang Elektroda (Ae) (mm²)	12,37	12,37	12,37	12,37
Besar <i>Heat Flux</i> (W/mm²)	1438,1	1438,1	1438,1	1438,1
Besar <i>Heat Flux</i> pada 1 Elemen (W/mm²)	179,9	179,9	179,9	179,9

4.4. Meshing Sensitivity

Meshing sensitivity digunakan untuk mengetahui sensitivitas jumlah elemen dari hasil *meshing*. Prinsipnya yaitu semakin kecil nilai *meshing*, maka semakin akurat hasil yang didapatkan, namun jumlah elemen akan semakin banyak dan waktu analisis semakin lama. Daftar tegangan maksimum pada tiap ukuran *meshing* beserta grafik visualisasinya telah dicantumkan pada Tabel 4.4 dan Gambar 4.21.

Tabel 4. 4 Perbandingan *Size Meshing*, Jumlah Elemen, dan Tegangan Maksimum untuk Elemen *Shell*

Size Meshing (m)	Jumlah Elemen	Tegangan Maksimum (Mpa)
0,5	41743	392,87
0,4	45978	425,75
0,3	72001	431,32
0,2	136497	432,12
0,1	877241	432,21

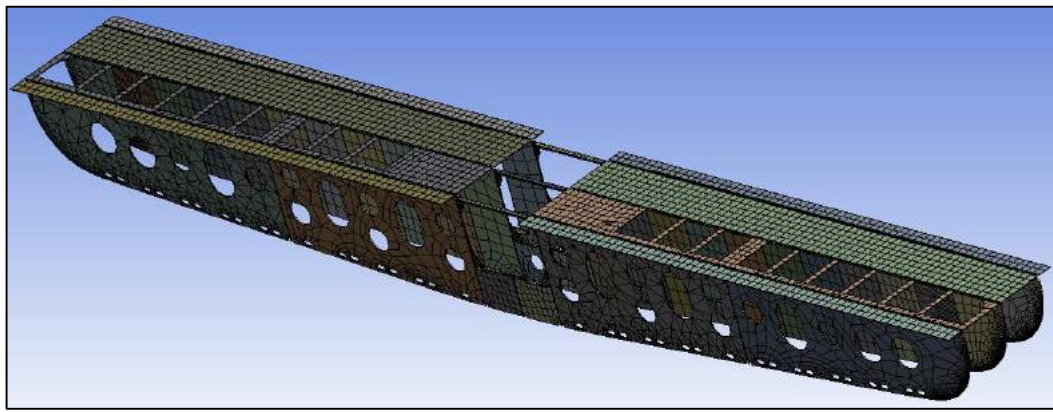


Gambar 4. 21 Grafik *Meshing Sensitivity*

Dalam elemen *shell*, ketika *meshing* dengan menggunakan geometri luasan, maka akan didapatkan hasil lebih cepat dan juga lebih detail. Berdasarkan grafik pada Gambar 4.20, dapat dilihat bahwa penambahan jumlah elemen berbanding lurus dengan meningkatnya besar tegangan maksimum. Selain itu, besarnya

tegangan maksimum menunjukkan kestabilan ketika mencapai jumlah elemen sebanyak 72.000 elemen.

Pemilihan dilakukan pada *size meshing* 0.2 mm *quadrilateral* dan 0.5 mm *triangle* agar didapatkan hasil yang lebih akurat. Penggunaan elemen *shell* memiliki waktu *meshing* yang cepat jika dibandingkan dengan elemen *solid* sehingga hasil yang diharapkan dapat optimal. Pada elemen *shell* hasil *meshing* dapat dilihat seperti pada Gambar 4.22.



Gambar 4. 22 *Meshing* ukuran 0.2 mm *Quadrilateral* dan 0.5 mm *Triangle*

4.5. Validasi Hasil

Pada tugas akhir ini, hasil yang diperoleh dibandingkan dengan penelitian sebelumnya, yaitu penelitian Chen (2015), Wibowo (2016), dan Wibisono (2017). Hasil yang divalidasi ialah berupa *temperature history*, tegangan sisa, dan distorsi. Perbedaan penelitian ini dengan penelitian yang sebelumnya yaitu terletak pada obyek yang diteliti serta parameter-parameter pengelasan yang digunakan. Obyek tugas akhir ini berupa konstruksi *inner bottom* Kapal Survey Geomarin IV yang lebih kompleks jika dibandingkan dengan obyek penelitian sebelumnya.

4.5.1. *Temperature History*

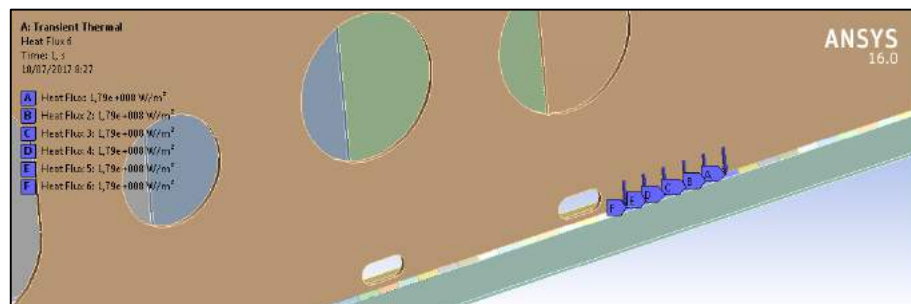
Analisis *temperature history* dapat diperoleh setelah melakukan perhitungan *heat flux*. Analisis yang dilakukan ialah analisis *transient thermal* yang membutuhkan *input heat flux* secara bertahap sesuai dengan kondisi nyata pengelasan di lapangan.

Pada penelitian ini, area pengelasan di setiap *frame* dibagi menjadi 210 area pembebanan agar semakin sesuai dengan simulasi pengelasan yang terjadi di lapangan. Konstruksi yang dilas ialah *inner bottom* dengan 3 *frames* yang menggunakan sambungan las tipe *double fillet welded T-joint*. Posisi pengelasan yang digunakan ialah Horizontal-PB/2F. Pengelasan dilakukan secara bergantian di setiap *frame* dengan mempertimbangkan durasi yang telah dihitung. *Load step* simulasi pengelasan yang dilakukan pada penelitian ini telah dicantumkan pada lampiran.

Sesuai dengan jumlah *load step* yang telah ditentukan, total waktu pengelasan *frame* 74 yaitu dilakukan selama 1384,8 s atau sekitar 23 menit. Tabel 4.8. menunjukkan total waktu pengelasan untuk *frame* 74 hingga 76, dimana detailnya telah dicantumkan di Tabel 4.5 hingga 4.7 sebelumnya. Area pembebanan yang telah dibagi dan diberi keterangan urutan *load step* telah tercantum pada Gambar 4.23. Proses simulasi pemberian beban *heat flux* dilakukan secara berurutan mulai dari *frame* 74 hingga 76 dan berawal dari *portside* hingga ke *starboard*.

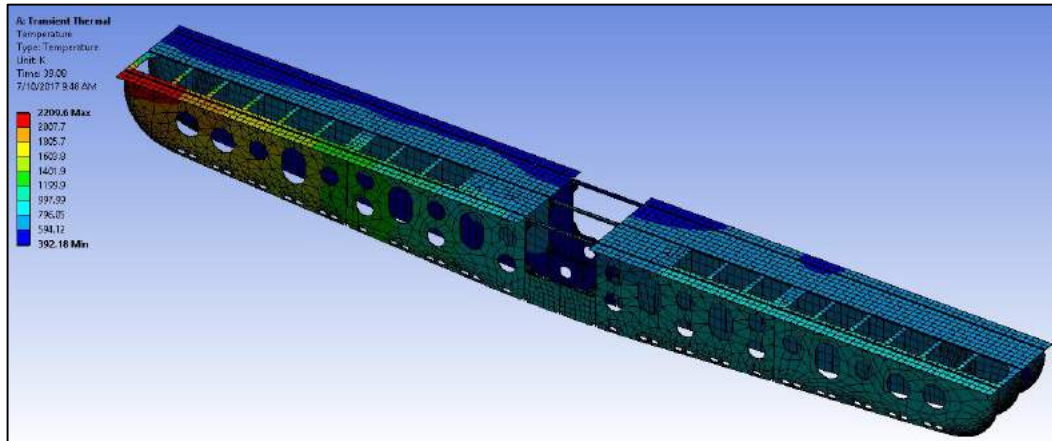
Tabel 4. 5 Total Waktu Pengelasan *Frame* 74 hingga 76

Frame	Total Waktu Pengelasan (s)	Total Waktu Pengelasan (menit)
74	1254,79	20,91
75	2577,23	42,95
76	3868,55	64,48



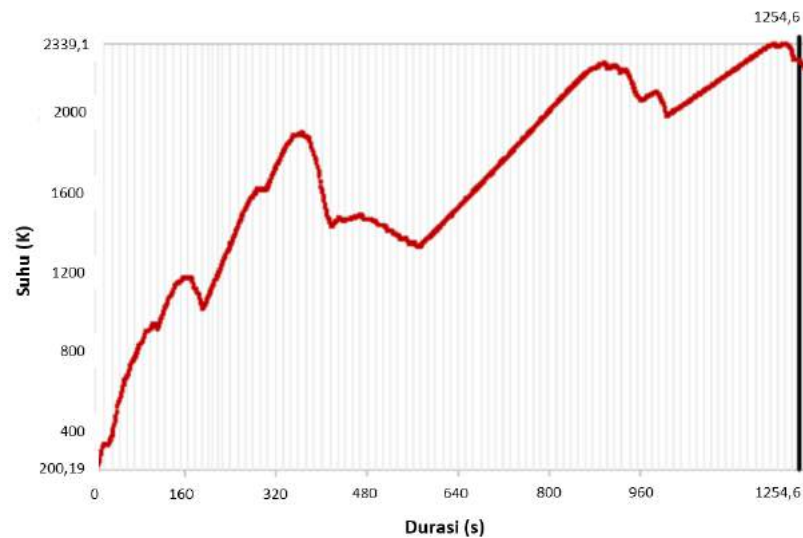
Gambar 4. 23 Area Pembebanan Pengelasan di tiap Elemen

Setelah memasukkan semua beban *heat flux* ke seluruh *load step*, maka langkah selanjutnya adalah proses *running*. Hasil distribusi panas untuk analisis termal pada penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 4.24, serta grafik hasil pada Gambar 4.25.



Gambar 4. 24 Kondisi Akhir Distribusi Panas pada Analisis Termal

Hasil dari analisis termal adalah distribusi suhu yang terjadi selama proses pengelasan. Gambar 4.25 menunjukkan *temperature history* yang diperoleh dari penelitian ini.



Gambar 4. 25 Grafik Distribusi Panas Hasil Analisis Termal

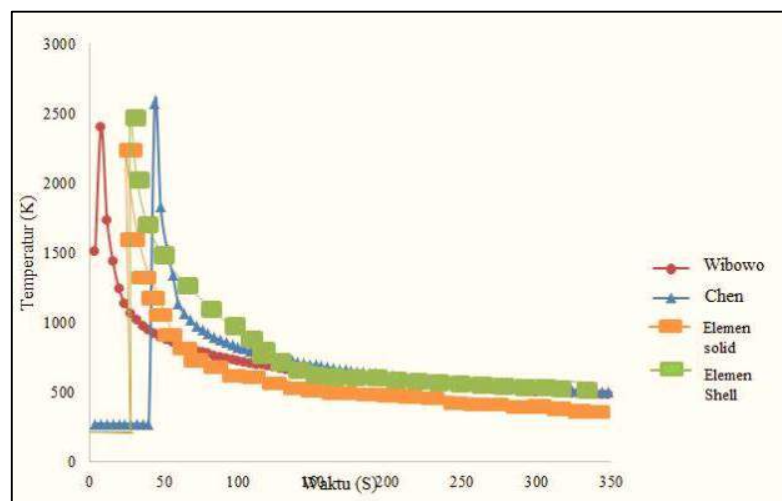
Hasil penelitian ini telah dibandingkan pula dengan penelitian yang dilakukan oleh Chen (2015). Validasi yang dilakukan yaitu berupa suhu puncak yang

dihasilkan dari analisis termal. Suhu puncak yang diperoleh dari penelitian ini yaitu 2339,1 K pada saat detik ke-1160,7 atau sekitar menit ke-19,4. Tabel mengenai suhu puncak penelitian sebelumnya beserta penelitian saat ini telah tercantum pada Tabel 4.6.

Tabel 4. 6 Perbandingan Suhu Puncak

Penelitian	Suhu Puncak (K)
Chen (2015)	2573,2
Wibobo (2016)	2402,3
Wibisono (2017)	2256,6
Hartono (2017)	2339,1

Berdasarkan Tabel 4.6, maka dapat dikatakan bahwa suhu puncak analisis termal pada penelitian ini memiliki titik suhu puncak yang hampir sama dengan penelitian sebelumnya. Perbedaannya terdapat pada detail bentuk grafik serta waktu terjadinya suhu puncak tersebut. Suhu puncak ini telah melewati batas titik lebur dari material yaitu sebesar 1800 K. Grafik distribusi suhu pada penelitian sebelumnya telah tercantum pada Gambar 4.26.

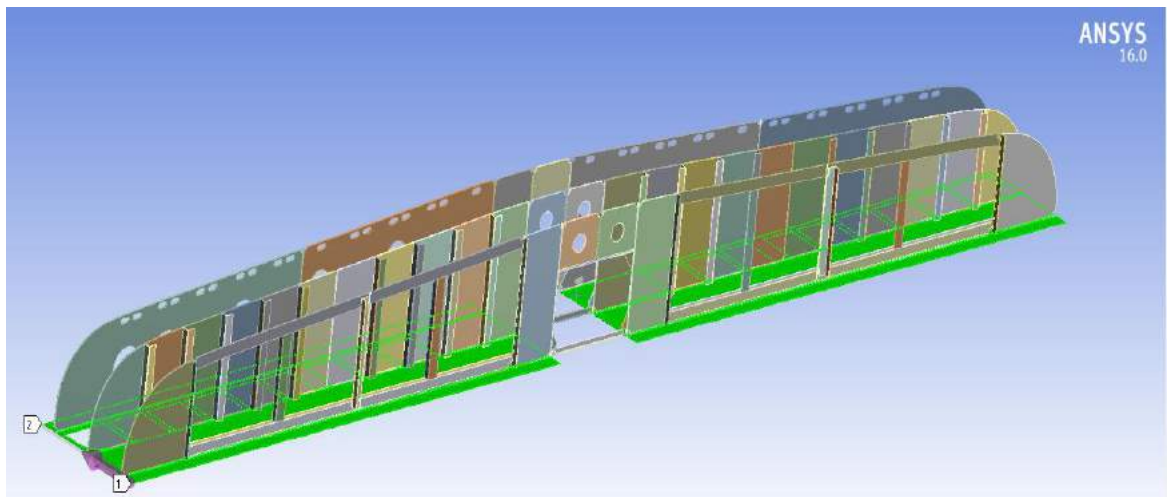


Gambar 4. 26 Grafik Suhu Puncak pada Penelitian Sebelumnya (Wibisono, 2017)

Pada Gambar 4.26, grafik berwarna oranye dan hijau merupakan grafik dari penelitian Wibisono (2017) yang membandingkan suhu puncak antara elemen *solid* dan elemen *shell*

4.5.2. Tegangan Sisa

Pada penelitian ini, tegangan sisa yang dianalisis ialah tegangan sisa *longitudinal*. Tinjauan yang dilakukan dalam analisis tegangan sisa ialah di daerah antara 2 *transverse stiffeners* seperti yang dilakukan Chen (2015), Wibowo (2016), dan Wibisono (2017). Namun, *transverse stiffeners* pada tugas akhir ini diasumsikan sebagai *frames* yang dilas di pada konstruksi *inner bottom*. Gambar 4.27. menunjukkan ilustrasi *pathline* dalam analisis tegangan sisa pada konstruksi *inner bottom* dari *frame 74* hingga *frame 76*.



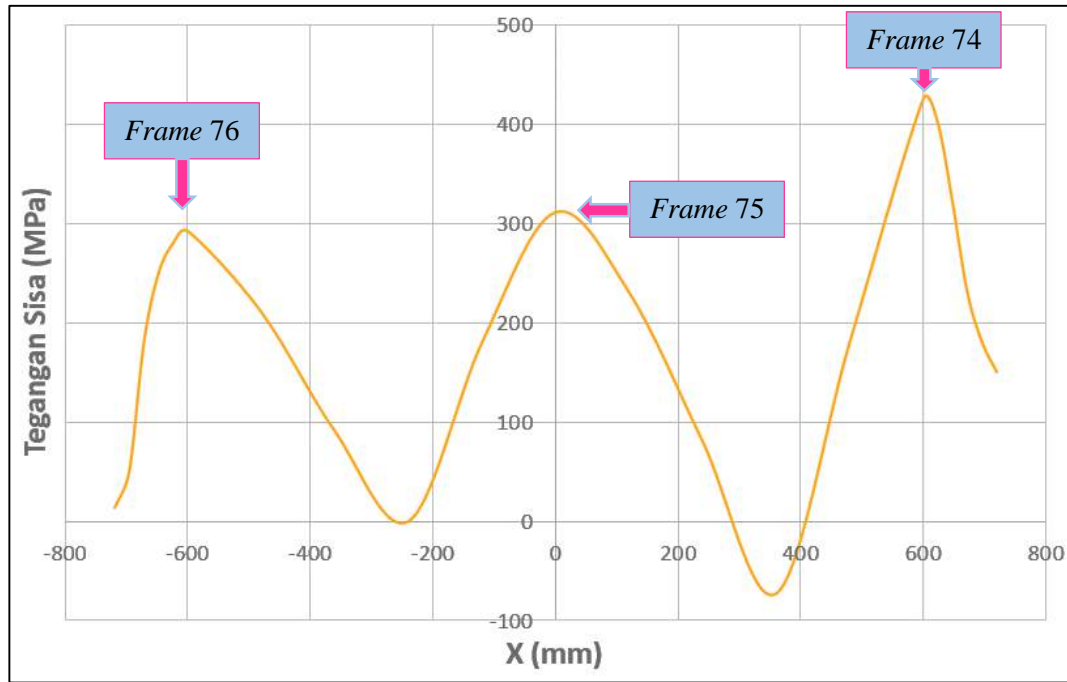
Gambar 4. 27 Pathline (Anak Panah Ungu) untuk Analisis Tegangan Sisa

Setelah analisis termal dilakukan, maka tahap selanjutnya ialah melakukan analisis struktural untuk memperoleh tegangan sisa beserta distorsi. Pada analisis struktural, data masukan yang digunakan ialah data hasil *running* analisis termal berupa distribusi panas. Data distribusi panas tersebut akan secara otomatis berubah menjadi beban struktural ketika langkah-langkah analisis struktural dijalankan. Beberapa hal yang harus dilakukan sebelum analisis struktural yaitu:

- *Impor* data distribusi panas hasil analisis termal.
- Memberikan durasi analisis (*step controls*) baru dan berbeda dari analisis termal.

- Memberikan *supports* berupa *fixed supports* yang diaplikasikan di *starboard* dan *portside* obyek penelitian.

Ilustrasi pelaksanaan langkah-langkah analisis struktural telah tercantum dalam Lampiran B. Gambar 4.28 menunjukkan *temperature history* yang diperoleh dari penelitian ini.



Gambar 4. 28 Gambar Grafik Tegangan Sisa Longitudinal Variasi 1

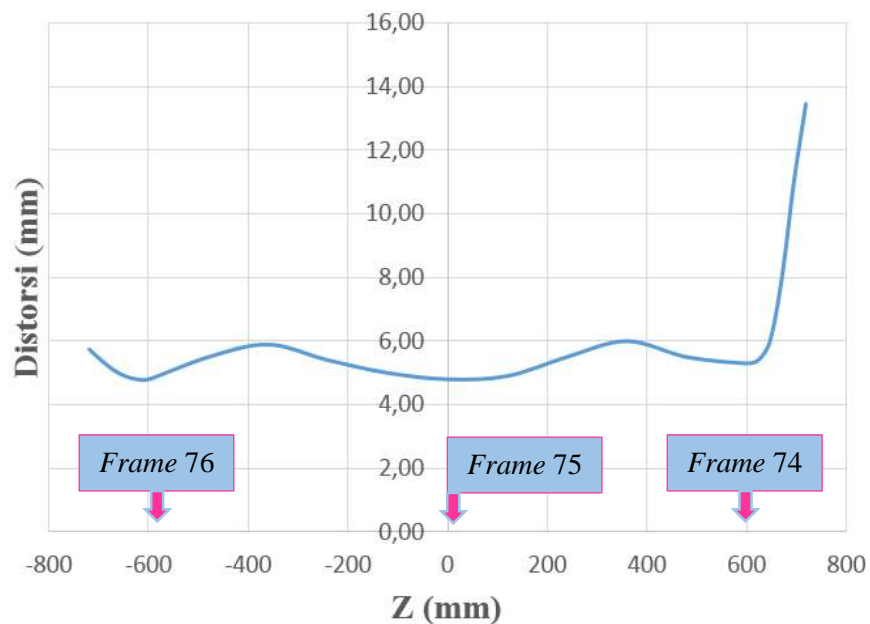
Dari grafik yang ditunjukkan pada Gambar 4.8 terlihat jelas bahwa tegangan sisa tarik maksimum berada pada daerah pengelasan, sedangkan tegangan sisa tekan minimum berada pada daerah yang jauh dari daerah lasan. Pada penelitian ini, nilai tegangan sisa lebih tinggi daripada penelitian sebelumnya, hal ini dikarenakan bentuk geometri yang lebih kompleks. Perbandingan tegangan sisa berdasarkan penelitian sebelumnya dapat dilihat pada Tabel 4.7 sebagai berikut.

Tabel 4. 7 Validasi Tegangan Sisa terhadap Penelitian Sebelumnya

Penelitian	Tegangan Tarik Maksimum (MPa)	Tegangan Tekan Maksimum (MPa)
Chen (2015)	435	-80
Wibobo (2016)	381,3	-142,12
Wibisono (2017)	380,46	-143,54
Hartono (2017)	424,8	-72,97

4.5.3. Distorsi

Hasil distorsi pada penelitian ini dilakukan pada sumbu Z dalam satuan millimeter. Pada *pathline* 1 seperti pada Gambar 4.27, panjang area terjadinya distorsi dimulai dari ujung *frame* 76 hingga *frame* 74, atau searah sumbu X. Gambar 4.29 telah menunjukkan grafik distorsi pasca simulasi pengelasan.



Gambar 4. 29 Grafik Distorsi Pasca Simulasi Pengelasan

Dari grafik yang ditunjukkan pada Gambar 4.29 terlihat bahwa nilai distorsi maksimum terjadi pada bagian ujung plat yang bebas (*free edge*). Untuk $X=720$ mm, distorsi yang terjadi yaitu sebesar 13,45 mm dan untuk $X=-720$ mm distorsi yang terjadi sebesar 5,74 mm. Sedangkan pada daerah *frame*, nilai distorsi mencapai titik minimumnya. Hal ini dikarenakan adanya *stiffener* yang berfungsi

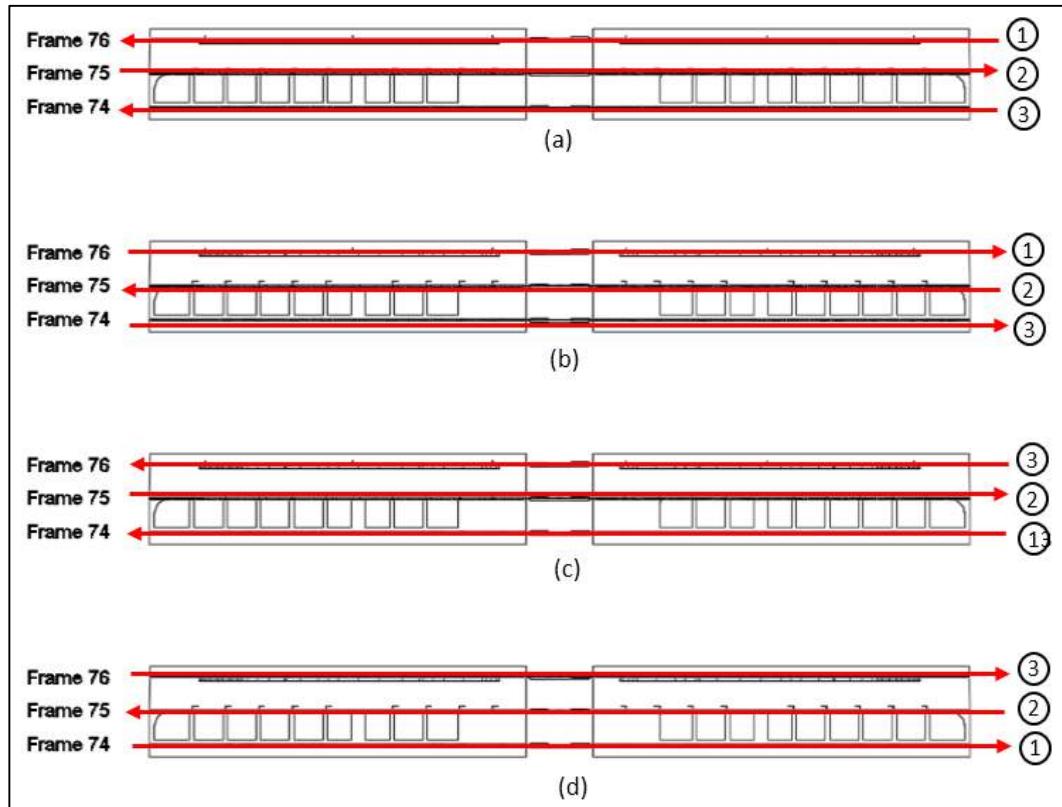
sebagai penahan agar tidak terjadi distorsi pada daerah tersebut, dalam penelitian ini *stiffener* ialah *frames*. Hasil dari penelitian ini, juga telah divalidasi dengan penelitian sebelumnya yang menunjukkan hal serupa, yaitu distorsi maksimum terjadi pada area yang jauh dari area pengelasan.

4.6. Variasi Urutan Pengelasan

Pada penelitian ini, fokus utama tujuan yang dicapai yaitu memperoleh urutan pengelasan yang menguntungkan untuk proses fabrikasi bagian *bottom* kapal. Urutan terbaik yang akan dipilih ialah urutan pengelasan dengan nilai tegangan sisa dan distorsi paling minimum. Variasi urutan pengelasan yang digunakan dalam penelitian ini yaitu sebanyak 4 variasi. Tabel 4.8. memberikan penjelasan detail mengenai variasi urutan pengelasan yang digunakan, sedangkan Gambar 4.30 memberikan ilustrasinya.

Tabel 4. 8 Variasi Urutan Pengelasan

Variation	<i>Frame 76</i>	<i>Frame 75</i>	<i>Frame 74</i>
1	<i>Starboard → Portside</i>	<i>Portside → Starboard</i>	<i>Starboard → Portside</i>
2	<i>Portside → Starboard</i>	<i>Starboard → Portside</i>	<i>Portside → Starboard</i>
	<i>Frame 74</i>	<i>Frame 75</i>	<i>Frame 76</i>
3	<i>Starboard → Portside</i>	<i>Portside → Starboard</i>	<i>Starboard → Portside</i>
4	<i>Portside → Starboard</i>	<i>Starboard → Portside</i>	<i>Portside → Starboard</i>



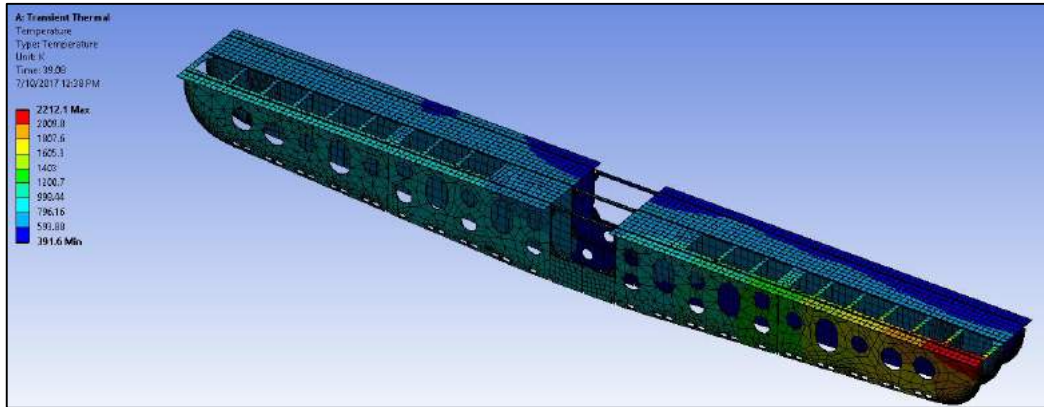
Gambar 4. 30 Gambar Penampang Inner Bottom Tampak Atas (a)Variasi 1
(b)Variasi 2 (c)Variasi 3 (d)Variasi 4

4.7. Variasi Hasil Distribusi Panas

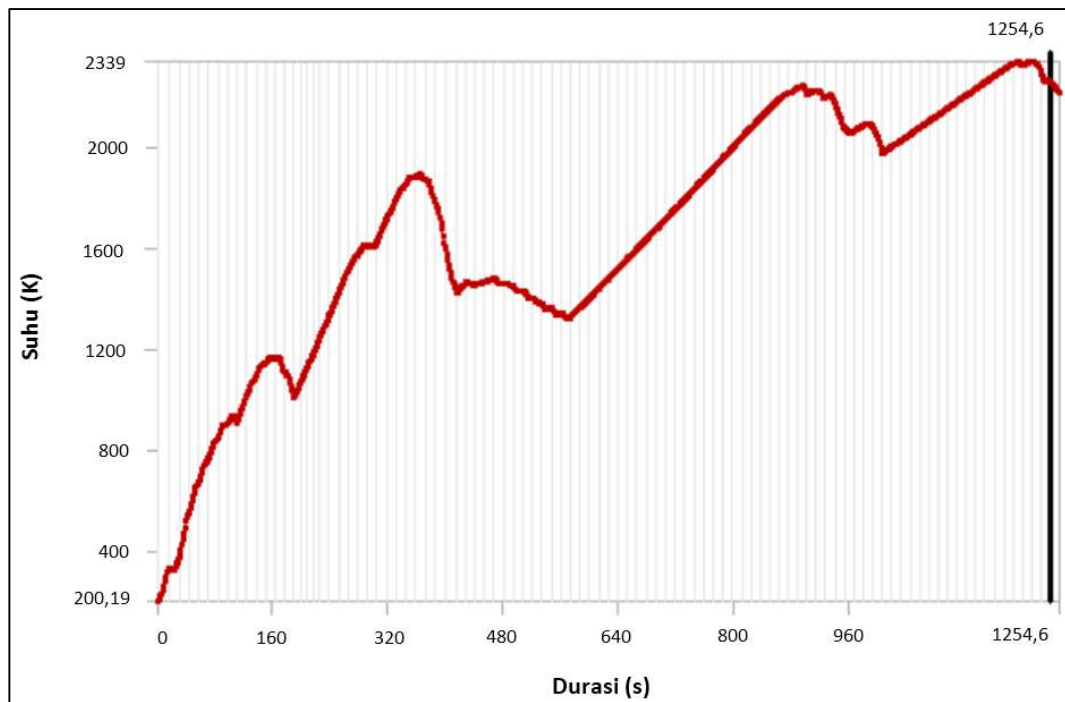
Pada sub-bab sebelumnya, analisis termal dan struktural yang dibahas merupakan bagian dari variasi jenis pertama. Pada bagian ini, keseluruhan variasi akan ditampilkan berupa ilustrasi distribusi panas beserta grafiknya.

4.7.1. Variasi Kedua

Gambar 4.31 merupakan ilustrasi kondisi akhir distribusi panas pada variasi kedua. Berdasarkan grafik distribusi panas, dapat diketahui suhu puncak yang terjadi ialah sebesar 2339 K pada detik ke-1243,7 atau sekitar menit ke-20,7. Gambar 4.32 merupakan grafik distribusi panas pada variasi kedua.



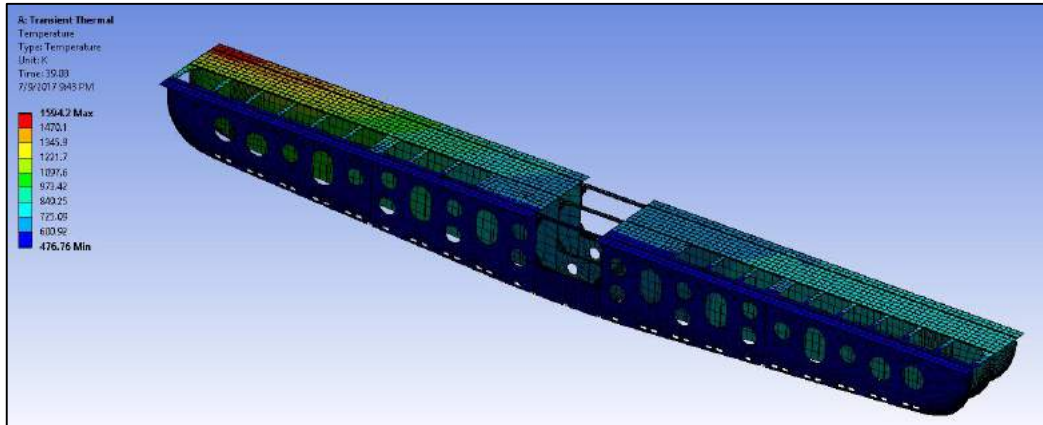
Gambar 4. 31 Kondisi Akhir Distribusi Panas pada Analisis Termal Variasi Kedua



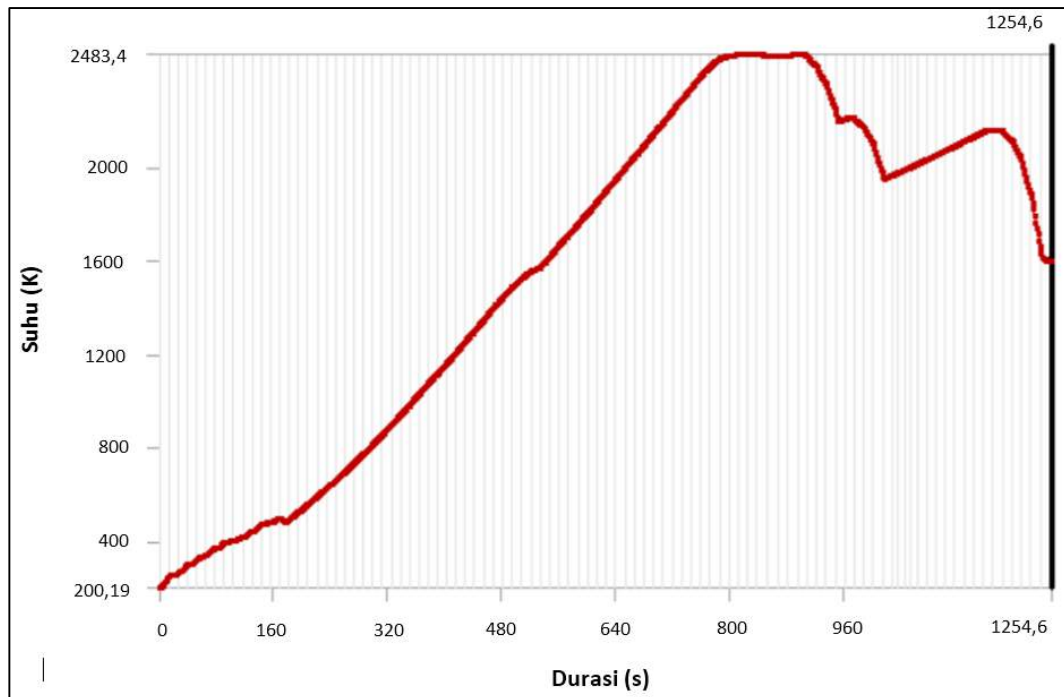
Gambar 4. 32 Grafik Distribusi Panas Hasil Analisis Termal Variasi Kedua

4.7.2. Variasi Ketiga

Gambar 4.33 merupakan ilustrasi kondisi akhir distribusi panas pada variasi ketiga. Berdasarkan grafik distribusi panas, dapat diketahui suhu puncak yang terjadi ialah sebesar 2483,4 K pada detik ke-807,3 atau sekitar menit ke-13,5. Gambar 4.34 merupakan grafik distribusi panas pada variasi ketiga.



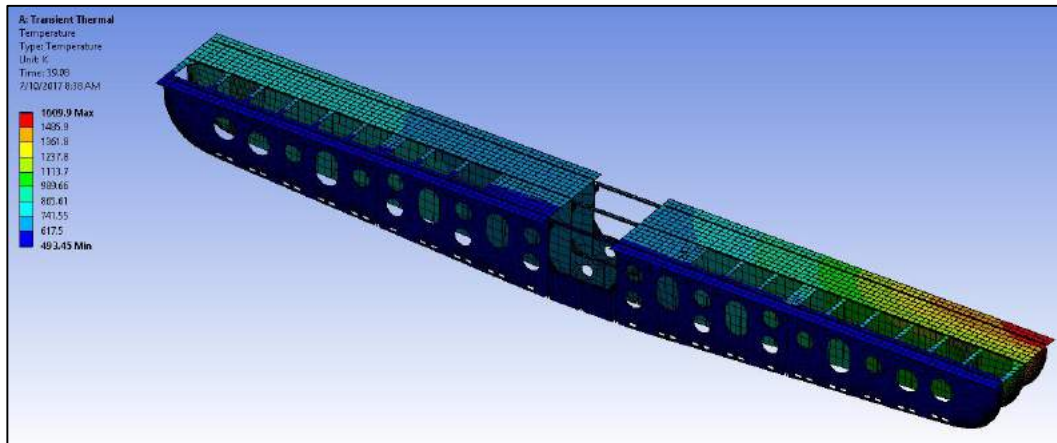
Gambar 4. 33 Kondisi Akhir Distribusi Panas pada Analisis Termal Variasi Ketiga



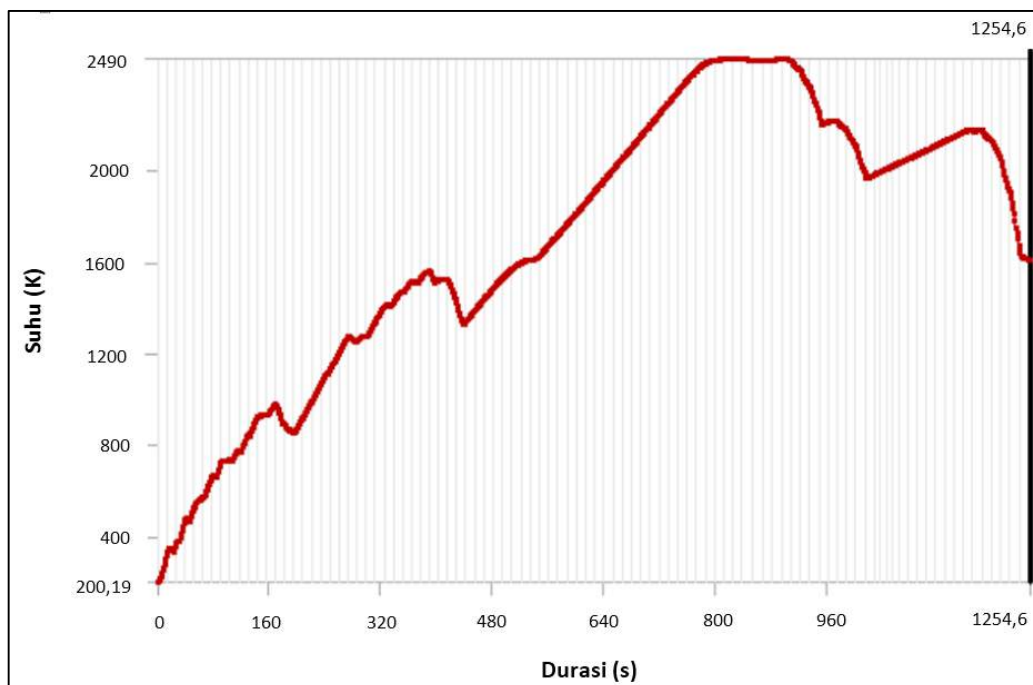
Gambar 4. 34 Grafik Distribusi Panas Hasil Analisis Termal Variasi Ketiga

4.7.3. Variasi Keempat

Gambar 4.35 merupakan ilustrasi kondisi akhir distribusi panas pada variasi keempat. Berdasarkan grafik distribusi panas, dapat diketahui suhu puncak yang terjadi ialah sebesar 2490 K pada detik ke-808,7 atau sekitar menit ke-13,5. Gambar 4.36 merupakan grafik distribusi panas pada variasi keempat.



Gambar 4. 35 Kondisi Akhir Distribusi Panas pada Analisis Termal Variasi Keempat



Gambar 4. 36 Grafik Distribusi Panas Hasil Analisis Termal Variasi Keempat

Tabel 4.9 merupakan ringkasan dari hasil suhu puncak keseluruhan variasi pada analisis termal penelitian ini.

Tabel 4. 9 Suhu Puncak Seluruh Variasi Arah Pengelasan

Variasi	Suhu Puncak (K)
1	2339,1
2	2339
3	2483,4
4	2490

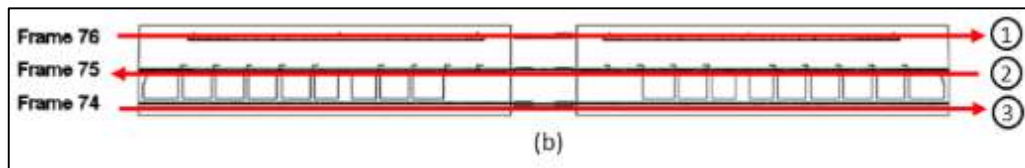
Berdasarkan Tabel 4.9, dapat diketahui bahwa setelah *running* analisis termal untuk semua variasi, variasi 4 memiliki suhu puncak paling tinggi, sedangkan variasi 2 merupakan variasi urutan pengelasan yang menghasilkan suhu puncak paling rendah di antara variasi lainnya.

4.8. Grafik Tegangan Sisa Hasil Variasi Urutan Pengelasan

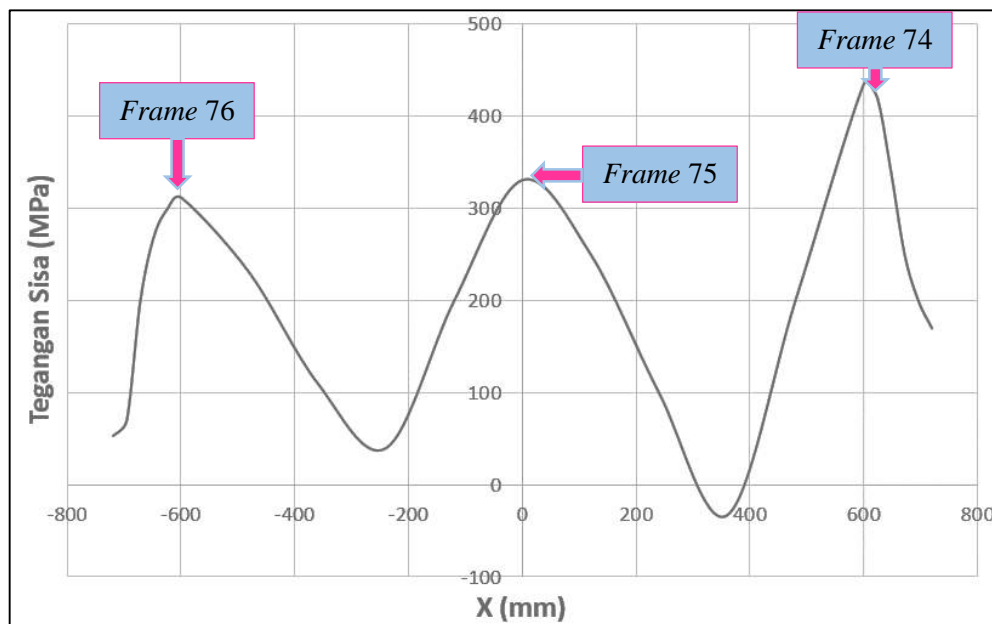
Tinjauan yang dilakukan dalam analisis tegangan sisa ialah di daerah antara 2 *transverse stiffeners* seperti yang dilakukan Chen (2015), Wibowo (2016), dan Wibisono (2017). Namun, *transverse stiffeners* pada tugas akhir ini diasumsikan sebagai *frames* yang dilas pada konstruksi *inner bottom*.

4.8.1. Grafik Tegangan Sisa Variasi Kedua

Gambar 4.38 telah mencantumkan grafik tegangan sisa untuk variasi urutan pengelasan kedua. Variasi kedua dimulai dari *portside frame 76* yang berjalan secara zigzag hingga berakhir pada *starboard frame 74* seperti Gambar 4.37.



Gambar 4. 37 Variasi Urutan Pengelasan Kedua

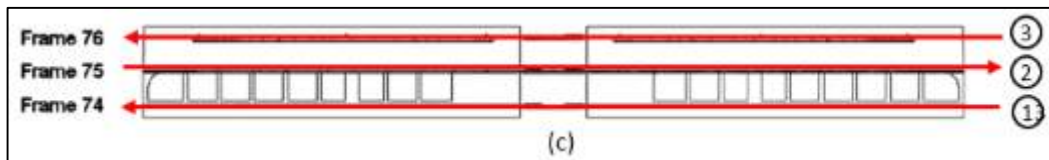


Gambar 4. 38 Grafik Tegangan Sisa Variasi Kedua

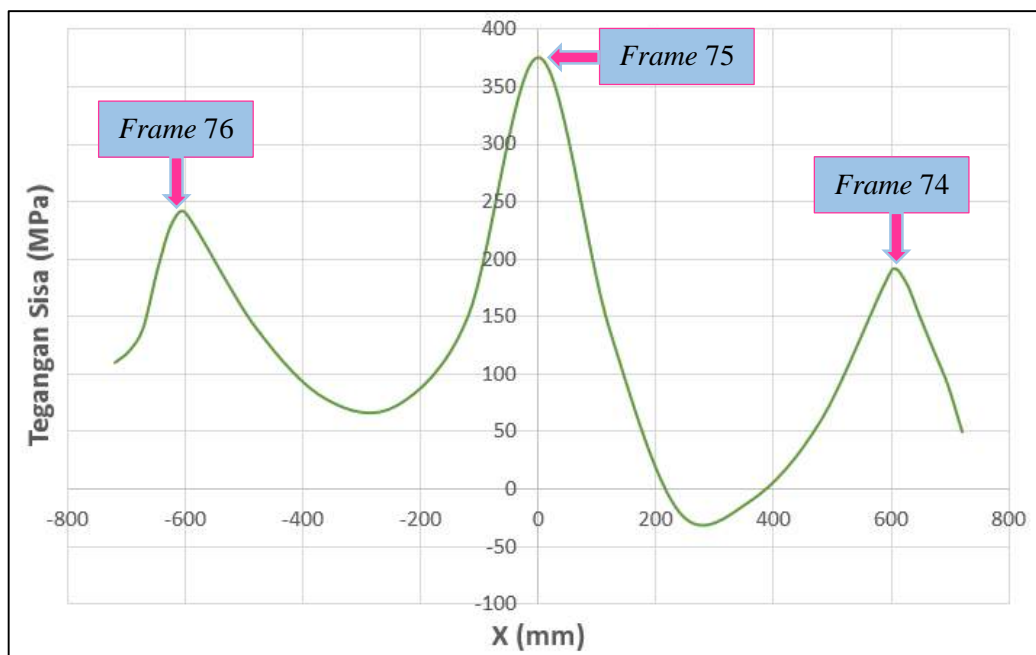
Berdasarkan analisis yang telah dilakukan, dapat diketahui bahwa variasi kedua memiliki hasil tegangan sisa tarik maksimum sebesar 434,73 MPa, dan tegangan sisa tekan maksimum sebesar -33,76 MPa.

4.8.2. Grafik Tegangan Sisa Variasi Ketiga

Gambar 4.40 telah mencantumkan grafik tegangan sisa untuk variasi urutan pengelasan ketiga. Variasi ketiga dimulai dari *starboard frame* 74 yang berjalan secara zigzag hingga berakhir pada *portside frame* 76 seperti Gambar 4.39.



Gambar 4. 39 Variasi Urutan Pengelasan Ketiga

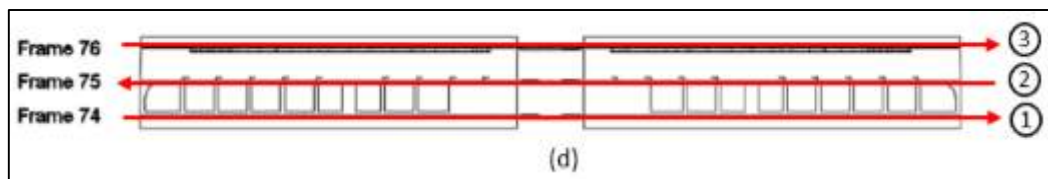


Gambar 4. 40 Grafik Tegangan Sisa Variasi Ketiga

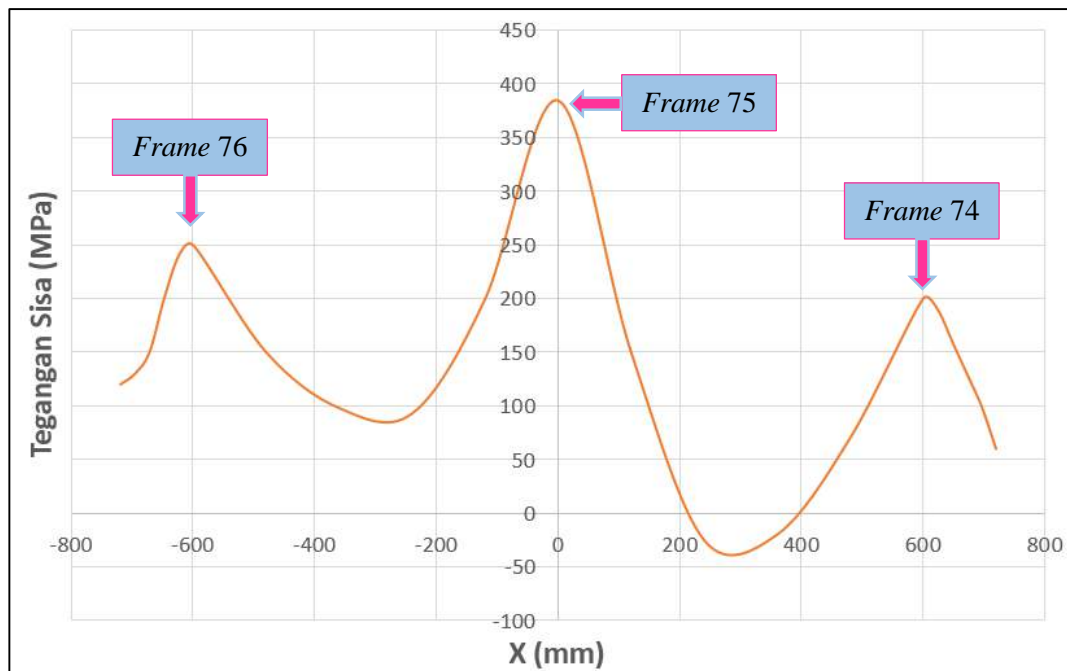
Berdasarkan analisis yang telah dilakukan, dapat diketahui bahwa variasi ketiga memiliki hasil tegangan sisa tarik maksimum sebesar 375,23 MPa, dan tegangan sisa tekan maksimum sebesar -20,18 MPa.

4.8.3. Grafik Tegangan Sisa Variasi Keempat

Gambar 4.42 telah mencantumkan grafik tegangan sisa untuk variasi urutan pengelasan keempat. Variasi keempat dimulai dari *portside frame* 74 yang berjalan secara zigzag hingga berakhir pada *starboard frame* 76 seperti Gambar 4.41.



Gambar 4. 41 Variasi Urutan Pengelasan Keempat



Gambar 4. 42 Grafik Tegangan Sisa Variasi Keempat

Berdasarkan analisis yang telah dilakukan, dapat diketahui bahwa variasi keempat memiliki hasil tegangan sisa tarik maksimum sebesar 384,8 MPa, dan tegangan sisa tekan maksimum sebesar -25,22 MPa.

Berdasarkan seluruh hasil variasi tegangan sisa, variasi urutan pengelasan yang menghasilkan hasil tegangan sisa tarik maksimum terjadi di daerah dekat area pengelasan, sedangkan tegangan sisa tekan maksimum terjadi di daerah yang jauh dari area pengelasan. Tabel 4.10 memberikan ringkasan hasil tegangan sisa di pada seluruh variasi urutan pengelasan.

Tabel 4. 10 Hasil Tegangan Maksimum pada Seluruh Variasi Urutan Pengelasan

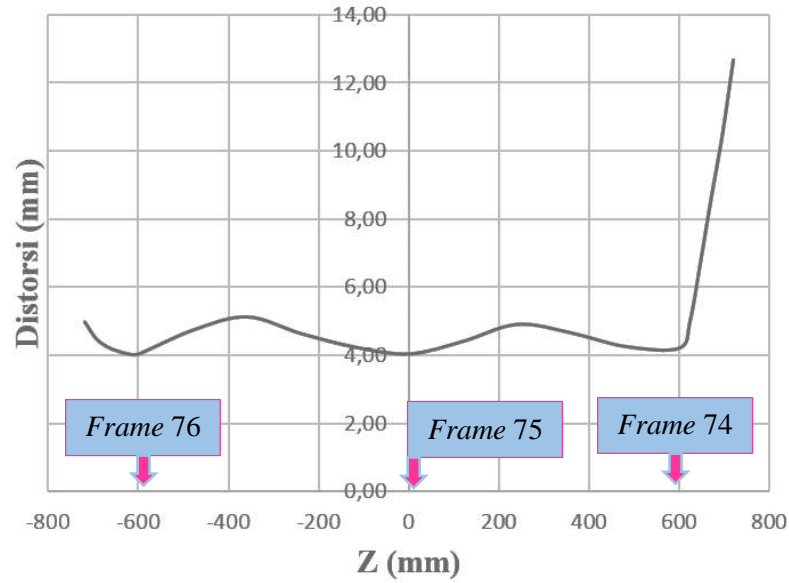
Variasi	Tegangan Tarik Maksimum (MPa)	Tegangan Tekan Maksimum (MPa)
1	424,81	-72,97
2	434,73	-33,76
3	375,23	-20,18
4	384,85	-25,22

Sesuai dengan Tabel 4.10, variasi 3 merupakan variasi urutan pengelasan yang menghasilkan tegangan sisa tarik maupun tekan paling minimum. Hal tersebut dikarenakan, urutan pengelasan variasi 3 bergerak mendekati *inner bottom* yang berada diatas *frame 76*. Area *inner bottom* yang berada di antar *frame 76* dan *75* memiliki bentuk tertutup, sedangkan diantara *frame 75* dan *74* terdapat lubang yang digunakan untuk menyangga kompresor sesuai dengan data yang didapat.

4.9. Grafik Distorsi Hasil Variasi Urutan Pengelasan

4.9.1. Grafik Distorsi Variasi Kedua

Grafik Hasil Distorsi pada Variasi Kedua telah tercantum pada Gambar 4.43 dibawah ini.

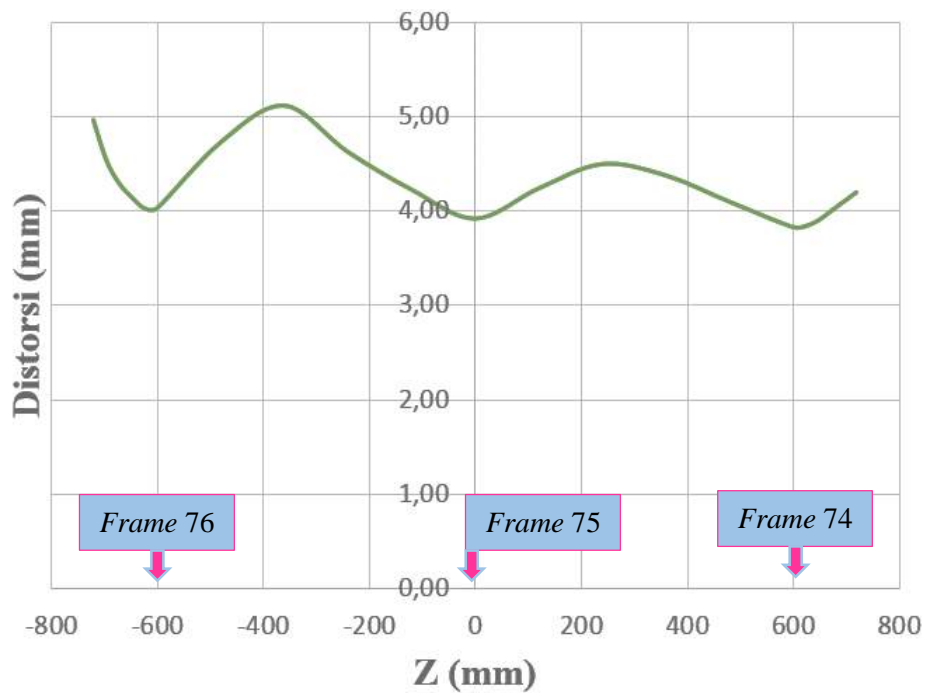


Gambar 4. 43 Grafik Distorsi Variasi Kedua

Dari Gambar 4.43 dapat dilihat bahwa urutan pengelasan variasi kedua menghasilkan distorsi sebesar 12,68 mm ($X= 720$ mm) dan 4,97 mm ($X= -720$ mm).

4.9.2. Grafik Distorsi Variasi Ketiga

Grafik Hasil Distorsi pada Variasi Kedua telah tercantum pada Gambar 4.44 dibawah ini.

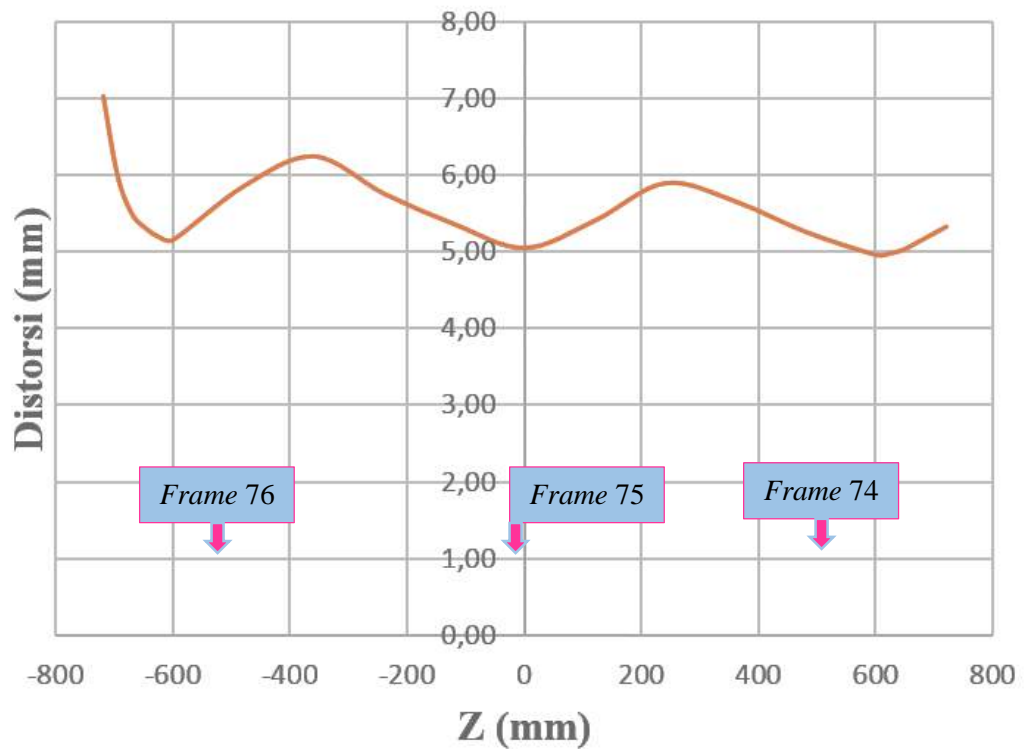


Gambar 4. 44 Grafik Distorsi Variasi Ketiga

Dari Gambar 4.44 dapat dilihat bahwa urutan pengelasan variasi ketiga menghasilkan distorsi sebesar 4,20 mm ($X= 720$ mm) dan 4,92 mm ($X= -720$ mm).

4.9.3. Grafik Variasi Keempat

Grafik Hasil distorsi pada variasi keempat telah tercantum pada Gambar 4.45.



Gambar 4. 45 Grafik Distorsi Variasi Keempat

Dari Gambar 4.45 dapat dilihat bahwa urutan pengelasan variasi keempat menghasilkan distorsi sebesar 2,44 mm ($X= 720$ mm) dan 3,43 mm ($X= -720$ mm).

Berikut adalah tabel ringkasan hasil distorsi pada seluruh variasi yang telah dilakukan pada analisis struktural

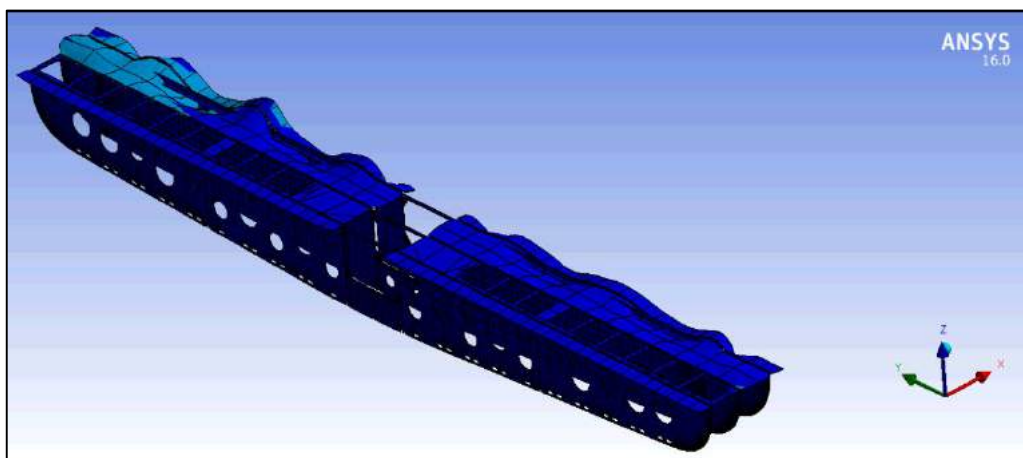
Tabel 4. 11 Hasil Distorsi Seluruh Variasi

Variasi	UZ			
	Ujung Inner Bottom dekat Frame 76	Lokasi (X = -720 mm)	Ujung Inner Bottom dekat Frame 74	Lokasi (X = 720 mm)
1	5,74	Portside Frame 76	13,45	Portside Frame 74
2	4,97	Starboard Frame 76	12,68	Starboard Frame 76
3	4,92	Portside Frame 76	4,2	Portside Frame 74
4	7,03	Starboard Frame 76	5,32	Starboard Frame 76

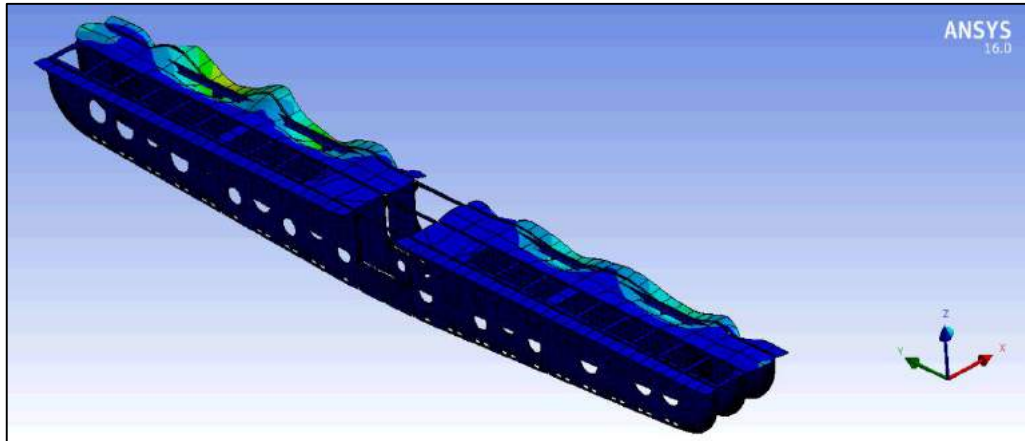
Sesuai dengan Tabel 4.11, telah diketahui bahwa variasi 3 memiliki nilai distorsi paling minimum, sedangkan variasi 1 memiliki nilai distorsi paling besar.

4.10. Pengaruh Variasi Urutan Pengelasan

Pada penelitian ini, dari empat jenis variasi urutan pengelasan yang digunakan, satu urutan pengelasan yang memiliki hasil tegangan sisa dan distorsi paling minimum telah diketahui. Variasi urutan tersebut ialah variasi urutan pengelasan ketiga. Variasi urutan pengelasan tersebut dimulai dari *starboard frame 74* hingga *portside frame 76*. Variasi urutan pengelasan ketiga lebih efektif dikarenakan arah pengelasan variasi ini menuju ke *inner bottom* tanpa lubang, sehingga beban dapat terdistribusikan secara merata. Gambar 4.46 dan 4.47 menunjukkan ilustrasi hasil analisis struktural yang menghasilkan tegangan sisa dan distorsi dengan variasi urutan pengelasan ketiga.



Gambar 4. 46. Ilustrasi Tegangan Sisa Variasi Urutan Pengelasan 3



Gambar 4. 47. Ilustrasi Distorsi Variasi Urutan Pengelasan 3

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis- analisis pada penelitian ini, maka dapat diambil kesimpulan, yaitu:

1. Bentuk grafik distribusi tegangan sisa dan distorsi dari penelitian ini telah menunjukkan hasil yang serupa dengan penelitian sebelumnya, sehingga dapat dipastikan hasil yang diperoleh ialah hasil yang valid.
 - a. Bentuk grafik tegangan sisa yang dihasilkan dari penelitian ini memiliki titik puncak (*peak*) pada area pengelasan. Titik tegangan sisa terendah berada pada wilayah yang jauh dari area pengelasan. Tegangan sisa tarik maksimum (*peak*) searah sumbu x (σ_x) ialah sebesar 375,23 MPa, dan tegangan sisa tekan maksimum (σ_x) sebesar -20,18 MPa.
 - b. Bentuk grafik distorsi yang didapatkan dari penelitian ini memiliki titik puncak (*peak*) di bagian yang jauh dari area pengelasan. Titik distorsi terendah berada pada area pengelasan. Hasil distorsi ditinjau di X=720 mm dan X=-720 mm yang searah sumbu z. Hasil distorsi paling minimum memiliki besar 4,92 mm pada X=-720 mm, dan 4,2 pada X=720 mm.
2. Berdasarkan analisis *transient thermal* dan analisis *transient structural*, variasi urutan pengelasan ketiga memiliki keunggulan jika dibandingkan dengan variasi lain. Hal itu dikarenakan variasi urutan pengelasan ketiga memiliki urutan pengelasan menuju konstruksi *inner bottom* tanpa lubang, sehingga distribusi tegangan sisa dan distorsi mampu tersebar secara merata. Sedangkan untuk variasi pengelasan yang mendekati konstruksi *inner bottom* berlubang, distribusi tegangan sisa dan distorsi memiliki persebaran yang kurang merata, dan hanya terpusat pada area tertentu dengan nilai tegangan sisa dan deformasi yang tinggi.

5.2. Saran

Berbagai macam *trial & error* telah dilakukan dalam penelitian ini akibat obyek yang diteliti merupakan konstruksi kompleks. Konstruksi kompleks tersebut seringkali tidak bisa menerima perlakuan yang sama dengan konstruksi pada

penelitian-penelitian sebelumnya, hal ini dikarenakan semua penelitian terdahulu hanya menggunakan beberapa gabungan plat sederhana. Sebagai tindak lanjutnya, jikalau topik tugas akhir ini diteliti lagi, mohon untuk melakukan saran dibawah ini:

1. Menambah variasi urutan pengelasan yang sesuai dengan eksekusi di lapangan fabrikasi, serta membandingkannya dengan variasi yang belum pernah sama sekali digunakan untuk fabrikasi.
2. Memodelkan *side girder* dan *centre girder* untuk menghasilkan *output* yang mendekati realita yang ada di lapangan.
3. Membuat *timeline* padat dan teratur untuk pengerjaan tugas akhir topik ini, agar mampu menganalisis keseluruhan *frames* di blok yang sedang diteliti.

Daftar Pustaka

- Anca A., A. Cardona, dan V. Fachinotti. 2008. "Finite Element Modelling of Welded Joints", **Mecánica Computacional**. Vol. 27: 1445-1470.
- ANSYS, Inc. 2013. *ANSYS Mechanical User's Guide: Release 15.0*. Canonsburg: ANSYS, Inc.
- ANSYS, Inc. 1999. *Theory Reference: Release 5.6*. Canonsburg: ANSYS, Inc.
- Arifin, A. 2016. "Post Weld Heat Treatment (PWHT) pada Proses Pengelasan", (Online), (<http://achmadarifin.com/welding/post-weld-heat-treatment-pwht-pada-proses-pengelasan>, diakses 20 Juni 2017).
- Cary, H. B. 1994. *Modern Welding Technology 3rd Ed*. Englewood Cliffs: Prentice Hall.
- Coules, H. E. 2012. "Contemporary Approaches to Reducing Weld Induced Residual Stress:", **Institute of Materials, Minerals, and Mining**. Vol. 29: 4-18.
- Daneshgar, M. R., S. E. Habibi, E. Daneshgar, dan A. Daneshgar. 2016. "Analysis of Residual Stresses and Angular Distortion in Stiffened Cylindrical Shell Fillet Welds Using Finite Element Method", **International Journal of Civil, Environmental, Structural, Construction, and Architectural Engineering**. Vol. 10: 548-558.
- Djamiko, R. D. 2008. *Modul Teori Pengelasan Logam*. Yogyakarta: Jurusan Pendidikan Teknik Mesin, Universitas Negeri Yogyakarta.
- Funderburk, R. S. 1999. "Key Concepts in Welding Engineering: A Look at Heat Input", **Welding Innovation**. Vol. 16: 1-4.
- Gannon, Liam. 2011. *Effect of Welding Residual Stress and Distortion on Ship Hull Structural Performance*. Thesis Doktoral. Halifax: Department of Civil and Resource Engineering, Dalhousie University.
- Lincoln Electric. 2006. *SAW (Stick Welding)*. Cleveland: Lincoln Electric.
- Magga, Ramang. 2009. "Pengaruh Pembentukan Tegangan Sisa pada Hasil Pengelasan", **JIMT**. Vol. 6: 54-62.
- Masubuchi, K. 2001. *Welding Handbook: Residual Stress and Distortion*. Miami: American Welding Society.

- Miller Electric Mfg. Co. 2014. *Welding Process Training Series Submerged Arc Welding*. Appleton: Miller Electric Mfg.
- Prasetya, Eko., Z. Arifin, dan T. Joko. 2010. “Simulasi Perpindahan Panas Konduksi Pada Pengelasan Logam Tak Sejenis antara Baja Tahan Karat AISI 304 dan Baja Karbon Rendah SS 400 dengan Metode Beda Hingga”, **MEKANIKA**. Vol. 9: 262-267.
- PT. Citra Mas. 2016. *Geomarin IV*. Surabaya: PT. Citra Mas.
- Prasetyo, Y. 2012. “Tugas5_YudiPrasetyo_0806455950_FA S2”, (Online), (https://yudiprasetyo53.wordpress.com/2012/11/02/tugas-5_yudi-prasetyo_0806455950_fa-s2/), diakses 27 Juni 2017).
- Putra, Y.A., S. 2007. *Analisa Tegangan Sisa dan Distorsi pada Pengelasan Fillet T-Joint dengan Metode Elemen Hingga*. Tugas Akhir. Surabaya: Jurusan Teknik Material dan Metalurgi, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Radovanovic, S. 1998. *Thermal and Structural Finite Element Analysis of Early Age Mass Concrete Structures*. Thesis Master. Manitoba: Department of Mechanical and Industrial Engineering, University of Manitoba.
- Shen, C. 2013. *Low Distortion Welding for Shipbuilding Industry*. Thesis Master. Wollongong: School of Mechanical, Materials, & Mechatronic Engineering, University of Wollongong.
- Syahroni, Nur., dan M. I. P. Hidayat. 2012. “3D Finite Element Simulation of T-Joint Fillet Weld: Effect of Various Welding Sequences on the Residual Stresses and Distortions”, **InTech**. Chapter 24: 583-606.
- The Lincoln Electric Company. 1973. *The Procedure Handbook of Arc Welding*. Ohio: The Lincoln Electric Company.
- Transport Canada. 2010. “Definitions of Hull Elements”, (Online), (<https://www.tc.gc.ca/eng/marinesafety/tp-tp14609-4-construction-150.htm>), diakses pada 7 Februari 2017).
- Wibisono, B. O. B. 2017. *Analisa Tegangan Sisa pada Panel Plat dengan Metode Elemen Hingga Menggunakan Jenis Elemen Solid dan Elemen Shell*. Tugas Akhir. Surabaya: Jurusan Teknik Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

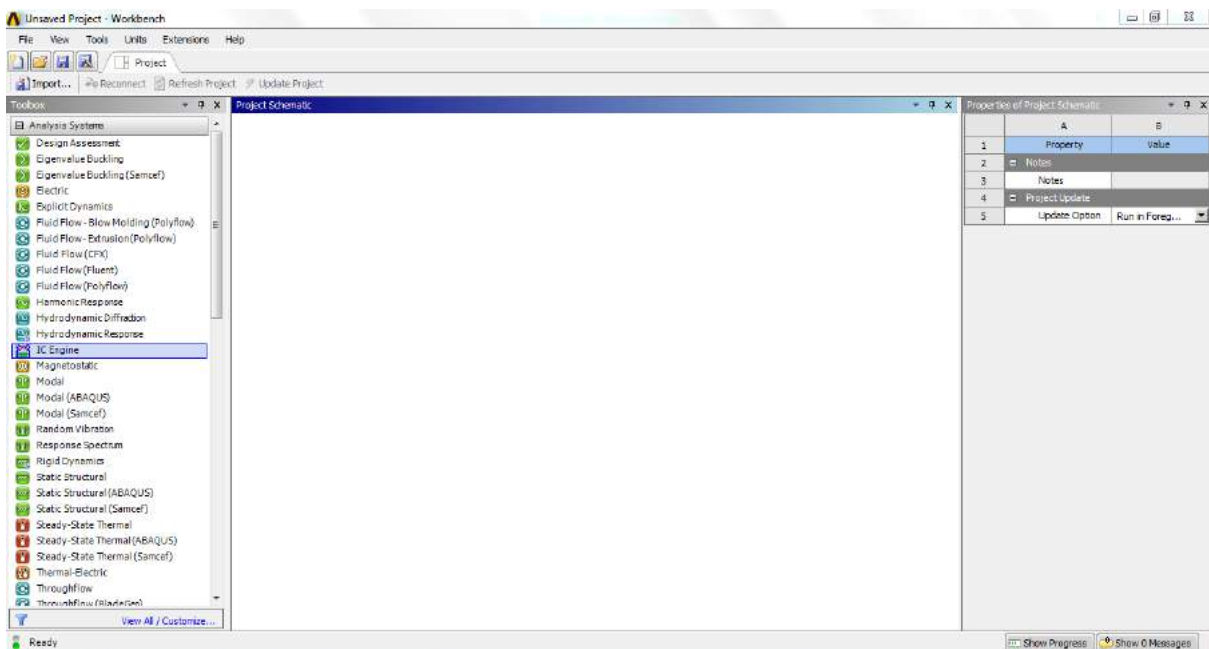
- Wibowo, B. A. 2016. *Analisa Numerik Tegangan Sisa dan Distorsi pada Struktur Plat Berpenegar Jamak dengan Variasi Urutan Pengelasan*. Tugas Akhir. Surabaya: Jurusan Teknik Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Wibowo, H., M. N. Ilman, dan P. T. Iswanto. 2016. “Analisa Heat Input Pengelasan terhadap Distorsi, Struktur Mikro, dan Kekuatan Mekanis Baja A36”, **Jurnal Rekayasa Mesin**. Vol. 7: 5-12.
- Wiryo Sumarto, H., dan T. Okumura. 2000. *Teknologi Pengelasan Logam*. Jakarta: Pradnya Paramita.
- Zaroog, O. S. 2014. “Current and Challenge of Residual Stress Measurement Technique”, **International Journal of Science and Research**. Vol. 3: 210-216.

LAMPIRAN

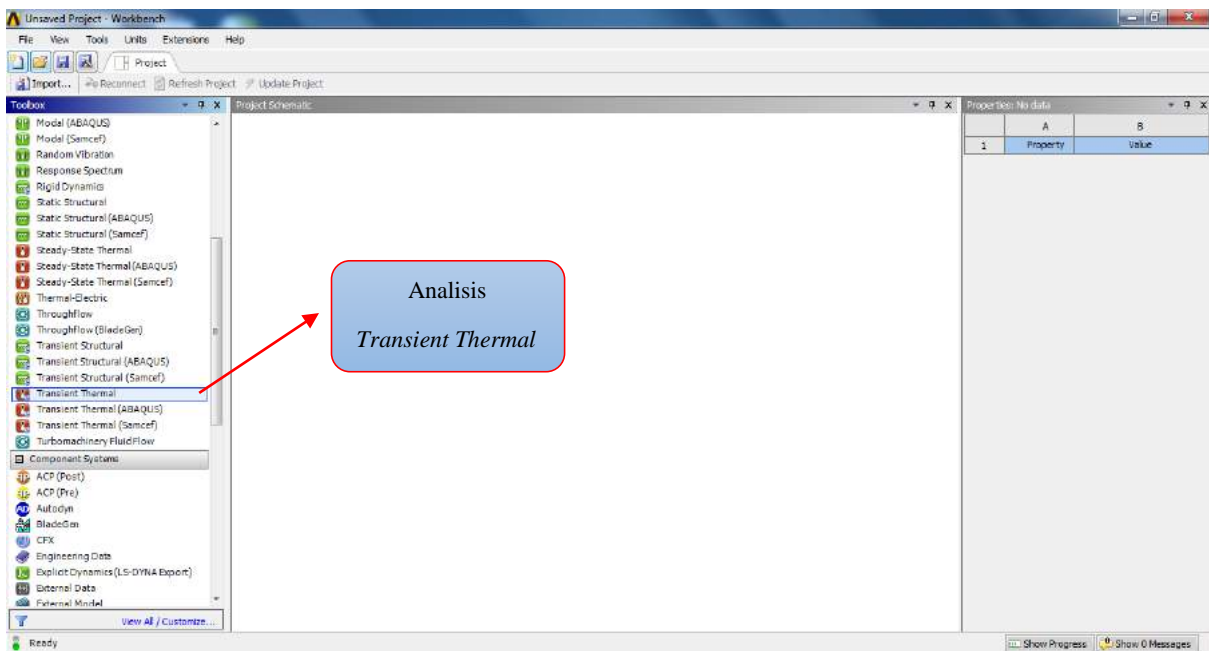
LAMPIRAN A

LANGKAH-LANGKAH ANALISIS *TRANSIENT* *THERMAL*

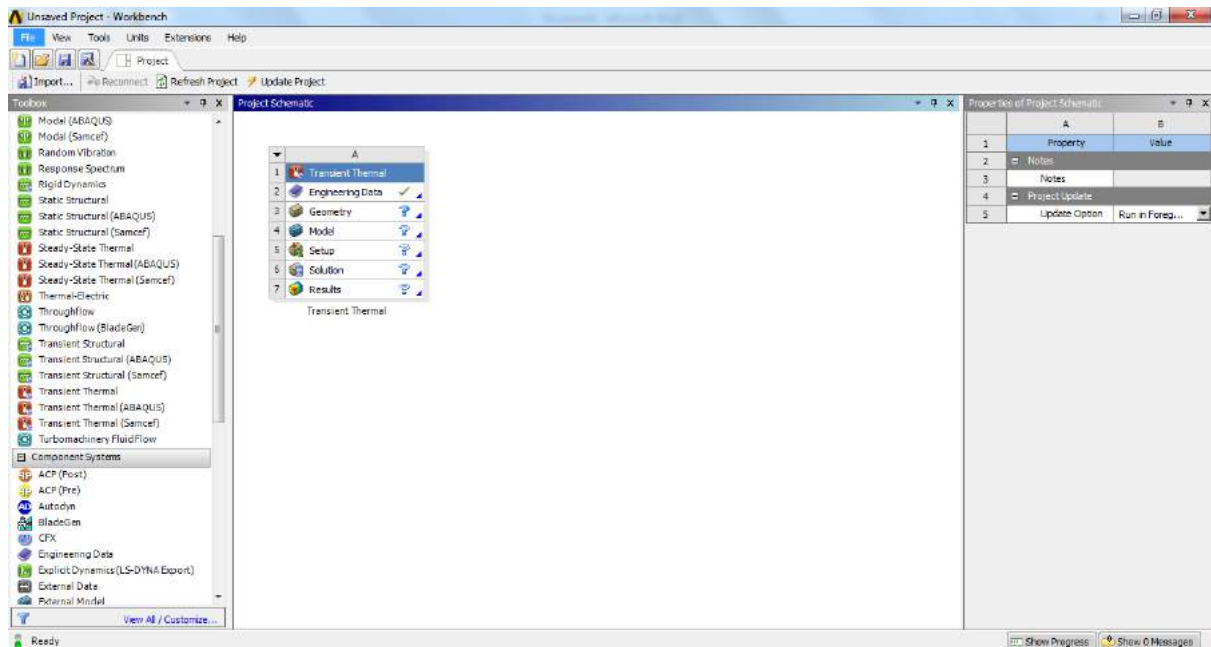
1. Tampilan Awal ANSYS Workbench 16.0.



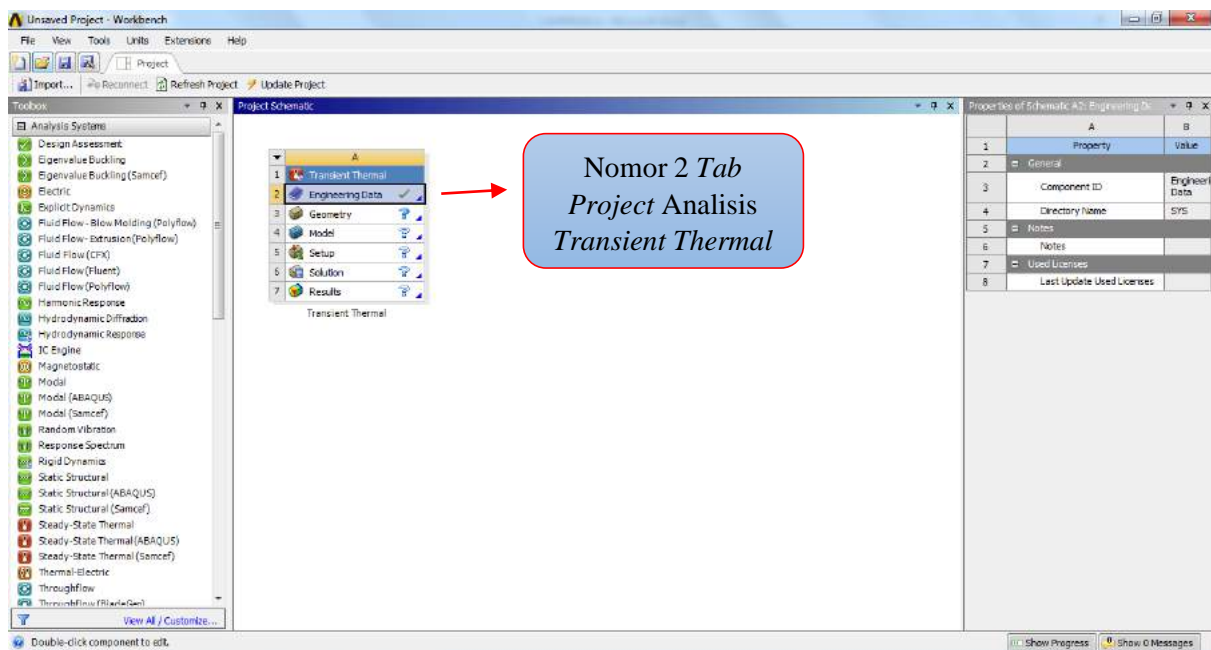
2. Memilih Jenis Analisis “Transient Thermal”.



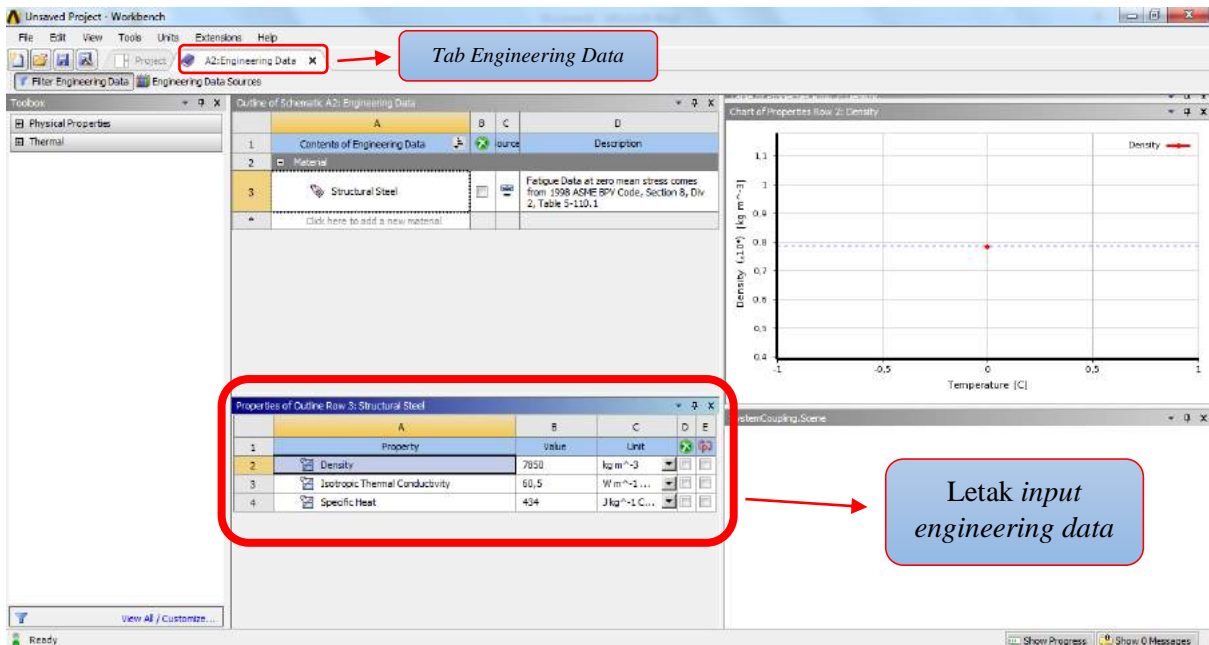
Kemudian membawa analisis *transient thermal* ke *Project Schematic*.



3. Memasukkan *Engineering Data* pada Nomor 2 Tab *Project Analisis Transient Thermal*.

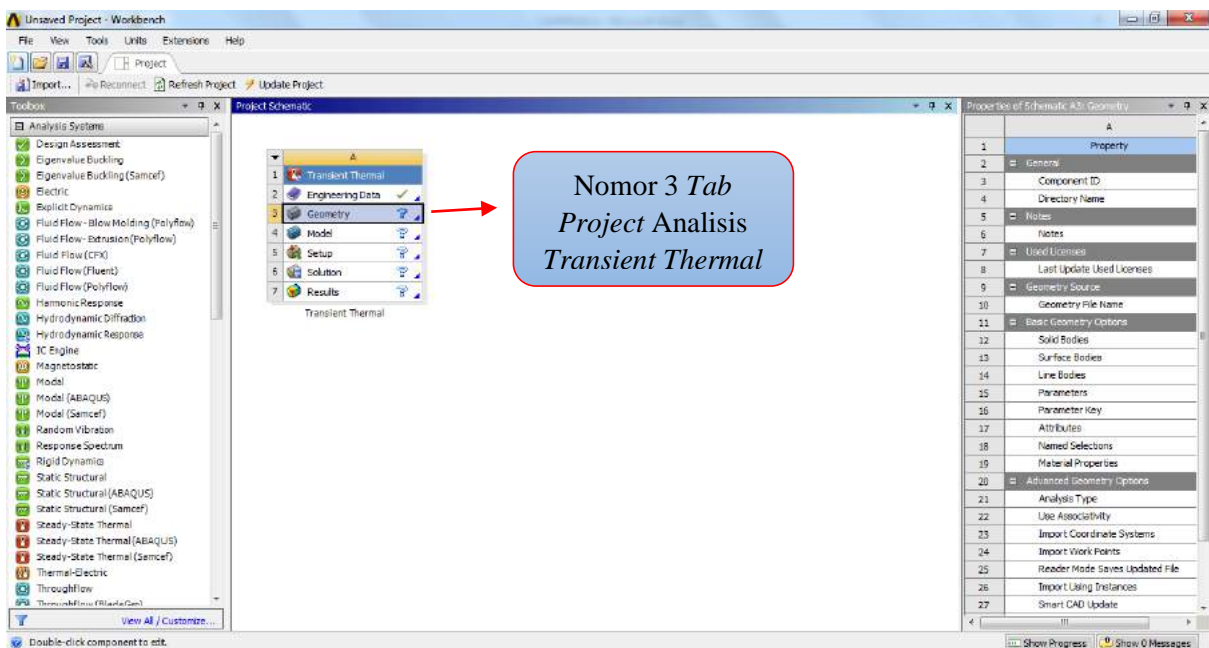


Data yang dimasukkan yaitu berupa data-data dasar sifat konstruksi yang akan dianalisis.

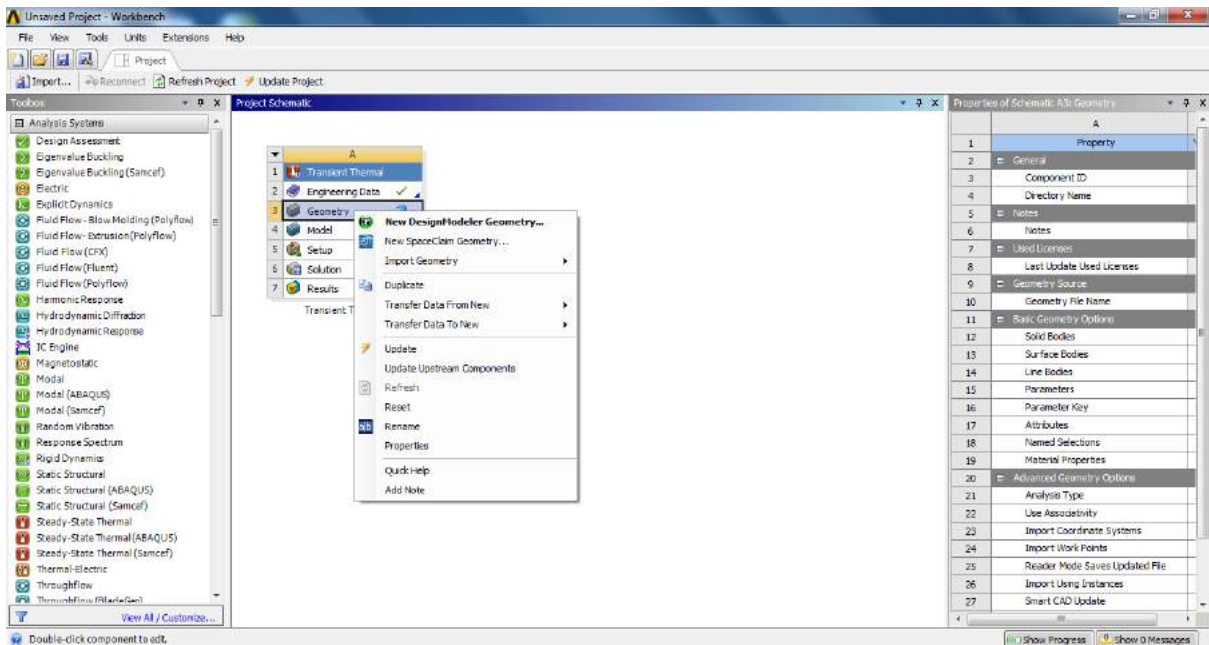


Data tersebut meliputi massa jenis (*density*), konduktivitas thermal isotropik (*isotropic thermal conductivity*), dan *specific heat*. Satuan data yang akan dimasukkan dapat disesuaikan dengan pilihan yang telah tersedia di ANSYS. Setelah memasukkan data, tutup *tab engineering data*.

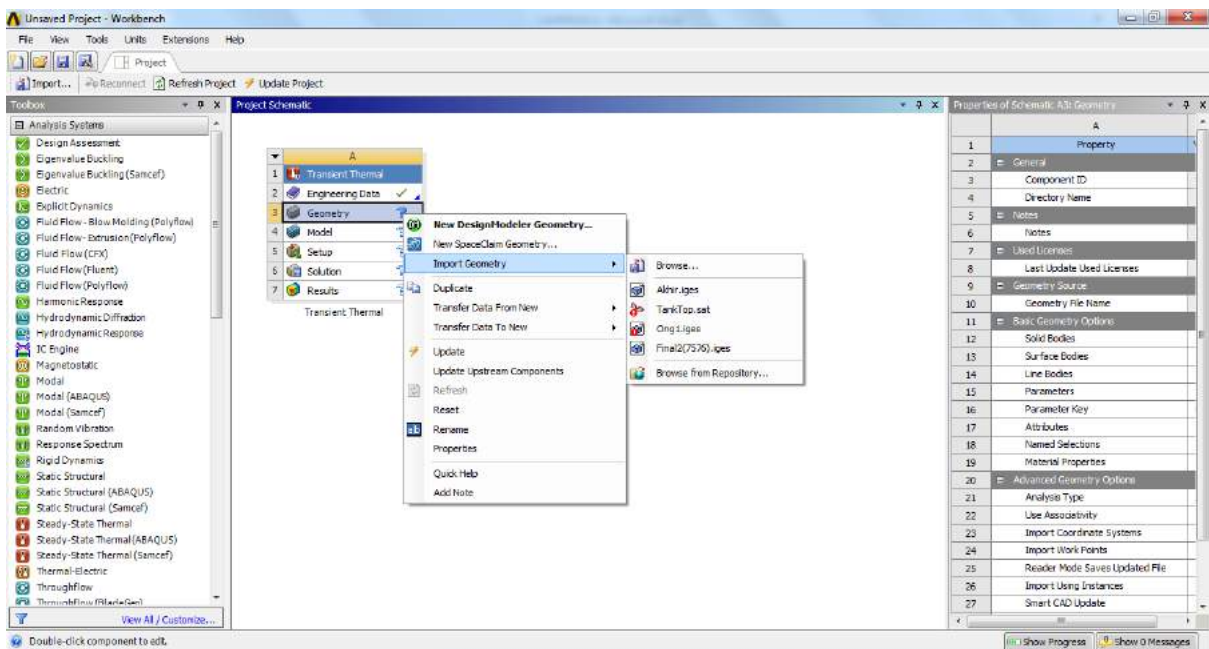
4. Memasukkan Data Geometri pada Nomor 3 *Tab Project Analisis Transient Thermal*.



Langkah awal yang dilakukan yaitu mengklik kanan nomor 3 (*Geometry*),

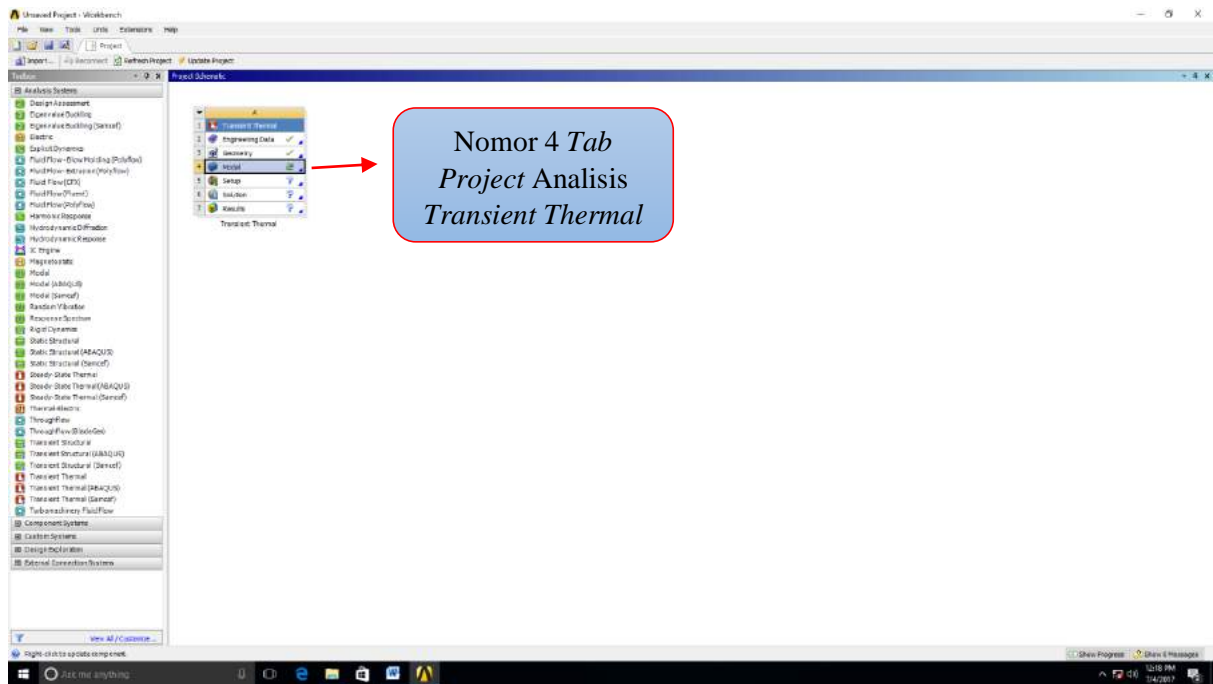


Kemudian memilih *import geometry* dan memasukkan data yang akan dianalisis.



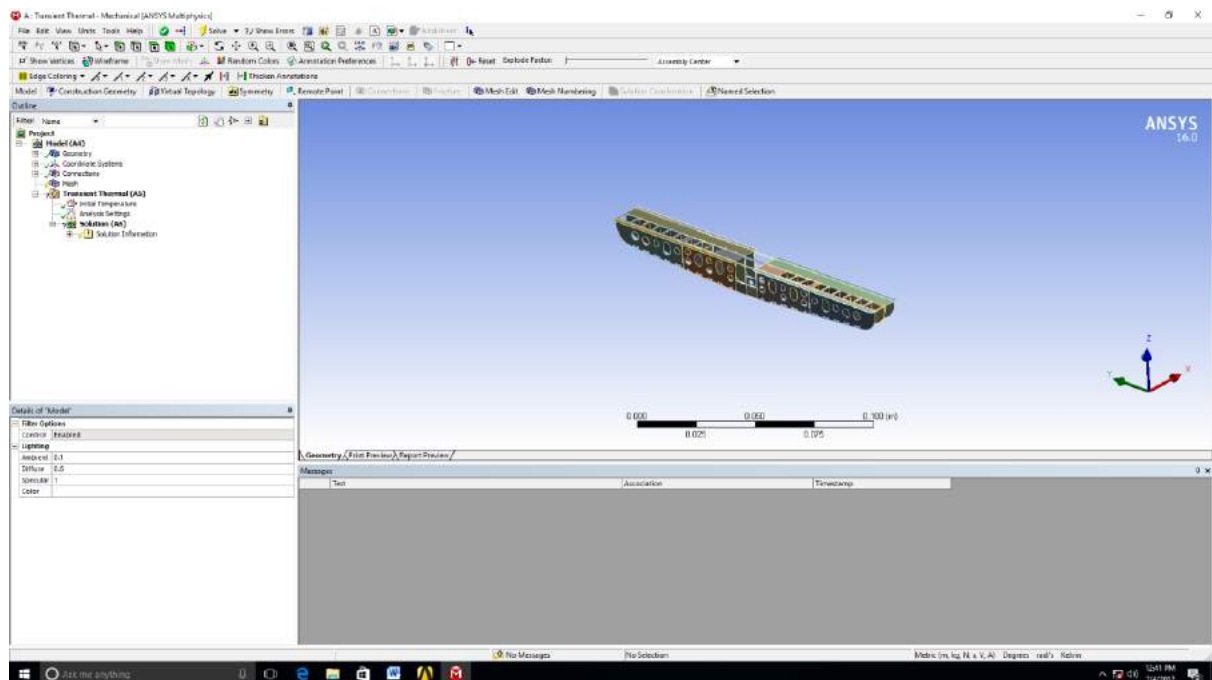
Pada umumnya, jenis data yang dimasukkan memiliki ekstensi .sat atau .iges yang telah ditentukan pada tahap pemodelan di AutoCad.

5. Membuka Data yang telah dimasukkan.

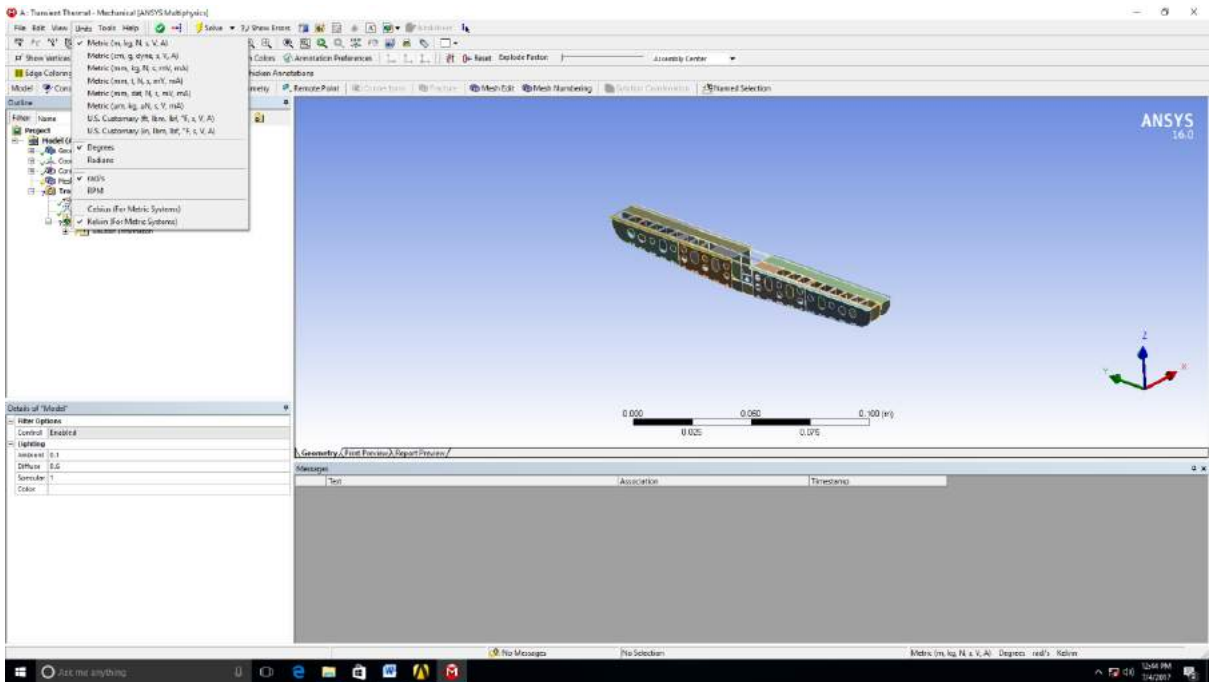


Cara untuk membuka data yang telah dimasukkan yaitu mengklik dua kali pada nomor 4 tab project analisis transient thermal.

6. Tampilan Mechanical [ANSYS Multiphysics].

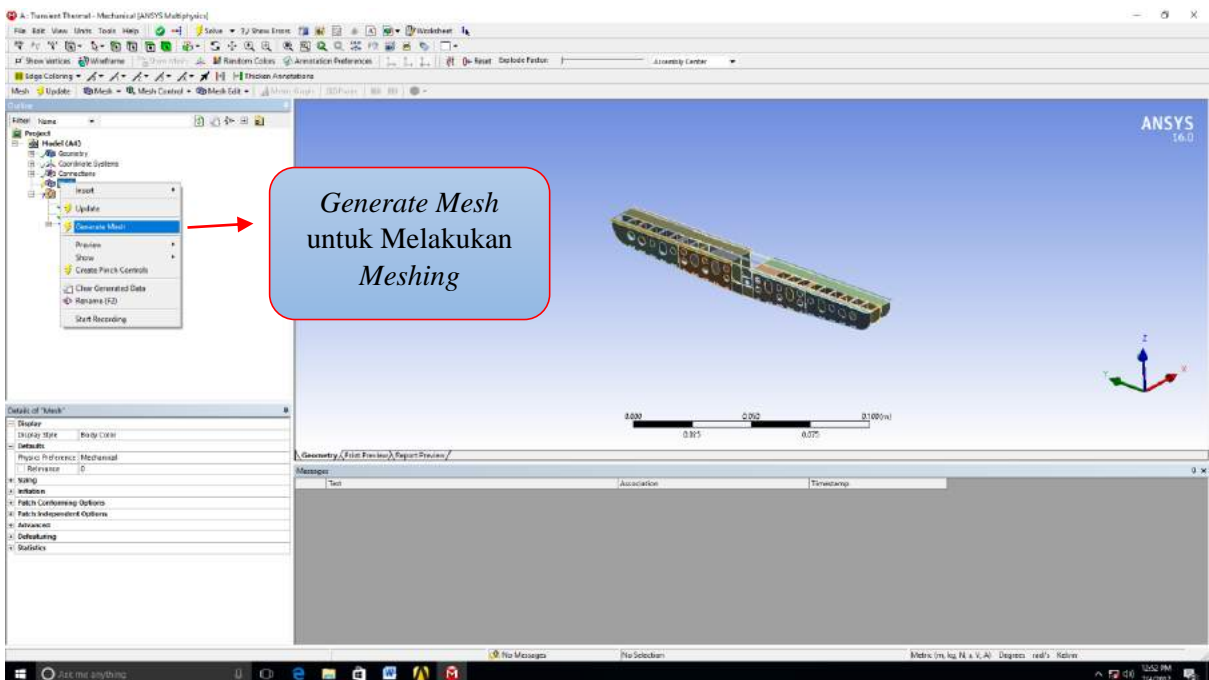


7. Menentukan Unit Satuan yang akan digunakan.

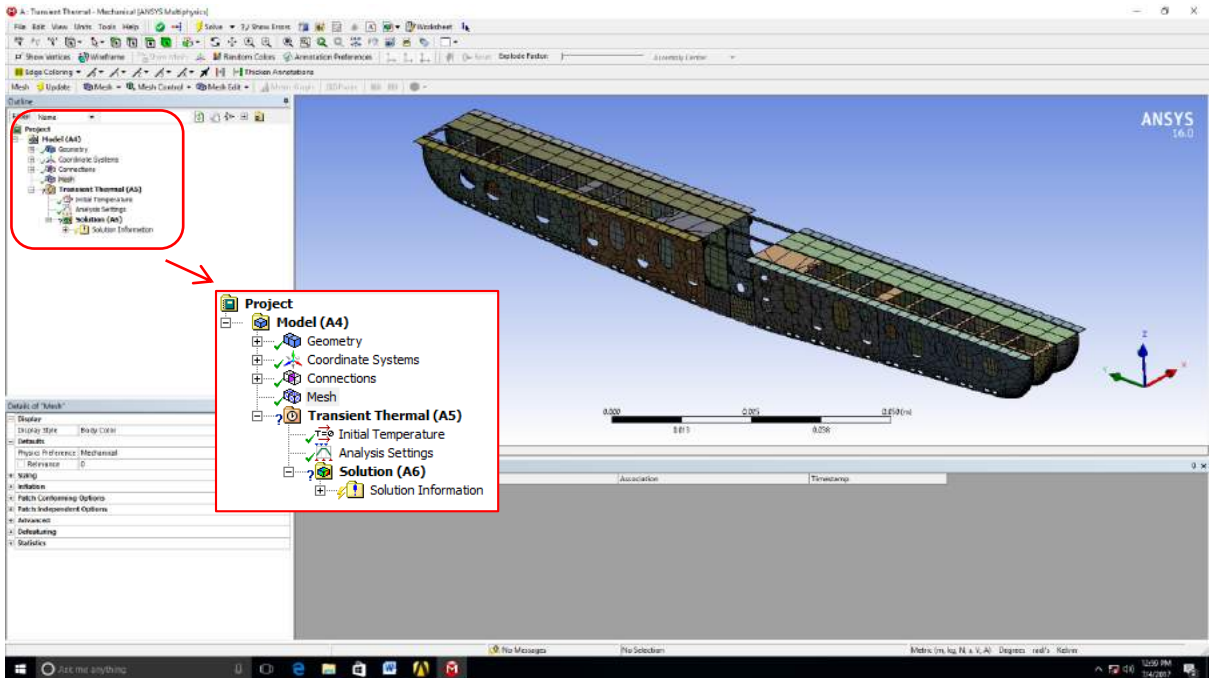


Cara menentukan unit satuan yang akan digunakan dalam analisis yaitu mengklik *tab* menu “Units”.

8. Melakukan Meshing.

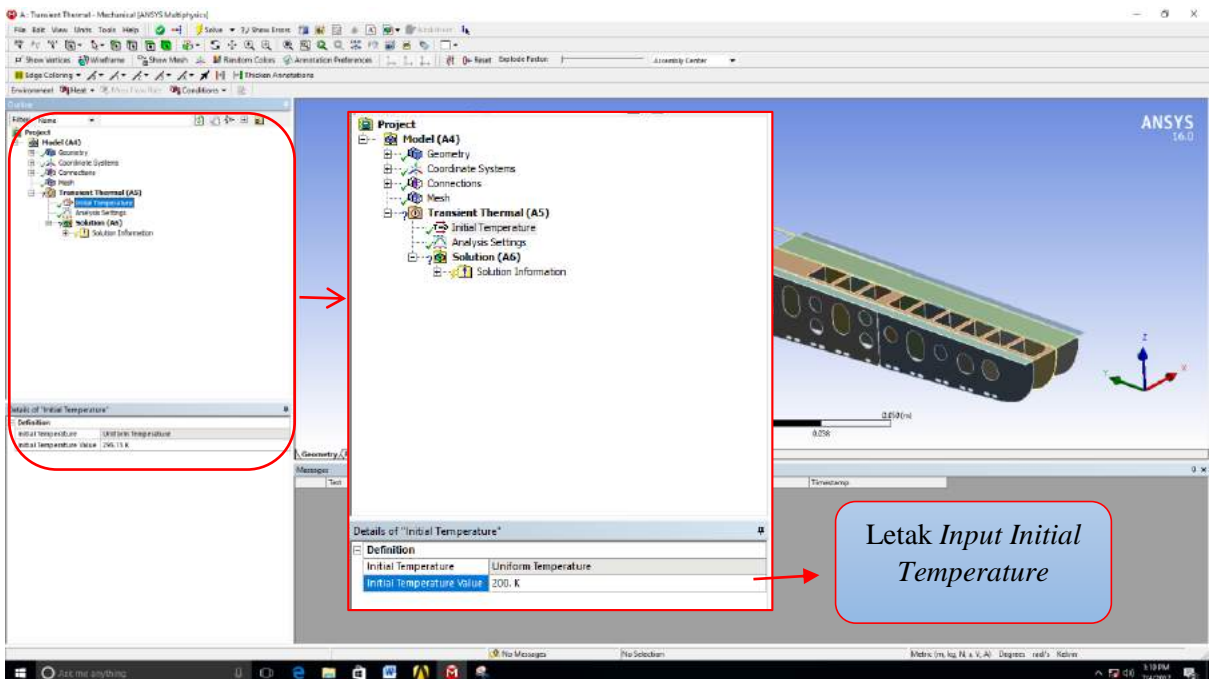


Meshing dilakukan dengan cara mengklik *Mesh*, lalu *Generate Mesh*.



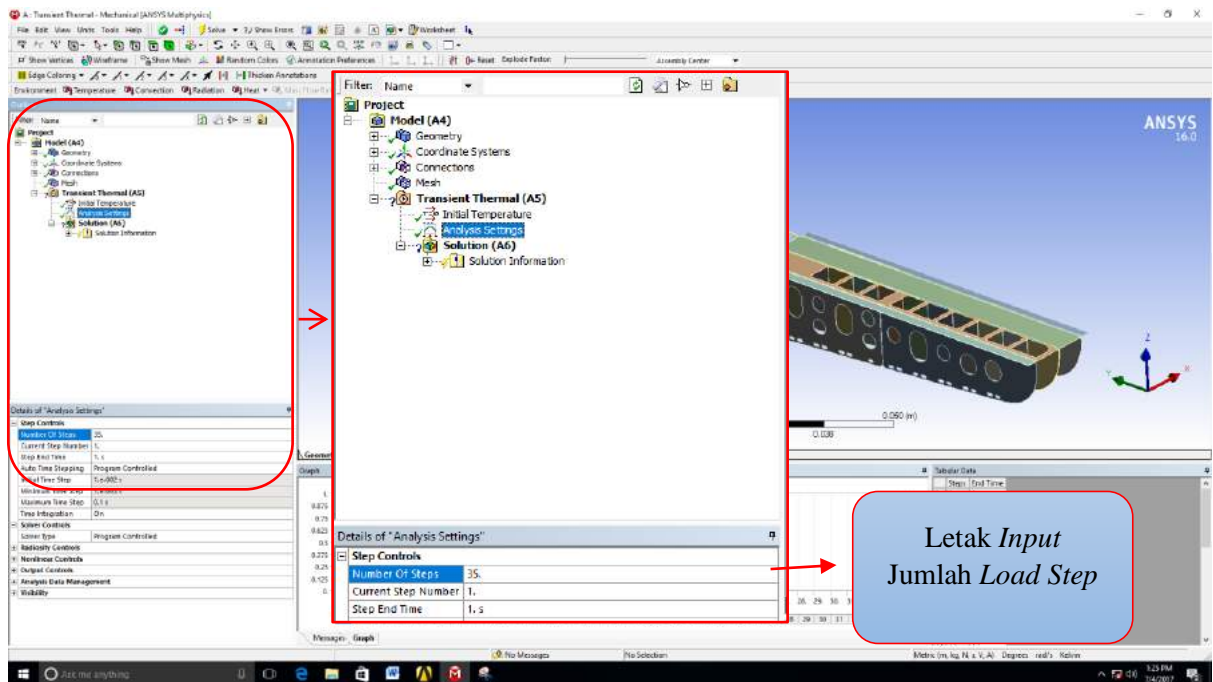
Meshing dianggap berhasil jika tanda halilintar disamping *Mesh* telah berubah menjadi tanda centang.

9. Memasukkan *Initial Temperature*.



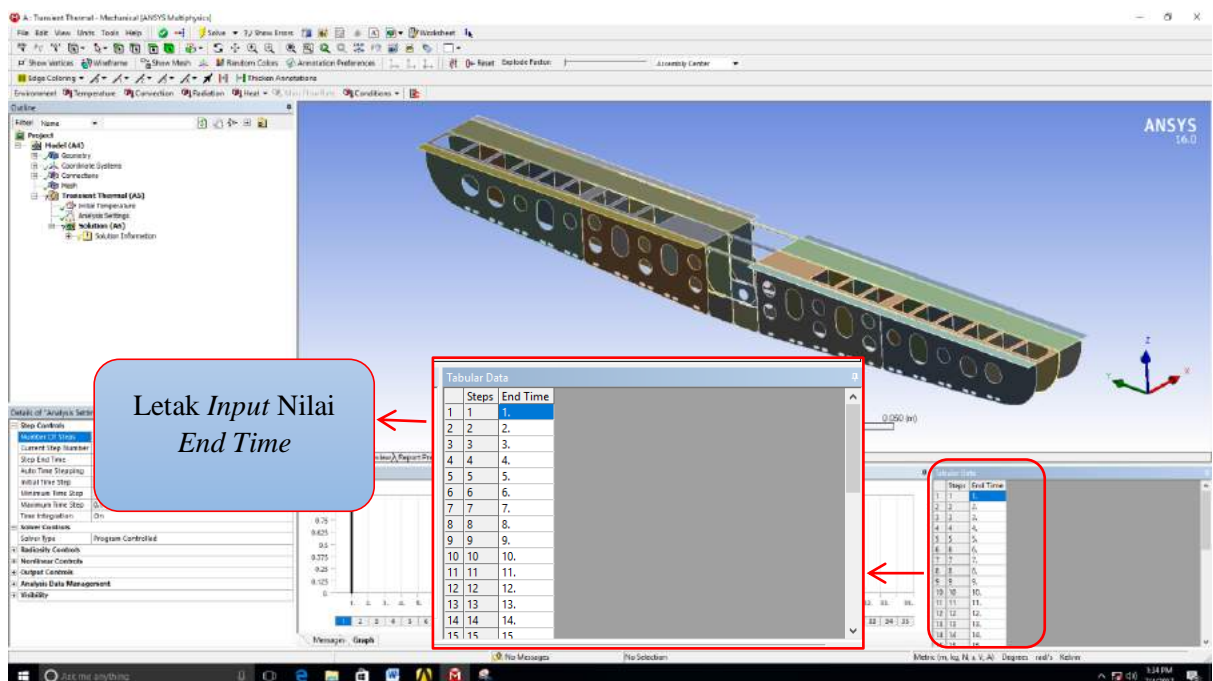
Cara memasukkan *initial temperature* yaitu mengklik *initial temperature* yang terdapat pada *outline*, kemudian nilai suhu dimasukkan pada *detail*, tepatnya di *initial temperature value*.

10. Memasukkan Jumlah Load Step.



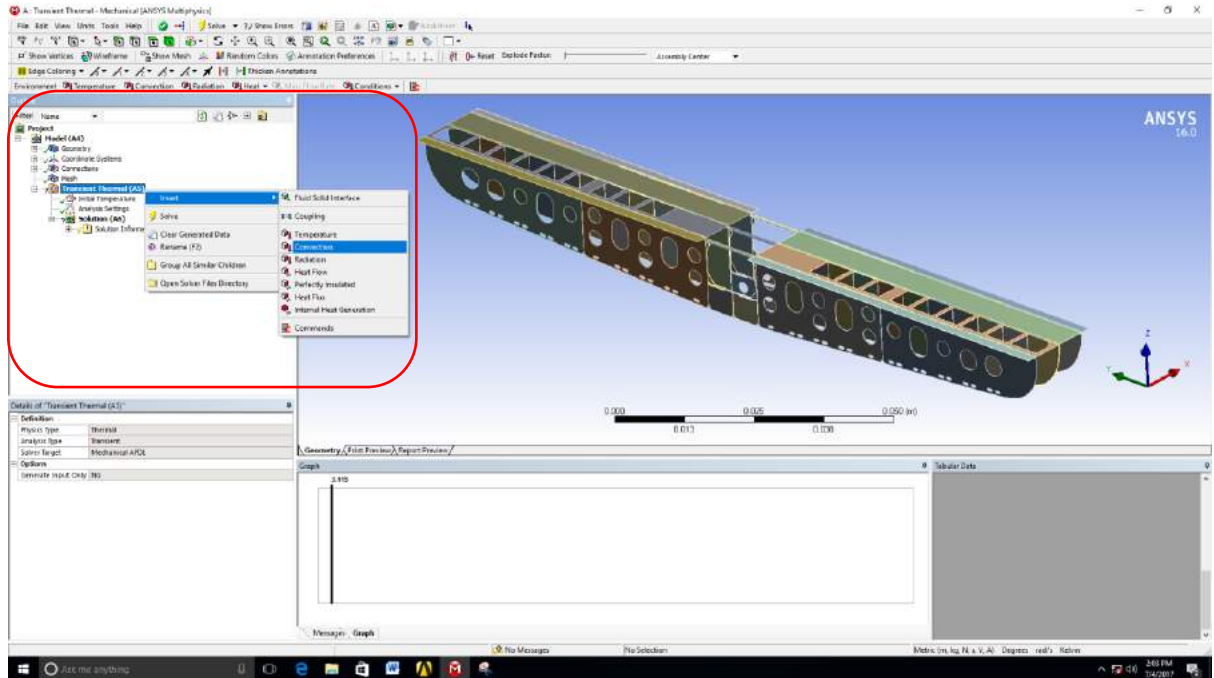
Jumlah *load step* yang dimasukkan bergantung pada hitungan yang telah dilakukan, dan masing-masing *load step* memiliki nilai parameter pengelasan (*end time*, *convection* dan *heat flux*) yang berbeda satu sama lain. Perbedaan tersebut dikarenakan analisis yang dilakukan ialah analisis *transient* berupa simulasi pengelasan. Sehingga, untuk menghasilkan animasi serta hasil analisis yang akurat, hal tersebut haruslah dilakukan.

11. Memasukkan Nilai End Time masing-masing Load Step.



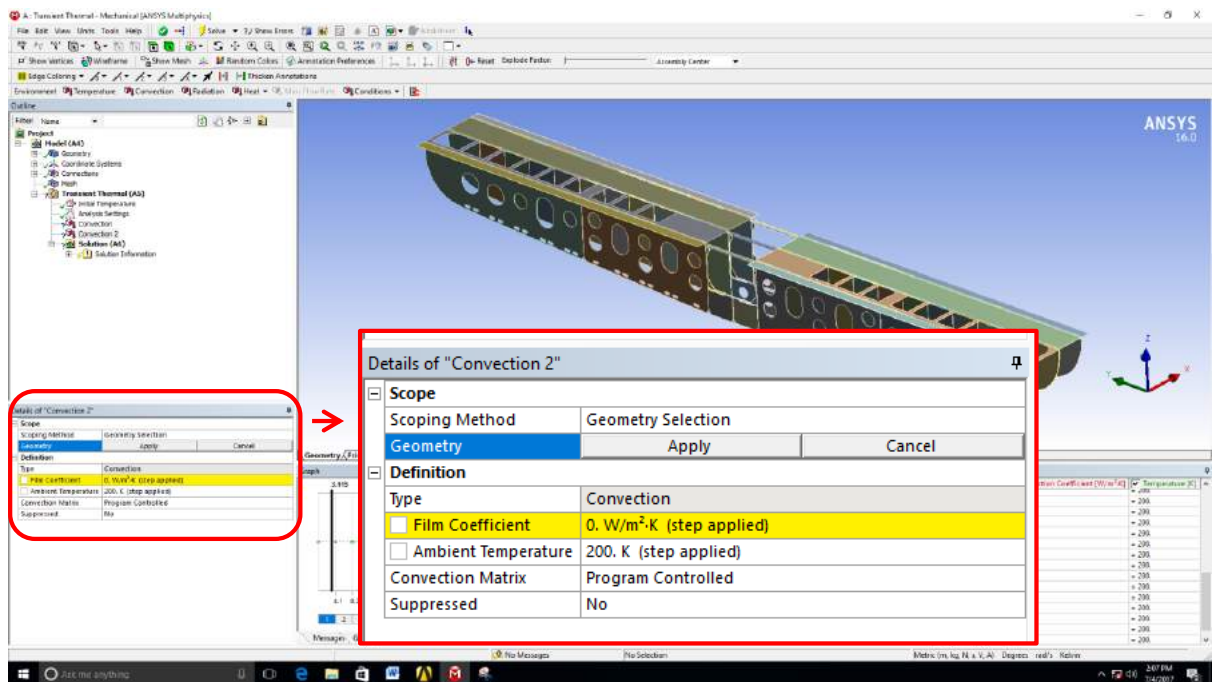
Nilai *end time* diperoleh dari perhitungan parameter pengelasan yang telah dijelaskan di Bab IV.

12. Memasukkan Nilai Konveksi.

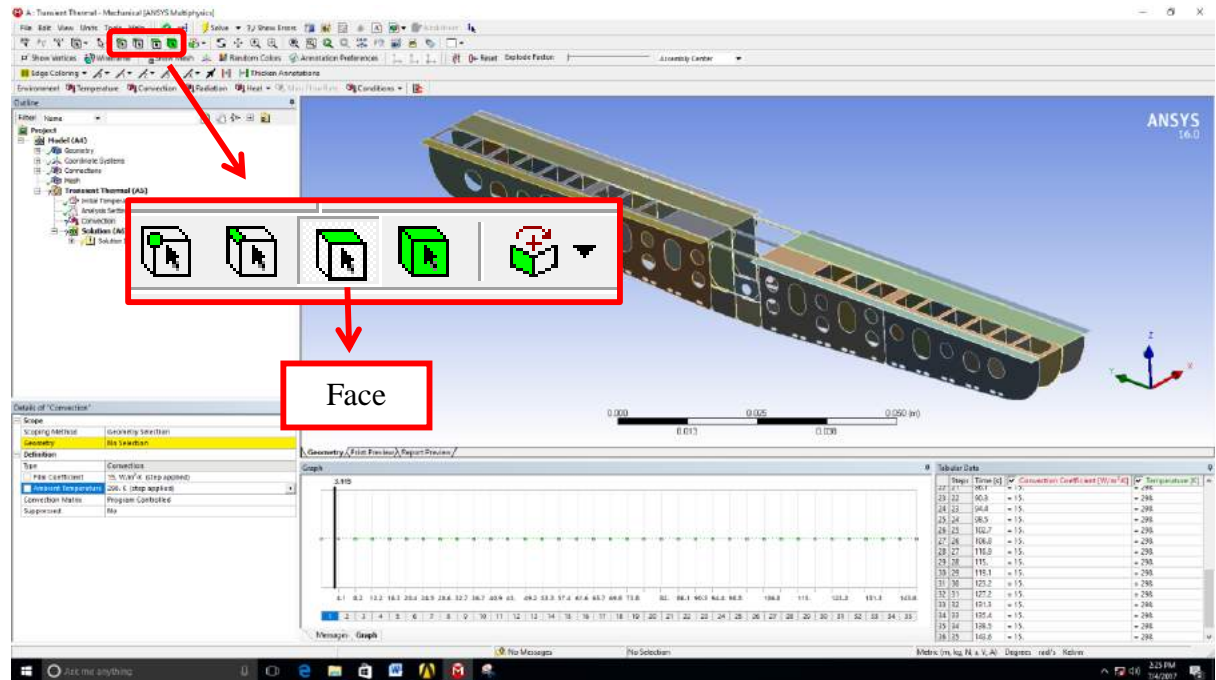


Cara memasukkan nilai konveksi yaitu mengklik kanan *Transient Thermal (A5)* pada *outline*, lalu pilih *insert*, kemudian *convection*.

13. Tampilan *Tab* Detail Konveksi.

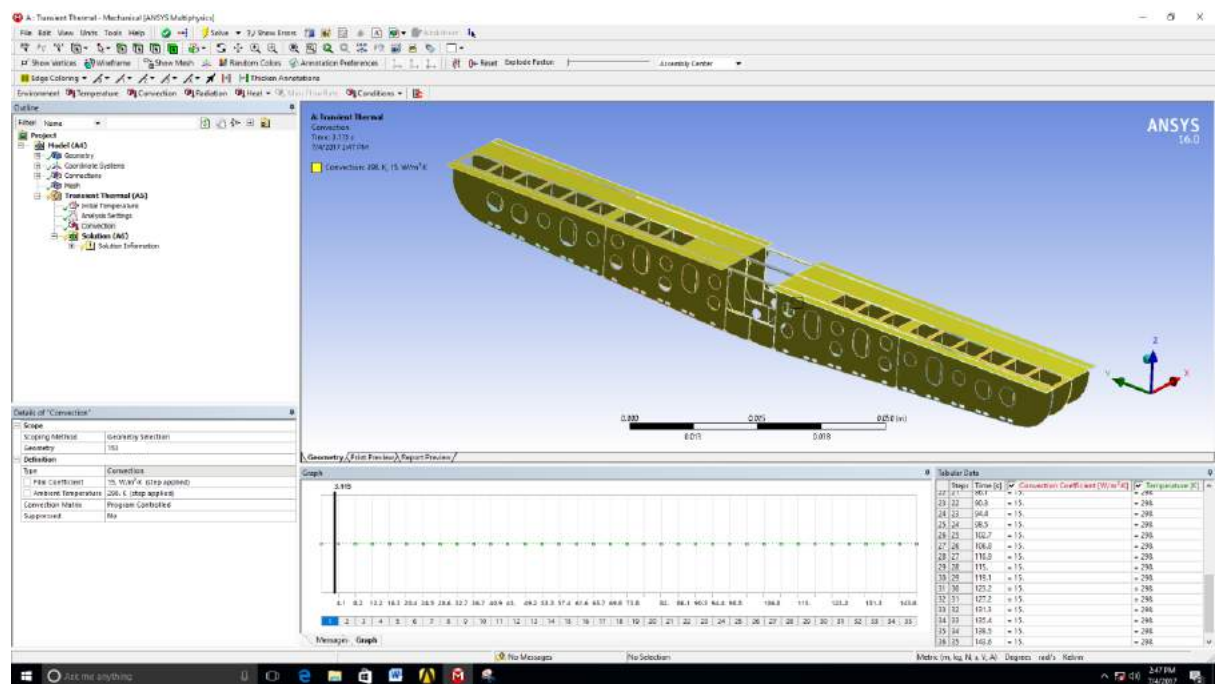


Ketika memasukkan nilai konveksi, parameter yang digunakan ialah *Film Coefficient* sebesar $15 \text{ W/m}^2\text{K}$, dan *Ambient Temperature* sebesar 298 K . Setelah memasukkan parameter konveksi, langkah selanjutnya ialah mengaplikasikan parameter tersebut di geometri yang telah ditentukan.



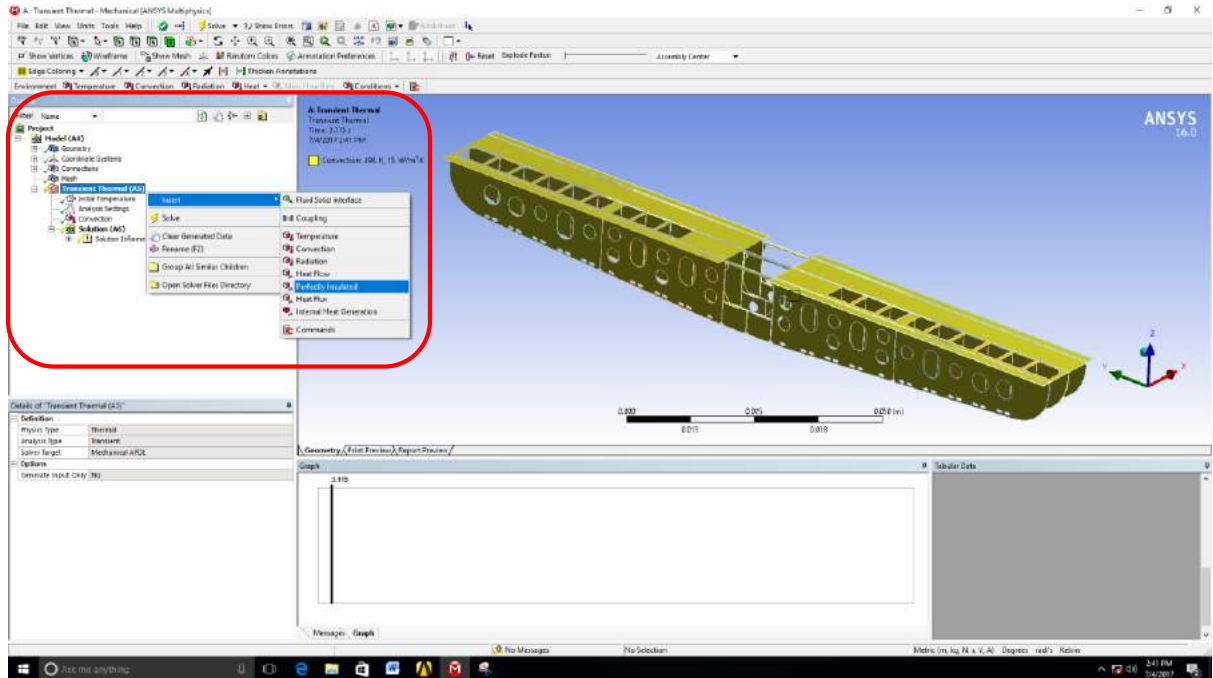
Jenis pemilihan geometri yang dilakukan dalam pengaplikasian konveksi ialah *Face*, atau dapat langsung dilakukan pengetikan *hotkey* yaitu $\text{Ctrl}+\text{F}$.

14. Tampilan Konstruksi Pasca Pengaplikasian Konveksi.



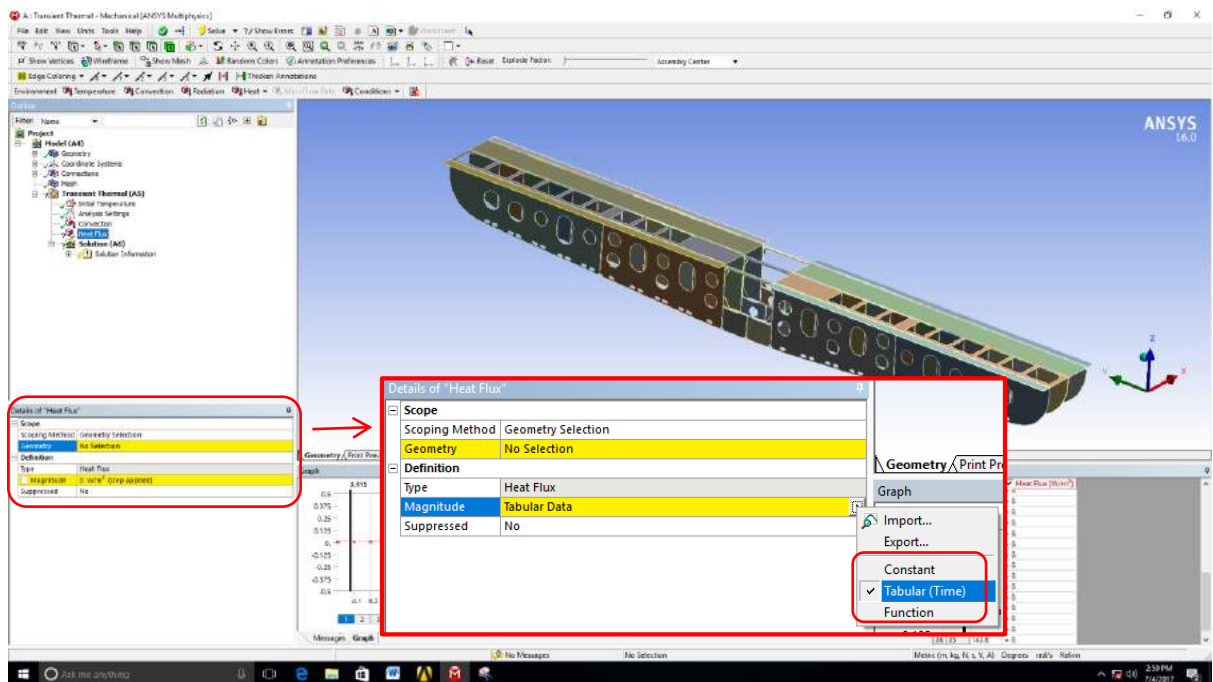
Input konveksi dikatakan berhasil jika tanda tanya disamping *convection* berubah menjadi tanda centang.

15. Memasukkan Nilai Heat Flux.

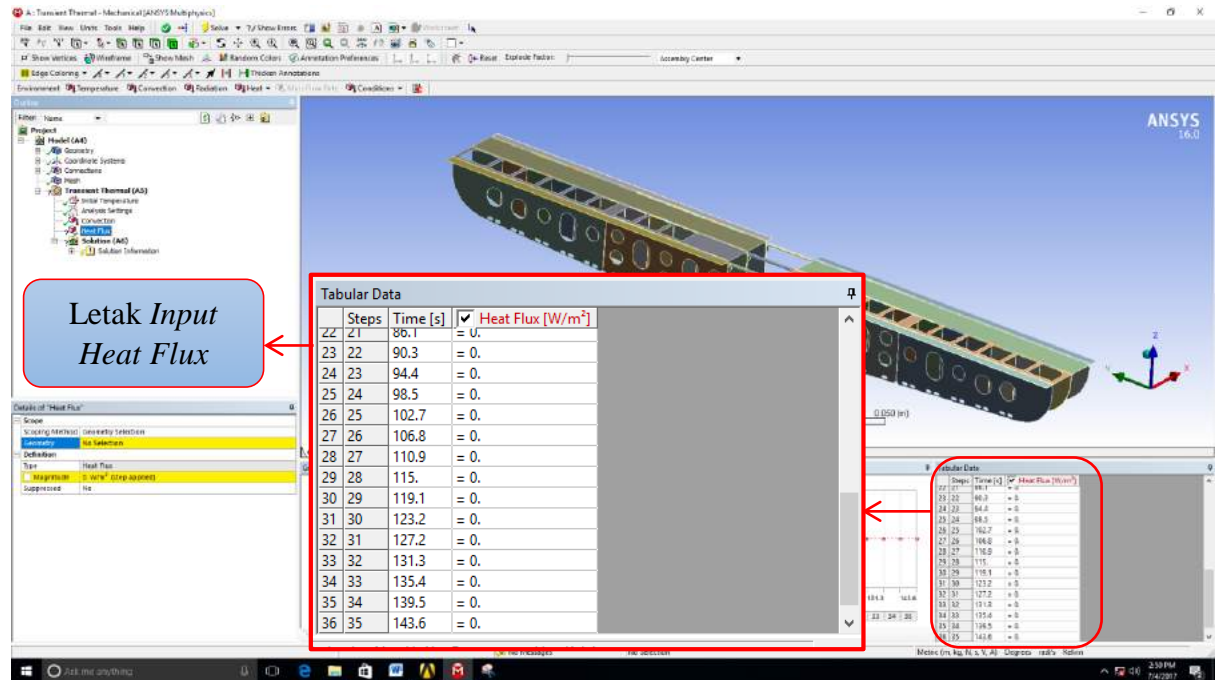


Cara memasukkan nilai konveksi yaitu mengklik kanan *Transient Thermal (A5)* pada *outline*, lalu pilih *insert*, kemudian *heat flux*.

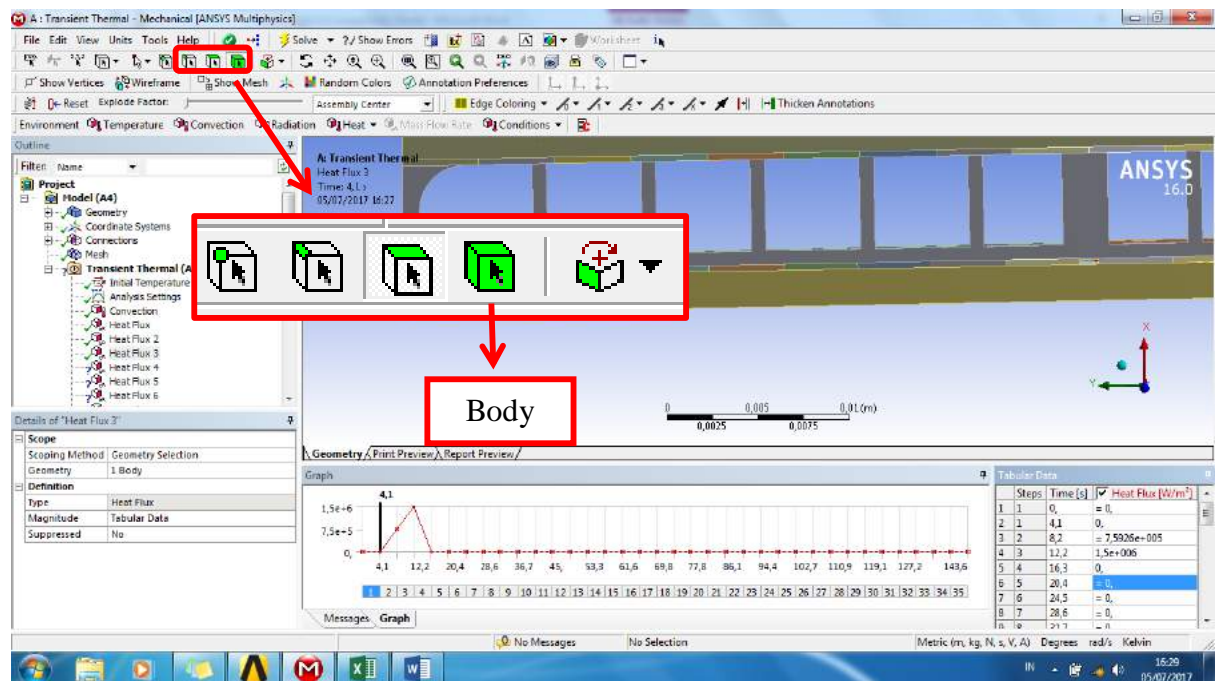
16. Tampilan Tab Detail Heat Flux.



Ketika memasukkan *heat flux*, jenis *input* diubah terlebih dahulu mejadi *Tabular (Time)*, karena analisis yang dilakukan ialah *transient thermal*.

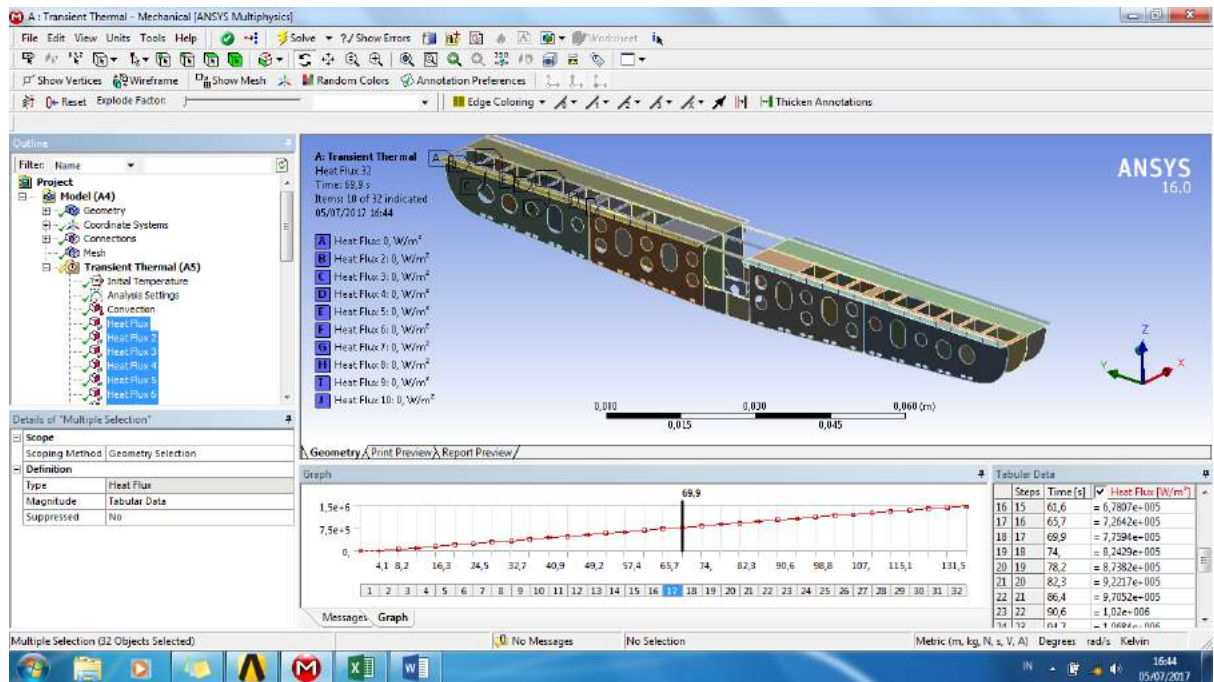


Setelah itu, nilai *heat flux* dimasukkan sesuai dengan hitungan yang telah ditentukan.



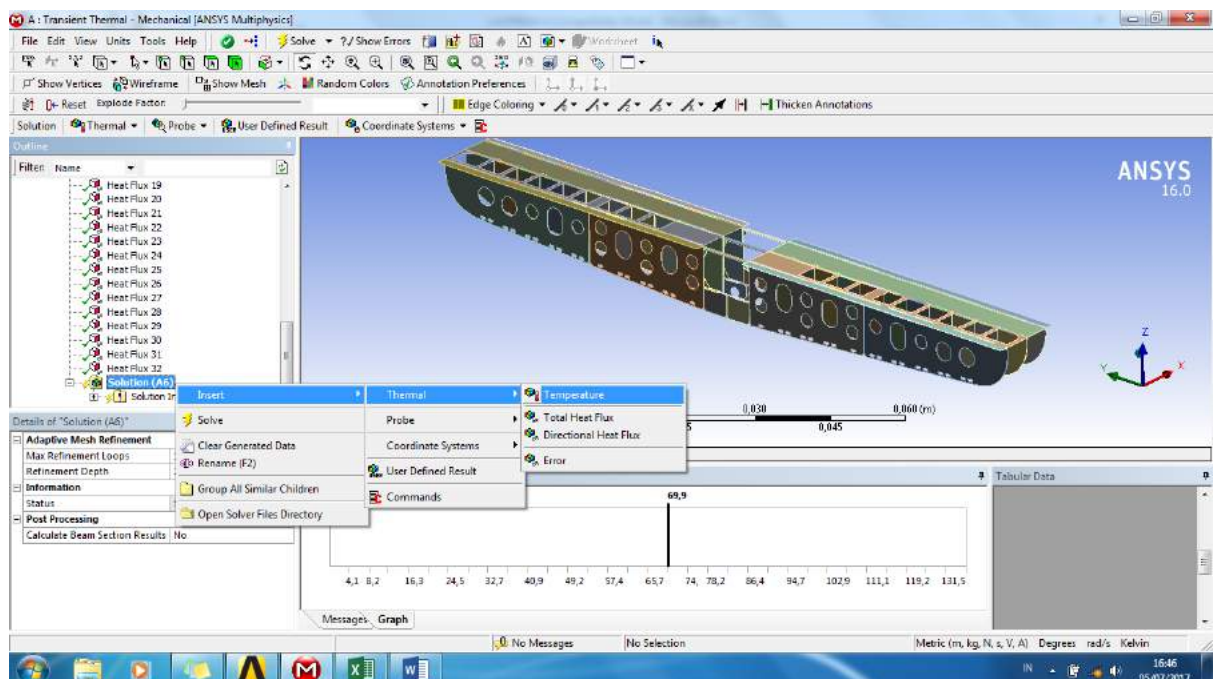
Jenis pemilihan geometri yang dilakukan dalam pengaplikasian konveksi ialah *Body*, atau dapat langsung dilakukan pengetikan *hotkey* yaitu *Ctrl+B*.

17. Tampilan Konstruksi Pasca Pengaplikasian *Heat Flux*.



Input heat flux dikatakan berhasil jika tanda tanya disamping *heat flux* berubah menjadi tanda centang.

18. Running Analisis *Transient Thermal*



Cara untuk melakukan *running* yaitu mengklik *Solution (A6)* pada *outline*, lalu klik *insert*, kemudian *thermal*, dan terakhir *temperature*.

LAMPIRAN B

**DETAIL DURASI *LOAD STEPS*
PEMBEBANAN**

Load Step Pembebanan pada Frame 74

Nomor Load Step	Durasi Pengelasan
1	6,58
2	13,15
3	19,73
4	26,30
5	32,88
6	39,46
7	46,03
8	52,61
9	59,18
10	65,76
11	72,34
12	78,91
13	85,49
14	92,06
15	98,64
16	105,22
17	111,79
18	118,37
19	124,95
20	131,52
21	138,10
22	144,67
23	151,25
24	157,83
25	164,40
26	170,98
27	177,55
28	184,13
29	190,71
30	197,28
31	203,86
32	210,43
33	217,01
34	223,59
35	230,16
36	236,74
37	243,31

38	249,89
39	256,47
40	263,04
41	269,62
42	276,19
43	282,77
44	289,35
45	295,92
46	302,50
47	309,08
48	315,65
49	322,23
50	328,80
51	335,38
52	341,96
53	348,53
54	355,11
55	361,68
56	368,26
57	374,84
58	381,41
59	387,99
60	394,56
61	401,49
62	408,09
63	414,69
64	421,29
65	427,89
66	434,49
67	441,09
68	447,69
69	454,29
70	460,88
71	467,48
72	474,08
73	480,68
74	487,28
75	493,88

76	500,48
77	507,08
78	513,68
79	520,28
80	526,88
81	533,48
82	540,08
83	546,68
84	553,28
85	559,88
86	566,48
87	573,08
88	579,68
89	586,28
90	592,88
91	599,48
92	606,08
93	612,68
94	619,28
95	625,88
96	632,48
97	639,08
98	645,68
99	652,28
100	658,88
101	665,48
102	672,08
103	678,68
104	685,28
105	691,88
106	698,48
107	705,08
108	711,68
109	718,28
110	724,88
111	731,48
112	738,08
113	744,68
114	751,28
115	757,88
116	764,48
117	771,08

118	777,68
119	784,28
120	790,88
121	797,48
122	804,08
123	810,68
124	817,28
125	823,88
126	830,48
127	837,08
128	843,68
129	850,28
130	856,88
131	863,48
132	870,08
133	876,68
134	883,28
135	889,88
136	896,48
137	903,08
138	909,68
139	916,28
140	922,88
141	929,48
142	936,08
143	942,68
144	949,28
145	955,88
146	962,48
147	969,08
148	975,68
149	982,28
150	988,88
151	995,45
152	1002,05
153	1008,65
154	1015,25
155	1021,85
156	1028,45
157	1035,05
158	1041,65
159	1048,25

160	1054,85
161	1061,45
162	1068,05
163	1074,65
164	1081,25
165	1087,85
166	1094,45
167	1101,05
168	1107,65
169	1114,25
170	1120,85
171	1127,45
172	1134,05
173	1140,65
174	1147,25
175	1153,85
176	1160,45
177	1167,05
178	1173,65
179	1180,25
180	1186,85
181	1193,45
182	1200,05
183	1206,65
184	1213,25
185	1219,85

186	1226,45
187	1233,05
188	1239,65
189	1246,25
190	1252,85
191	1259,45
192	1266,05
193	1272,65
194	1279,25
195	1285,85
196	1292,45
197	1299,05
198	1305,65
199	1312,25
200	1318,85
201	1325,45
202	1332,05
203	1338,65
204	1345,24
205	1351,84
206	1358,44
207	1365,04
208	1371,64
209	1378,24
210	1384,84

Load Step Pembebanan pada Frame 75

Nomor Load Step	Durasi Pengelasan
1	1391,72
2	1398,59
3	1405,46
4	1412,33
5	1419,21
6	1426,08
7	1432,95
8	1439,82
9	1446,70
10	1453,57
11	1460,44
12	1467,31
13	1474,18
14	1481,06
15	1487,93
16	1494,80
17	1501,67
18	1508,55
19	1515,42
20	1522,29
21	1529,16
22	1536,04
23	1542,91
24	1549,78
25	1556,65
26	1563,52
27	1570,40
28	1577,27
29	1584,14
30	1591,01
31	1597,89
32	1604,76
33	1611,63
34	1618,50
35	1625,38
36	1632,25
37	1639,12
38	1645,99

39	1652,86
40	1659,74
41	1666,61
42	1673,48
43	1680,35
44	1687,23
45	1694,10
46	1700,97
47	1707,84
48	1714,72
49	1721,59
50	1728,46
51	1735,33
52	1742,20
53	1749,08
54	1755,95
55	1762,82
56	1769,69
57	1776,57
58	1783,44
59	1790,31
60	1797,18
61	1804,06
62	1810,93
63	1817,80
64	1824,67
65	1831,54
66	1838,42
67	1845,29
68	1852,16
69	1859,03
70	1865,91
71	1872,78
72	1879,65
73	1886,52
74	1893,40
75	1900,27
76	1907,14
77	1914,01
78	1920,89

79	1927,76
80	1934,63
81	1941,50
82	1948,37
83	1955,25
84	1962,12
85	1968,99
86	1975,86
87	1982,74
88	1989,61
89	1996,48
90	2003,35
91	2010,23
92	2017,10
93	2023,97
94	2030,84
95	2037,71
96	2044,59
97	2051,46
98	2058,33
99	2065,20
100	2072,08
101	2078,95
102	2085,82
103	2092,69
104	2099,57
105	2106,44
106	2113,31
107	2120,18
108	2127,05
109	2133,93
110	2140,80
111	2147,67
112	2154,54
113	2161,42
114	2168,29
115	2175,16
116	2182,03
117	2188,91
118	2195,78
119	2202,65
120	2209,52

121	2216,39
122	2223,27
123	2230,14
124	2237,01
125	2243,88
126	2250,76
127	2257,63
128	2264,50
129	2271,37
130	2278,25
131	2285,12
132	2291,99
133	2298,86
134	2305,74
135	2312,61
136	2319,48
137	2326,35
138	2333,22
139	2340,10
140	2346,97
141	2353,84
142	2360,71
143	2367,59
144	2374,46
145	2381,33
146	2388,20
147	2395,08
148	2401,95
149	2408,82
150	2415,69
151	2422,56
152	2429,44
153	2436,31
154	2443,18
155	2450,05
156	2456,93
157	2463,80
158	2470,67
159	2477,54
160	2484,42
161	2491,29
162	2498,16

163	2505,03
164	2511,90
165	2518,78
166	2525,65
167	2532,52
168	2539,39
169	2546,27
170	2553,14
171	2560,01
172	2566,88
173	2573,76
174	2580,63
175	2587,50
176	2594,37
177	2601,24
178	2608,12
179	2614,99
180	2621,86
181	2628,73
182	2635,61
183	2642,48
184	2649,35
185	2656,22
186	2663,10

187	2669,97
188	2676,84
189	2683,71
190	2690,58
191	2697,46
192	2704,33
193	2711,20
194	2718,07
195	2724,95
196	2731,82
197	2738,69
198	2745,56
199	2752,44
200	2759,31
201	2766,18
202	2773,05
203	2779,93
204	2786,80
205	2793,67
206	2800,54
207	2807,41
208	2814,29
209	2821,16
210	2828,03

Load Step Pembebanan pada Frame 76

Nomor Load Step	Durasi Pengelasan
1	2834,80
2	2841,58
3	2848,35
4	2855,12
5	2861,90
6	2868,67
7	2875,44
8	2882,22
9	2888,99
10	2895,76
11	2902,54
12	2909,31
13	2916,08
14	2922,86
15	2929,63
16	2936,42
17	2943,22
18	2950,01
19	2956,80
20	2963,60
21	2970,39
22	2977,19
23	2983,98
24	2990,77
25	2997,57
26	3004,36
27	3011,15
28	3017,95
29	3024,74
30	3031,54
31	3038,33
32	3045,12
33	3051,92
34	3058,71
35	3065,50
36	3072,30
37	3079,09
38	3085,89

39	3092,68
40	3099,47
41	3106,27
42	3113,06
43	3119,85
44	3126,65
45	3133,44
46	3140,24
47	3147,03
48	3153,82
49	3160,62
50	3167,41
51	3174,20
52	3181,00
53	3187,79
54	3194,59
55	3201,38
56	3208,17
57	3214,97
58	3221,76
59	3228,56
60	3235,35
61	3242,14
62	3248,94
63	3255,73
64	3262,52
65	3269,32
66	3276,11
67	3282,91
68	3289,70
69	3296,49
70	3303,29
71	3310,08
72	3316,87
73	3323,67
74	3330,46
75	3337,26
76	3344,05
77	3350,84
78	3357,64

79	3364,43
80	3371,22
81	3378,02
82	3384,81
83	3391,61
84	3398,40
85	3405,19
86	3411,99
87	3418,78
88	3425,57
89	3432,37
90	3439,16
91	3445,96
92	3452,75
93	3459,54
94	3466,34
95	3473,13
96	3479,08
97	3485,03
98	3490,98
99	3496,93
100	3502,88
101	3508,83
102	3514,78
103	3520,74
104	3526,69
105	3532,64
106	3538,59
107	3544,54
108	3550,49
109	3556,44
110	3562,39
111	3568,34
112	3574,29
113	3580,24
114	3586,19
115	3592,14
116	3598,94
117	3605,73
118	3612,52
119	3619,32
120	3626,11

121	3632,91
122	3639,70
123	3646,49
124	3653,29
125	3660,08
126	3666,87
127	3673,67
128	3680,46
129	3687,26
130	3694,05
131	3700,84
132	3707,64
133	3714,43
134	3721,22
135	3728,02
136	3734,81
137	3741,61
138	3748,40
139	3755,19
140	3761,99
141	3768,78
142	3775,57
143	3782,37
144	3789,16
145	3795,96
146	3802,75
147	3809,54
148	3816,34
149	3823,13
150	3829,92
151	3836,72
152	3843,51
153	3850,31
154	3857,10
155	3863,89
156	3870,69
157	3877,48
158	3884,27
159	3891,07
160	3897,86
161	3904,66
162	3911,45

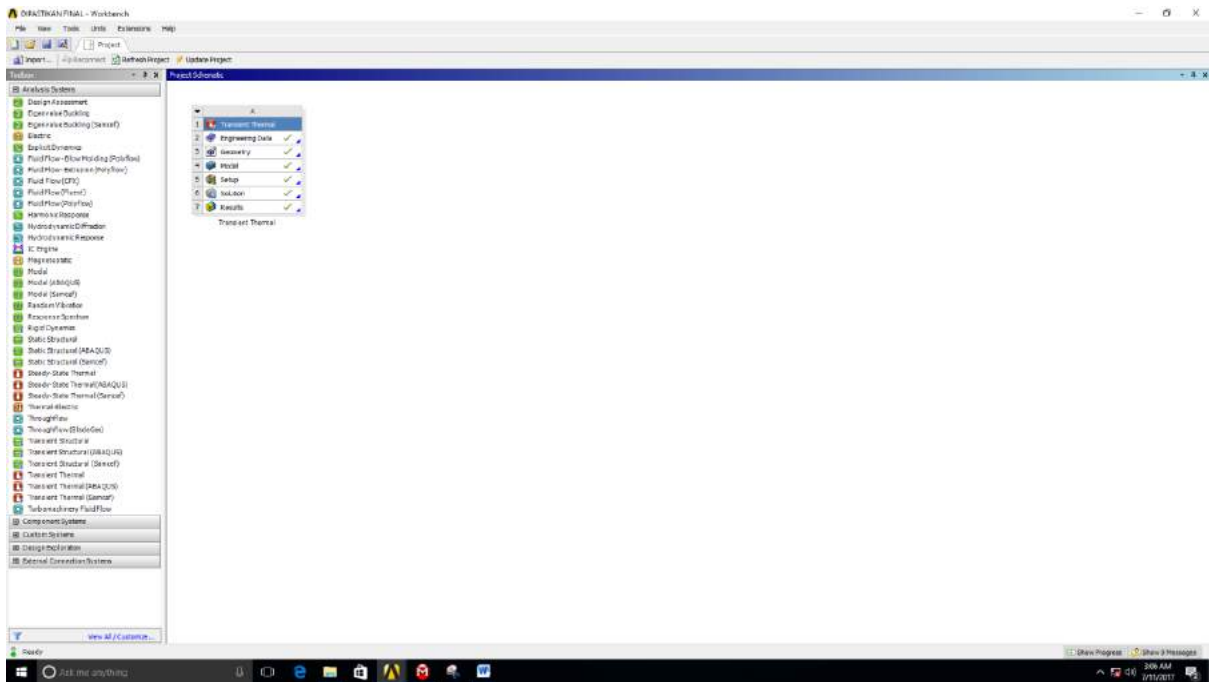
163	3918,24
164	3925,04
165	3931,83
166	3938,62
167	3945,42
168	3952,21
169	3959,01
170	3965,80
171	3972,59
172	3979,39
173	3986,18
174	3992,98
175	3999,77
176	4006,56
177	4013,36
178	4020,15
179	4026,94
180	4033,74
181	4040,53
182	4047,33
183	4054,12
184	4060,91
185	4067,71
186	4074,50
187	4081,29
188	4088,09
189	4094,88
190	4101,68
191	4108,47
192	4115,26
193	4122,06
194	4128,85
195	4135,64
196	4142,42
197	4149,19
198	4155,96
199	4162,74
200	4169,51
201	4176,28
202	4183,06
203	4189,83
204	4196,60

205	4203,38
206	4210,15
207	4216,92
208	4223,70
209	4230,47
210	4237,24

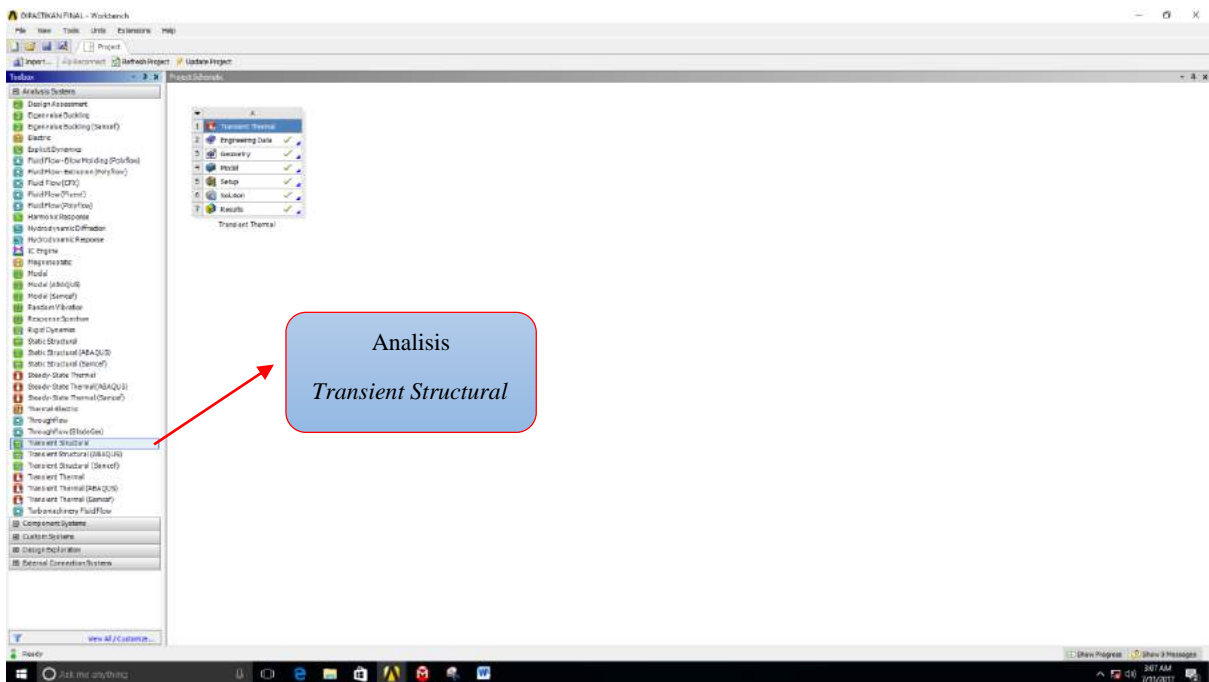
LAMPIRAN C

LANGKAH-LANGKAH ANALISIS *TRANSIENT* *STRUCTURAL*

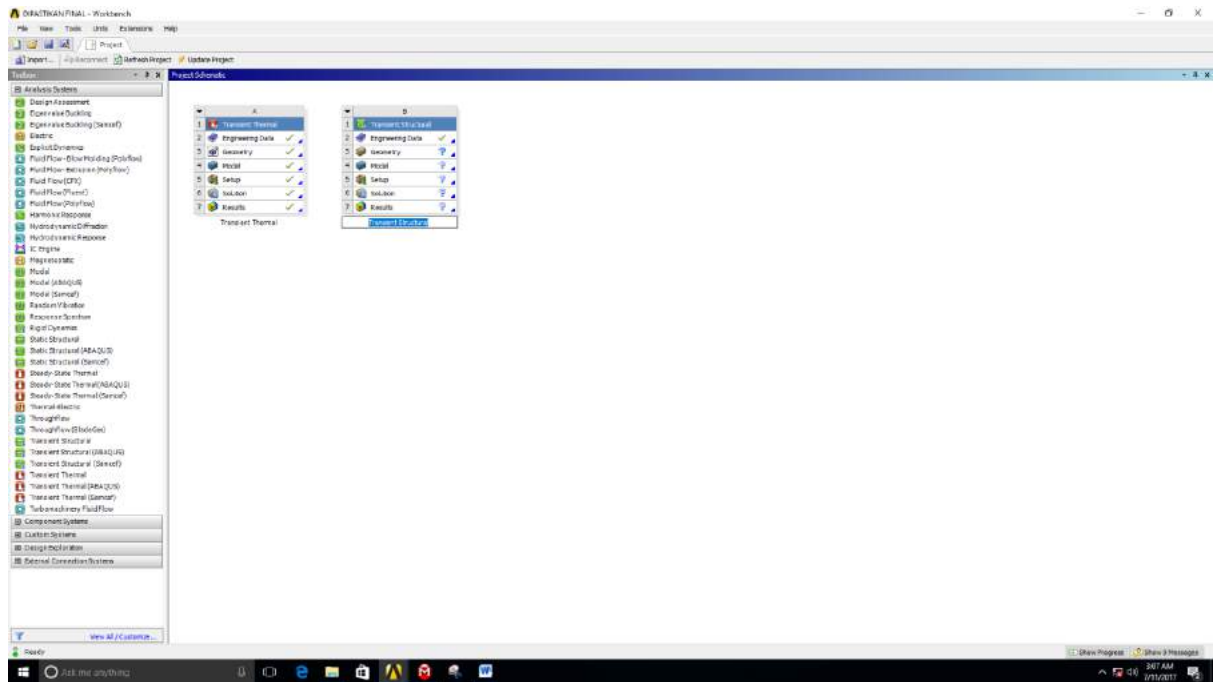
1. Tampilan Awal ANSYS Workbench 16.0 Pasca Analisis *Transient Thermal*



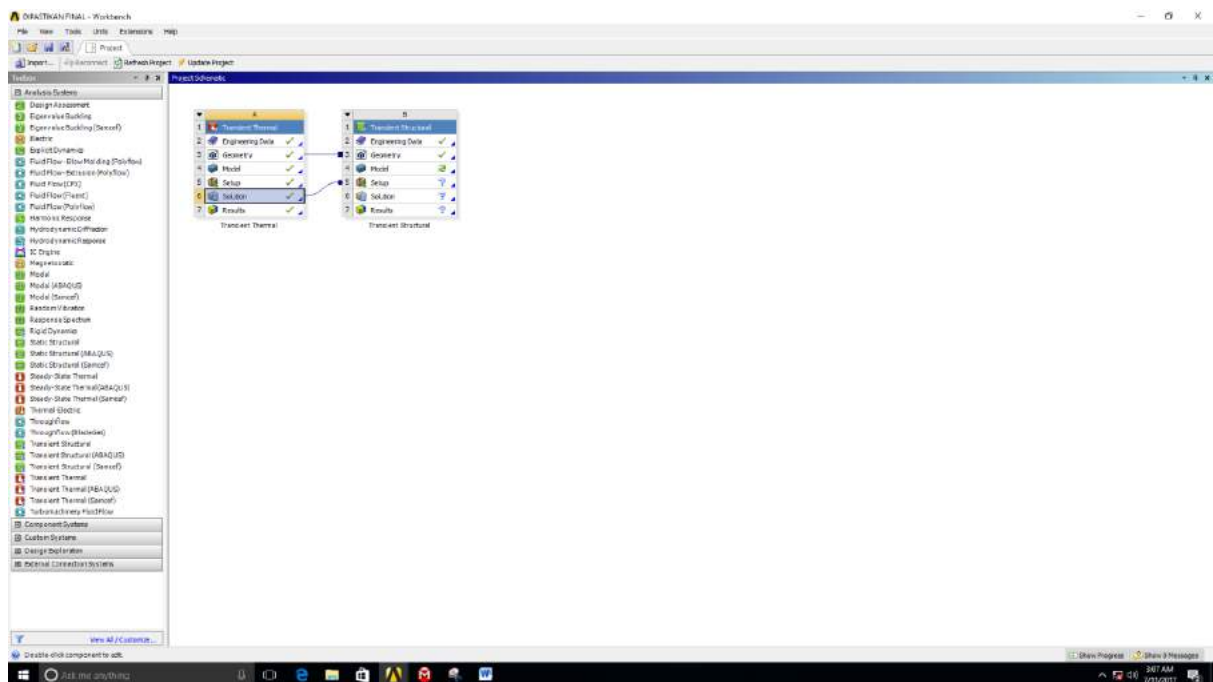
2. Memilih Jenis Analisis “*Transient Structural*”.



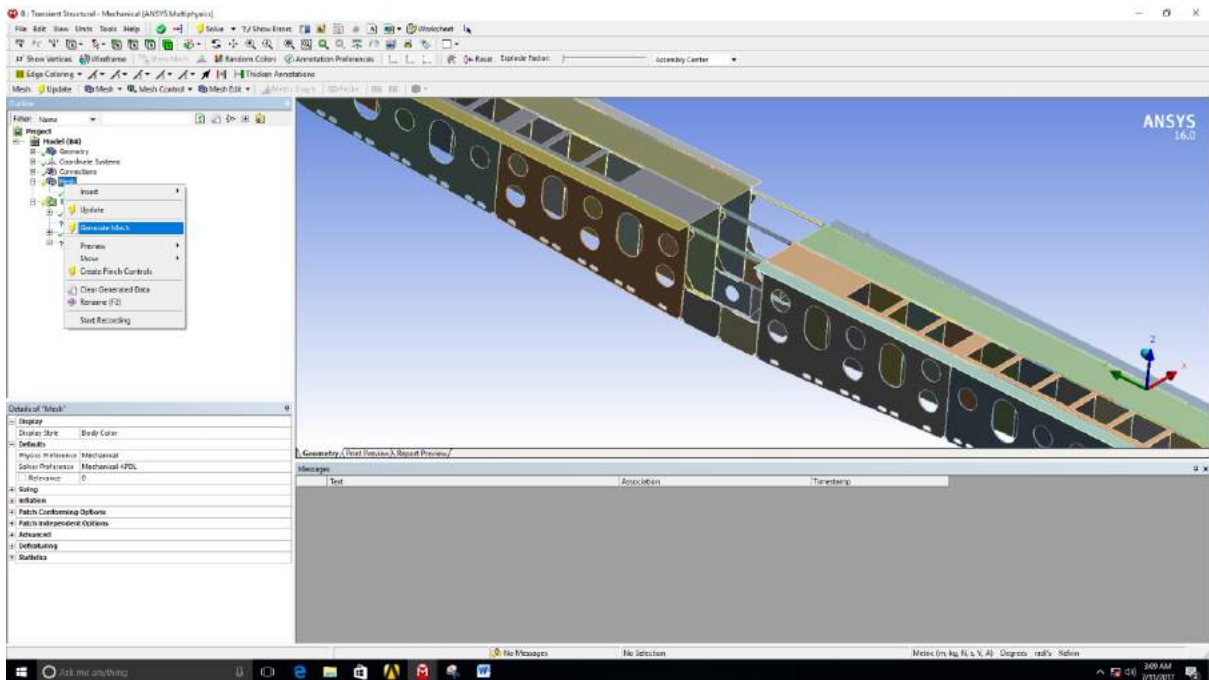
Kemudian membawa analisis *transient structural* ke *Project Schematic*.



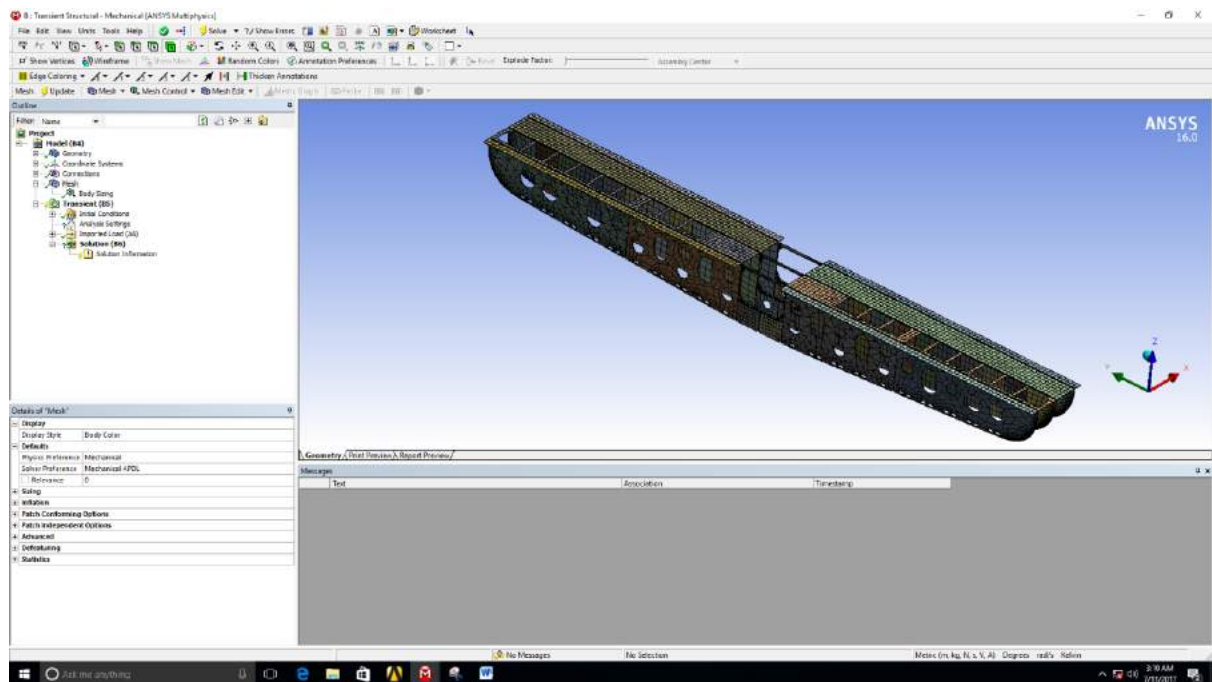
3. Menghubungkan Data Geometri dan *Solution Analysis Transient Thermal* ke Analisis *Transient Structural*



4. Membuka Data yang telah dimasukkan dan Melakukan *Meshing*

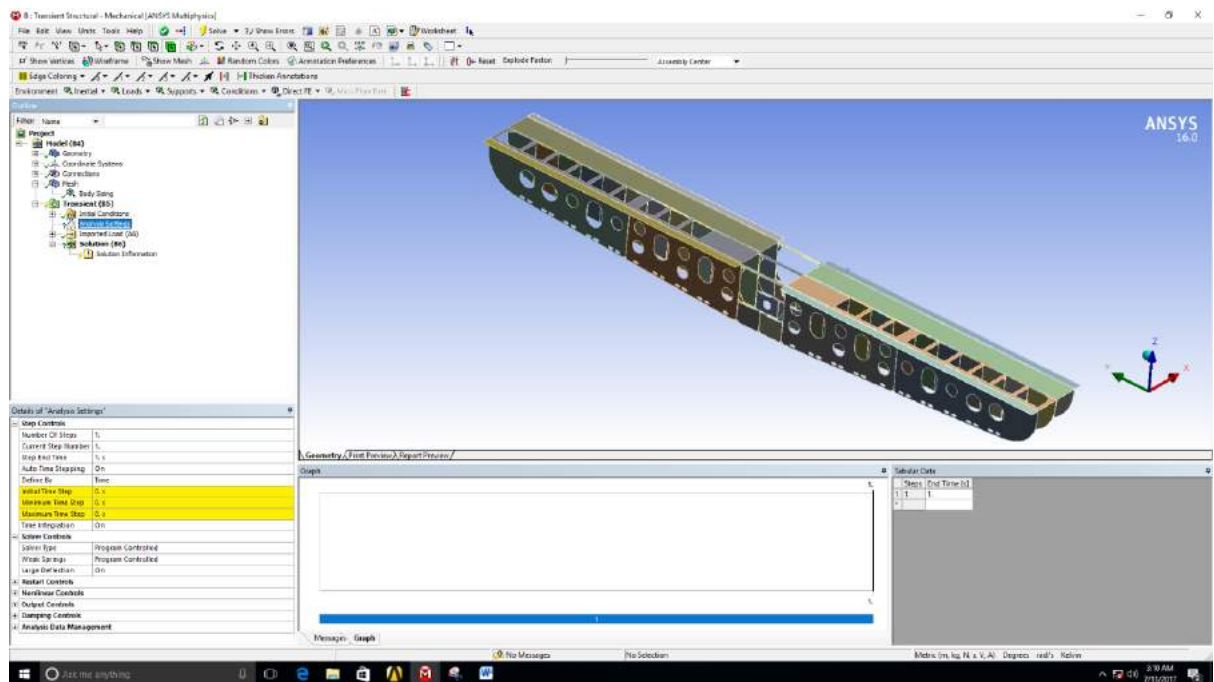


5. Tampilan Konstruksi setelah *Meshing*



Pada dasarnya, *meshing* yang dilakukan masih sama seperti yang dilakukan di analisis *transient thermal*.

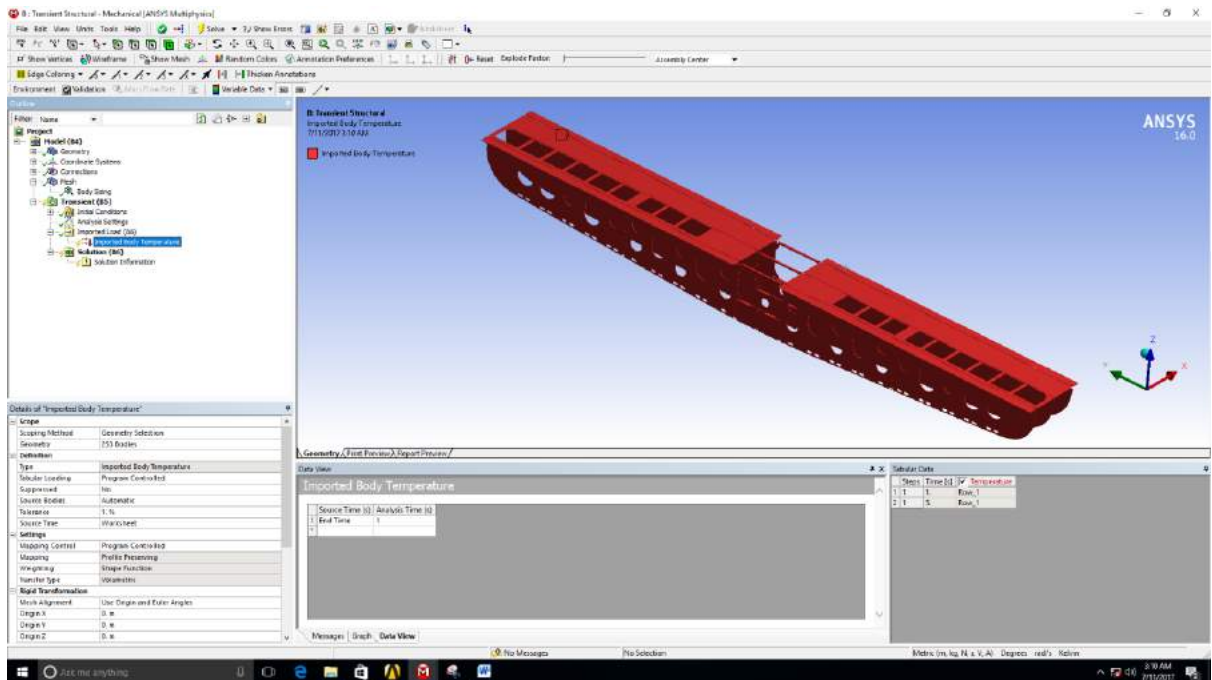
6. Memasukkan Data *Load Steps*



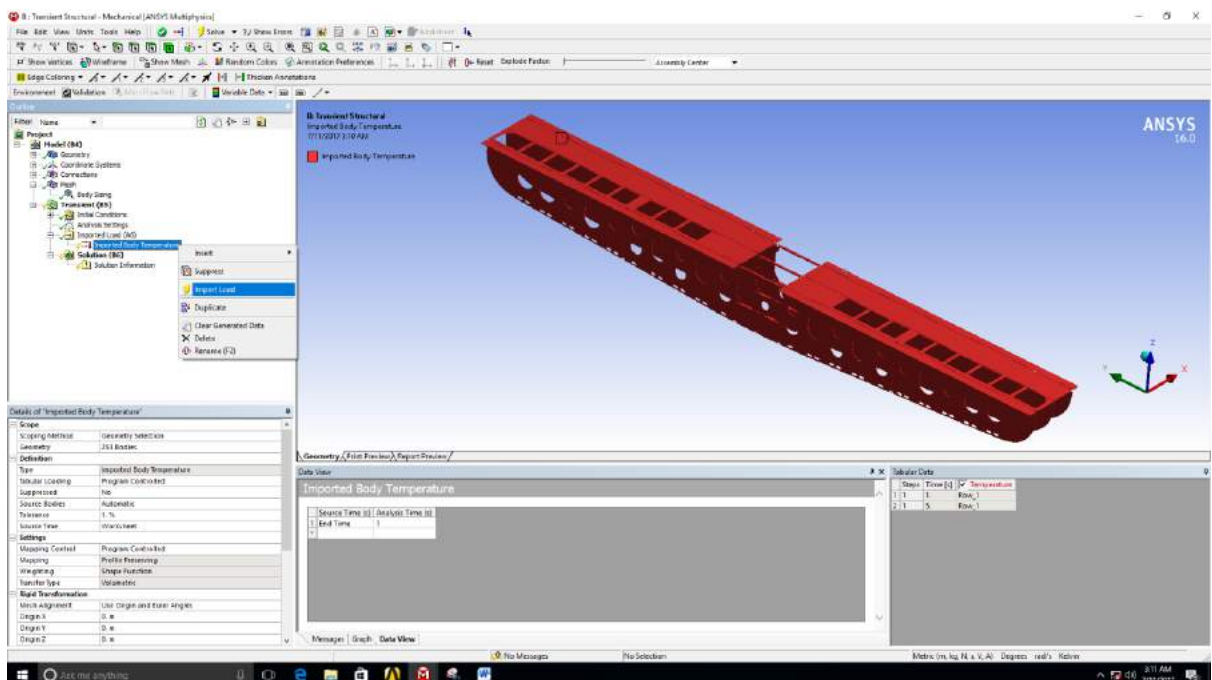
Baris yang perlu diisi ialah:

- ➔ Number of steps : 1
- ➔ Step end time : 5
- ➔ Initial time step : 0,1
- ➔ Minimum time step : 0,1
- ➔ Maximum time step : 5

7. Mengimpor Beban Panas ke Analisis *Transient Structural*

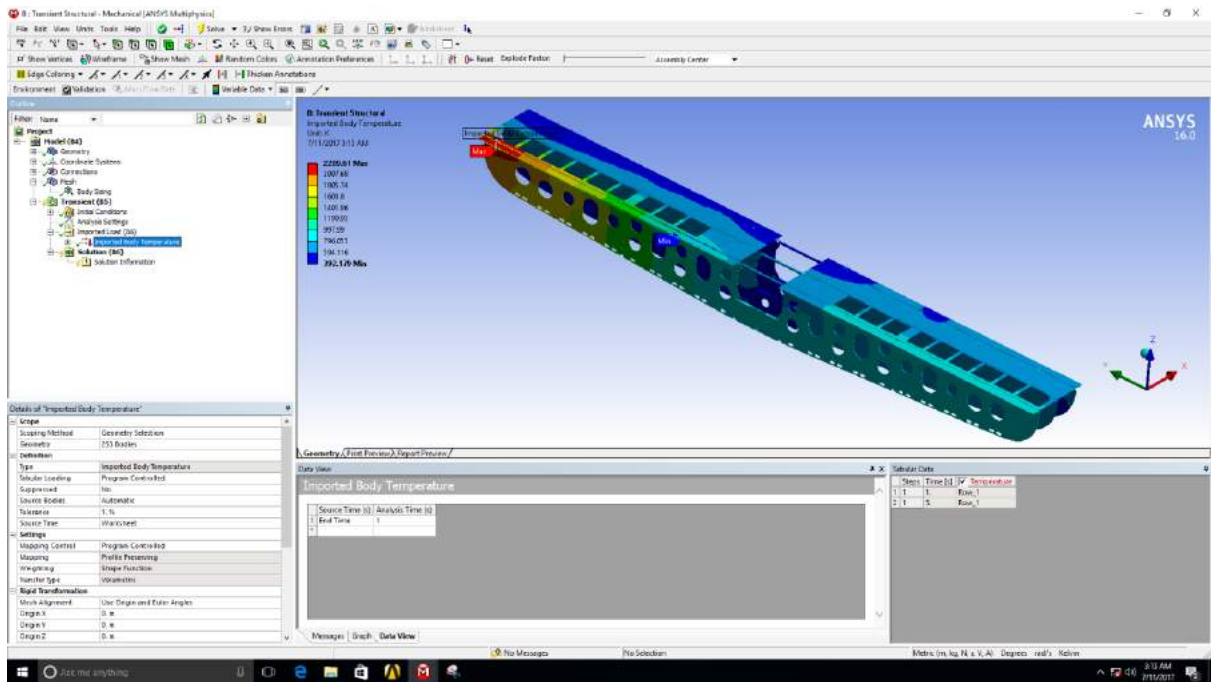


Setelah itu, klik *source time* pada *details of "imported body temperature"*, dan pilih "all". Hal tersebut dilakukan untuk mengimpor seluruh beban panas yang dihasilkan dari analisis *transient thermal*.

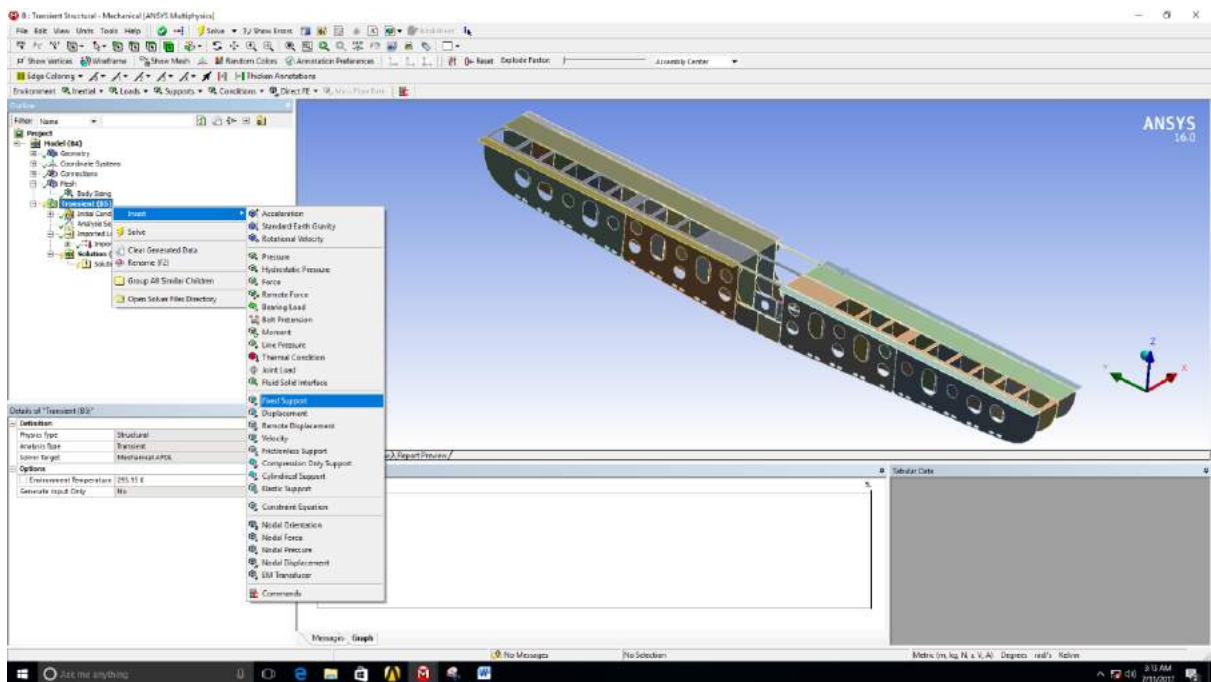


Setelah itu klik kanan pada *imported body temperature* untuk mengimpor beban panas.

8. Tampilan Pasca Impor Beban Panas

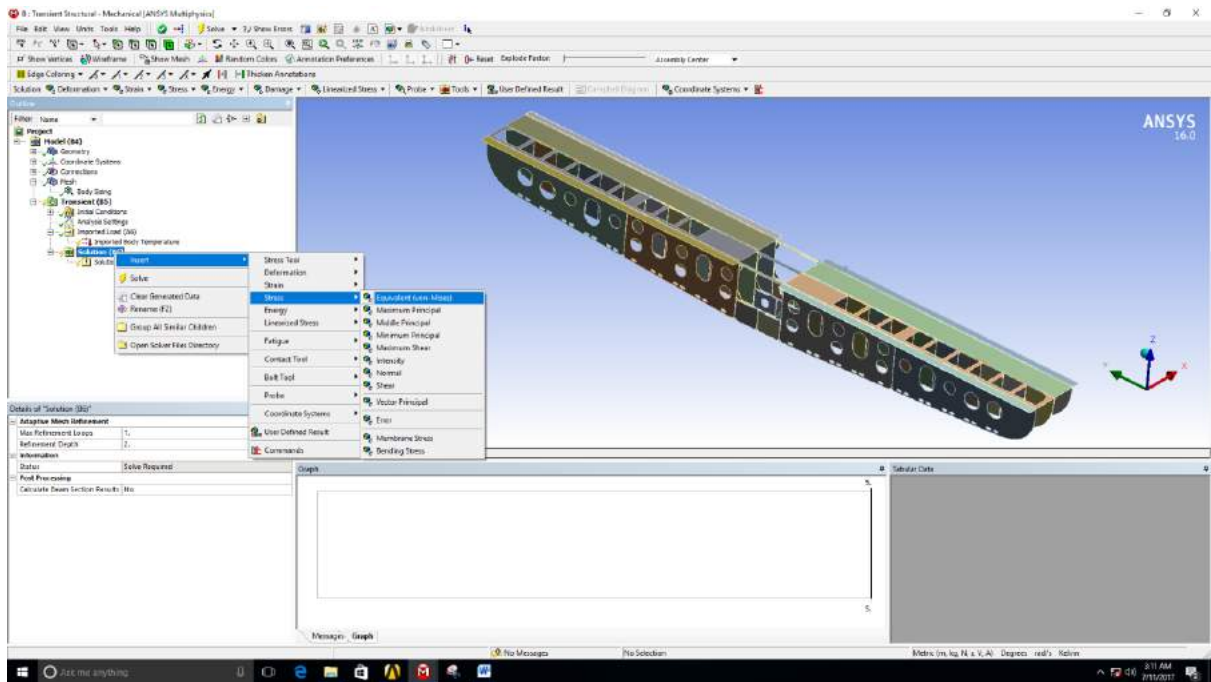


9. Memberikan *Boundary Condition* berupa *Fixed Supports*

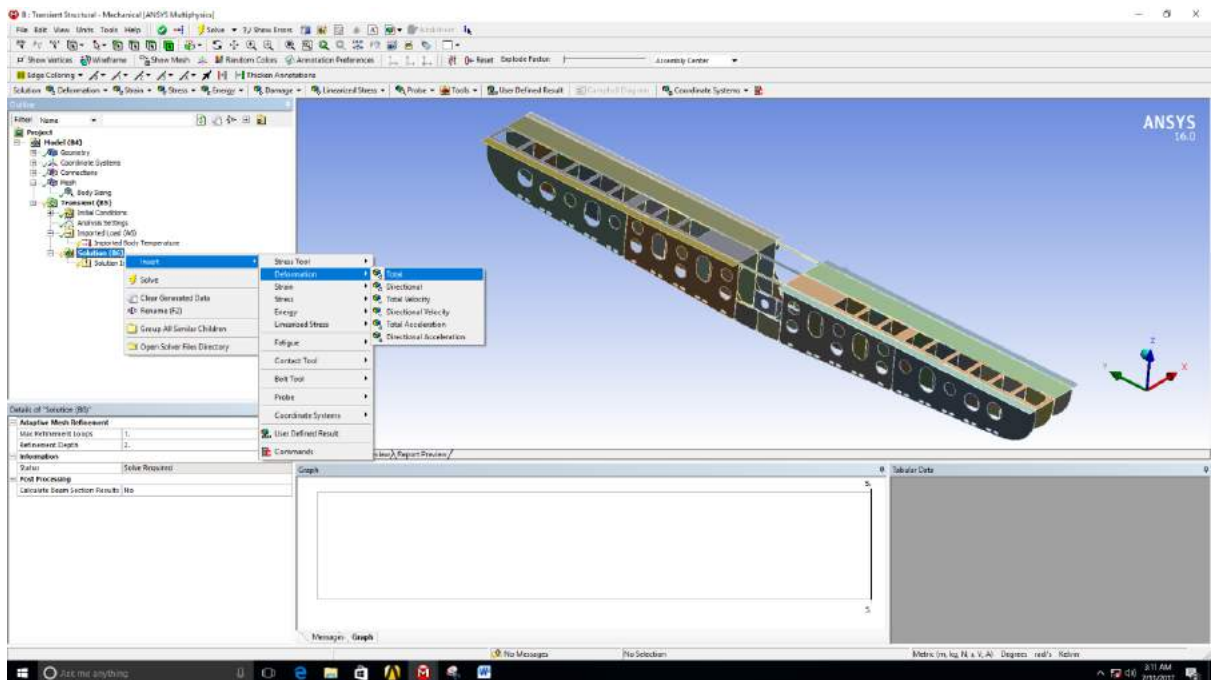


Fixed supports diberikan di konstruksi dengan penampang area yang logis untuk diberi penyangga dan sesuai dengan kondisi nyata di lapangan.

10. Running Analisis Transient Structural



Cara untuk melakukan *running* yaitu mengklik *Solution* (A6) pada *outline*, lalu klik *insert*, kemudian *stress*, dan terakhir *equivalent (von-mises)*. Hal tersebut dilakukan untuk mengetahui hasil tegangan sisa.

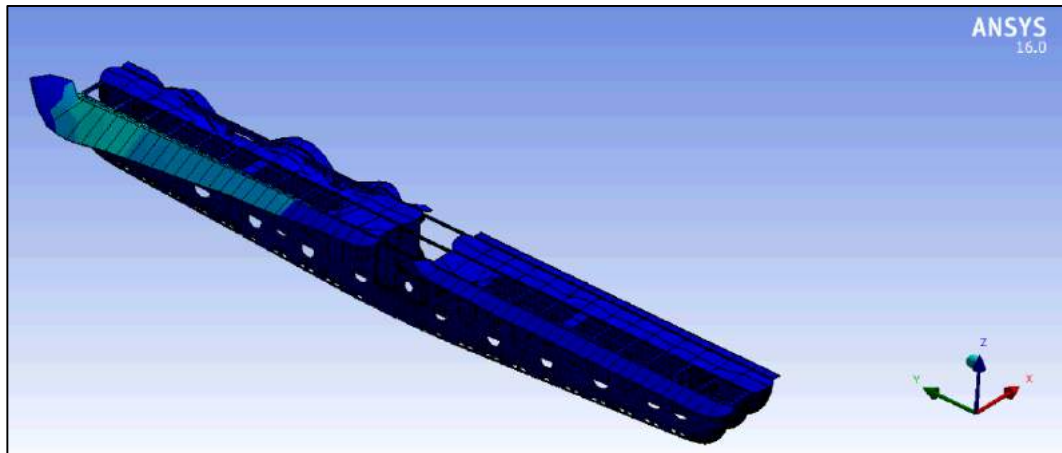


Untuk distorsi, klik *insert*, kemudian *deformation*, dan terakhir *total*. Setelah semua dilakukan, proses *running* telah siap dilakukan.

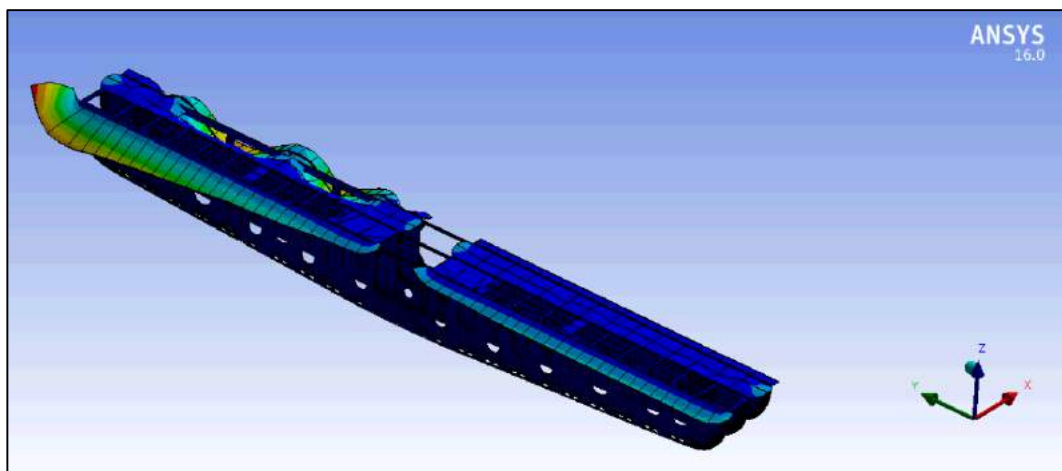
LAMPIRAN D

**ILUSTRASI HASIL TEGANGAN SISA DAN
DISTORSI SEMUA VARIASI**

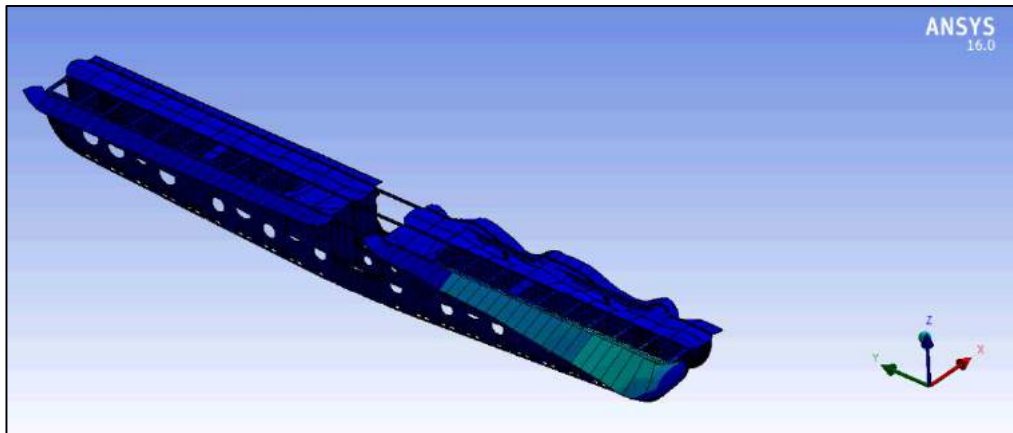
1. Variasi 1
Tegangan Sisa



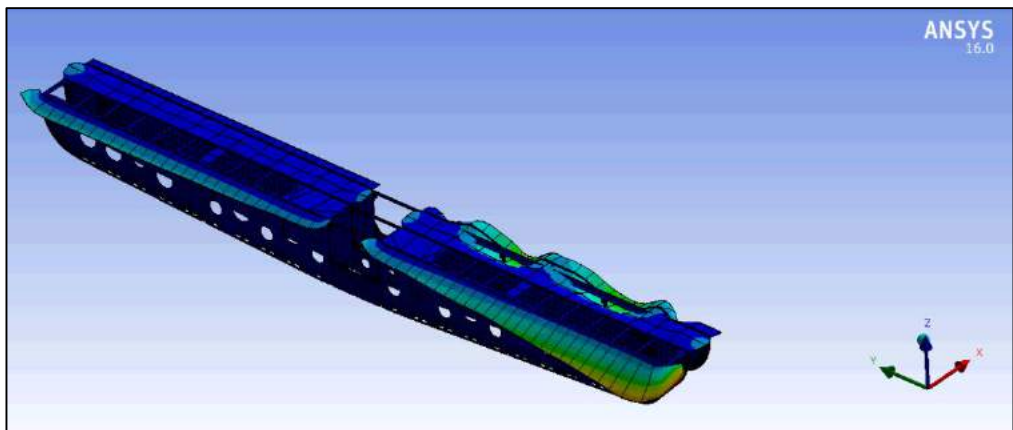
Distorsi



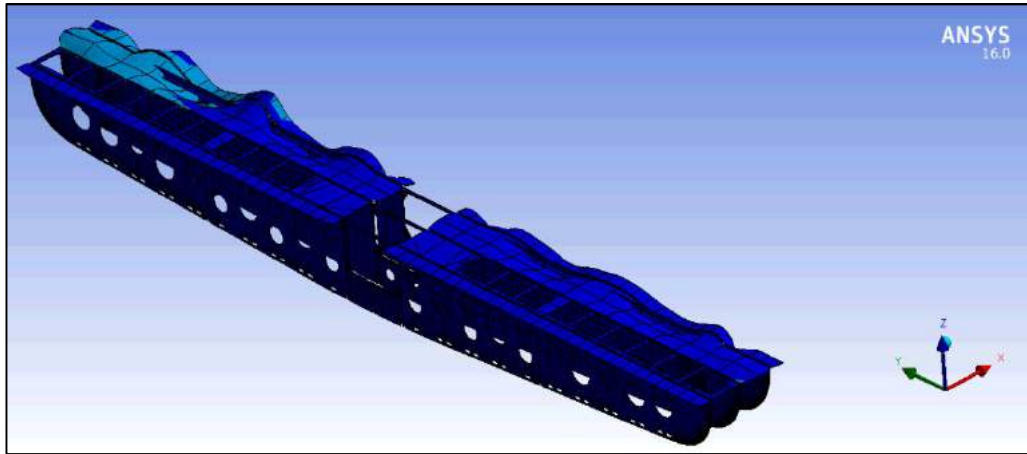
2. Variasi 2
Tegangan Sisa



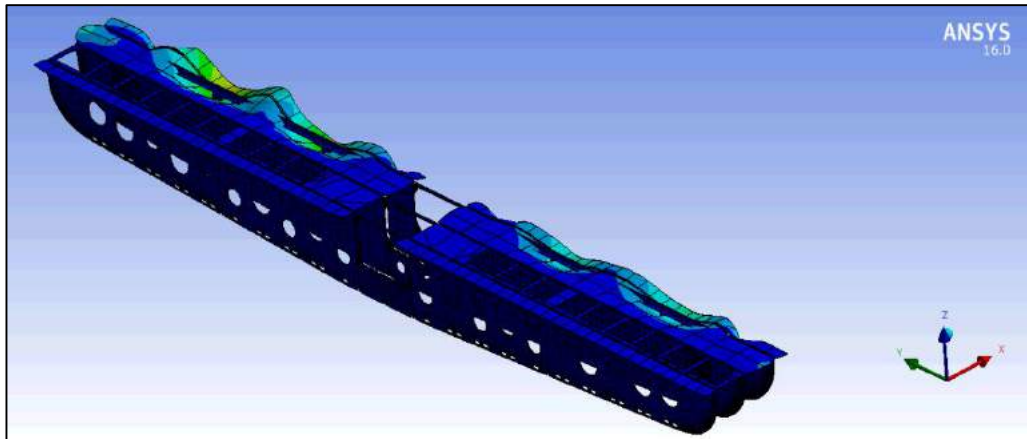
Distorsi



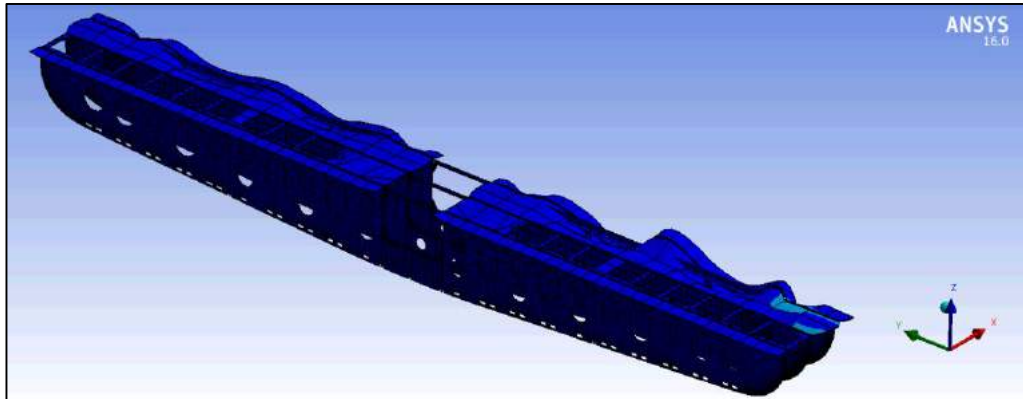
3. Variasi 3
Tegangan Sisa



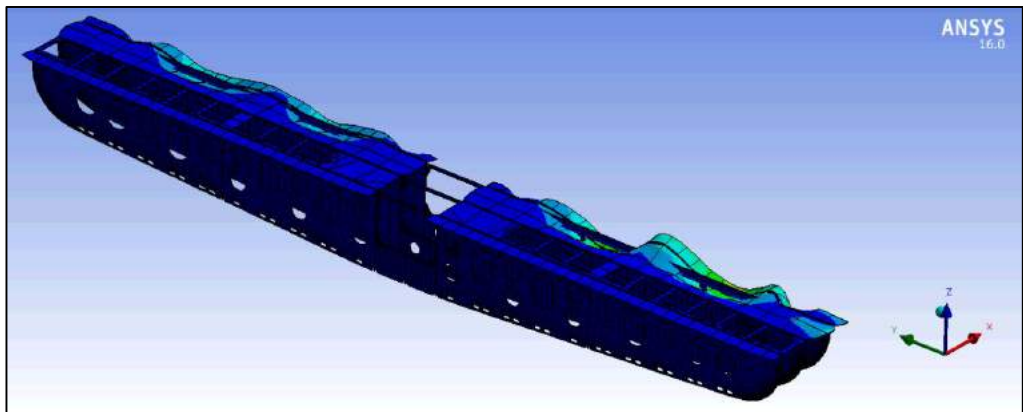
Distorsi



4. Variasi 4
Tegangan Sisa



Distorsi



BIODATA PENULIS



Lahir di Jombang tanggal 9 April 1996, terlahir dengan nama Alfian Bagus Win Hartono. Penulis merupakan sulung dari tiga bersaudara dari pasangan Asif Alafi dan Dewi Pamikatsih. Penulis menempuh pendidikan formal di SDN Sembung, SMPN 1 Jombang, dan SMAN 3 Jombang. Tamat pada tahun 2013, penulis melanjutkan pendidikan ke jenjang Strata 1 (S1) di Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya. Di ITS penulis lulus di Jurusan Teknik Kelautan, Fakultas Teknologi Kelautan melalui jalur SNMPTN. Pada masa perkuliahan, penulis aktif sebagai anggota Paduan Suara Mahasiswa ITS selama satu tahun dengan suara Bass 1, lalu turut berpartisipasi dalam ITS EXPO 2015 sebagai staff ahli *Dance Competition*, *Steering Committee* Gerigi (Generasi Integralistik) 2015, dan mengikuti ormawa Himpunan Mahasiswa Teknik Kelautan (Himatekla) sebagai staff ahli Departemen Kajian Strategis (Kastrat). Penulis mendapatkan kesempatan Kerja Praktik (KP) di PT. Biro Klasifikasi Indonesia (Persero)-SBU Industri, DKI Jakarta mengenai analisis statis dan dinamis Platform ULA milik PT. PHE ONWJ.

Alfian Bagus Win Hartono

Departemen Teknik Kelautan, FTK, ITS

Contact Person:

No. HP : 0852 3030 9131

E-mail : hartono.alfan@gmail.com