



TUGAS AKHIR - MN 184802

**ANALISIS TEGANGAN LAMBUNG KAPAL TANKER
AKIBAT TUBRUKAN**

**Sholichatul Ilmiah
NRP 0411154000071**

**Dosen Pembimbing
Prof. Ir. Achmad Zubaydi, M.Eng., Ph.D.**

**DEPARTEMEN TEKNIK PERKAPALAN
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2019**



TUGAS AKHIR - MN 184802

**ANALISIS TEGANGAN LAMBUNG KAPAL TANKER
AKIBAT TUBRUKAN**

**Sholichatul Ilmiah
NRP 0411154000071**

**Dosen Pembimbing
Prof. Ir. Achmad Zubaydi, M.Eng., Ph.D.**

**DEPARTEMEN TEKNIK PERKAPALAN
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2019**



FINAL PROJECT - MN 184802

HULL STRESS ANALYSIS OF TANKER DUE TO COLLISION

**Sholichatul Ilmiah
NRP 0411154000071**

**Supervisor
Prof. Ir. Achmad Zubaydi, M.Eng., Ph.D.**

**DEPARTMENT OF NAVAL ARCHITECTURE & SHIPBUILDING ENGINEERING
FACULTY OF MARINE TECHNOLOGY
SEPULUH NOPEMBER INSTITUTE OF TECHNOLOGY
SURABAYA
2019**

LEMBAR PENGESAHAN

**ANALISIS TEGANGAN LAMBUNG KAPAL TANKER
AKIBAT TUBRUKAN**

TUGAS AKHIR

Diajukan Guna Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada
Program Sarjana Departemen Teknik Perkapalan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

SHOLICHA TUL ILMIAH

NRP 04111540000071

Disetujui oleh Dosen Pembimbing Tugas Akhir:

Dosen Pembimbing

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

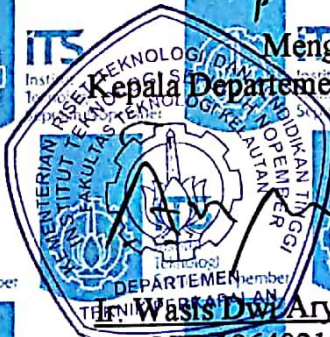
NIP 19590505 198403 1 012

Mengetahui,
Kepala Departemen Teknik Perkapalan

Dr. Wasis Dwi Aryawan, M.Sc., Ph.D.

NIP 19640210 198903 1 001

SURABAYA, 10 JULI 2019



LEMBAR REVISI

ANALISIS TEGANGAN LAMBUNG KAPAL TANKER AKIBAT TUBRUKAN

TUGAS AKHIR

Telah direvisi sesuai dengan hasil Ujian Tugas Akhir
Tanggal 03 Juli 2019

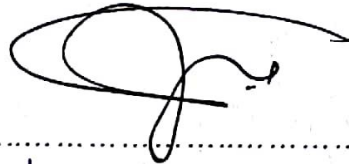
Program Sarjana Departemen Teknik Perkapalan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

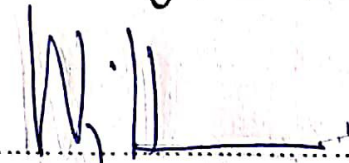
SHOLICHATUL ILMIAH
NRP 0411154000071

Disetujui oleh Tim Penguji Ujian Tugas Akhir:

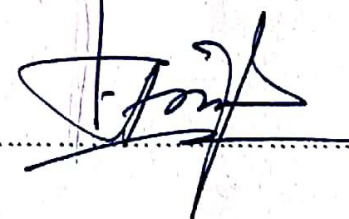
1. Aries Sulisetyono, S.T., M.A.Sc., Ph.D.



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

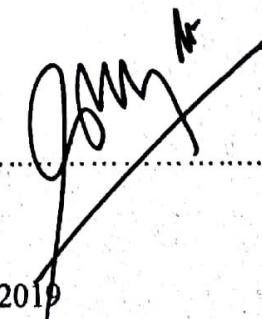


3. Totok Yulianto, S.T., M.T.



Disetujui oleh Dosen Pembimbing Tugas Akhir:

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



SURABAYA, 10 JULI 2019

Dipersembahkan kepada kedua orang tua dan keluarga saya atas segala dukungan dan doanya.
Terima kasih atas semua doa, perhatian dan kerja keras yang diperuntukkan untuk saya.
Terima kasih karena telah percaya pada usaha saya.

KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Allah SWT, Tuhan Yang Maha Esa karena atas karunianya Tugas Akhir ini dapat diselesaikan dengan baik.

Pada kesempatan ini Penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada pihak-pihak yang membantu penyelesaian Tugas Akhir ini, yaitu:

1. Ibu Naning S. dan Abah Muhammad Sholeh Yusuf selaku kedua orang tua Penulis serta kakak – kakak Penulis (Mas, Mba termasuk Saudara Ipar) yang telah memberikan dukungan baik moral maupun materi;
2. Prof. Ir. Achmad Zubaydi, M.Eng., Ph.D. selaku Dosen Pembimbing atas bimbingan dan motivasinya selama pengerjaan dan penyusunan Tugas Akhir ini;
3. Wing Hendroprasetyo A.P., S.T., M.Eng., Dony Setyawan, S.T., M.Eng., Muhammad Nurul Misbach, S.T., M.T. selaku Dosen Penguji yang telah memberikan kritik dan sarannya untuk perbaikan Laporan Tugas Akhir ini;
4. Totok Yulianto, S.T., M.T. selaku Kepala Laboratorium Konstruksi Kapal Departemen Teknik Perkapalan FTK ITS atas bantuannya selama pengerjaan Tugas Akhir ini dan atas ijin pemakaian fasilitas laboratorium;
5. Septia Hardy Sujiatanti, S.T., M.T. yang masih memberikan bimbingan dan dukungan kepada Penulis;
6. Teman – teman (Fajar, Arum, Iqbal, Dzikron, Albert, Mas Zhafran, Angga, Jasmine, Ainun dll) serta senior (Mas Chandra, Mas Aryo, dll) Penulis yang telah memberikan waktunya untuk berdiskusi;
7. Pegawai NASDEC yang telah memberikan kemudahan dengan memfasilitasi Penulis pada beberapa analisis;

Penulis menyadari bahwa Tugas Akhir ini masih jauh dari kesempurnaan, sehingga kritik dan saran yang bersifat membangun sangat diharapkan. Akhir kata semoga laporan ini dapat bermanfaat bagi banyak pihak.

Surabaya, Juli 2019

Sholichatul Ilmiah

ANALISIS TEGANGAN LAMBUNG KAPAL TANKER AKIBAT TUBRUKAN

Nama Mahasiswa : Sholichatul Ilmiah
NRP : 0411154000071
Departemen / Fakultas : Teknik Perkapalan / Teknologi Kelautan
Dosen Pembimbing : Prof. Ir. Achmad Zubaydi, M.Eng., Ph.D.

ABSTRAK

Ketika suatu kapal mengalami tubrukan, struktur lambung ganda dari kapal yang bertabrakan dapat mengalami deformasi plastik yang besar dan fraktur. Hal ini menimbulkan dampak yang bermacam – macam. Kapal tanker yang mengalami kegagalan struktur akan menimbulkan tumpahan minyak yang berakibat buruk pada lingkungan. Maka dari itu perlu dilakukan analisis lebih lanjut mengenai tubrukan yaitu respon kapal terhadap beban tubrukan serta kemungkinan – kemungkinan jika tubrukan terjadi di titik yang berbeda yaitu pada daerah struktur tanpa penguatan (di antara *web frame* / skenario 1) serta pada daerah struktur dengan penguatan (di *web frame* / skenario 2) dan (di *bulkhead* / skenario 3). Akibat keterbatasan komputer, skenario 3 diabaikan. Dilakukan permodelan *wing tank* dan haluan kapal yang didefinisikan sebagai *rigid body*. Analisis dilakukan dengan *dynamic finite element software*. Hasil yang didapatkan berupa tegangan, deformasi, *internal energy* dan *kinetic energy*. Hasil analisis menunjukkan bahwa tegangan maksimum global; pelat *contact (side plate)*; *web frames*; *longitudinal* pada waktu 0,02 s untuk skenario 1 (tubrukan di antara *web frame*) dan skenario 2 (tubrukan di *web frame*) adalah 653 MPa dan 2130 MPa; 653 MPa dan 591 MPa; 176 MPa dan 2130 MPa; 192 MPa dan 293 MPa. Nilai deformasi maksimum global; pelat *contact (side plate)*; *web frames*; *longitudinal* pada waktu 0,02 s untuk skenario 1 dan skenario 2 adalah 105 mm dan 224 mm; 105 mm dan 46,9 mm; 4,77 mm dan 224 mm; 15,6 mm dan 18 mm. Energi yang diserap (*internal energy*) oleh konstruksi *wing tank* pada waktu analisis 0,02 detik untuk skenario 1 dan skenario 2 adalah 42,4 kJ dan 251 kJ. Sehingga dapat ditarik kesimpulan bahwa tegangan maksimum pada skenario 1 lebih besar dari skenario 2 untuk tinjauan pelat *contact* namun tegangan pada skenario 1 lebih kecil dari skenario 2 untuk tinjauan global, *web frames* dan *longitudinal*. Hal ini juga terjadi pada deformasi maksimum pada tiap – tiap tinjauan. *Internal energy* akibat tubrukan menunjukkan nilai yang lebih besar untuk skenario 2.

Kata kunci: *dynamic finite element software*, tegangan, deformasi, *internal energy*, global, pelat *contact*, *web frames*, *longitudinal*.

HULL STRESS ANALYSIS OF TANKER DUE TO COLLISION

Author : Sholichatul Ilmiah
Student Number : 04111540000071
Department / Faculty : Naval Architecture / Marine Technology
Supervisor : Prof. Ir. Achmad Zubaydi, M.Eng., Ph.D.

ABSTRACT

When a ship experiences collisions, its double hull structure can experience a large plastic deformation and fracture. This has various effects. Tankers that experience structural failure will cause oil spills which have a negative impact on the environment. Therefore it is necessary to do a further analysis regarding collisions, namely the response of the ship to collision loads and the possibilities if collisions occur at different points. Those are unstiffened area of structure (between web frames / scenario 1) and stiffened area of structure (web frame / scenario 2) and (bulkhead / scenario 3). Due to computer limitations, scenario 3 is ignored. The geometry consists of wing tanks and ship bow which is defined as a rigid body. Analysis is done with dynamic finite element software. The results obtained in the form of stress, deformation, internal energy and kinetic energy. The analysis results show that the maximum global stress; contact plate (side plate); web frames; longitudinal at 0.02 s for scenario 1 (collision between web frames) and scenario 2 (collision at web frame) is 653 MPa and 2130 MPa; 653 MPa and 591 MPa; 176 MPa and 2130 MPa; 192 MPa and 293 MPa. Global maximum deformation value; contact plate (side plate); web frames; longitudinal at 0.02 s for scenario 1 and scenario 2 is 105 mm and 224 mm; 105 mm and 46.9 mm; 4.77 mm and 224 mm; 15.6 mm and 18 mm. The absorbed energy (internal energy) by the wing tank construction at the time of analysis is 0.02 seconds for scenario 1 and scenario 2 is 42.4 kJ and 251 kJ. So it can be concluded that the maximum stress in scenario 1 is greater than scenario 2 in the scope of contact plates but the von mises stress in scenario 1 is smaller than scenario 2 for global reviews, web frames and longitudinal. This also occurs at maximum deformation in each review. Internal energy due to collisions shows a greater value for scenario 2.

Keywords: dynamic finite element software, stress, deformation, internal energy, global, contact plate contact, web frames, longitudinal.

DAFTAR ISI

LEMBAR REVISI.....	iv
HALAMAN PERUNTUKAN.....	v
KATA PENGANTAR.....	vi
ABSTRAK.....	vii
ABSTRACT.....	viii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR GAMBAR.....	xi
DAFTAR TABEL.....	xiii
DAFTAR SIMBOL.....	xiv
Bab I PENDAHULUAN.....	15
I.1. Latar Belakang Masalah.....	15
I.2. Perumusan Masalah.....	15
I.3. Tujuan.....	15
I.4. Batasan Masalah.....	16
I.5. Manfaat.....	16
I.6. Hipotesis.....	16
Bab II STUDI LITERATUR.....	17
II.1. Dasar Teori.....	17
II.1.1. Kapal Tanker.....	17
II.1.2. Desain Konstruksi.....	18
II.1.3. Tegangan.....	20
II.1.4. Deformasi.....	22
II.1.5. <i>Rigid Body</i>	24
II.1.6. Jenis Haluan Kapal.....	24
II.1.7. <i>Finite Element Method</i> (Metode Elemen Hingga).....	25
II.1.8. Jenis – Jenis Tumpuan.....	26
II.1.9. <i>Meshing</i>	27
II.2. Tinjauan Pustaka.....	27
II.2.1. Tubrukan Kapal.....	28
Bab III METODOLOGI.....	31
III.1. Studi Literatur.....	31
III.2. Pengumpulan Data.....	31
III.2.1. Ukuran Utama.....	31
III.2.2. <i>Construction Profile</i>	32
III.2.3. <i>Midship Section</i>	34
III.2.4. <i>Mechanical Properties</i>	35
III.3. Pemodelan Elemen Hingga.....	36
III.3.1. Pengerjaan <i>Geometry</i>	36
III.3.2. Konvergensi Model.....	36
III.3.3. Kondisi Batas.....	39
III.3.4. Pembebanan.....	40
III.3.5. Pengaturan <i>Dynamic Finite Element Software</i>	40
III.4. Analisis Tegangan.....	45
III.5. Verifikasi Model FEM terhadap Model Eksperimen.....	46

III.6.	Bagan Alir	48
Bab IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....		49
IV.1.	Pendahuluan	49
IV.2.	Analisis dan Pembahasan Tegangan	49
IV.2.1.	Global.....	49
IV.2.2.	Pelat.....	53
IV.2.3.	<i>Web Frames</i>	55
IV.2.4.	<i>Longitudinal</i>	60
IV.3.	Analisis dan Pembahasan Deformasi	63
IV.3.1.	Global.....	63
IV.3.2.	Pelat.....	66
IV.3.3.	<i>Web Frames</i>	68
IV.3.4.	<i>Longitudinal</i>	71
IV.4.	Analisis dan Pembahasan Internal Energy, Kinetic Energy.....	73
Bab V KESIMPULAN DAN SARAN		77
V.1.	Kesimpulan.....	77
V.2.	Saran.....	77
DAFTAR PUSTAKA.....		79
BIODATA PENULIS		121

DAFTAR GAMBAR

Gambar II.1 Klasifikasi Kapal Tanker Berdasarkan Kapasitas Muatan.....	17
Gambar II.2 <i>Single Hull Oil Tanker</i>	18
Gambar II.3 <i>Double Hull Oil Tanker</i>	19
Gambar II.4 <i>Cargo Tank Boundary Lines</i>	20
Gambar II.5 Komponen Tegangan Normal dan Tegangan Geser	21
Gambar II.6 Diagram <i>Stress – Strain</i>	23
Gambar II.7 Gambar Bentuk Haluan Kapal	24
Gambar II.8 Tumpuan Jepit.....	26
Gambar II.9 Tumpuan <i>Roll</i>	27
Gambar II.10 Tumpuan Engsel	27
Gambar II.11 Skenario Tabrakan Jenis <i>Side Collision</i> antara Dua Kapal.....	28
Gambar III.1 <i>Construction Profile</i> Kapal Tanker 17500 LTDW	33
Gambar III.2. <i>Construction Profile</i> frame 100 – 129 Kapal Tanker 17500 LTDW	33
Gambar III.3 <i>Centerline Profile</i> Haluan Kapal Tanker 3500 LTDW	34
Gambar III.4 <i>Frame Section</i> Haluan Kapal Tanker 3500 LTDW	34
Gambar III.5 <i>Midship Section</i> Kapal Tanker 17500 LTDW	35
Gambar III.6 Geometri <i>wing tank</i> dan haluan setelah dimasukkan pada <i>dynamic finite element software</i>	36
Gambar III.7 Hasil <i>Meshing</i> menggunakan <i>Size Function Curvature</i>	37
Gambar III.8 Grafik Konvergensi Ukuran <i>Meshing</i> Pelat	38
Gambar III.9 Grafik Konvergensi Ukuran <i>Meshing Stiffener</i>	39
Gambar III.10 Beberapa Modul pada <i>Dynamic Finite Element Software</i>	40
Gambar III.11 Modul <i>Engineering Data</i>	41
Gambar III.12 <i>Input Geometry</i> Skenario 1 (Tubrukan di antara 2 <i>web frame</i>).....	41
Gambar III.13 <i>Input Geometry</i> Skenario 2 (Tubrukan di <i>web frame</i>).....	42
Gambar III.14 <i>Input Geometry</i> Skenario 3 (Tubrukan di <i>bulkhead</i>).....	42
Gambar III.15 Pendefinisian <i>Rigid Body</i> pada Haluan <i>Striking Ship</i>	43
Gambar III.16 Pengaturan <i>Connection</i>	43
Gambar III.17 Pengaturan Kecepatan Haluan <i>Striking Ship</i>	44
Gambar III.18 Pengaturan Waktu Analisis dan <i>Energy Error</i>	45
Gambar III.19 Pengaturan <i>Fixed Support</i>	45
Gambar III.20 Ilustrasi Eksperimen Mc Dermott.....	46
Gambar III.21 Diagram Alir Tugas Akhir	48
Gambar IV.1 Tegangan <i>Von Mises</i> Global pada Skenario 1	50
Gambar IV.2 Tegangan <i>Von Mises</i> Global pada Skenario 1	50
Gambar IV.3 Tegangan <i>Von Mises</i> Global pada Skenario 2.....	51
Gambar IV.4 Tegangan <i>Von Mises</i> Global pada Skenario 2.....	51
Gambar IV.5 Grafik Tegangan VM Global.....	52
Gambar IV.6 Tegangan <i>Von Mises</i> Lokal Skenario 1 (<i>Plate</i>).....	53
Gambar IV.7 Tegangan <i>Von Mises</i> Lokal Skenario 2 (<i>Plate</i>).....	54
Gambar IV.8 Grafik Tegangan VM Pelat	55
Gambar IV.9 Tegangan <i>Von Mises</i> Lokal Skenario 1 (<i>Web Frames</i>).....	56
Gambar IV.10. (a) <i>Frame 113</i> dan <i>Frame 117</i> ; (b) <i>Frame 113</i>	56

Gambar IV.11 Tegangan <i>Von Mises</i> Lokal Skenario 2 (<i>Web Frames</i>)	57
Gambar IV.12 Tegangan <i>Von Mises</i> Lokal Skenario 2 (a) <i>Frame</i> 113 tampak depan; (b) <i>Frame</i> 113 tampak belakang	58
Gambar IV.13 (kiri) <i>web frame</i> 113 (kanan) <i>web frame</i> 117.....	58
Gambar IV.14 (kiri) <i>web frame</i> 117 (kanan) <i>web frame</i> 121.....	58
Gambar IV.15 Grafik Tegangan VM <i>Web Frames</i>	59
Gambar IV.16 (a) <i>Longitudinal</i> yang terpasang pada pelat <i>contact</i> tubrukan; (b) <i>Longitudinal</i> terdekat dengan lokasi tubrukan	60
Gambar IV.17 Tegangan <i>Von Mises</i> Lokal Skenario 2 (<i>Longitudinal</i>)	61
Gambar IV.18 Grafik Tegangan VM <i>Longitudinal</i>	62
Gambar IV.19 Deformasi Global Skenario 1	63
Gambar IV.20 Deformasi Global Skenario 2.....	64
Gambar IV.21 Deformasi Global.....	65
Gambar IV.22 Deformasi Lokal Skenario 1 (<i>Plate</i>).....	66
Gambar IV.23 Deformasi Lokal Skenario 2 (<i>Plate</i>).....	67
Gambar IV.24 Grafik Deformasi Pelat	68
Gambar IV.25 Deformasi Lokal Skenario 1 (<i>Web Frames</i>)	68
Gambar IV.26 Deformasi Lokal Skenario 2 (<i>Web Frames</i>)	69
Gambar IV.27 Grafik Deformasi <i>Web Frames</i>	70
Gambar IV.28 Deformasi Lokal Skenario 1 (<i>Longitudinal</i>).....	71
Gambar IV.29 Deformasi Lokal Skenario 2 (<i>Longitudinal</i>).....	72
Gambar IV.30 Grafik Deformasi <i>Longitudinal</i>	73
Gambar IV.31 Grafik <i>Internal Energy</i> Global.....	74
Gambar IV.32 Grafik <i>Kinetic Energy</i> Global	75
Gambar IV.33 Massa <i>Geometry</i> Haluan	76

DAFTAR TABEL

Tabel III.1 Data ukuran utama kapal Tanker 17500 LTDW	32
Tabel III.2 Data ukuran utama kapal Tanker 3500 LTDW	32
Tabel III.3 <i>Mechanical Properties</i> baja A36.....	35
Tabel III.4 Tabel Konvergensi Ukuran Meshing Pelat.....	38
Tabel III.5 Tabel Konvergensi Ukuran <i>Meshing Stiffener</i>	39
Tabel IV.1 Tegangan VM Global (a) Skenario 1; (b) Skenario 2	52
Tabel IV.2 Tegangan VM Pelat (a) Skenario 1; (b) Skenario 2	54
Tabel IV.3 Tegangan VM <i>Web Frames</i> (a) Skenario 1; (b) Skenario 2.....	59
Tabel IV.4 Tegangan VM <i>Longitudinal</i> (a) Skenario 1; Skenario 2.....	61
Tabel IV.5 Deformasi Global (a) Skenario 1; (b) Skenario 2	65
Tabel IV.6 Deformasi Pelat (a) Skenario 1; (b) Skenario 2	67
Tabel IV.7 Deformasi <i>Web Frames</i> (a) Skenario 1; (b) Skenario 2.....	69
Tabel IV.8 Deformasi <i>Longitudinal</i> (a) Skenario 1; (b) Skenario 2.....	72
Tabel IV.9 <i>Internal Energy</i> Global.....	74
Tabel IV.10 <i>Kinetic Energy</i> Global.....	75

DAFTAR SIMBOL

W	= Lebar <i>wing tank</i> (m)
W_{min}	= Lebar minimum <i>wing tank</i> (m)
σ	= Tegangan normal (N/m^2)
σ_v	= Tegangan <i>von misses</i> (N/m^2)
σ_y	= <i>Yield stress material</i> (N/m^2)
F	= Gaya (N)
F_w	= <i>Resistance</i> oleh struktur <i>web frame</i> (N)
A_{web}	= Area pada <i>web frame</i> yang terkena beban (m^2)
H_{web}	= Dimensi <i>web</i> pada struktur <i>web frame</i> (m)
t	= Tebal <i>web frame</i> (m)
δ	= Defleksi (m)
A_0	= Luas permukaan benda yang dikenakan oleh gaya (m^2)
τ	= Tegangan geser (N/m^2)
R_{uc}	= <i>Limit stress</i> (MPa)
R_{eh}	= <i>Minimum nominal upper yield point of hull structural applied</i> (MPa)
R_m	= <i>Tensile strength of hull structural applied</i> (MPa)
W_c	= Energi total yang diserap akibat tabrakan kapal (MJ)
R_T	= Volume rusak dari pelat struktur kapal yang ditabrak (m^3)

BAB I

PENDAHULUAN

I.1. Latar Belakang Masalah

Ketika suatu kapal mengalami tubrukan, struktur lambung ganda dari kapal yang bertabrakan dapat mengalami deformasi plastik yang besar dan fraktur. Salah satu contoh dampak dari kegagalan struktur tersebut adalah bocornya muatan kapal tanker Iran pada tahun 2018. Kapal tersebut mengangkut 136 ribu ton muatan akibat bertabrakan dengan kapal kargo China. Kejadian ini merupakan kejadian terbesar semenjak tahun 1991 (Kumparan). Dampak yang ditimbulkan cukup besar terutama dari aspek lingkungan. Bocoran minyak tersebut mengancam ekosistem laut China Timur yang dikenal kaya akan biota laut. Maka dari itu perlu dilakukan analisis lebih lanjut mengenai tubrukan yaitu respon kapal terhadap beban tubrukan serta kemungkinan – kemungkinan jika tubrukan terjadi di titik yang berbeda. Hal ini berkaitan dengan analisis tegangan akibat tubrukan, serta energi yang diserap selama proses tubrukan.

I.2. Perumusan Masalah

Ditinjau dari latar belakang yang sudah dijelaskan sebelumnya, terdapat beberapa permasalahan yang akan diselesaikan dalam Tugas Akhir ini yaitu :

- Bagaimana perilaku tegangan yang terjadi pada bagian lambung kapal tanker akibat adanya tubrukan oleh kapal lain?
- Bagaimana perilaku deformasi yang terjadi pada bagian lambung kapal tanker akibat adanya tubrukan oleh kapal lain?
- Berapa besar energi yang diserap oleh lambung kapal tanker akibat adanya tubrukan oleh kapal lain?

I.3. Tujuan

Tujuan dari penulisan Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut :

- Mengetahui perilaku tegangan yang terjadi pada bagian lambung kapal tanker akibat adanya tubrukan oleh kapal lain.

- Mengetahui perilaku deformasi yang terjadi pada bagian lambung kapal tanker akibat adanya tubrukan oleh kapal lain.
- Mengetahui besar energi yang diserap oleh lambung kapal tanker akibat adanya tubrukan oleh kapal lain.

I.4. Batasan Masalah

Batasan – batasan yang digunakan dalam pengerjaan Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut:

- Kapal yang digunakan adalah kapal tanker 17500 LTDW (*struck ship*) dan kapal tanker 3500 LTDW (*striking ship*).
- Konstruksi yang digunakan adalah konstruksi lambung ganda.
- Kedua kapal tanker dalam kondisi muatan penuh.
- Dilakukan di perairan tenang.
- Penelitian dilakukan dengan menggunakan FEM.
- Skenario tabrakan terjadi di 3 titik yaitu di antara gading besar, tepat pada *web frame* dan tepat pada *bulkhead*.
- Analisis hanya berpusat pada *wing tank* sebagai komponen konstruksi kapal yang mengalami *impact* terbesar atas beban dinamis.
- Lama tumbukan yaitu sebesar 0,02 detik.

I.5. Manfaat

Dengan dilakukannya tugas akhir ini, diharapkan dapat membantu mendapatkan solusi dalam melakukan analisis tegangan lambung kapal tanker akibat tubrukan.

I.6. Hipotesis

Hipotesis dari tugas akhir ini adalah tegangan pada konstruksi kapal akibat tubrukan mempunyai nilai paling besar jika tubrukan terjadi di antara gading besar dikarenakan konstruksi di daerah ini tidak terlalu kuat.

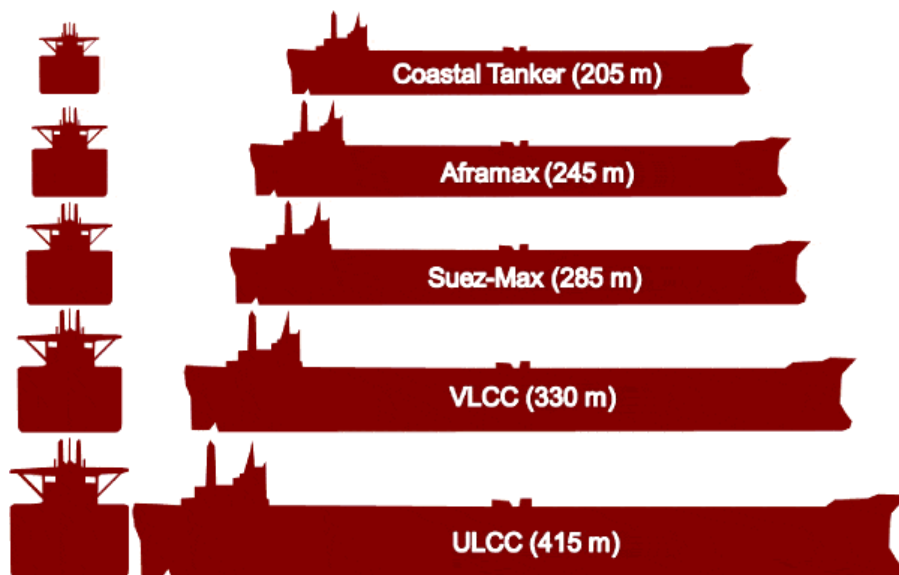
BAB II STUDI LITERATUR

II.1. Dasar Teori

Dasar teori berisikan pengertian dan acuan dari variabel yang digunakan dalam tugas akhir ini. Dalam tugas akhir ini variabel – variabel tersebut meliputi pengertian kapal tanker, desain konstruksi, tegangan, deformasi, *rigid body*, jenis haluan kapal, *finite element method* dan jenis – jenis tumpuan.

II.1.1. Kapal Tanker

Kapal Tanker merupakan kapal yang dirancang sebagai alat transportasi muatan minyak dan produk turunannya (Morrel). Klasifikasi kapal tanker berdasarkan kapasitas muatan yang diangkut dari yang paling kecil ke yang paling besar digambarkan oleh Gambar II.1.



Gambar II.1 Klasifikasi Kapal Tanker Berdasarkan Kapasitas Muatan
(Geography)

- Coastal Tanker* berkapasitas kurang dari 50.000 dwt, terutama digunakan untuk transportasi produk olahan (bensin, *gasoil*).
- Aframax (Average Freight Rate Assessment)* berkapasitas 80.000-125.000 dwt.

- c. *Suezmax* adalah jenis tanker yang dapat melintasi Terusan Suez dalam muatan penuh, berkapasitas 125.000 - 180.000 dwt.
- d. VLCC (*Very Large Crude Carrier/Malaccamax*) berkapasitas 300.000 dwt.
- e. ULCC (*Ultra Large Crude Carrier*) berkapasitas 500.000 dwt (marineinsight.com, 2017).

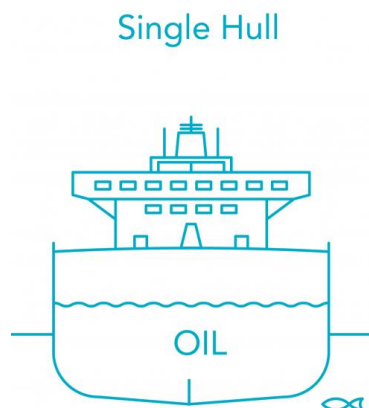
II.1.2. Desain Konstruksi

Setiap kapal mempunyai desain konstruksi yang berbeda – beda tergantung dari jenis dan dimensinya. Kapal tanker memiliki spesialisasi pada desain konstruksinya dimana diwajibkan untuk kapal Tanker dengan ukuran lebih dari sama dengan *5,000 tons dwt* yang dipesan melebihi tertanggal 6 Juli 1993 agar dilengkapi dengan *double hull* atau desain yang diterima oleh IMO (*International Maritime Organization*). Hal ini sesuai dengan penjelasan pada regulasi 19 Annex I MARPOL. Kemudian pada tahun 2003 dilakukan revisi pada aturan tersebut dan mulai diberlakukan pada tahun 2005. Aturan yang terbaru mengatakan bahwa untuk *oil tanker* yang mengangkut *heavy grade oil* (HGO) dengan kapasitas lebih dari sama dengan *5,000 tons dwt* diharuskan memakai *double hull* setelah tanggal regulasi (5 April 2005) serta untuk *single-hull oil tankers* dengan kapasitas *600 tons dwt - 5,000 tons dwt* diharuskan memakai *double hull* sebelum *anniversary* dari tanggal pengiriman di 2008 (*International Maritime Organization (IMO)*).

Perbandingan lebih rinci mengenai desain konstruksi yang dimaksud adalah sbb :

1. *Single – hull*

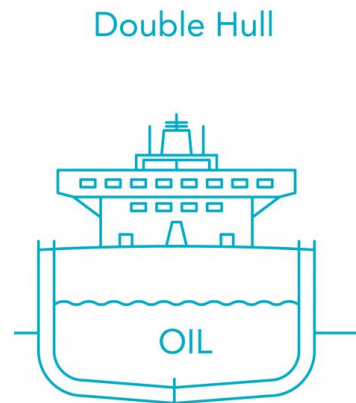
Kapal Tanker dengan desain *single hull* ditunjukkan oleh Gambar II.2. Konstruksi ini memiliki kelemahan karena hanya memiliki satu lapisan kulit yang membatasi ruang muat dengan laut lepas.



Gambar II.2 *Single Hull Oil Tanker*
(Clearseas)

Hal ini tentu menimbulkan resiko yang besar terkait kebocoran muatan. Apabila terjadi kerusakan pada lapisan ini yang pada akhirnya menimbulkan sobekan, maka muatan bisa langsung mengalir ke lautan lepas.

2. *Double – hull*

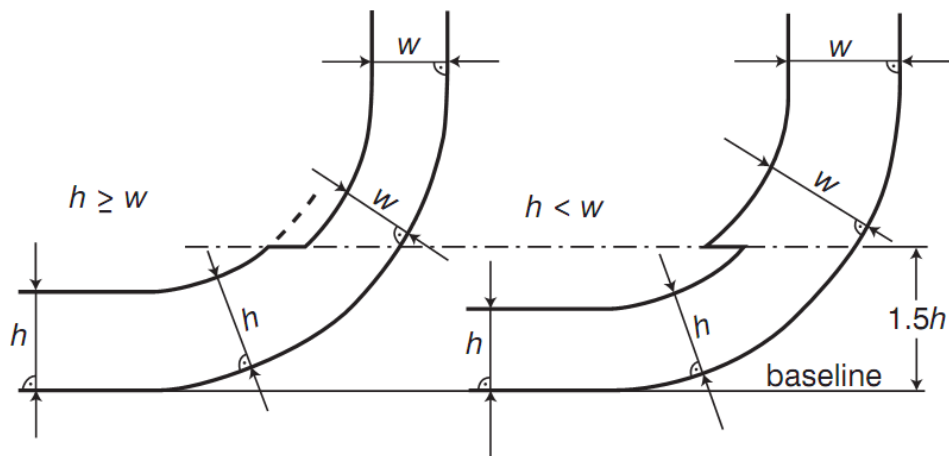


Gambar II.3 *Double Hull Oil Tanker*
(Clearseas)

Berbeda dengan konstruksi *single hull*, dengan adanya konstruksi *double hull* muatan akan tetap terjaga ketika terjadi tabrakan selama penetrasi yang diakibatkan oleh tabrakan kurang dari lebar *double hull* atau tabrakan hanya mengakibatkan kerusakan atau penetrasi pada lambung luar kapal. Kapal Tanker dengan desain *double hull* ditunjukkan oleh Gambar II.3. Namun pada praktiknya, konstruksi ini membutuhkan *maintenance* lebih tinggi. Dimensi yang sesuai dibutuhkan untuk memudahkan proses inspeksi. Spesifikasi lebih lanjut dijelaskan pada BKI 2018 Sec. 24 A 3.2.

Seluruh panjang tangki kargo harus dilindungi oleh *double side (wing tank* atau ruang) dan tangki alas ganda atau ruang dengan dimensi yang akan dijelaskan pada Gambar II.4. Tangki atau *wing tank* akan diperluas untuk seluruh panjang tangki kargo dan untuk kedalaman penuh sisi kapal atau dari atas alas ganda ke dek paling atas, di mana letaknya sesuai. Tangki tersebut harus diatur sedemikian rupa di mana dimensinya kurang dari jarak w yang diukur pada setiap bagian persilangan pada sudut yang sesuai dari pelat sisi samping, sebagaimana ditentukan oleh persamaan (II.1).

$$\begin{aligned}
 W &= 0.5 + \frac{tdw}{20000} \text{ [m] or} && \text{(II.1)} \\
 &= 2,0 \text{ m; dipilih yang terkecil} \\
 W_{min} &= 1,0 \text{ m}
 \end{aligned}$$



Gambar II.4 Cargo Tank Boundary Lines (BKI)

II.1.3. Tegangan

A. Tegangan

Gaya internal yang bekerja pada sebuah potongan dengan luasan yang sangat kecil akan bervariasi baik besarnya maupun arahnya. Pada umumnya gaya-gaya tersebut berubah - ubah dari suatu titik ke titik yang lain, umumnya berarah miring pada bidang perpotongan. Dalam praktek keteknikan intensitas gaya diuraikan menjadi tegak lurus dan sejajar dengan irisan. Dalam praktek, kata tegangan sering memberi dua pengertian:

1. Gaya per satuan luas atau intensitas tegangan, yang umumnya ditunjukkan sebagai tegangan satuan.
2. Gaya dalam total suatu batang tunggal yang umumnya dikatakan sebagai tegangan total.

Secara sederhana tegangan dapat didefinisikan sebagai besaran gaya yang bekerja pada satu satuan luas permukaan benda yang dikenakan oleh gaya. Secara matematis definisi tegangan dapat dituliskan sesuai dengan persamaan (II.2) (Timoshenko).

$$\sigma = \frac{F}{A_0} \quad (\text{II.2})$$

Tegangan dianggap positif jika menimbulkan suatu tarikan (*tensile*) dan dianggap negatif jika menimbulkan penekanan (*compression*). Tegangan dapat diketahui dengan melakukan pengujian, dan besarnya kekuatan sangat tergantung pada jenis material yang diuji. Bahan yang sering dan umum digunakan adalah baja.

Tegangan dibagi dua macam berdasarkan tegangan yang terjadi pada suatu material yaitu :

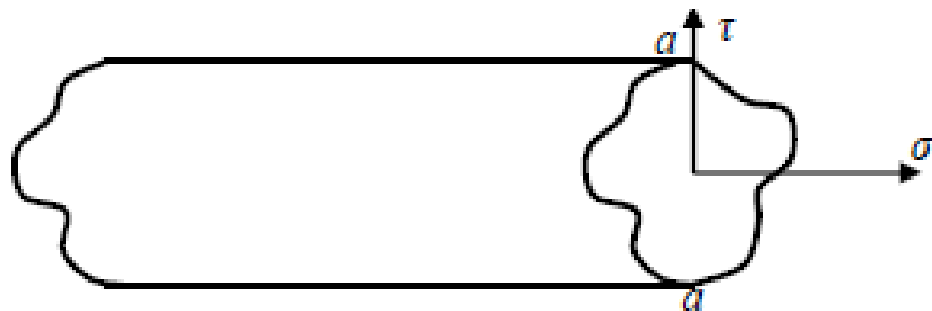
1. Tegangan Normal

Tegangan normal adalah intensitas gaya yang bekerja normal (tegak lurus) terhadap irisan yang mengalami tegangan. Bila gaya-gaya luar yang bekerja pada suatu batang yang sejajar terhadap sumbu utamanya dan potongan batang penampang tersebut konstan, tegangan internal yang dihasilkan adalah sejajar pada sumbu-sumbu tersebut.

2. Tegangan Geser

Tegangan geser adalah tegangan yang bekerja sejajar dengan bidang pembebanan. Tegangan geser terjadi jika suatu benda bekerja dengan dua gaya yang berlawanan arah, lurus sumbu batang, tidak segaris gaya namun pada penampangnya tidak terjadi momen. Tegangan ini banyak terjadi pada konstruksi.

Penerapan tegangan normal dapat dilihat pada Gambar II.5 dimana arah tegak lurus dengan irisan bekerja tegangan normal (σ) dan arah sejajar dengan bidang pembebanan bekerja tegangan geser (τ).



Gambar II.5 Komponen Tegangan Normal dan Tegangan Geser (Timoshenko)

B. Tegangan pada Kapal

Ketika suatu kapal mendapatkan beban, hal tersebut mempengaruhi tegangan yang terjadi pada kapal. Apabila tegangan yang terjadi melebihi batas tegangan yang diizinkan maka akan membahayakan dan akan merusak struktur kapal tersebut. Berdasarkan BKI 2018, tegangan izin akibat beban yang diberikan adalah sbb :

a. Untuk penilaian tegangan dengan teori balok atau *grillage analysis* ditunjukkan oleh persamaan (II.3) dan (II.4).

$$\text{Normal stress} \quad : \sigma \leq \text{ReH} \quad (\text{II.3})$$

$$\text{Sheer stress} \quad : \tau \leq 0.6 \text{ ReH} \quad (\text{II.4})$$

b. Untuk penilaian tegangan dengan *finite element analysis* ditunjukkan oleh persamaan (II.5)

$$\text{Equivalent stress} \quad : \sigma_v \leq \text{ReH} \quad (\text{II.5})$$

Pada kasus *low energy collision*, tegangan izin yang ditetapkan menurut peraturan BKI 2018 ditunjukkan oleh persamaan (II.6)

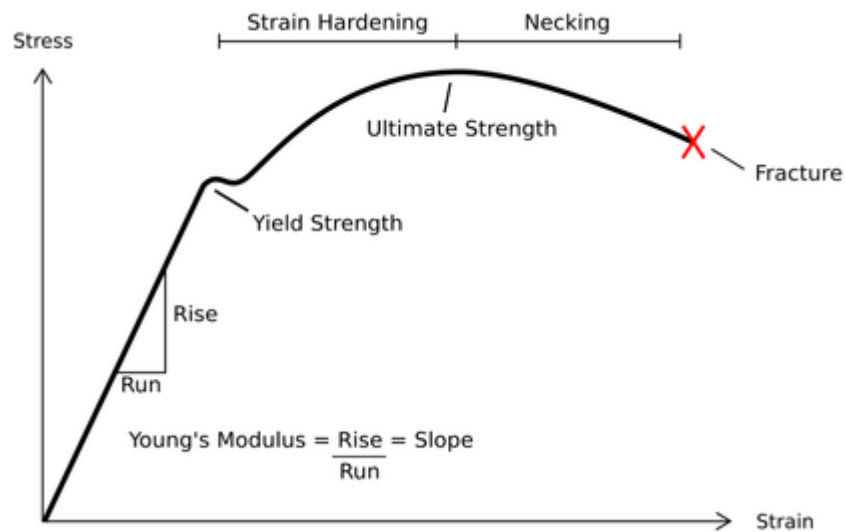
$$Ruc = \frac{1}{2} (Reh + Rm) \quad (\text{II.6})$$

Dimana, ReH = *Minimum nominal upper yield point dari struktur* (MPa); Rm = *Tensile strength* dari struktur (MPa) dan Ruc = tegangan izin untuk kasus *low energy collision*.

II.1.4. Deformasi

A. Deformasi

Deformasi terjadi sebagai respon dari material yang mendapatkan beban. Selama proses deformasi berlangsung, terjadi penyerapan energi oleh material yang dikenai gaya sebagai akibat adanya gaya yang bekerja. Besar gaya yang bekerja memberi efek pada perubahan bentuk dan dimensi suatu material. Perubahan bentuk secara fisik pada benda dibagi menjadi dua, yaitu deformasi plastis dan deformasi elastis. Deformasi elastis adalah deformasi yang terjadi akibat adanya beban yang jika beban ditiadakan, maka material akan kembali seperti ukuran dan bentuk semula, sedangkan deformasi plastis adalah deformasi yang bersifat permanen, yaitu jika bebannya dilepas maka material tidak akan kembali seperti ukuran dan bentuk semula (Hibeller). Pada awal pembebanan akan terjadi deformasi elastis sampai pada kondisi tertentu. Tahap selanjutnya material akan mengalami deformasi plastis. Pada awal pembebanan di bawah kekuatan luluh (*yield strength*), material akan kembali ke bentuk semula. Penambahan beban pada bahan yang telah mengalami kekuatan tertinggi tidak dapat dilakukan, karena pada kondisi ini bahan telah mengalami deformasi total. Jika beban tetap diberikan maka regangan akan bertambah dimana material seakan menguat yang disebut dengan penguatan regangan (*strain hardening*) yang selanjutnya benda akan mengalami putus pada kekuatan patah (*ultimate strength*). Hubungan antara komponen – komponen tersebut dapat dilihat pada Gambar II.6 (Pytel dan Singer).



Gambar II.6 Diagram *Stress – Strain*
(Beer, Dewolf dan Mazurek)

B. Energi Deformasi

Energi dapat dibedakan menjadi beberapa tipe yaitu : *mechanical, chemical, nuclear, electrical, magnetic* dll. Secara umum, energi dapat dibedakan menjadi 2 tipe yaitu energi kinetik dan energi potensial. Energi kinetik dimiliki oleh benda yang bergerak sedangkan energi potensial adalah energi yang dimiliki oleh benda dengan kedudukan tertentu.

Suatu bahan yang ditumbuk oleh bahan dengan energi tertentu akan menerima transfer energi dari bahan tersebut. Bahan A yang ditumbuk oleh bahan B dengan kecepatan tertentu akan menerima transfer energi kinetik oleh bahan B. Hasil transfer energi kinetik dari bahan B berubah menjadi energi regangan elastis (*elastic strain energy*) yang tersimpan pada bahan A. Energi regangan elastis ini mengakibatkan perubahan susunan molekul pada bahan A. Hal inilah yang disebut sebagai deformasi. Ketika energi kinetik bahan B secara penuh ditransfer kepada bahan A, maka yang terjadi adalah deformasi maksimum pada bahan A. (Kelly, 2015)

Deformation Energy adalah energi yang mengakibatkan suatu bahan untuk mengalami deformasi. *Deformation Energy* untuk kasus tabrakan kapal dihitung berdasarkan prosedur BKI 2018. Untuk kasus tabrakan dengan energi tabrakan yang tinggi, maka persamaan Minorski pada persamaan (II.7) bisa diterapkan (BKI, 2018).

$$W_c = 47.2 R_T + 32.7 \quad (\text{II.7})$$

Dimana, W_c = energi yang diserap (MJ), R_T = volume kerusakan yang terjadi (m^3). Sedangkan untuk kasus tabrakan dengan energi tabrakan yang rendah, maka

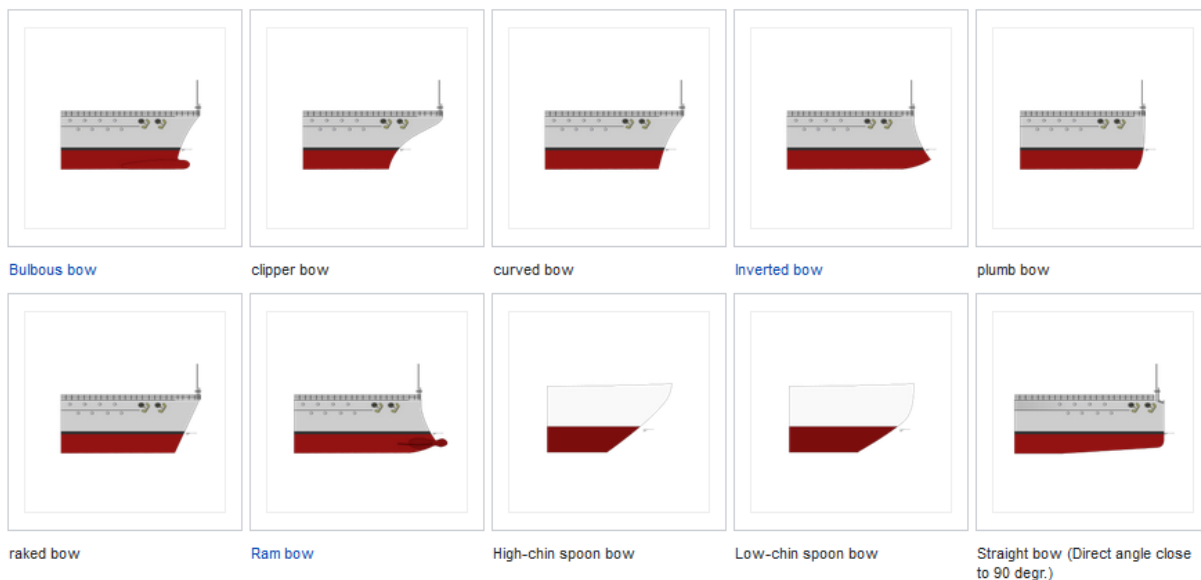
persamaan energinya bergantung pada skenario interaksi yang terjadi. Hal ini mengacu pada BKI 2018 Section 35 B 7.

II.1.5. *Rigid Body*

Bahan yang dikategorikan sebagai *rigid body* tidak mengalami deformasi. Dengan kata lain jarak antar partikel penyusun *rigid body* tersebut tidak berubah dibawah pengaruh gaya eksternal (Kelly, 2015). *Rigid body* biasanya dianggap sebagai distribusi massa yang berkelanjutan. Kecepatan linier benda tegar adalah besaran vektor, sama dengan laju waktu perubahan posisi liniernya. Dengan demikian, itu adalah kecepatan dari titik referensi yang ditetapkan ke *rigid body*. Selama gerakan translasi murni (gerakan tanpa rotasi), semua titik pada *rigid body* bergerak dengan kecepatan yang sama (Wikipedia, 2019).

II.1.6. Jenis Haluan Kapal

Haluan kapal dirancang sedemikian rupa untuk mengurangi tahanan yang terjadi. Pada kapal yang lebih lambat seperti tanker, bentuk *bow* yang lebih penuh digunakan untuk memaksimalkan volume kapal untuk panjang tertentu. Terdapat berbagai tipe haluan kapal sesuai fungsinya. Gambar beberapa tipe haluan kapal pada umumnya dijelaskan oleh Gambar II.7.



Gambar II.7 Gambar Bentuk Haluan Kapal
(Wikipedia, Bow (Ship))

II.1.7. *Finite Element Method* (Metode Elemen Hingga)

Finite element method adalah suatu metode numerik yang digunakan dalam memecahkan permasalahan teknik (matematika dan fisika) khususnya dalam memecahkan analisa struktur. Persoalan perancangan dapat diselesaikan dengan cara matematis dan numerik. Untuk benda-benda yang mempunyai bentuk yang tidak teratur, penyelesaiannya akan sulit menggunakan cara matematis. Sehingga perlu digunakan cara numerik, yang dalam perkembangannya disebut sebagai Metode Elemen Hingga (*Finite Elements Method*) (Logan).

Dinamakan elemen hingga karena ukuran elemen kecil ini berhingga dan umumnya mempunyai bentuk geometri yang lebih sederhana dibandingkan kontinunya (Weaver dan Johnston). Pemilihan tipe elemen diutamakan bergantung pada tujuan dari analisis. Karakteristik dari elemen yang dipilih harus dapat merepresentasikan secara akurat terkait kekakuan dari sebuah struktur dan tegangan yang akan dianalisis. Ketika melakukan analisis tegangan, pengetahuan terkait karakteristik elemen harus memadai mengingat karakteristik elemen adalah sebuah prasyarat dari suatu pengerjaan analisis struktur (BKI, 2018).

Metode elemen hingga adalah sebuah metode yang menggunakan pendekatan numerik untuk menganalisis sebuah struktur untuk mendapatkan solusi pendekatan dari suatu masalah. Pada dasarnya, langkah awal pada setiap simulasi menggunakan elemen hingga adalah membagi (*to discretize*) geometri dari struktur sesungguhnya menggunakan sekumpulan elemen-elemen yang berhingga. Sekumpulan titik nodal dan suatu elemen hingga disebut dengan *mesh*. Banyaknya elemen per satuan panjang, area, atau pada suatu *mesh* disebut dengan *mesh density*. Pada suatu analisis statik mekanika benda padat (*solid*), perpindahan (*displacements*) dari titik nodal adalah variabel dasar yang akan dikalkulasi oleh analisis (dengan bantuan perangkat lunak). Tegangan, regangan, gaya dalam, serta gaya luar dapat ditentukan setelah perpindahan pada setiap titik nodal diketahui (Popov).

Suatu analisis menggunakan elemen hingga merupakan analisis pendekatan sehingga hasil yang didapatkan bukanlah suatu hasil analitis/tepat. Terdapat ketidaksesuaian (*error*) dari hasil yang didapat dengan hasil yang seharusnya. Namun terdapat suatu batasan yang dapat ditoleransi sehingga hasil dari analisis menggunakan elemen hingga dapat dinyatakan valid. Persamaan metode elemen hingga secara umum tertera pada persamaan (II.8).

$$\{f\} = [k].\{d\} \quad (II.8)$$

Dimana, $\{f\}$ adalah matrik gaya, $[k]$ adalah matrik kekakuan, $\{d\}$ adalah matrik deformasi.

Analisis kekuatan dengan metode elemen hingga digunakan untuk mendapatkan nilai tegangan *von mises*. Suatu konstruksi dinyatakan memenuhi apabila besarnya nilai *von mises stress* (σ_{vm}) kurang dari *yield stress material* (σ_y). Komponen yang mempengaruhi besar tegangan *von mises* dituliskan pada persamaan (II.9).

$$\sigma_{vm} = \sqrt{I_1^2 - 3I_2} \quad (II.9)$$

$$I_1 = \sigma_x + \sigma_y + \sigma_z$$

$$I_2 = \sigma_x \sigma_y + \sigma_y \sigma_z + \sigma_z \sigma_x - \tau_{xz} - \tau_{yz} - \tau_{xy}$$

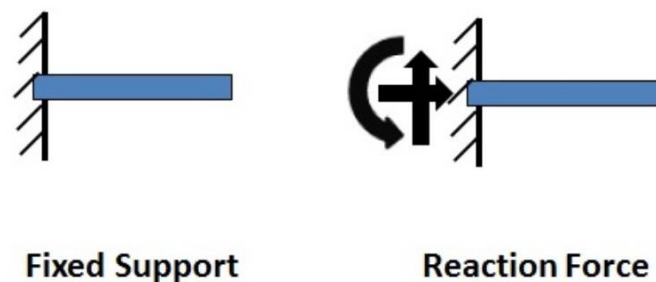
Dimana, nilai σ adalah tegangan normal, τ adalah tegangan geser (Hoque).

II.1.8. Jenis – Jenis Tumpuan

Karakteristik gaya reaksi yang timbul pada suatu benda yang mendapat beban tergantung bagaimana benda tersebut ditumpu atau bagaimana benda tersebut disambung dengan benda lain (Hibeller,1997). Terdapat beberapa pengondisian tumpuan pada sebuah struktur. Jenis tumpuan menurut Meriam (1986) adalah tumpuan jepit (*fix*), roda (*roll*) dan tumpuan sendi/engsel (*hinge*).

a. Tumpuan jepit

Tumpuan jepit merupakan tumpuan yang dapat menahan gaya dalam segala arah dan dapat menahan momen. Tumpuan ini juga tidak memiliki nilai perpindahan. Gaya reaksi dan momen yang bekerja pada tumpuan ini ditunjukkan oleh Gambar II.8.



Gambar II.8 Tumpuan Jepit
(Mechanical Booster)

b. Tumpuan *roll*

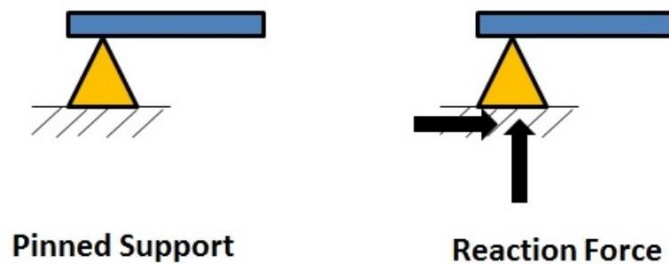
Tumpuan *roll* adalah tumpuan yang hanya dapat menerima gaya dalam arah tegak lurus *roll* dan tidak mampu menahan momen. Hanya arah tegak lurus dengan *roll* yang tidak memiliki perpindahan. Gaya reaksi pada tumpuan ini ditunjukkan oleh Gambar II.9.



Gambar II.9 Tumpuan *Roll*
(Mechanical Booster)

c. Tumpuan engsel

Tumpuan sendi merupakan tumpuan yang dapat menerima gaya dari segala arah tapi tidak mampu menahan momen. Arah gerak perpindahan hanya searah dengan tumpuan dan tegak lurus dengan tumpuan. Gaya reaksi yang bekerja pada tumpuan ini diilustrasikan oleh Gambar II.10.



Gambar II.10 Tumpuan Engsel
(Mechanical Booster)

II.1.9. Meshing

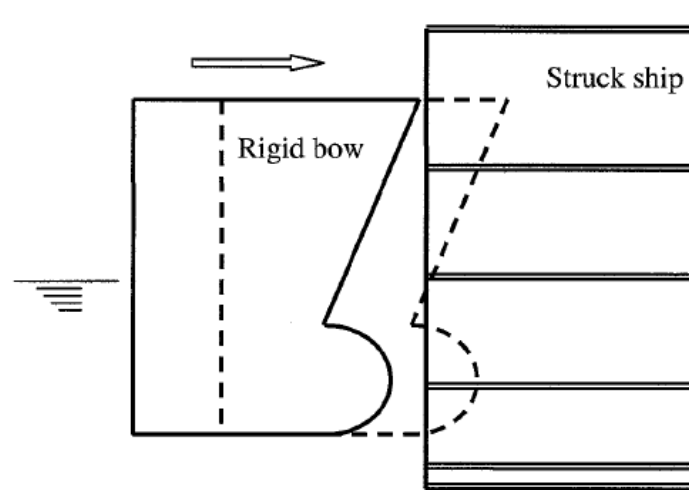
Meshing merupakan proses pembuatan elemen berbentuk poligonal atau polihedral yang mendekati domain geometris model. Dengan kata lain, *meshing* merupakan proses pembagian model menjadi beberapa elemen dengan ukuran yang lebih kecil. Proses ini merupakan tahap penting atau langkah kunci pada analisis menggunakan metode elemen hingga untuk perhitungan numerik (Hoque).

II.2. Tinjauan Pustaka

Tinjauan pustaka dalam tugas akhir ini berisikan tinjauan beberapa penelitian yang pernah dilakukan dan berkaitan dengan tugas akhir ini.

II.2.1. Tubrukan Kapal

Collision atau tubrukan kapal adalah kecelakaan yang melibatkan kerusakan antar kapal atau satu kapal saja. Kasus tubrukan dapat diklasifikasikan menjadi dua, yaitu *side collision* (tubrukan sisi) dan *head-on collision* (tubrukan haluan). *Side collision* (tubrukan sisi) umumnya merupakan situasi tabrakan kapal - ke kapal. Tubrukan jenis ini diilustrasikan oleh Gambar II.11 (Kim).



Gambar II.11 Skenario Tabrakan Jenis *Side Collision* antara Dua Kapal (Kim)

Kasus tabrakan kapal telah diteliti oleh Minorsky yang merupakan pelopor dari kasus *high-collision energy* (jenis tabrakan dimana akibat dari tabrakan tersebut mengakibatkan kerusakan) dengan model analisa berupa kapal yang membawa muatan berupa bahan nuklir (Zhang, *The Mechanics of Ship Collisions*). *Low energy collision* yang tidak mengakibatkan kerusakan menjadi masalah karena tidak sesuai dengan metode Minorsky. Untuk mengatasi keterbatasan dari metode tsb maka digunakan beberapa metode pendekatan salah satunya yaitu metode elemen hingga pada tahun 2012 yang diterapkan pada analisa *ship grounding*. (Setyawan dan Putranto).

Pada analisis yang dilakukan oleh penulis dipengaruhi oleh beberapa bagian – bagian penting yang meliputi :

- Desain konstruksi *struck ship*;
- Bagian haluan *striking ship*;
- Kecepatan dari *striking ship*;
- Tinggi sarat *struck ship* terhadap tinggi sarat *striking ship*.

Berikut ini adalah beberapa penelitian yang pernah dilakukan dan berkaitan dengan tugas akhir ini :

A. *Analysis of Ship – Ship Collision Damage Accounting for Bow and Side Deformation Interaction*

Makalah ini menyajikan prosedur untuk menganalisis tabrakan kapal menggunakan metode analitik yang disederhanakan dengan memperhitungkan interaksi antara deformasi pada kapal yang menabrak dan menyerang. Simulasi numerik menggunakan perangkat lunak elemen hingga LS-DYNA dilakukan untuk menghasilkan data eksperimen virtual untuk beberapa skenario tabrakan kapal. Hasil numerik digunakan untuk memvalidasi metode. Kontribusi terhadap resistensi total dari semua komponen struktural kapal bertabrakan dianalisis dalam simulasi numerik dan metode yang disederhanakan. Tiga jenis tabrakan diidentifikasi berdasarkan resistansi relatif satu kirim ke yang lain. Mereka dilambangkan sebagai Jenis Tabrakan 1 dan 2, di mana kapal yang relatif kaku bertabrakan dengan kapal yang dapat dideformasi, dan Jenis Tabrakan 3, di mana dua kapal yang cacat dapat dilibatkan. Untuk Jenis Tabrakan 1 dan 2, perkiraan energi yang diserap oleh kapal yang rusak berbeda kurang dari 8% dibandingkan dengan angka hasil. Untuk Tipe Tabrakan 3, hasilnya berbeda sekitar 13% (Harris dan Amdahl).

B. *Dynamics Finite Element for Ship Damage Collision Analysis*

Studi ini memeriksa desain kapal kargo curah padat yang aman untuk operasi pengiriman di daerah padat. Metode elemen hingga digunakan untuk menentukan jumlah energi internal dalam struktur kapal yang rusak. Kapal yang mogok diasumsikan sebagai kapal tanker yang memiliki busur bulat. Kapal curah dirancang dengan *double skin* 1,8 m dan struktur *wing tank* ditentukan sebelumnya. Hasil yang diperoleh dari penelitian ini adalah desain ruang muat kapal induk yang memiliki kulit ganda untuk melindungi kompartemen bocor ketika kapal itu jatuh. Penetrasi di kedalaman 1,8 m akan terjadi di kapal jika kapal jatuh dengan kecepatan 12 knot dan berat 1400 ton (Hasanudin, Aryawan dan Zubaydi).

C. *The Determination of Collision Bulkhead Position by Using Consideration of Ship Grounding Analysis*

Pada studi ini dilakukan analisa untuk mendapatkan hasil yang sama antara simulasi dan kondisi nyata, kapal diterapkan bergerak maju ke model *grounding*. Energi internal ditangkap sehingga kekakuan kapal menyerang konstruksi dapat diukur dari hasil ini. Model *grounding* diasumsikan dengan menggunakan benda tegar yang berarti bahwa

lendutan dan tegangan selama simulasi diabaikan. Dari hasil tersebut, dapat disimpulkan bahwa efek sekat berada di 4.0 m dari *forepeak* kapal. Posisi ini telah mempertimbangkan bahwa model dasar tidak menyentuh sekat (Setyawan dan Putranto).

D. Ship Collision Damage Assessment and Validation with Experiments and Numerical Simulations

Pada studi ini dilakukan pendekatan analitik dan analisis elemen hingga untuk mempelajari secara mendalam model tabrakan dan tes tabrakan skala penuh sehingga untuk lebih mengukur parameter perhitungan utama dan untuk memverifikasi kemampuan dan akurasi metode analitik yang diusulkan. Total 18 percobaan tes dan satu kecelakaan tabrakan skala penuh dievaluasi. 18 energi eksperimental kurva penetrasi-penetrasi dan gaya-tabrakan, dan elemen hingga terkait simulasi, dibandingkan dengan hasil yang diperoleh dari perhitungan analitik. Itu bisa saja menyimpulkan bahwa metode analitik memberikan persetujuan yang baik secara konsisten dengan semua eksperimen dianalisis di sini. Akhirnya, aplikasi metode analitis ditunjukkan oleh sebuah contoh di mana pembatasan kecepatan ditentukan di pelabuhan untuk menghindari kebocoran kargo LNG dalam hal terjadi. Pengangkut LNG ditabrak oleh kapal lain (Zhang, Villavicencio dan Zhu).

BAB III METODOLOGI

III.1. Studi Literatur

Tugas Akhir ini bertujuan untuk menganalisis kekuatan lambung kapal Tanker 17500 LTDW yang membutuhkan referensi yang dapat membantu proses analisis tersebut. Studi literatur dilakukan untuk mengumpulkan berbagai referensi yang dibutuhkan dalam proses analisis kekuatan lambung kapal tersebut. Studi literatur terbagi kedalam dua bagian, yaitu dasar teori dan tinjauan pustaka. Dasar teori berisikan pengertian dan acuan dari variabel yang digunakan dalam tugas akhir ini. Tinjauan pustaka digunakan untuk memperoleh pengalaman dari tugas akhir yang sudah dilakukan sebelumnya maupun jurnal – jurnal yang berisikan penelitian yang pernah dilakukan. Hal ini dapat berupa metode serta langkah penyelesaian masalah dan informasi yang dibutuhkan.

III.2. Pengumpulan Data

Pengumpulan data yang dilakukan pada penelitian ini bertujuan untuk mencari data yang akan dianalisis keterkaitannya dengan rumusan masalah dan tujuan. Data yang diperlukan untuk tugas akhir ini adalah data dari 2 kapal yang diperlukan untuk permodelan *wing tank* dari *striking ship* serta haluan dari *struck ship*. Rincian data yang diperlukan adalah ukuran utama, *construction profile*, *frame section*, *midship section* serta *mechanical properties*.

III.2.1. Ukuran Utama

Data ukuran utama kapal diambil dari sebuah sumber yang memiliki data kapal yang dibutuhkan dalam lingkup pengerjaan Tugas Akhir ini. Kapal yang akan dianalisis atau merupakan kapal yang ditabrak (*struck ship*) dalam Tugas Akhir ini adalah kapal Tanker 17500 LTDW dengan ukuran utama yang tertera pada Tabel III.1.

Tabel III.1 Data ukuran utama kapal Tanker 17500 LTDW

<i>Struck Ship</i>	
Deskripsi	Ukuran
<i>Length Overall (LOA)</i>	157,5 m
<i>Length Between Perpendicular (LBP)</i>	149,5 m
Lebar <i>Moulded (B)</i>	27,7 m
Tinggi <i>Moulded (D)</i>	12 m
<i>Draft (T)</i>	7,5 m
Kecepatan Dinas (Vs)	13 knots

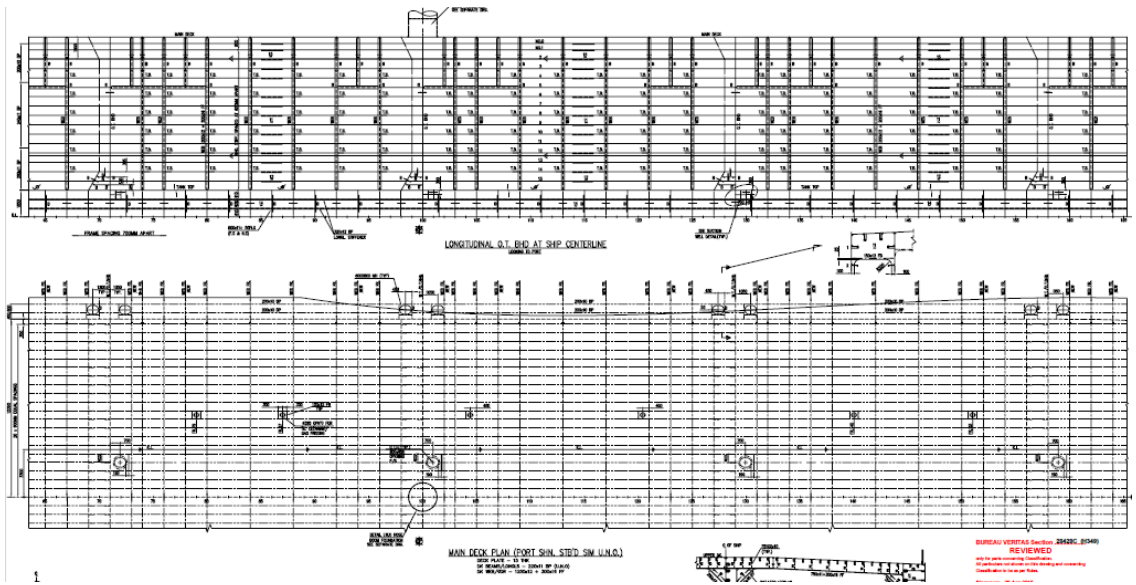
Sedangkan untuk kapal yang menabrak (*striking ship*) diketahui adalah kapal Tanker dengan kapasitas 3500 LTDW dengan ukuran utama yang tertera pada Tabel III.2

Tabel III.2 Data ukuran utama kapal Tanker 3500 LTDW

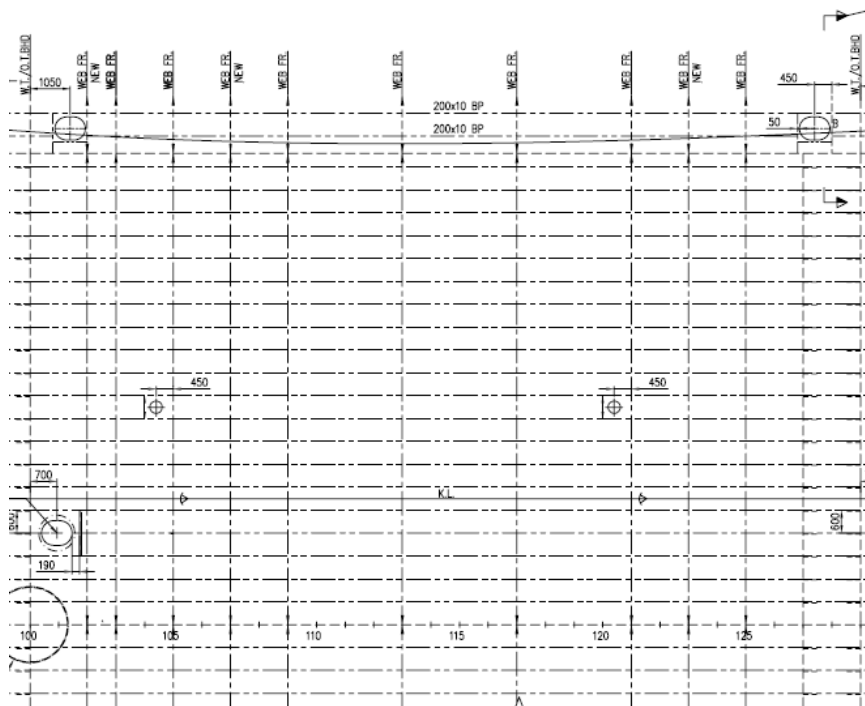
<i>Striking Ship</i>	
Deskripsi	Ukuran
<i>Length Overall (LOA)</i>	90 m
<i>Length Between Perpendicular (LBP)</i>	84 m
Lebar <i>Moulded (B)</i>	15,2 m
Tinggi <i>Moulded (D)</i>	7,2 m
<i>Draft (T)</i>	5 m
Kecepatan Dinas (Vs)	11 knots

III.2.2. Construction Profile

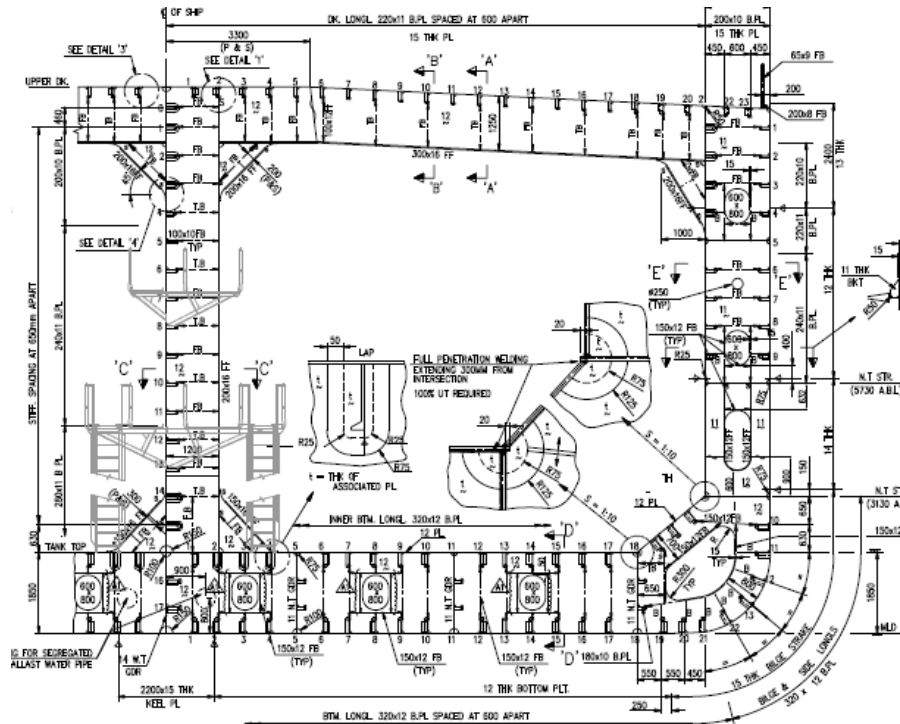
Gambar konstruksi kapal menggambarkan konstruksi secara keseluruhan yang terdapat di dalam sebuah kapal. Pada gambar tersebut terdapat informasi mengenai ukuran profil dan ukuran pelat yang digunakan pada kapal. Gambar konstruksi kapal Tanker 17500 LTDW (*struck ship*) bisa dilihat pada Gambar III.1 dan Gambar III.2. Sedangkan *centerline profile* dan *frame section* yang digunakan untuk membuat struktur haluan kapal yang menabrak ditunjukkan oleh Gambar III.3 dan Gambar III.4.



Gambar III.1 Construction Profile Kapal Tanker 17500 LTDW



Gambar III.2. Construction Profile frame 100 – 129 Kapal Tanker 17500 LTDW



Gambar III.5 Midship Section Kapal Tanker 17500 LTDW

Gambar *Midship Section* kapal diperlukan untuk melihat bagaimana detail sistem konstruksi yang digunakan pada kapal, terlihat bahwa sistem konstruksi yang digunakan pada kapal adalah sistem konstruksi memanjang. Pada bagian *wing tank*, dibagi menjadi tiga kompartemen yang dipisahkan oleh dua *side stringer*.

III.2.4. Mechanical Properties

Material kapal yang digunakan adalah baja A36 dengan karakteristik sesuai dengan yang tertera pada Tabel III.3.

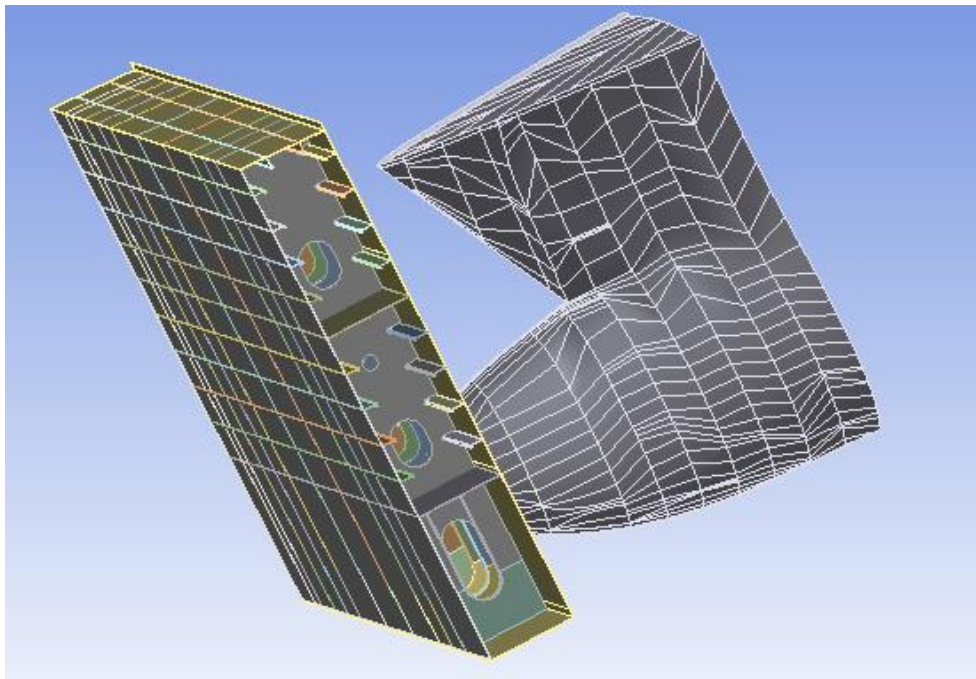
Tabel III.3 *Mechanical Properties* baja A36

Mechanical Properties	
Deskripsi	Ukuran
Massa jenis	7850 kg/m ³
Modulus Young	200 GPa
Poisson's ratio	0,26
Shear modulus	79,3 GPa
Bulk Modulus	140 GPa
Compressive Yield Strength	152 MPa
Tensile Strength, Yield	250 MPa (Reh)
Tensile Strength, Ultimate	400 - 550 MPa

III.3. Pemodelan Elemen Hingga

III.3.1. Pengerjaan *Geometry*

Konstruksi yang dimodelkan adalah konstruksi *wing tank* dan haluan kapal. *Wing tank* dibuat berdasarkan data *midship section* dan *construction profile*. Lokasi ruang muat yang dijadikan permodelan adalah ruang muat dari frame 100 sampai 129 yang merupakan *parallel middle body kapal* dengan panjang permodelan 21,750 m. *Geometry* haluan dibuat berdasarkan data *centerline profile* serta *frame section*. Jenis haluan yang dipakai dalam analisis ini adalah *ram bow*. Kedua *geometry* dibuat dalam satu *file* sehingga pengaturan untuk tipe elemen *mesh*, *material properties*, dll dilakukan di file yang sama. Permodelan dilakukan dengan menggunakan *software* 3D yang telah diubah ekstensi filenya menjadi (.sat) dengan alasan kompatibilitas format tersebut dengan *software* FEM yang digunakan untuk simulasi tabrakan yaitu *dynamic finite element software*. Geometri yang telah diinput ke dalam *dynamic finite element software* ditunjukkan oleh Gambar III.6.



Gambar III.6 Geometri *wing tank* dan haluan setelah dimasukkan pada *dynamic finite element software*

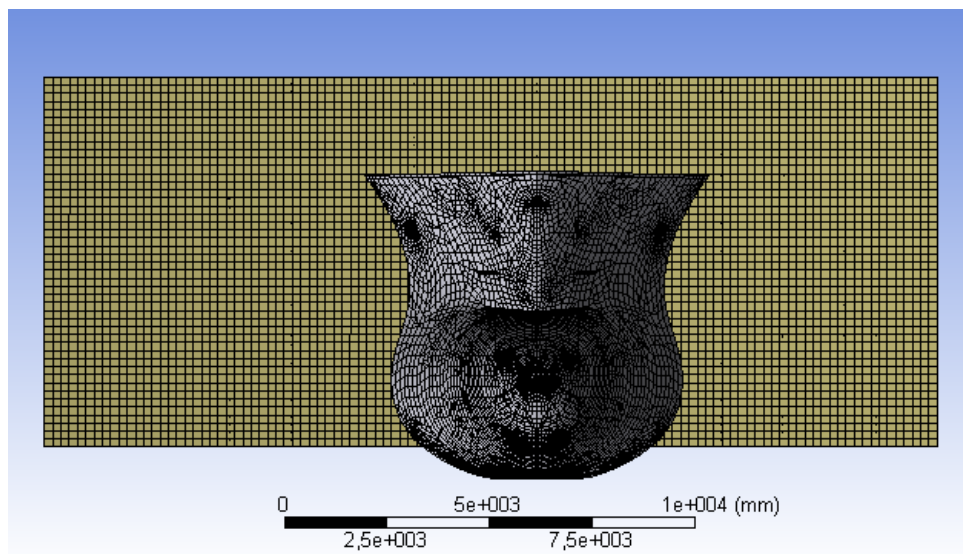
III.3.2. Konvergensi Model

Konvergensi merupakan salah satu cara untuk menentukan ukuran elemen yang tepat dalam proses analisis model sehingga model dapat menghasilkan nilai analisis yang valid. Konvergensi dilakukan dengan membandingkan beberapa hasil analisis tegangan dengan ukuran elemen yang berbeda hingga mencapai hasil paling stabil pada tiap ukuran elemen.

Tujuan konvergensi tersebut adalah menguji ketelitian dari *software* yang digunakan. Hal ini dilakukan dalam rangka menghemat waktu *running*.

Pilihan *size function* untuk *software* ini bervariasi yaitu meliputi *uniform*, *adaptive*, *proximity* dan *curvature*. *Size function* yang diterapkan untuk elemen yang digunakan untuk konvergensi adalah elemen *curvature*. Pemilihan elemen ini berdasarkan hasil percobaan *meshing* sebelumnya. Berdasarkan pada percobaan *meshing* sebelumnya, *size function uniform*, *adaptive* dan *proximity* tidak bisa diterapkan dikarenakan ketidakakuratan akibat terdapatnya lubang – lubang seperti *manhole* dan *scalop*. Maka dari itu jenis *size function* yang diterapkan untuk *running* kali ini adalah *curvature*.

Berdasarkan hasil *running* menggunakan metode *tetrahedron*, tegangan yang terjadi pada struktur fluktuatif dan tidak dapat mencapai konvergensi. Dikarenakan hal tersebut, maka *running* model diputuskan untuk memakai elemen *hex dominant*. Elemen ini memiliki *node* yang lebih banyak dari elemen *tetrahedron*. Hal tersebut berpengaruh terhadap hasil tegangan yang dihasilkan. Distribusi tegangan pada elemen akan lebih akurat dikarenakan adanya *node* dengan jumlah lebih banyak sehingga struktur mengalami lendutan lebih halus dan tidak banyak menimbulkan distorsi yang berakibat pada fluktuatifnya tegangan. Penerapan *size function curvature* pada *geometry* ternyata menampilkan *meshing* dengan karakteristik mendekati *hex dominant*. Hal ini menjadi alasan penguat untuk menerapkan *size function* tersebut. Berdasarkan hasil konvergensi yang dilakukan pada model didapatkan hasil konvergensi atas analisis pada 2 tinjauan yang berbeda yaitu pada pelat serta *stiffener*.



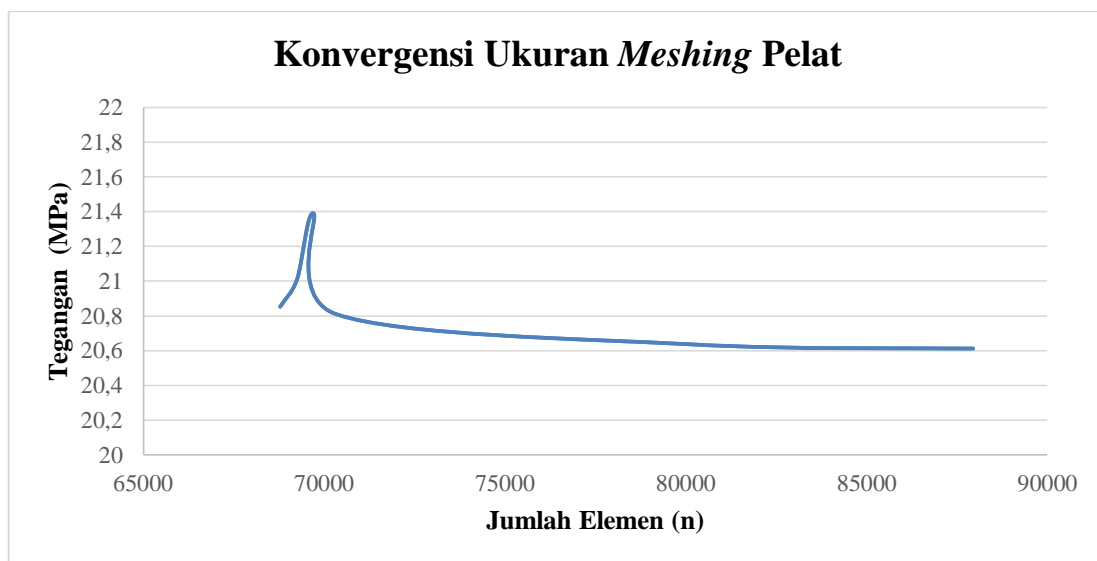
Gambar III.7 Hasil *Meshing* menggunakan *Size Function Curvature*

Berdasarkan hasil konvergensi yang dilakukan pada model didapatkan hasil konvergensi terhadap pelat yang dapat dilihat pada Tabel III.4.

Tabel III.4 Tabel Konvergensi Ukuran Meshing Pelat

Ukuran meshing (mm)	Jumlah Elemen (n)	Tegangan (MPa)	Margin error(%)
215	68783	20.853	-
210	69248	21.009	0.742538912
205	69713	21.389	1.776614147
200	70329	20.81	-2.782316194
150	80139	20.636	-0.843186664
125	87944	20.612	-0.116437027

Tabel III.4 menunjukkan hasil konvergensi tegangan dengan beberapa ukuran *meshing*, dapat terlihat konvergensi tercapai pada ukuran *meshing* antara 215 mm sampai 125 mm. Dari hasil konvergensi diambil ukuran *meshing* 200 mm dengan nilai tegangan sebesar 20.81 MPa. Grafik konvergensi ukuran *meshing* pelat berdasarkan Tabel III.4 dapat dilihat pada Gambar III.8.

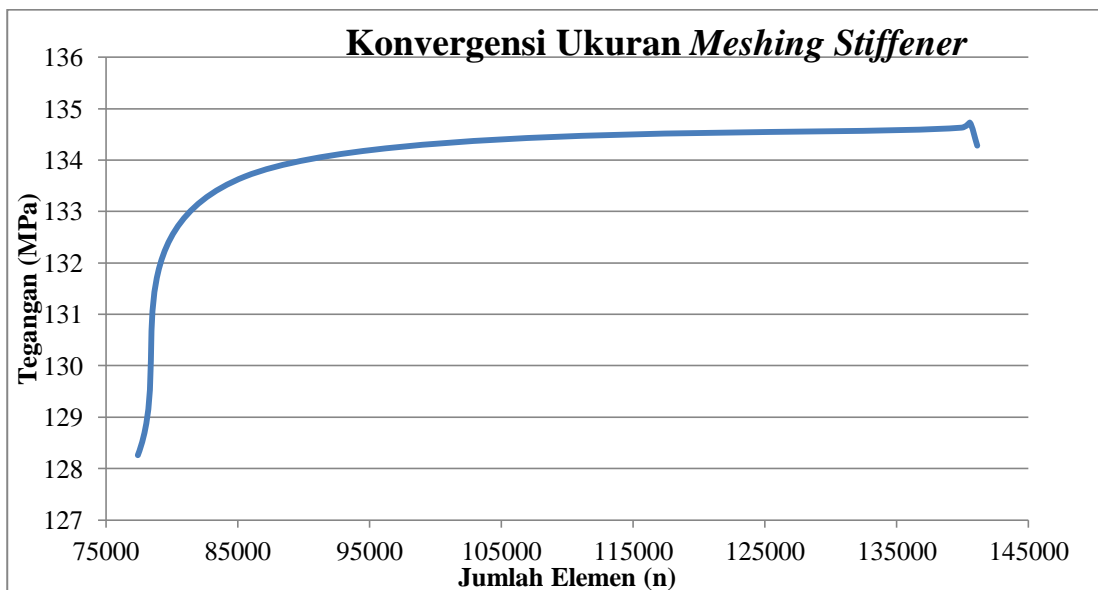


Gambar III.8 Grafik Konvergensi Ukuran Meshing Pelat

Berdasarkan dari grafik konvergensi yang diperoleh, proses perhitungan analisis tegangan dilakukan pada ukuran *meshing* 200 mm dengan jumlah elemen 70329. Konvergensi juga dilakukan terhadap *transverse stiffener* dan juga *longitudinal stiffener*. Didapatkan konvergensi pada ukuran *meshing* 220 mm dengan jumlah elemen 139922. Konvergensi terhadap *transverse stiffener* dan juga *longitudinal stiffener* dapat dilihat pada Tabel III.5 dan Gambar III.9.

Tabel III.5 Tabel Konvergensi Ukuran *Meshing Stiffener*

Ukuran meshing (mm)	Jumlah Elemen (n)	Tegangan (MPa)	Margin error(%)
300	77429	128.26	-
250	85563	133.68	4.054458408
220	139922	134.63	0.705637674
219	140552	134.73	0.074222519
218	141120	134.28	-0.335120643



Gambar III.9 Grafik Konvergensi Ukuran *Meshing Stiffener*

III.3.3. Kondisi Batas

A. Geometry

Pendefinisian *rigid body* pada *geometry* haluan *striking ship*. Hal ini dimaksudkan agar analisis terpusat pada *struck ship* dikarenakan terdistribusinya tegangan secara penuh hanya pada *wing tank* dikarenakan kapal yang menabrak diasumsikan benar – benar kaku. Terdapat 3 file geometri yaitu geometri skenario 1 (posisi haluan di antara 2 *web frame*) dan geometri skenario 2 (posisi haluan tepat pada *web frame*) dan geometri skenario 3 (posisi haluan tepat pada *bulkhead*).

B. Connection

Pada 2 geometri (*bodies*) yang saling berinteraksi, permukaan (*face*) dari *geometry* (*body*) dipastikan tersambung (*bonded*).

C. Analysis Setting

Penulis melakukan analisis tegangan selama 0,02 s.

D. Fixed Support

Pendefinisian tumpuan jepit dilakukan pada ujung – ujung *geometry* yang merupakan ujung – ujung kompartemen (*cargo hold*) dan bagian bawah *wing tank*. Pendefinisian ini didasarkan pada kenyataan bahwa pada ujung – ujung kompartemen tersebut terjadi penyambungan dengan komponen *bulkhead* pada kondisi asli kapal dan pendefinisian pada bagian *wing tank* didasarkan pada keadaan aktual bahwa terjadi sambungan antara *wing tank* dan bilga pada daerah tersebut.

III.3.4. Pembebanan

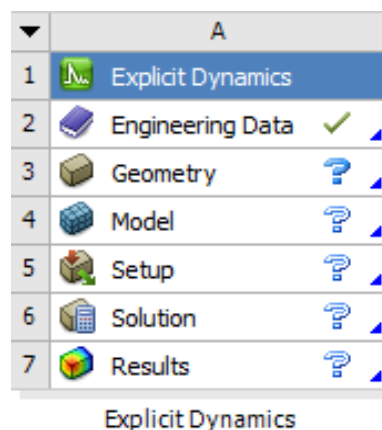
Beban yang digunakan pada analisis ini adalah beban eksternal yang disebabkan oleh haluan kapal 3500 LTDW yang menubruk dengan kecepatan sebesar 11 knot. Kondisi pembebanan dianggap beban eksternal serta kapal dianggap *even keel*.

III.3.5. Pengaturan *Dynamic Finite Element Software*

Pada tugas akhir ini teori yang digunakan berkaitan dengan permodelan, tubrukan dan analisis tegangan. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah analisis menggunakan *software* berbasis *dynamic finite element*. Seluruh komponen *geometry* dipastikan bisa terdefinisi sebagai *solid geometry*.

A. Pengaturan *Material Properties*

Untuk mengatur *material properties* pada *software*, dilakukan perubahan variabel pada modul *engineering data*. Data yang dimasukkan merupakan *mechanical properties baja A36* sesuai dengan sub bab III.2.4. Perubahan yang dilakukan meliputi *Young's Modulus*, *Compressive Yield Strength*, *Tensile Ultimate Strength* dan *Poisson's ratio*. Tampilan modul umum dalam *dynamic finite element software* ditunjukkan oleh Gambar III.10. Sedangkan tampilan modul untuk pengaturan *material properties* ditunjukkan oleh Gambar III.11.



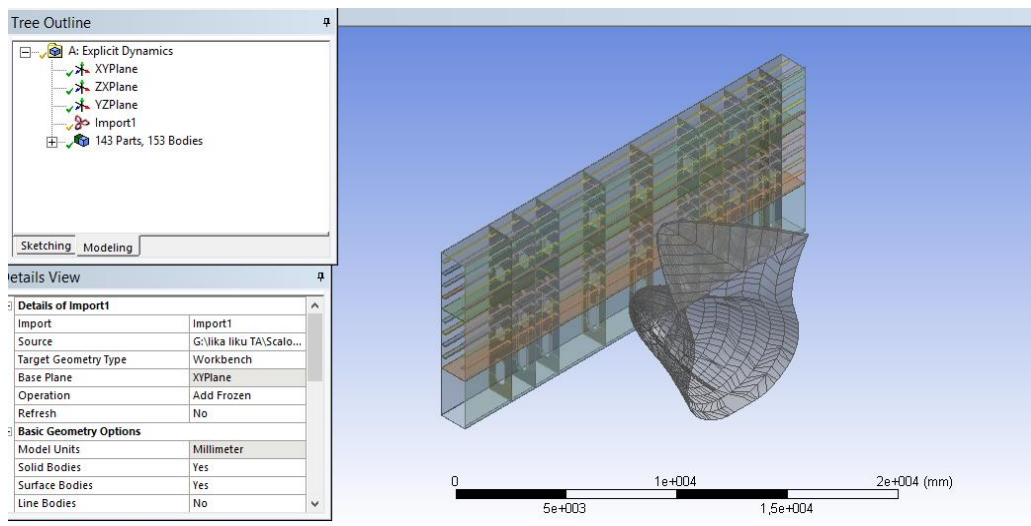
Gambar III.10 Beberapa Modul pada *Dynamic Finite Element Software*

Properties of Outline Row 3: Structural Steel				
	A	B	C	D E
1	Property	Value	Unit	
2	Material Field Variables	Table		
3	Density	7850	kg m ⁻³	
4	Isotropic Secant Coefficient of Thermal Expansion			
6	Isotropic Elasticity			
7	Derive from	Young's Modulu...		
8	Young's Modulus	2E+11	Pa	
9	Poisson's Ratio	0,26		
10	Bulk Modulus	1,3889E+11	Pa	
11	Shear Modulus	7,9365E+10	Pa	
12	Alternating Stress Mean Stress	Tabular		
16	Strain-Life Parameters			
24	Tensile Yield Strength	250	MPa	
25	Compressive Yield Strength	152	MPa	
26	Tensile Ultimate Strength	400	MPa	
27	Compressive Ultimate Strength	0	Pa	
28	Isotropic Thermal Conductivity	60,5	W m ⁻¹ C ⁻¹	
29	Specific Heat, C _p	434	J kg ⁻¹ C ⁻¹	
30	Isotropic Relative Permeability	10000		
31	Isotropic Resistivity	1,7E-07	ohm m	

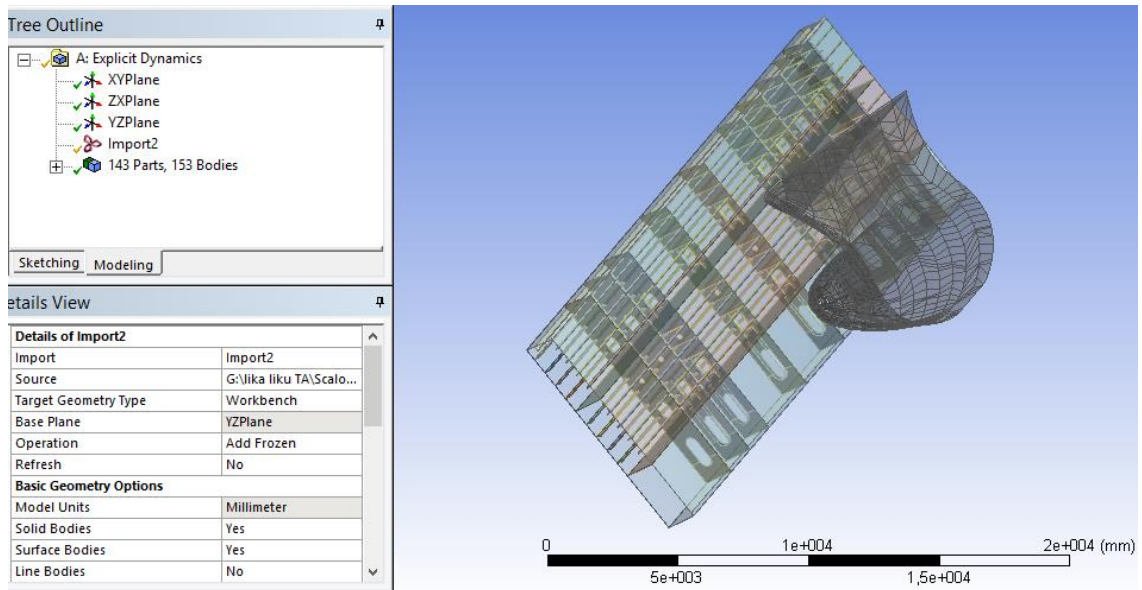
Gambar III.11 Modul *Engineering Data*

B. *Input data geometry*

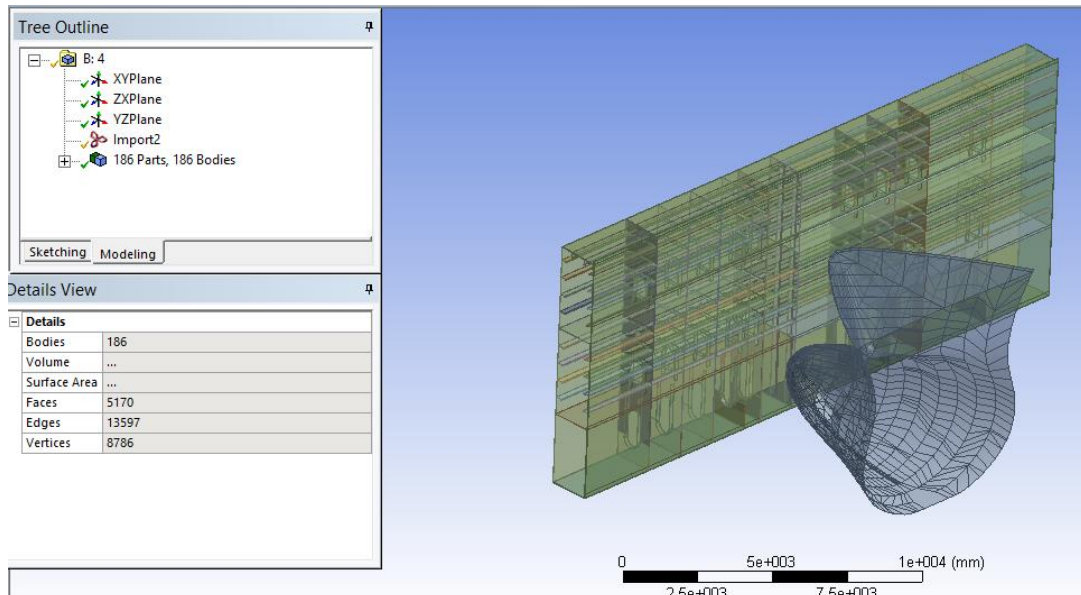
Geometry dimasukkan ke dalam *software* berbasis *dynamic finite element* dan dipastikan tidak bermasalah (seluruh komponen terdefinisi sebagai *solid object*). Tampilan input *geometry* untuk skenario 1 dan skenario 2 ditunjukkan oleh Gambar III.12 dan Gambar III.13.



Gambar III.12 *Input Geometry* Skenario 1 (Tubrukan di antara 2 *web frame*)



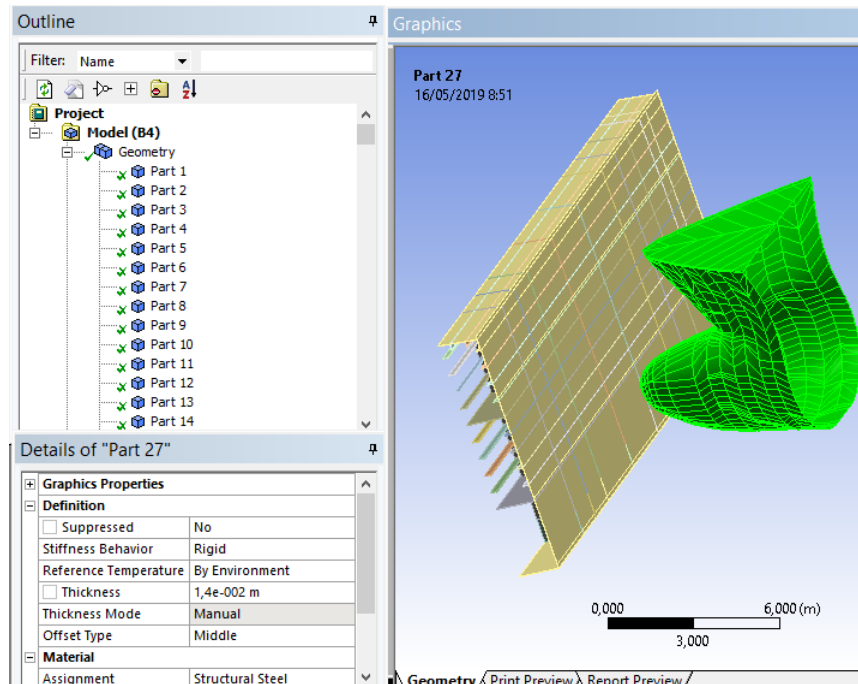
Gambar III.13 *Input Geometry* Skenario 2 (Tubrukan di *web frame*)



Gambar III.14 *Input Geometry* Skenario 3 (Tubrukan di *bulkhead*)

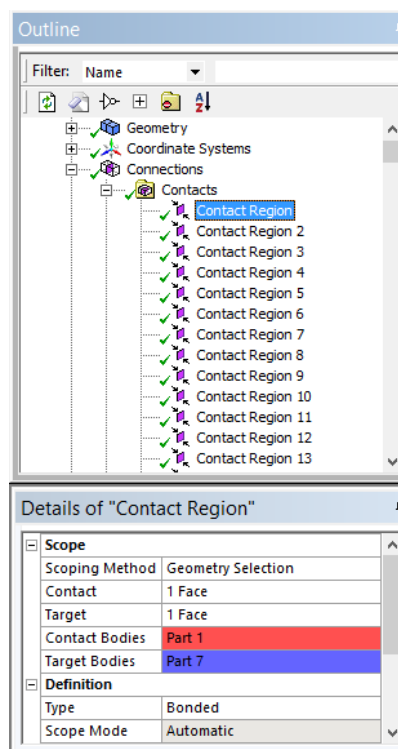
C. Penerapan Kondisi Batas

- Pengaturan definisi geometry. Pendefinisian haluan *striking ship* sebagai *rigid body*. Haluan didefinisikan dalam bentuk *body*. Tampilan pengaturan definisi *geometry* ditunjukkan oleh Gambar III.15.



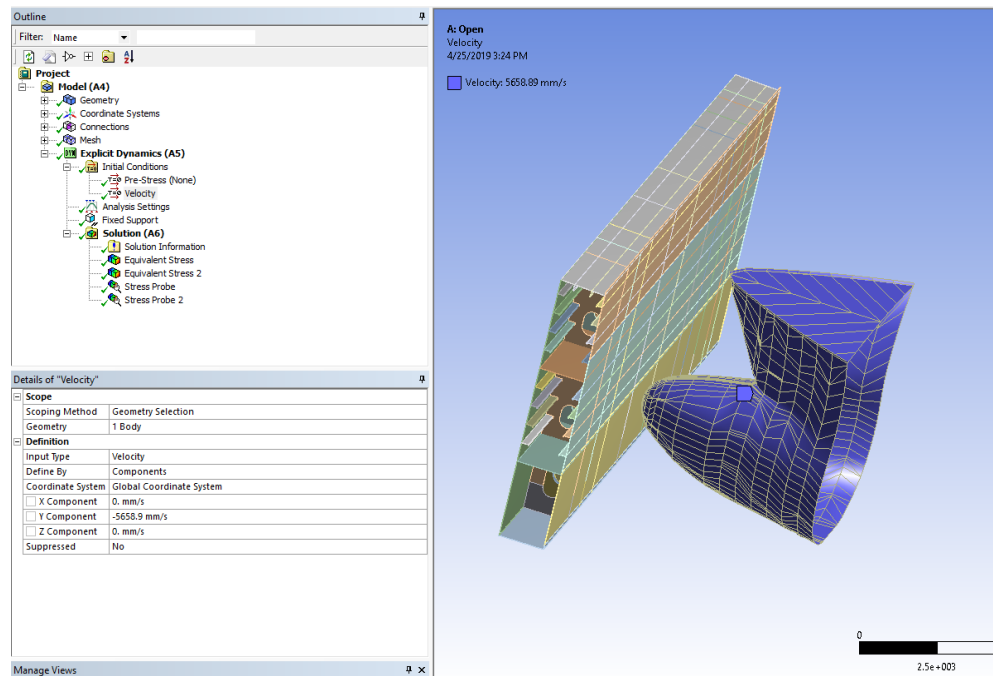
Gambar III.15 Pendefinisian *Rigid Body* pada Haluan *Striking Ship*

- Pengaturan *connection*. Memastikan bahwa geometry saling tersambung satu sama lain dengan dilakukannya pendefinisian *contact* antar face pada tiap *body*. Tampilan pengaturan *connection* ditunjukkan oleh Gambar III.16.



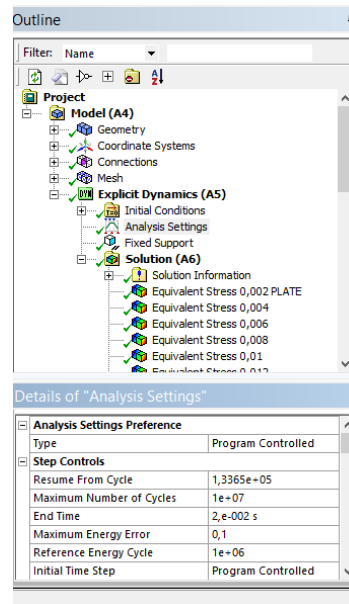
Gambar III.16 Pengaturan *Connection*

- Pada model ini digunakan permodelan *solid 3D*, sehingga digunakan *volume meshing*. Pengaturan ukuran *meshing* dimulai dengan ukuran paling dasar yaitu *frame spacing* konstruksi *struck ship* sampai menemukan hasil yang konvergen. Pembahasan lebih lanjut mengenai konvergensi model dijelaskan pada sub bab III.3.2.
- Pada *initial condition* geometri haluan *striking ship* diberi variabel kecepatan sesuai dengan kecepatan dinas dengan arah yang sesuai dengan sumbu target yaitu *wing tank* dari *struck ship*. Aplikasi kecepatan dilakukan dengan pendefinisian *body* haluan *striking ship*. Tampilan pengaturan *kecepatan* ditunjukkan oleh Gambar III.17.



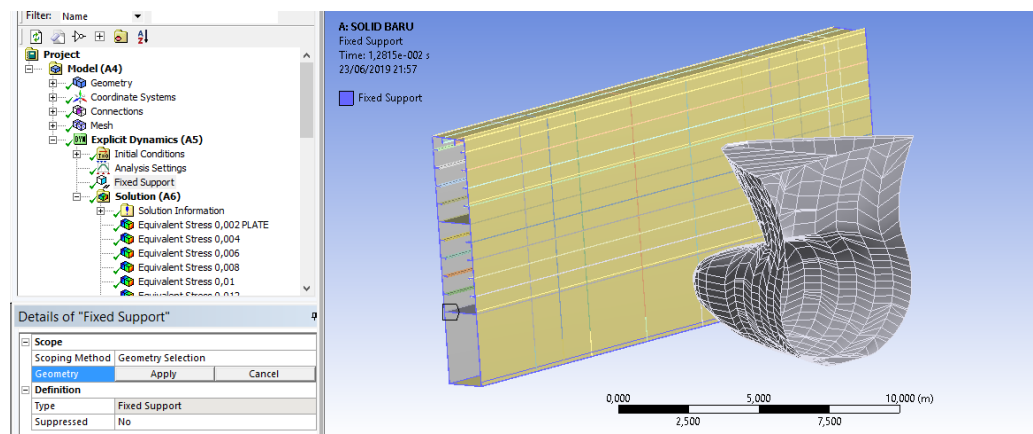
Gambar III.17 Pengaturan Kecepatan Haluan *Striking Ship*

- Pada *analysis setting*, ditetapkan waktu analisis sebesar 0.02 s. Hal ini kemudian dijadikan input pada *analysis setting > end time*. *Energy error* yang diizinkan adalah sebesar 10%. Hal ini kemudian dijadikan input pada *analysis setting > maximum energy error*. Tampilan pengaturan analisis ditunjukkan oleh Gambar III.18.



Gambar III.18 Pengaturan Waktu Analisis dan *Energy Error*

- Dilakukan penerapan tegangan jepit pada sisi kanan, kiri dan bawah *wing tank* yang merupakan lokasi *bulkhead* yang ditunjukkan oleh Gambar III.19.



Gambar III.19 Pengaturan *Fixed Support*

III.4. Analisis Tegangan

Berdasarkan hasil *running* dari tiap-tiap model yang telah dilakukan konvergensi, didapatkan hasil nilai tegangan berikut pada tiap-tiap model, tegangan yang diperoleh akan direkap untuk dibandingkan dengan persyaratan yang diberikan oleh kelas. Tegangan yang dihasilkan untuk analisis ini untuk menjawab rumusan masalah untuk menentukan lokasi tabrakan manakah yang menghasilkan tegangan paling besar. Tinjauan tegangan dilakukan secara global dan lokal yang mengacu pada komponen – komponen tertentu seperti pelat *contact*, *web frames* dan *longitudinal*.

III.5. Verifikasi Model FEM terhadap Model Eksperimen

Ketika *frame* diberi beban eksternal akan terjadi kerusakan berupa distorsi bidang jika *web* tidak diperkuat oleh *horizontal stiffener* atau *folding* jika *web* diperkuat oleh *horizontal stiffener*. Studi mengenai distorsi bidang dilakukan. *Resistance* dari *web frame* yang terjadi akibat pembebanan yang diberikan dirumuskan dalam bentuk persamaan (III.1) dan (III.2).

$$Fw = \frac{1}{\sqrt{3}} \sigma_y t \delta, \text{ jika } \delta < H_{web} \quad (\text{III.1})$$

$$Fw = \frac{1}{\sqrt{3}} \sigma_y A_{web}, \text{ jika } \delta \geq H_{web} \quad (\text{III.2})$$

σ_y = Yield stress material (N/m²); A_{web} = Area pada *web frame* yang terkena beban (m²); H_{web} = Dimensi *web* pada struktur *web frame* (m); t = Tebal *web frame* (m); δ = Defleksi (m). Untuk kasus tabrakan, *frame* mengalami kerusakan berupa *folding* (lipatan). Ilustrasi pembebanan pada tes model *web frame* ditunjukkan oleh Gambar III.20 (Mc Dermott, Kline dan Jones).



Gambar III.20 Ilustrasi Eksperimen Mc Dermott
(Mc Dermott, Kline dan Jones)

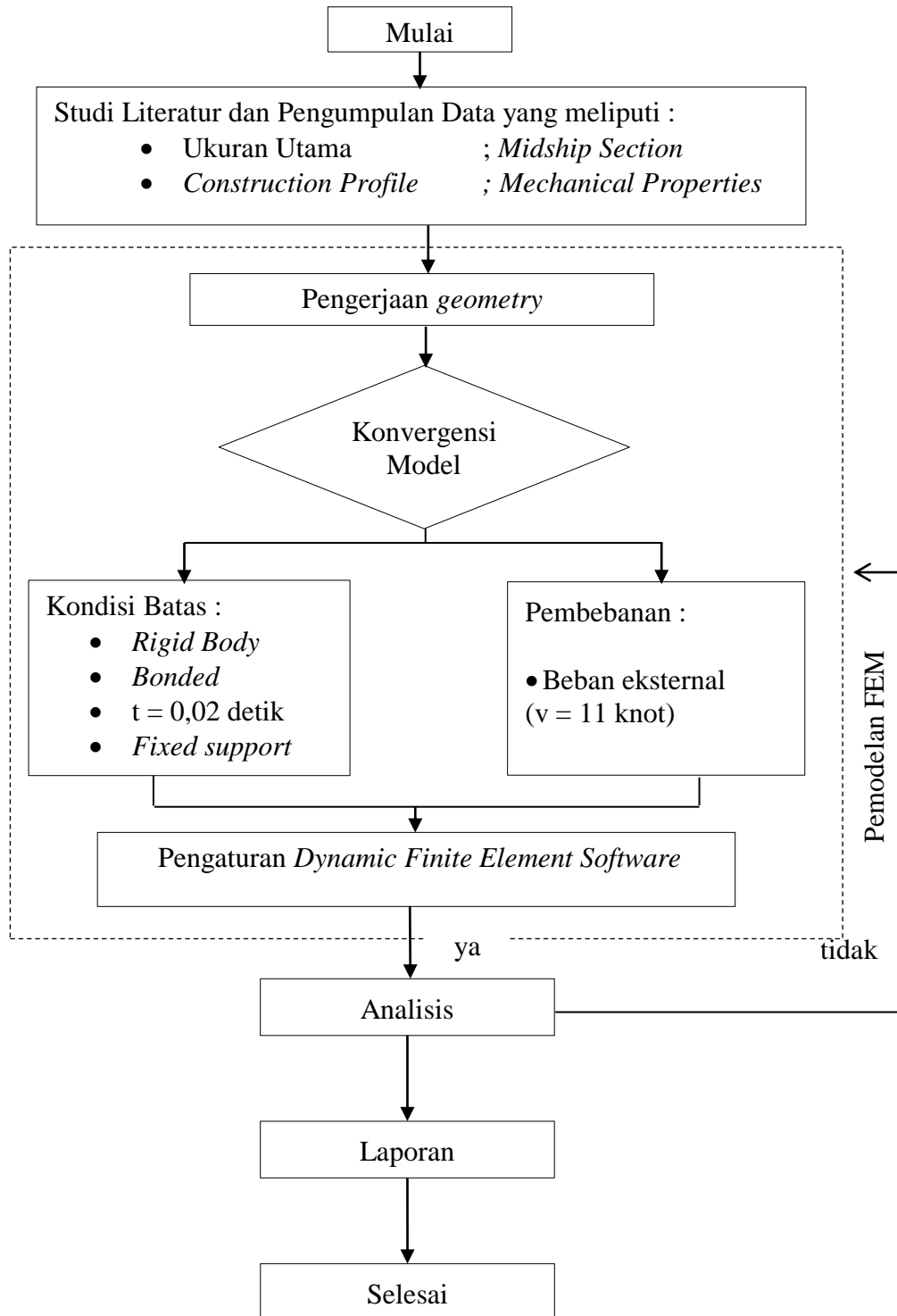
Verifikasi dilakukan dengan melakukan perhitungan gaya dengan menggunakan rumus pada persamaan (III.1) berdasarkan deformasi yang terjadi pada hasil *running*. Berikut adalah hasil perhitungan dalam rangka verifikasi :

Deformasi pada <i>web frame</i>	: 223,7 mm
<i>Yield stress material</i>	: 250 N/mm ²
Ketebalan <i>web frame</i>	: 16 mm
<i>Force</i> (hasil perhitungan rumus)	: $\frac{1}{\sqrt{3}} (250)(16)(223,7) = 5,166\text{E}+05$ N
<i>Force</i> (hasil <i>software</i>)	: 5,22E+05 N
Margin	: 1,103982 %

Dari hasil perhitungan didapatkan bahwa *margin* perhitungan *force* dengan menggunakan rumus hasil percobaan Mc Dermott dkk dan hasil *software* adalah sebesar 1,103982 %. Dengan kata lain bahwa gaya yang bekerja antara hasil eksperimen dengan simulasi menggunakan *software* menunjukkan hasil yang relatif sama.

III.6. Bagan Alir

Metode – metode yang digunakan dalam menyelesaikan permasalahan pada tugas akhir ini diterapkan berdasarkan langkah – langkah pekerjaan pada Gambar III.21.



Gambar III.21 Diagram Alir Tugas Akhir

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

IV.1. Pendahuluan

Bab IV berisi hasil dan pembahasan mengenai tegangan, deformasi, *internal energy* dan *kinetic energy* yang terjadi pada model. Analisis tegangan berdasarkan hasil dari metodologi yang telah digunakan pada Bab sebelumnya.

IV.2. Analisis dan Pembahasan Tegangan

Setelah melakukan pemodelan menggunakan *software* elemen hingga pada pelat, penegar serta lambung sisi maka tahap selanjutnya adalah melakukan analisis berupa besar tegangan yang terjadi pada model setelah dikenai beban. Analisis dan pembahasan dilakukan dengan membandingkan hasil *running* skenario 1 dan skenario 2 untuk tiap – tiap tinjauan yaitu global, pelat *contact*, *web frames* dan *longitudinal*. Persebaran tegangan skenario 1 untuk tiap rentang waktu 0,002 detik ditunjukkan oleh Lampiran A, sedangkan persebaran tegangan skenario 2 untuk tiap rentang waktu 0,002 detik ditunjukkan oleh Lampiran B. Hasil analisis untuk skenario 3 tidak dapat ditampilkan dikarenakan waktu *running* yang tidak terdefinisi. Keterangan lebih lanjut mengenai *error* yang terjadi ditunjukkan oleh Lampiran C.

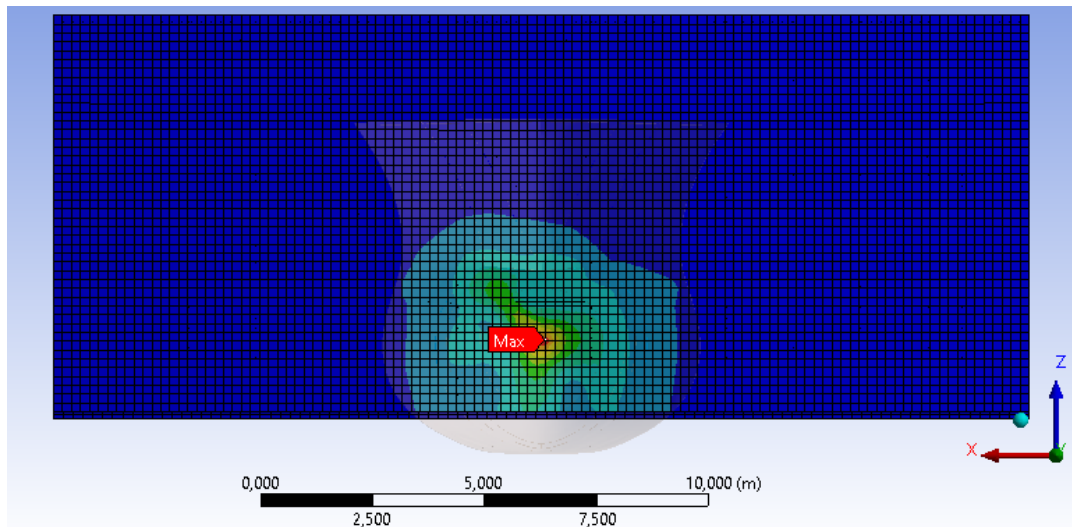
IV.2.1. Global

A. Tinjauan Skenario1 (di antara *web frame*)

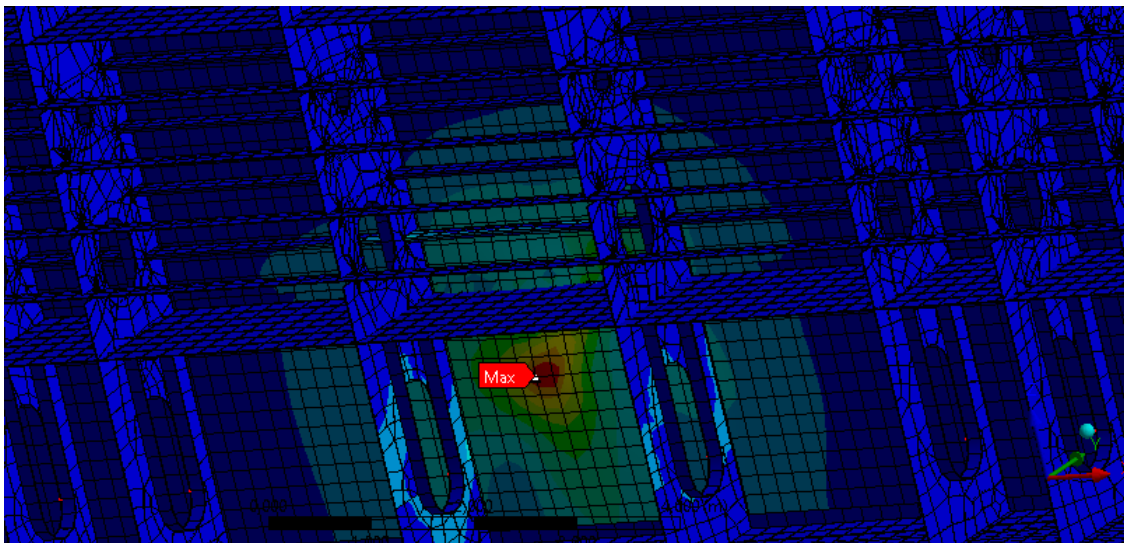
Lokasi tubrukan terjadi tepat di titik tengah pelat yang membentang antar *bulkhead*. Titik tinjau analisis dikondisikan berada pada pertengahan geometri untuk memudahkan analisis persebaran beban. Titik tubrukan secara memanjang yaitu pada jarak $\frac{21750 \text{ mm}}{2} = 10875 \text{ mm}$ dari tumpuan jepit yang diberlakukan pada sistem.

Dalam analisis beban dinamis dengan kurun waktu 0,02 detik, tegangan maksimum terjadi pada titik dimana terjadinya *contact* tubrukan dengan nilai sebesar 653 MPa (tegangan *von mises* global diwakili oleh tegangan pada pelat *contact*) . Persebaran tegangan juga terjadi pada komponen di sekitar pelat seperti *web frame* dan penegar – penegarinya. Persebaran tegangan secara global dapat dilihat pada Gambar IV.1 dan

Gambar IV.2. Penjelasan lebih lanjut mengenai penyebaran tegangan tiap komponen terdapat pada sub bab IV.2.2, IV.2.3 dan IV.2.4.



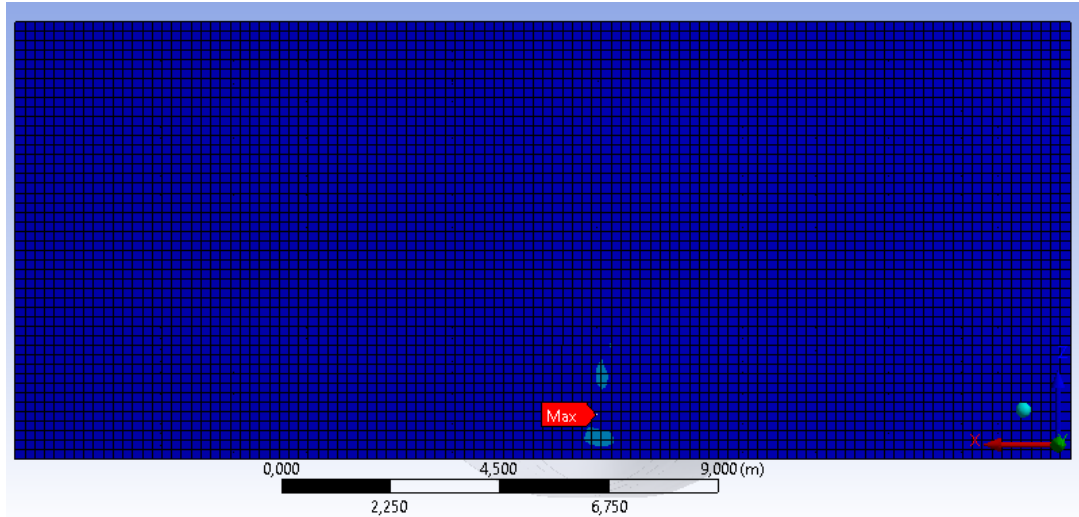
Gambar IV.1 Tegangan *Von Mises* Global pada Skenario 1
(Tampak Luar *Wing Tank*)



Gambar IV.2 Tegangan *Von Mises* Global pada Skenario 1
(Tampak Dalam *Wing Tank*)

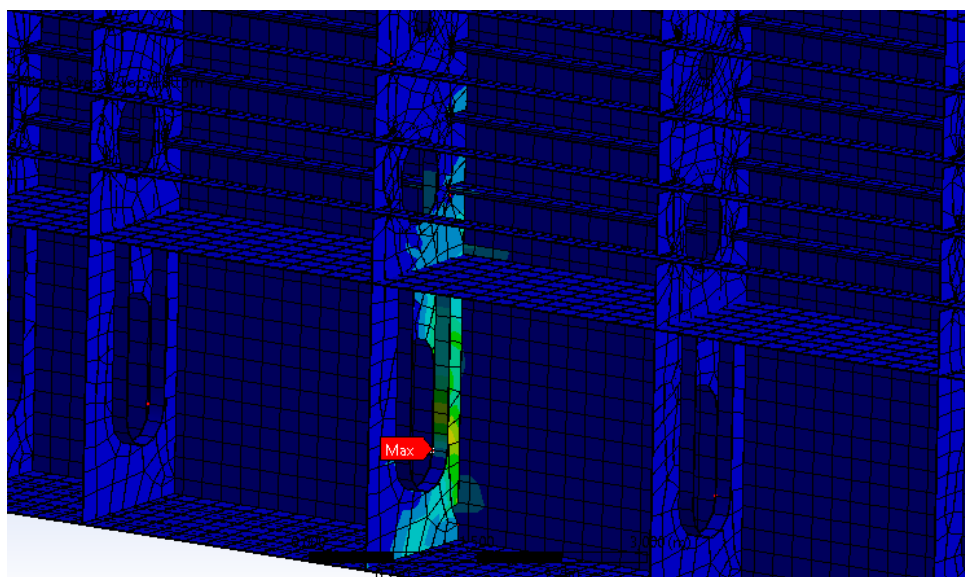
B. Tinjauan Skenario2 (di *web frame*)

Lokasi tubrukan terjadi pada pelat dengan posisi *web frame* 113 tepat di belakangnya sebagai penguat. Persebaran tegangan global tampak luar *wing tank* dapat dilihat pada Gambar IV.3.



Gambar IV.3 Tegangan *Von Mises* Global pada Skenario 2
(Tampak Luar *Wing Tank*)

Dari hasil *running* didapatkan kesimpulan bahwa tegangan maksimum sampai waktu analisis berakhir tidak terjadi pada pelat *contact* melainkan pada *stiffener* yang memberikan kekuatan pada pelat *contact* dimana terjadi tubrukan, dalam hal ini yaitu *web frame* 113 (tegangan *von mises* global diwakili oleh tegangan pada *web frame*). Hal ini terjadi akibat adanya takikan pada struktur *webframe* 113 berupa sambungan las – lasan, maupun takikan seperti *manhole* dan *lightening hole* sehingga terjadi *stress concentration* pada *web frame* 113. Dalam analisis beban dinamis dengan kurun waktu 0,02 s, tegangan maksimum bernilai 2130 MPa. Persebaran tegangan global tampak dalam *wing tank* dapat terlihat pada Gambar IV.4.



Gambar IV.4 Tegangan *Von Mises* Global pada Skenario 2
(Tampak Dalam *Wing Tank*)

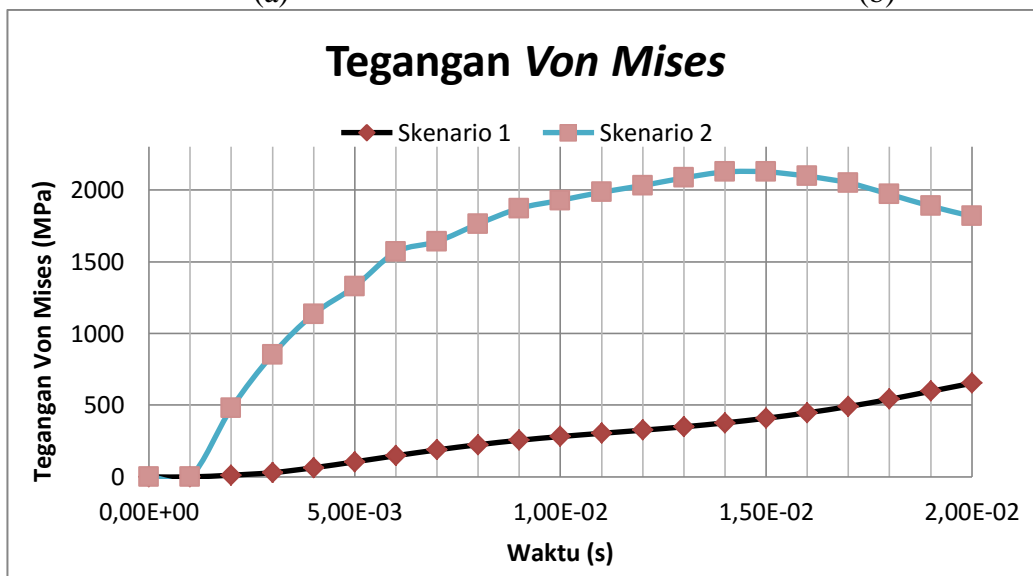
Simulasi dinamis model untuk skenario 1 dan skenario 2 menghasilkan nilai tegangan *von mises* terhadap waktu yang dapat dilihat pada Tabel IV.1 yang selanjutnya digambarkan oleh grafik pada Gambar IV.5.

Tabel IV.1 Tegangan VM Global (a) Skenario 1; (b) Skenario 2

Skenario 1 (di antara <i>Web Frame</i>)			Skenario 2 (di <i>Web Frame</i>)		
	Waktu [s]	Tegangan VM [Pa]		Waktu [s]	Tegangan VM [Pa]
1	1,18E-38	0	1	1,18E-38	0
2	1,00E-03	9,14E+04	2	1,00E-03	1,29E+05
3	2,00E-03	1,21E+07	3	2,00E-03	4,78E+08
4	3,00E-03	2,96E+07	4	3,00E-03	8,52E+08
5	4,00E-03	6,39E+07	5	4,00E-03	1,13E+09
6	5,00E-03	1,05E+08	6	5,00E-03	1,33E+09
7	6,00E-03	1,48E+08	7	6,00E-03	1,57E+09
8	7,00E-03	1,88E+08	8	7,00E-03	1,64E+09
9	8,00E-03	2,24E+08	9	8,00E-03	1,76E+09
10	9,00E-03	2,55E+08	10	9,00E-03	1,87E+09
11	1,00E-02	2,81E+08	11	1,00E-02	1,93E+09
12	1,10E-02	3,04E+08	12	1,10E-02	1,98E+09
13	1,20E-02	3,26E+08	13	1,20E-02	2,03E+09
14	1,30E-02	3,49E+08	14	1,30E-02	2,08E+09
15	1,40E-02	3,77E+08	15	1,40E-02	2,13E+09
16	1,50E-02	4,09E+08	16	1,50E-02	2,13E+09
17	1,60E-02	4,47E+08	17	1,60E-02	2,10E+09
18	1,70E-02	4,91E+08	18	1,70E-02	2,05E+09
19	1,80E-02	5,41E+08	19	1,80E-02	1,97E+09
20	1,90E-02	5,97E+08	20	1,90E-02	1,89E+09
21	2,00E-02	6,53E+08	21	2,00E-02	1,82E+09

(a)

(b)



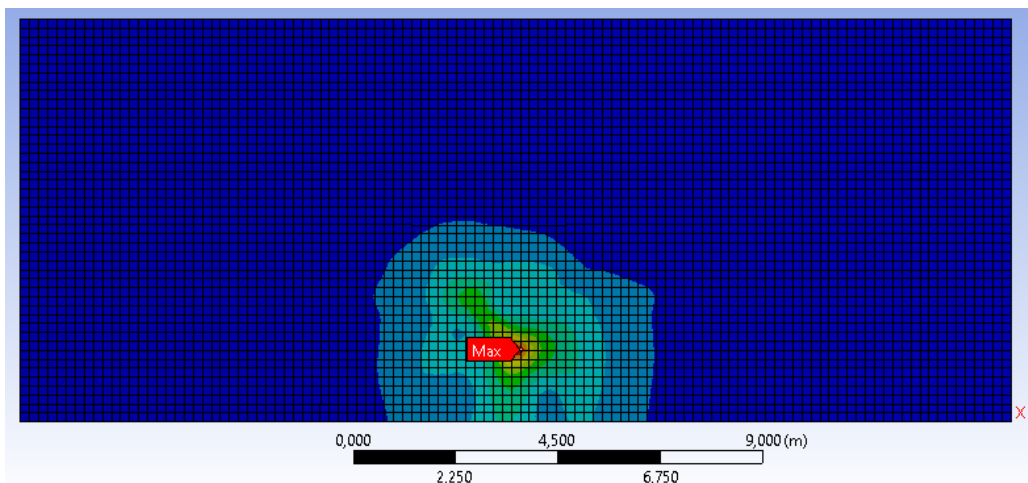
Gambar IV.5 Grafik Tegangan VM Global

Dari grafik tersebut dapat dilihat bahwa sampai waktu analisis berakhir, nilai tegangan *von mises* global pada skenario 1 mengalami kenaikan nilai sedangkan pada skenario 2 mengalami penurunan nilai setelah mencapai angka 2130 MPa. Secara global, tegangan *von mises* skenario 2 pada akhir analisis mempunyai nilai yang lebih besar daripada skenario 1.

IV.2.2. Pelat

A. Tinjauan Skenario1 (di antara *web frame*)

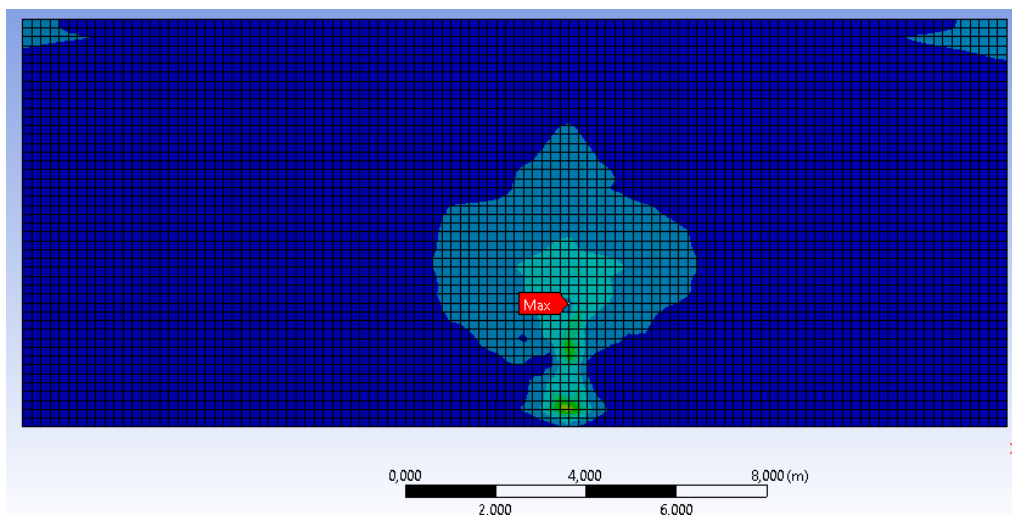
Pelat *contact* tubrukan merupakan komponen pertama yang dikenai beban eksternal. Akibat beban tersebut, pelat mengalami tegangan dengan persebaran seperti pada Gambar IV.6. Tegangan maksimum yang terjadi adalah pada titik dimana terjadinya *contact* tubrukan (titik *contact* dengan *bulbous bow*) dengan nilai sebesar 653 MPa (tegangan *von mises* global diwakili oleh tegangan pada pelat *contact*). Tegangan maksimum pada akhir waktu analisis, terdapat di bagian luar pelat *contact*.



Gambar IV.6 Tegangan *Von Mises* Lokal Skenario 1 (*Plate*)

B. Tinjauan Skenario2 (di *web frame*)

Pelat *contact* pada skenario 2 diperkuat oleh *web frame* 102, 103, 105, 107, 109, 113, 117, 121,123 dan 125. Tubrukan terjadi tepat pada lokasi *web frame* 113 berada. Akibat beban tersebut, pelat mengalami tegangan dengan persebaran seperti pada Gambar IV.7. Tegangan maksimum terdapat pada lokasi terjadinya tubrukan (satu sumbu dengan lokasi *contact* dengan *bulbous bow*). Tegangan maksimum pada akhir waktu analisis, terdapat di bagian dalam pelat *contact* dengan nilai 591 MPa.



Gambar IV.7 Tegangan *Von Mises* Lokal Skenario 2 (*Plate*)

Simulasi dinamis model untuk skenario 1 dan skenario 2 menghasilkan nilai tegangan *von mises* terhadap waktu yang dapat dilihat pada Tabel IV.2 yang selanjutnya digambarkan oleh grafik pada Gambar IV.8.

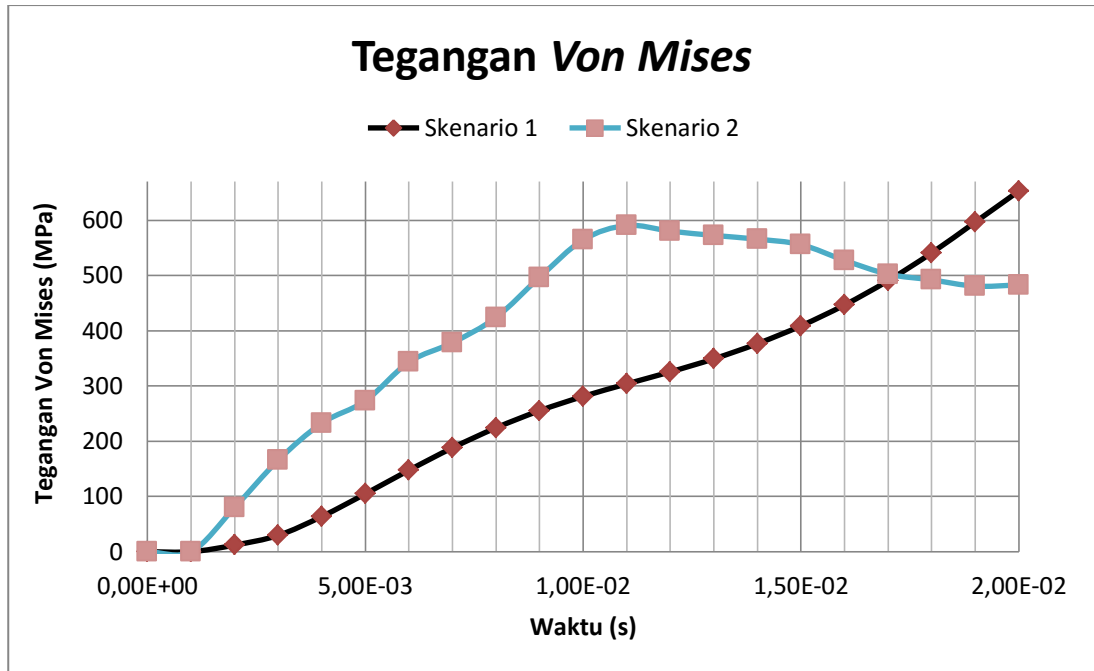
Tabel IV.2 Tegangan VM Pelat (a) Skenario 1; (b) Skenario 2

Skenario 1 (di antara <i>Web Frame</i>)		
	Waktu [s]	Tegangan VM [Pa]
1	1,18E-38	0
2	1,00E-03	3,48E+04
3	2,00E-03	1,21E+07
4	3,00E-03	2,96E+07
5	4,00E-03	6,39E+07
6	5,00E-03	1,05E+08
7	6,00E-03	1,48E+08
8	7,00E-03	1,88E+08
9	8,00E-03	2,24E+08
10	9,00E-03	2,55E+08
11	1,00E-02	2,81E+08
12	1,10E-02	3,04E+08
13	1,20E-02	3,26E+08
14	1,30E-02	3,49E+08
15	1,40E-02	3,77E+08
16	1,50E-02	4,09E+08
17	1,60E-02	4,47E+08
18	1,70E-02	4,91E+08
19	1,80E-02	5,41E+08
20	1,90E-02	5,97E+08
21	2,00E-02	6,53E+08

(a)

Skenario 2 (di <i>Web Frame</i>)		
	Waktu [s]	Tegangan VM [Pa]
1	1,18E-38	0
2	1,00E-03	24441
3	2,00E-03	8,03E+07
4	3,00E-03	1,66E+08
5	4,00E-03	2,33E+08
6	5,00E-03	2,73E+08
7	6,00E-03	3,43E+08
8	7,00E-03	3,78E+08
9	8,00E-03	4,24E+08
10	9,00E-03	4,97E+08
11	1,00E-02	5,65E+08
12	1,10E-02	5,91E+08
13	1,20E-02	5,80E+08
14	1,30E-02	5,73E+08
15	1,40E-02	5,66E+08
16	1,50E-02	5,56E+08
17	1,60E-02	5,28E+08
18	1,70E-02	5,03E+08
19	1,80E-02	4,92E+08
20	1,90E-02	4,81E+08
21	2,00E-02	4,83E+08

(b)



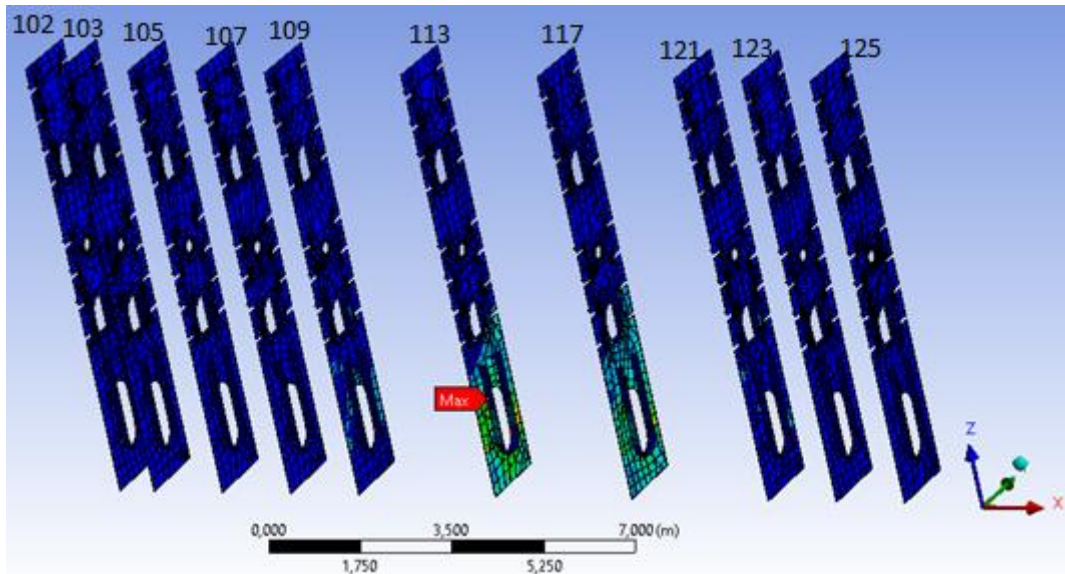
Gambar IV.8 Grafik Tegangan VM Pelat

Tegangan pada pelat *contact* skenario 2 mengalami kenaikan nilai sampai detik ke 0,011 dan mengalami penurunan nilai seiring waktu analisis setelahnya. Hal ini terjadi karena pengaruh adanya *web frame* yang menguatkan struktur pelat tersebut yaitu *web frame 113*. Struktur pelat dengan penguat di belakangnya mempunyai modulus yang lebih besar sehingga reaksi terhadap beban yang didapat menghasilkan tegangan yang relatif lebih kecil daripada yang terjadi pada skenario 1.

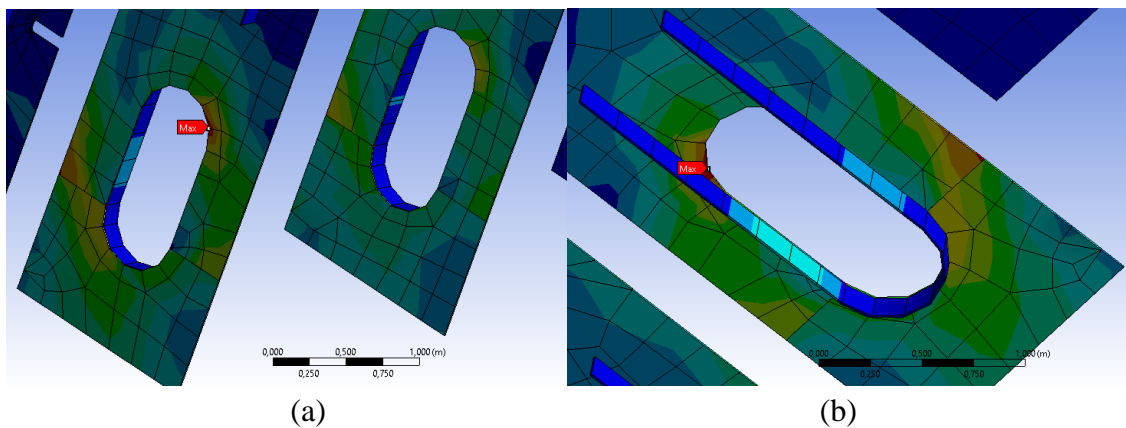
IV.2.3. Web Frames

A. Tinjauan Skenario1 (di antara *web frame*)

Tinjauan tegangan selanjutnya adalah tinjauan pada komponen *web frames*. Tegangan terbesar terjadi di daerah tumpuan terdekat dengan nilai maksimum pada *web frame 113*. Hal ini berkaitan dengan lokasi *web frame 113* yang lebih dekat dengan lokasi tabrakan yaitu 1125 mm dari lokasi tabrakan sedangkan frame 117 berada pada jarak 1875 mm. Tegangan maksimum berada di sekitar daerah *manhole* dengan nilai sebesar 176 MPa. Persebaran tegangan pada komponen *web frames* ditunjukkan oleh Gambar IV.9 dan Gambar IV.10.



Gambar IV.9 Tegangan *Von Mises* Lokal Skenario 1 (*Web Frames*)

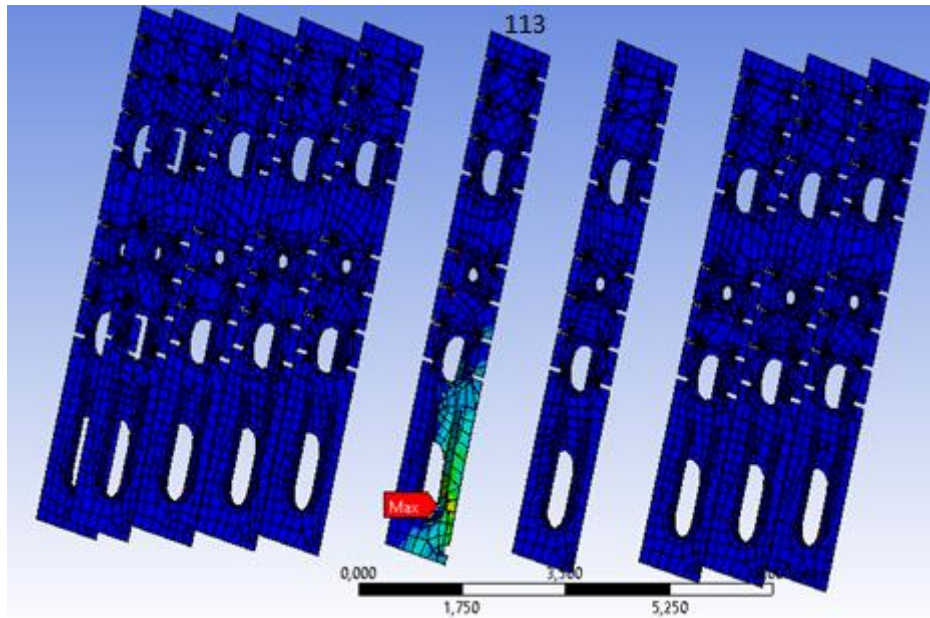


Gambar IV.10. (a) *Frame* 113 dan *Frame* 117; (b) *Frame* 113

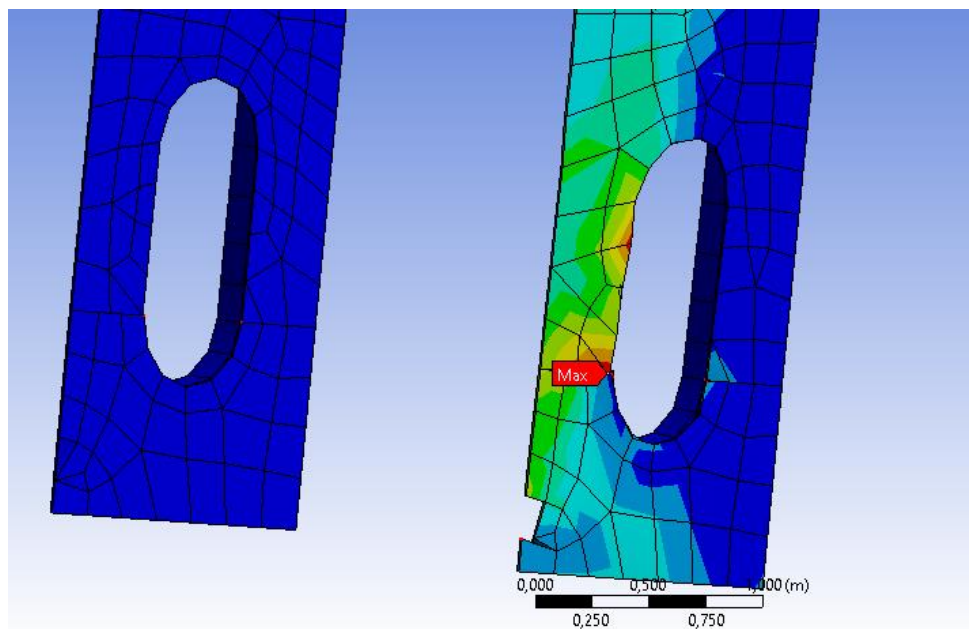
B. Tinjauan Skenario 2 (di *web frame*)

Persebaran tegangan pada komponen *web frames* ditunjukkan oleh Gambar IV.11. Tegangan terbesar terjadi di *frame* 113. Persebaran tegangan pada *web frame* 113 ditunjukkan oleh Gambar IV.12. Hal ini berkaitan dengan lokasi *web frame* 113 yang merupakan lokasi tabrakan. Pada akhir waktu analisis (0,02 detik), tegangan maksimum dengan nilai sebesar 2130 MPa terjadi di daerah *manhole* yaitu pada daerah pertemuan sambungan las antar pelat *web frame* 113 dan penegar *manhole*. Kerusakan berupa pecahnya lajur las - lasan serta lepasnya penegar *manhole* terhadap pelat *web frame* 113 dan ditunjukkan oleh Gambar IV.12 (b). Daerah lain seperti sambungan las antara pelat *contact* dan *web frame* 113 juga mengalami kepecahan. Hal ini ditunjukkan oleh Gambar IV.12 (a). Kerusakan lajur las – lasan ini juga dialami oleh *web frame* 117 dan juga *web frame* 109. Hal ini terjadi karena kedua *web*

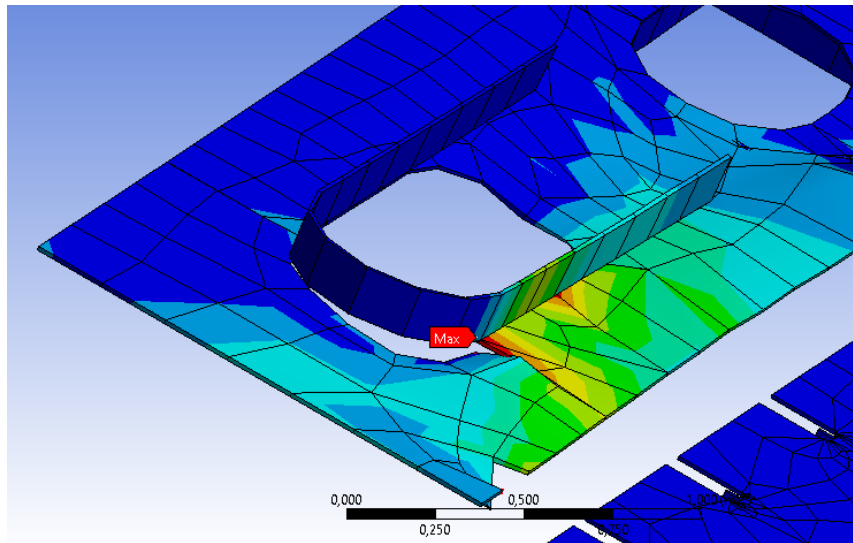
frame tersebut memiliki jarak terdekat terhadap *web frame* 113 dengan jarak masing masing 3000 mm. Semakin jauh dari sumber beban, efek kerusakan semakin kecil. Perbandingan dampak kerusakan yang terjadi ditunjukkan oleh Gambar IV.13 dan Gambar IV.14.



Gambar IV.11 Tegangan *Von Mises* Lokal Skenario 2 (*Web Frames*)



(a)

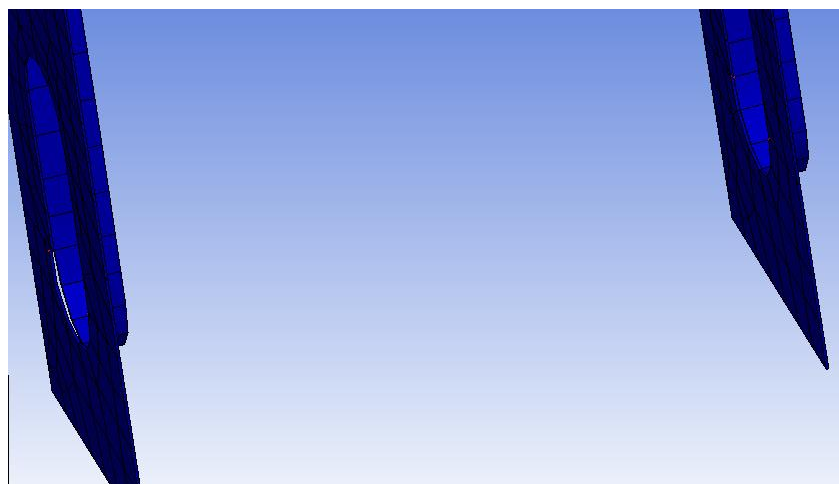


(b)

Gambar IV.12 Tegangan *Von Mises* Lokal Skenario 2 (a) *Frame* 113 tampak depan;
(b) *Frame* 113 tampak belakang



Gambar IV.13 (kiri) *web frame* 113 (kanan) *web frame* 117



Gambar IV.14 (kiri) *web frame* 117 (kanan) *web frame* 121

Simulasi dinamis model untuk skenario 1 dan skenario 2 menghasilkan nilai tegangan *von mises* terhadap waktu yang dapat dilihat pada Tabel IV.3 yang selanjutnya digambarkan oleh grafik pada Gambar IV.15.

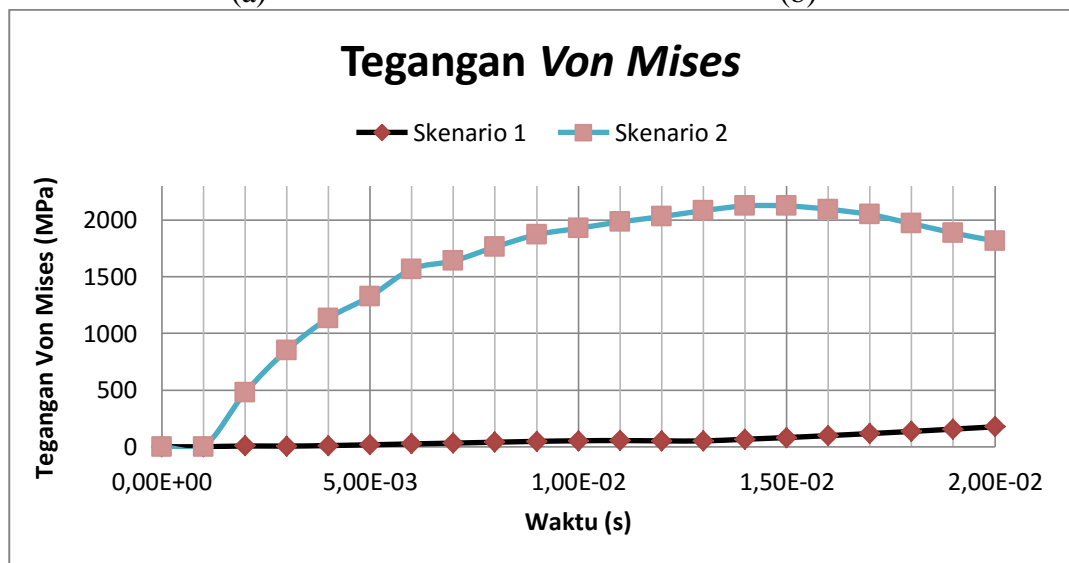
Tabel IV.3 Tegangan VM *Web Frames* (a) Skenario 1; (b) Skenario 2

Skenario 1 (di antara <i>Web Frames</i>)		
	Waktu [s]	Tegangan VM [Pa]
1	1,18E-38	0
2	1,00E-03	9,14E+04
3	2,00E-03	6,65E+06
4	3,00E-03	5,48E+06
5	4,00E-03	1,02E+07
6	5,00E-03	1,72E+07
7	6,00E-03	2,49E+07
8	7,00E-03	3,22E+07
9	8,00E-03	3,98E+07
10	9,00E-03	4,73E+07
11	1,00E-02	5,27E+07
12	1,10E-02	5,45E+07
13	1,20E-02	5,19E+07
14	1,30E-02	5,13E+07
15	1,40E-02	6,59E+07
16	1,50E-02	8,09E+07
17	1,60E-02	9,81E+07
18	1,70E-02	1,16E+08
19	1,80E-02	1,35E+08
20	1,90E-02	1,56E+08
21	2,00E-02	1,76E+08

(a)

Skenario 2 (di <i>Web Frames</i>)		
	Waktu [s]	Tegangan VM [Pa]
1	1,18E-38	0
2	1,00E-03	1,29E+05
3	2,00E-03	4,78E+08
4	3,00E-03	8,52E+08
5	4,00E-03	1,13E+09
6	5,00E-03	1,33E+09
7	6,00E-03	1,57E+09
8	7,00E-03	1,64E+09
9	8,00E-03	1,76E+09
10	9,00E-03	1,87E+09
11	1,00E-02	1,93E+09
12	1,10E-02	1,98E+09
13	1,20E-02	2,03E+09
14	1,30E-02	2,08E+09
15	1,40E-02	2,13E+09
16	1,50E-02	2,13E+09
17	1,60E-02	2,10E+09
18	1,70E-02	2,05E+09
19	1,80E-02	1,97E+09
20	1,90E-02	1,89E+09
21	2,00E-02	1,82E+09

(b)



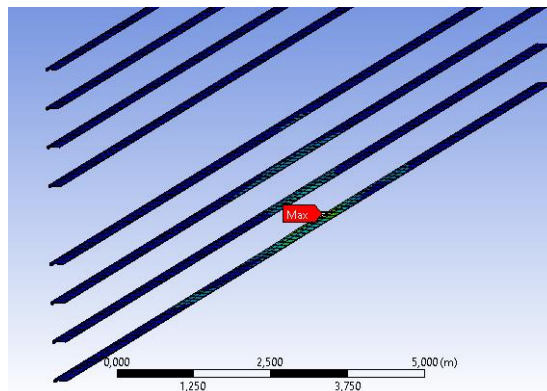
Gambar IV.15 Grafik Tegangan VM *Web Frames*

Dari grafik tersebut dapat dilihat bahwa sampai waktu analisis berakhir, nilai tegangan *web frames* pada skenario 1 mengalami kenaikan nilai dan mencapai nilai maksimum pada akhir waktu analisis dengan nilai 176 MPa. Sedangkan pada skenario 2 mengalami penurunan nilai setelah sebelumnya mengalami kenaikan sampai waktu analisis 0,015 dengan nilai 2130 MPa.

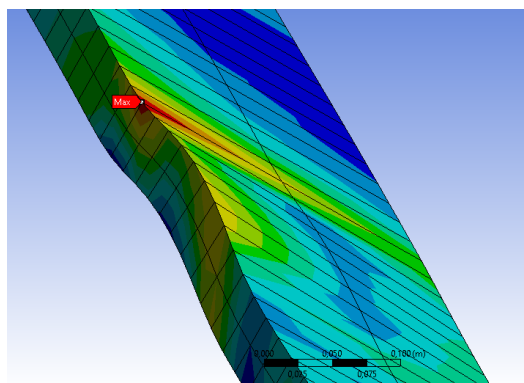
IV.2.4. Longitudinal

A. Tinjauan Skenario1 (di antara *web frame*)

Tinjauan selanjutnya yaitu pada komponen *longitudinal* yang dipasang pada pelat *wing tank* yang mengalami *contact* tubrukan. Tegangan maksimum pada *longitudinal* terjadi pada akhir waktu analisis yaitu sebesar 192 MPa. Tegangan ini terjadi pada *longitudinal* yang terpasang paling dekat dengan lokasi tubrukan oleh haluan (*bulbous bow*). *Stress concentration* terjadi pada takikan yang merupakan pertemuan antara bagian *web* dan *face* dari *longitudinal* tersebut. Persebaran tegangan pada *longitudinal* ditunjukkan oleh Gambar IV.16.



(a)

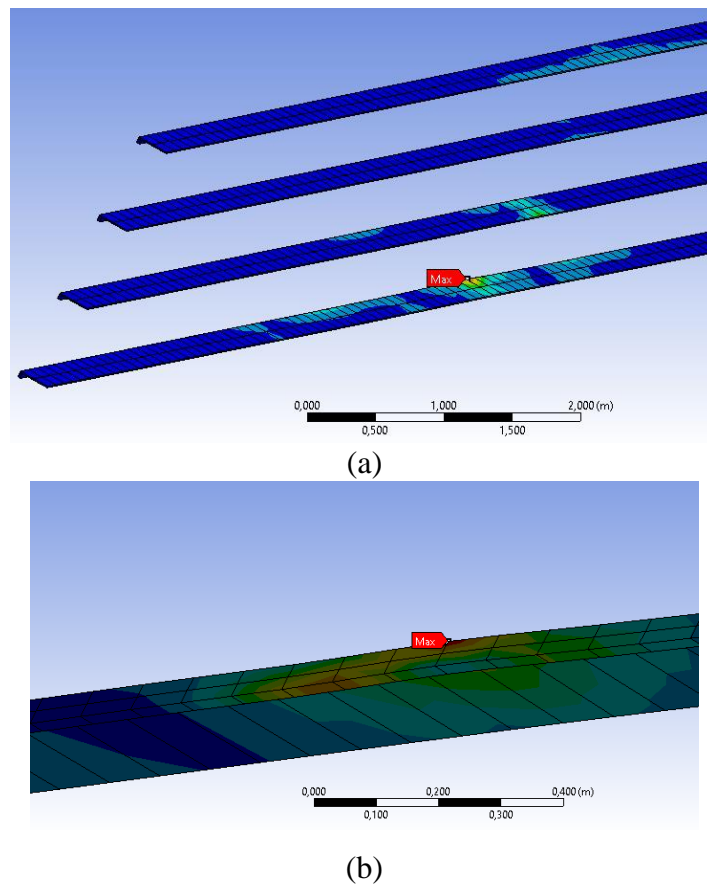


(b)

Gambar IV.16 (a) *Longitudinal* yang terpasang pada pelat *contact* tubrukan; (b) *Longitudinal* terdekat dengan lokasi tubrukan

B. Tinjauan Skenario 2 (di *web frame*)

Pada skenario 2, tegangan maksimum terjadi pada komponen *longitudinal* yang sama dengan skenario 1 dengan lokasi memanjang yang berbeda. Hal ini terkait perbedaan lokasi tabrakan secara memanjang. Tegangan maksimum pada longitudinal terjadi pada akhir waktu analisis yaitu sebesar 283 MPa. *Stress concentration* terjadi pada takikan yang merupakan pertemuan antara bagian *web* dan *face* dari *longitudinal*. Persebaran tegangan pada *longitudinal* ditunjukkan oleh Gambar IV.17.



Gambar IV.17 Tegangan *Von Mises* Lokal Skenario 2 (*Longitudinal*)

Simulasi dinamis model untuk skenario 1 dan skenario 2 menghasilkan nilai tegangan *von mises* terhadap waktu yang dapat dilihat pada Tabel IV.4 yang selanjutnya digambarkan oleh grafik pada Gambar IV.18.

Tabel IV.4 Tegangan VM *Longitudinal* (a) Skenario 1; Skenario 2

Skenario 1 (di antara <i>Web Frame</i>)		
	Waktu [s]	Tegangan VM [Pa]
1	1,18E-38	0
2	1,00E-03	8,19E+02
3	2,00E-03	3,56E+06
4	3,00E-03	6,21E+06

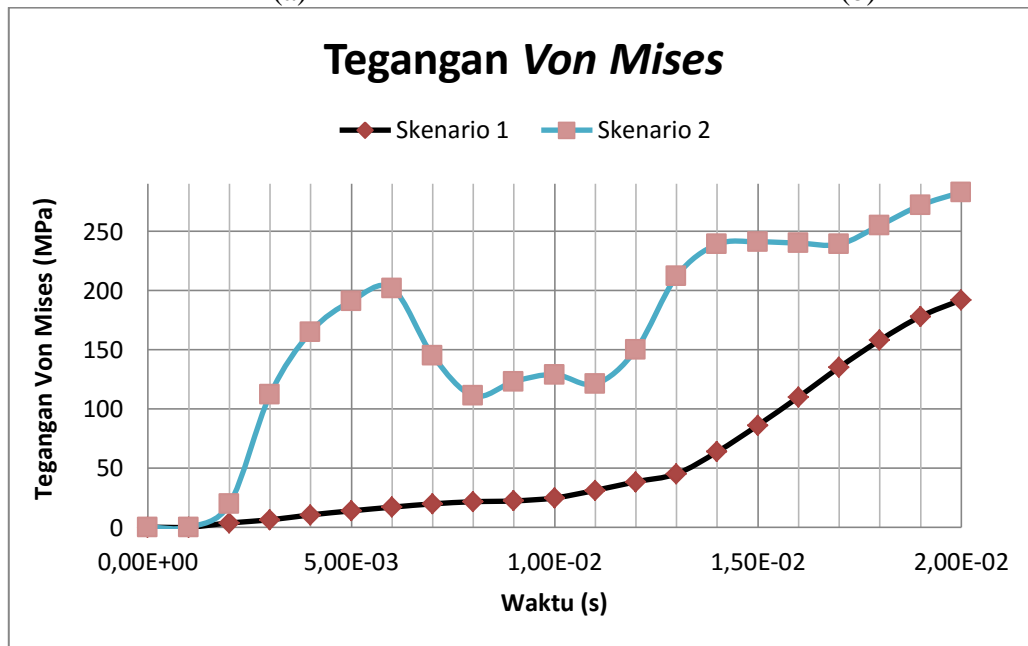
Skenario 2 (di <i>Web Frame</i>)		
	Waktu [s]	Tegangan VM [Pa]
1	1,18E-38	0
2	1,00E-03	1,26E+04
3	2,00E-03	1,95E+07
4	3,00E-03	1,12E+08

Skenario 1 (di antara Web Frame)		
	Waktu [s]	Tegangan VM [Pa]
5	4,00E-03	1,04E+07
6	5,00E-03	1,38E+07
7	6,00E-03	1,69E+07
8	7,00E-03	1,97E+07
9	8,00E-03	2,15E+07
10	9,00E-03	2,22E+07
11	1,00E-02	2,47E+07
12	1,10E-02	3,11E+07
13	1,20E-02	3,84E+07
14	1,30E-02	4,51E+07
15	1,40E-02	6,37E+07
16	1,50E-02	8,61E+07
17	1,60E-02	1,10E+08
18	1,70E-02	1,35E+08
19	1,80E-02	1,58E+08
20	1,90E-02	1,78E+08
21	2,00E-02	1,92E+08

(a)

Skenario 2 (di Web Frame)		
	Waktu [s]	Tegangan VM [Pa]
5	4,00E-03	1,65E+08
6	5,00E-03	1,91E+08
7	6,00E-03	2,02E+08
8	7,00E-03	1,45E+08
9	8,00E-03	1,11E+08
10	9,00E-03	1,23E+08
11	1,00E-02	1,29E+08
12	1,10E-02	1,21E+08
13	1,20E-02	1,50E+08
14	1,30E-02	2,12E+08
15	1,40E-02	2,39E+08
16	1,50E-02	2,41E+08
17	1,60E-02	2,40E+08
18	1,70E-02	2,39E+08
19	1,80E-02	2,55E+08
20	1,90E-02	2,72E+08
21	2,00E-02	2,83E+08

(b)



Gambar IV.18 Grafik Tegangan VM Longitudinal

Nilai tegangan *longitudinal* pada skenario 1 mengalami kenaikan nilai dan mencapai nilai maksimum pada akhir waktu analisis dengan nilai 192 MPa. Sedangkan pada skenario 2 mengalami fluktuasi nilai tegangan *von mises*. Nilai tegangan von mises pada akhir waktu simulasi sebesar 283 MPa.

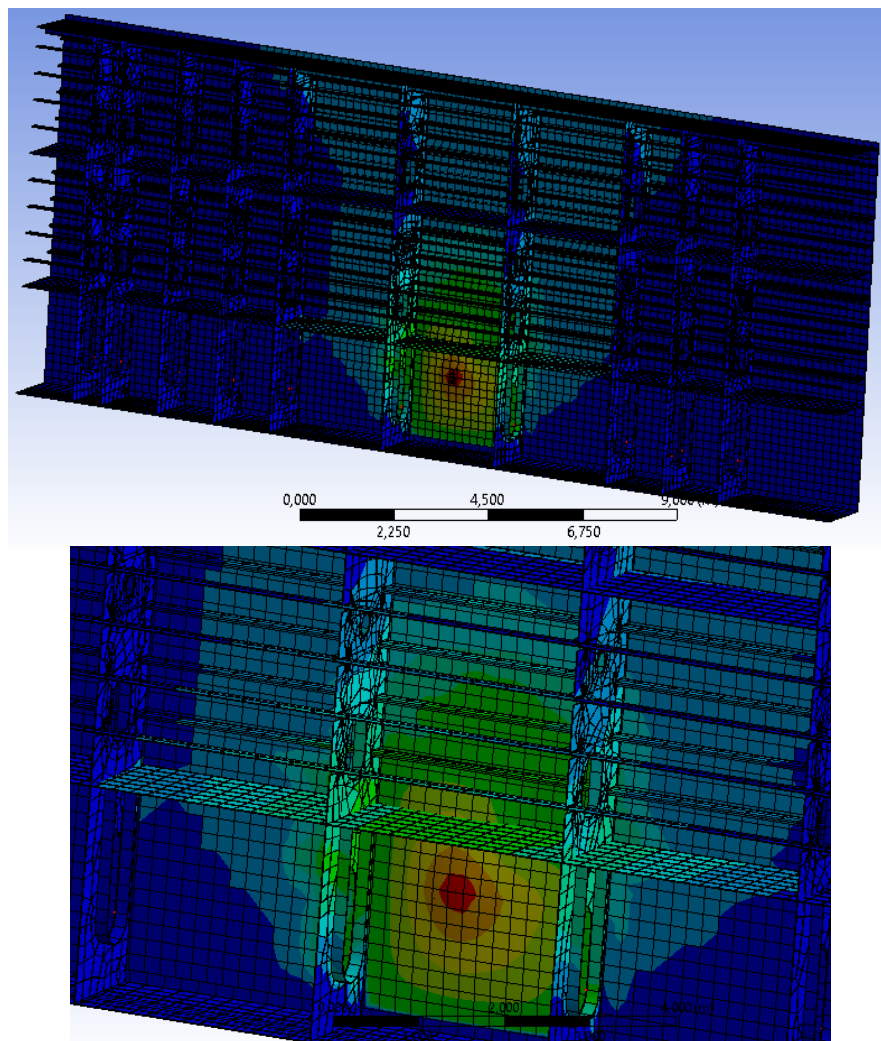
IV.3. Analisis dan Pembahasan Deformasi

Dari hasil simulasi dinamis didapatkan deformasi untuk tiap skenario. Deformasi terbesar terdapat pada daerah *scallop*, *manhole*, *sambungan las - lasan* dikarenakan adanya konsentrasi tegangan yang tinggi. Analisis deformasi secara global, serta pada tinjauan tertentu (*Pelat contact*, *Web Frames*, *Longitudinal*) dijabarkan sebagai berikut

IV.3.1. Global

A. Tinjauan Skenario 1 (di antara *web frame*)

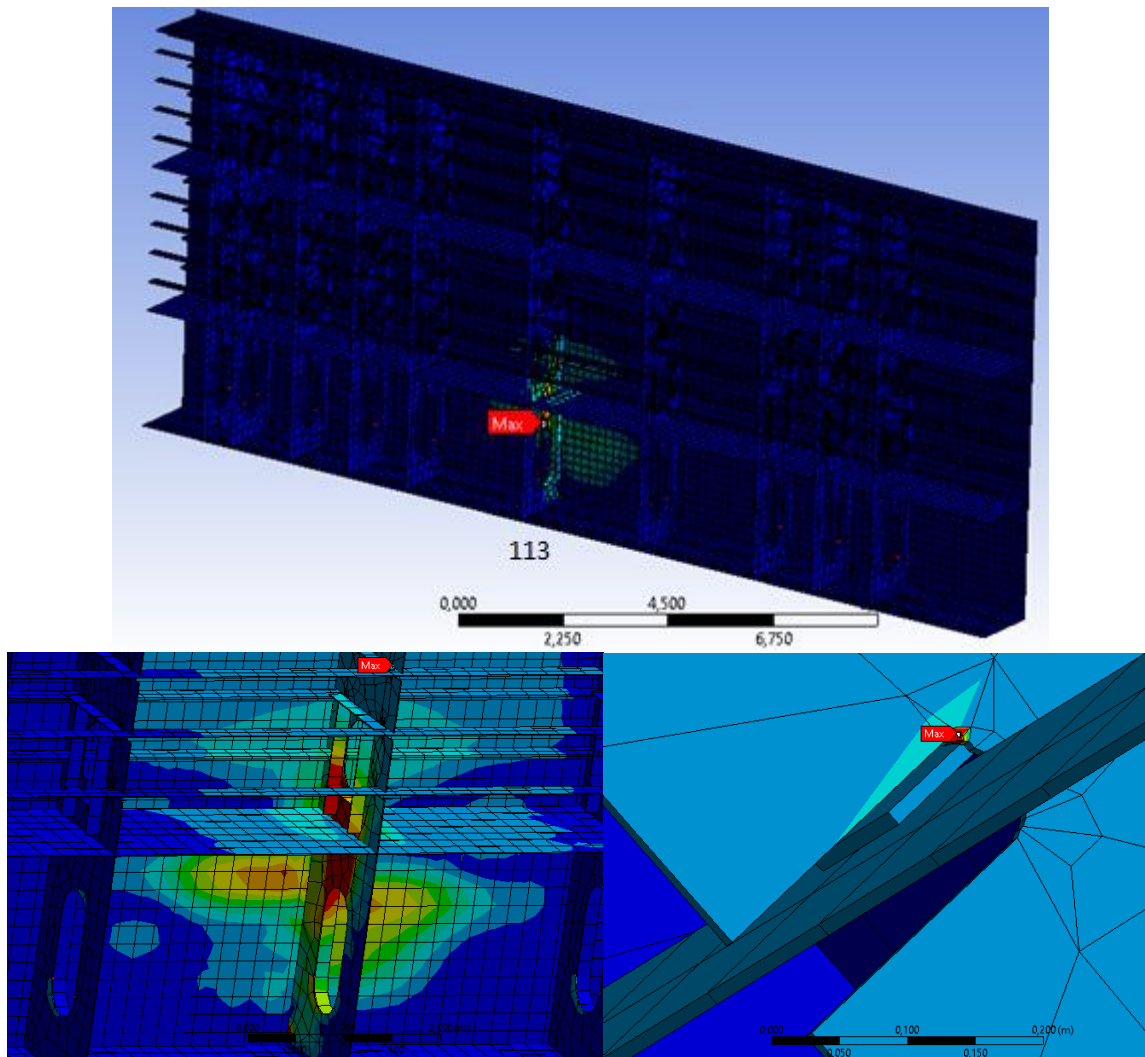
Deformasi maksimum terjadi pada titik pelat dimana terjadi *contact* dengan *bulbous bow* dengan nilai sebesar 105 mm. Selanjutnya deformasi menyebar pada daerah sekitarnya. Deformasi yang terjadi merupakan implikasi dari tegangan yang terjadi pada tiap komponen. Penyebaran deformasi akibat tubrukan tersebut ditunjukkan oleh Gambar IV.19



Gambar IV.19 Deformasi Global Skenario 1

B. Tinjauan Skenario 2 (di *web frame*)

Deformasi maksimum terjadi pada *scallop* serta sambungan las – lasan antara *web frame* 113 dengan *pelat contact* dengan nilai sebesar 224 mm. Selanjutnya deformasi menyebar pada daerah sekitarnya. Deformasi yang terjadi merupakan implikasi dari tegangan yang terjadi pada tiap komponen. Penyebaran deformasi akibat tubrukan tersebut ditunjukkan oleh Gambar IV.20.



Gambar IV.20 Deformasi Global Skenario 2

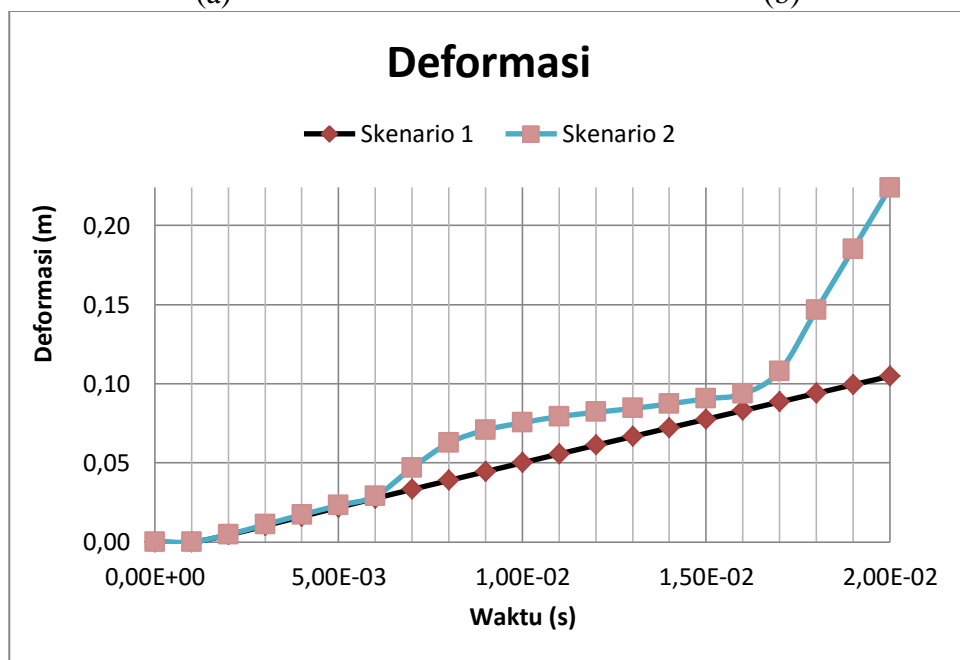
Simulasi dinamis model untuk skenario 1 dan skenario 2 menghasilkan nilai deformasi terhadap waktu yang dapat dilihat pada Tabel IV.5 yang selanjutnya digambarkan oleh grafik pada Gambar IV.21.

Tabel IV.5 Deformasi Global (a) Skenario 1; (b) Skenario 2

Skenario 1 (di antara Web Frame)			Skenario 2 (di Web Frame)		
	Waktu [s]	Deformasi [m]		Waktu [s]	Deformasi [m]
1	1,18E-38	0,00E+00	1	1,18E-38	0,00E+00
2	1,00E-03	5,64E-07	2	1,00E-03	1,88E-06
3	2,00E-03	4,48E-03	3	2,00E-03	4,73E-03
4	3,00E-03	1,03E-02	4	3,00E-03	1,10E-02
5	4,00E-03	1,61E-02	5	4,00E-03	1,72E-02
6	5,00E-03	2,19E-02	6	5,00E-03	2,31E-02
7	6,00E-03	2,76E-02	7	6,00E-03	2,90E-02
8	7,00E-03	3,33E-02	8	7,00E-03	4,69E-02
9	8,00E-03	3,89E-02	9	8,00E-03	6,26E-02
10	9,00E-03	4,45E-02	10	9,00E-03	7,08E-02
11	1,00E-02	5,01E-02	11	1,00E-02	7,54E-02
12	1,10E-02	5,56E-02	12	1,10E-02	7,93E-02
13	1,20E-02	6,12E-02	13	1,20E-02	8,20E-02
14	1,30E-02	6,67E-02	14	1,30E-02	8,44E-02
15	1,40E-02	7,21E-02	15	1,40E-02	8,73E-02
16	1,50E-02	7,76E-02	16	1,50E-02	9,05E-02
17	1,60E-02	8,31E-02	17	1,60E-02	9,36E-02
18	1,70E-02	8,85E-02	18	1,70E-02	1,08E-01
19	1,80E-02	9,40E-02	19	1,80E-02	1,46E-01
20	1,90E-02	9,94E-02	20	1,90E-02	1,85E-01
21	2,00E-02	1,05E-01	21	2,00E-02	2,24E-01

(a)

(b)



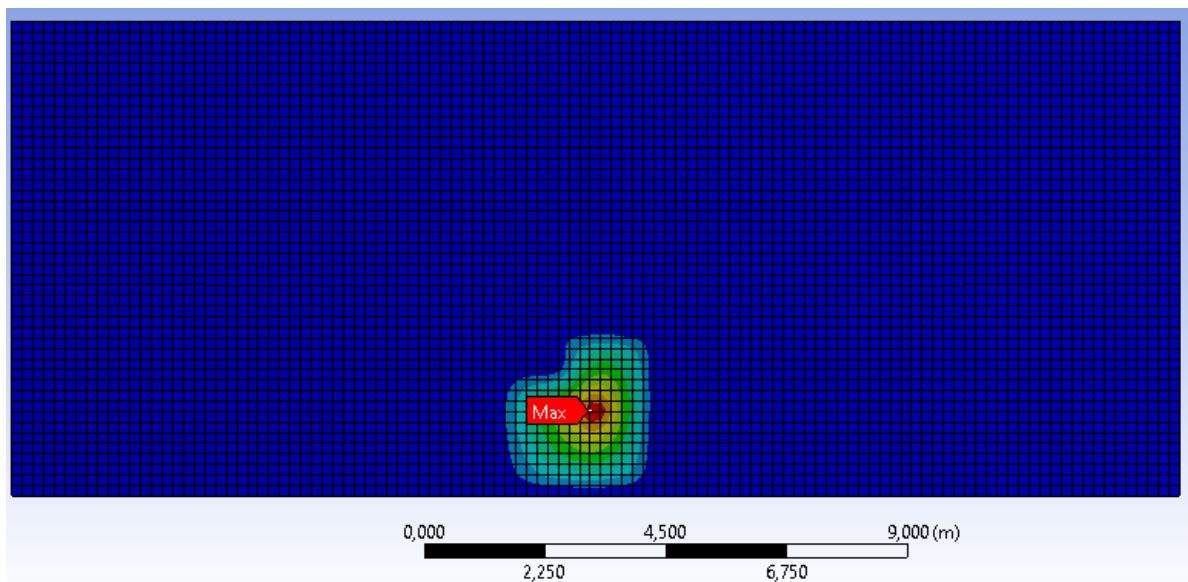
Gambar IV.21 Deformasi Global

Deformasi global pada skenario 2 atau pada saat *bulbous bow* menabrak daerah pelat yang diperkuat *web frame 113* lebih besar dibandingkan skenario 1 yaitu pada saat daerah tabrakan berada di antara *web frame 113* dan *117*. Hal ini terjadi karena hasil maksimum yang didapatkan pada deformasi global sama dengan deformasi pada *web frame 113* yaitu pada *scallop* dan sambungan las – lasan dimana bagian – bagian tersebut merupakan *stress concentration* dan menyebabkan deformasi yang lebih tinggi.

IV.3.2. Pelat

A. Tinjauan Skenario 1 (di antara *web frame*)

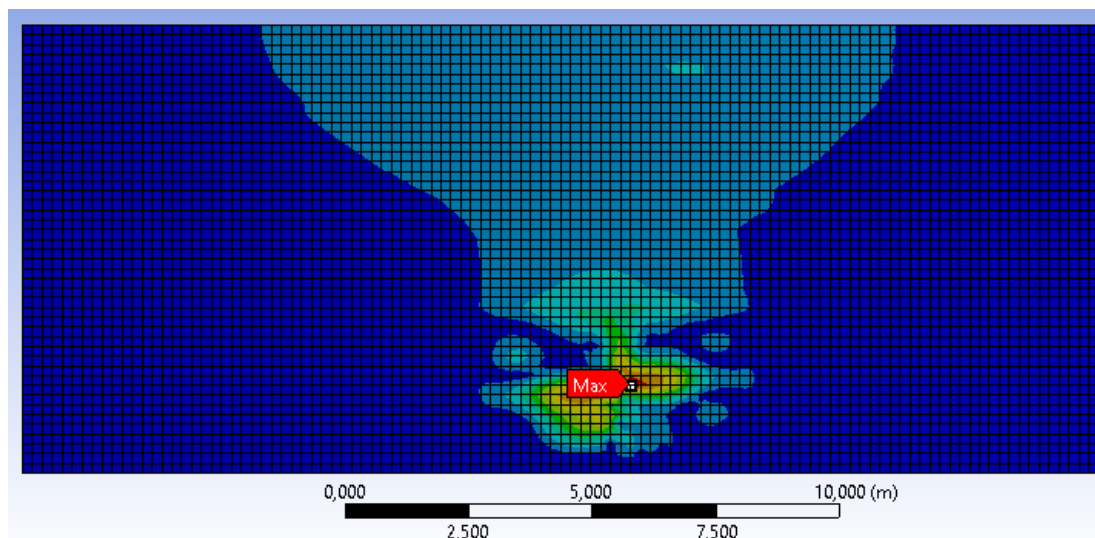
Deformasi maksimum yang terjadi pada komponen ini menjadi deformasi maksimum global dengan nilai deformasi sebesar 105 mm. Penyebaran deformasi maksimum pada skenario 1 ditunjukkan oleh Gambar IV.22



Gambar IV.22 Deformasi Lokal Skenario 1 (*Plate*)

B. Tinjauan Skenario 2 (di *web frame*)

Tegangan maksimum yang terjadi bernilai 46,9 mm dengan penyebaran deformasi maksimum pada skenario 2 ditunjukkan oleh Gambar IV.23



Gambar IV.23 Deformasi Lokal Skenario 2 (*Plate*)

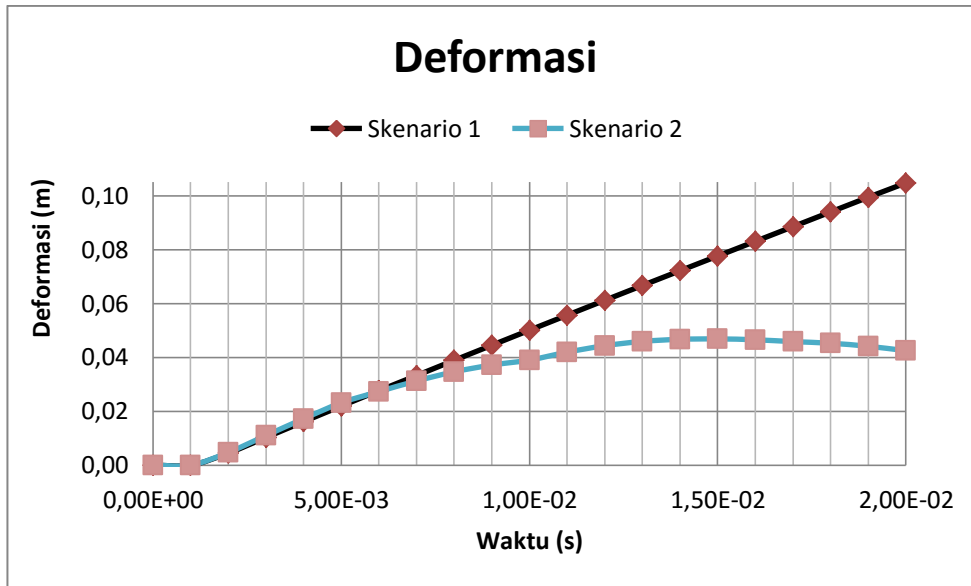
Simulasi dinamis model untuk skenario 1 dan skenario 2 menghasilkan nilai deformasi terhadap waktu yang dapat dilihat pada Tabel IV.6 yang selanjutnya digambarkan oleh grafik pada Gambar IV.24.

Tabel IV.6 Deformasi Pelat (a) Skenario 1; (b) Skenario 2

Skenario 1 (di antara <i>Web Frame</i>)			Skenario 2 (di <i>Web Frame</i>)		
	Waktu [s]	Deformasi [m]		Waktu [s]	Deformasi [m]
1	1,18E-38	0,00E+00	1	1,18E-38	0,00E+00
2	1,00E-03	5,64E-07	2	1,00E-03	3,28E-07
3	2,00E-03	4,48E-03	3	2,00E-03	4,73E-03
4	3,00E-03	1,03E-02	4	3,00E-03	1,10E-02
5	4,00E-03	1,61E-02	5	4,00E-03	1,72E-02
6	5,00E-03	2,19E-02	6	5,00E-03	2,31E-02
7	6,00E-03	2,76E-02	7	6,00E-03	2,73E-02
8	7,00E-03	3,33E-02	8	7,00E-03	3,12E-02
9	8,00E-03	3,89E-02	9	8,00E-03	3,46E-02
10	9,00E-03	4,45E-02	10	9,00E-03	3,72E-02
11	1,00E-02	5,01E-02	11	1,00E-02	3,90E-02
12	1,10E-02	5,56E-02	12	1,10E-02	4,19E-02
13	1,20E-02	6,12E-02	13	1,20E-02	4,43E-02
14	1,30E-02	6,67E-02	14	1,30E-02	4,59E-02
15	1,40E-02	7,21E-02	15	1,40E-02	4,67E-02
16	1,50E-02	7,76E-02	16	1,50E-02	4,69E-02
17	1,60E-02	8,31E-02	17	1,60E-02	4,65E-02
18	1,70E-02	8,85E-02	18	1,70E-02	4,58E-02
19	1,80E-02	9,40E-02	19	1,80E-02	4,52E-02
20	1,90E-02	9,94E-02	20	1,90E-02	4,41E-02
21	2,00E-02	1,05E-01	21	2,00E-02	4,25E-02

(a)

(b)



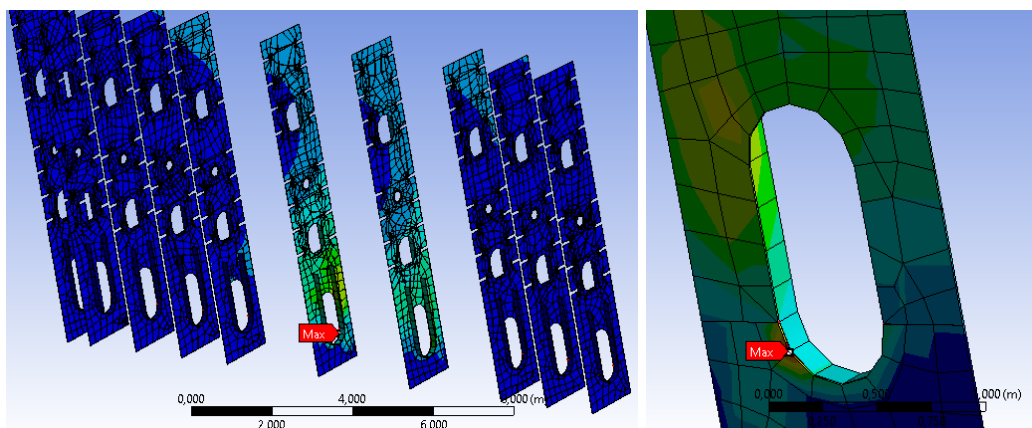
Gambar IV.24 Grafik Deformasi Pelat

Hasil analisis menunjukkan deformasi maksimum pada pelat *contact* dengan skenario 1 lebih besar dibandingkan skenario 2. Pada skenario 2, terjadi kenaikan nilai deformasi sampai waktu analisis mencapai 0,015 detik lalu deformasi mengalami penurunan. Hal ini karena *pelat contact* diperkuat oleh *web frame* 113 yang menegarkan strukturnya.

IV.3.3. Web Frames

A. Tinjauan Skenario 1 (di antara *web frame*)

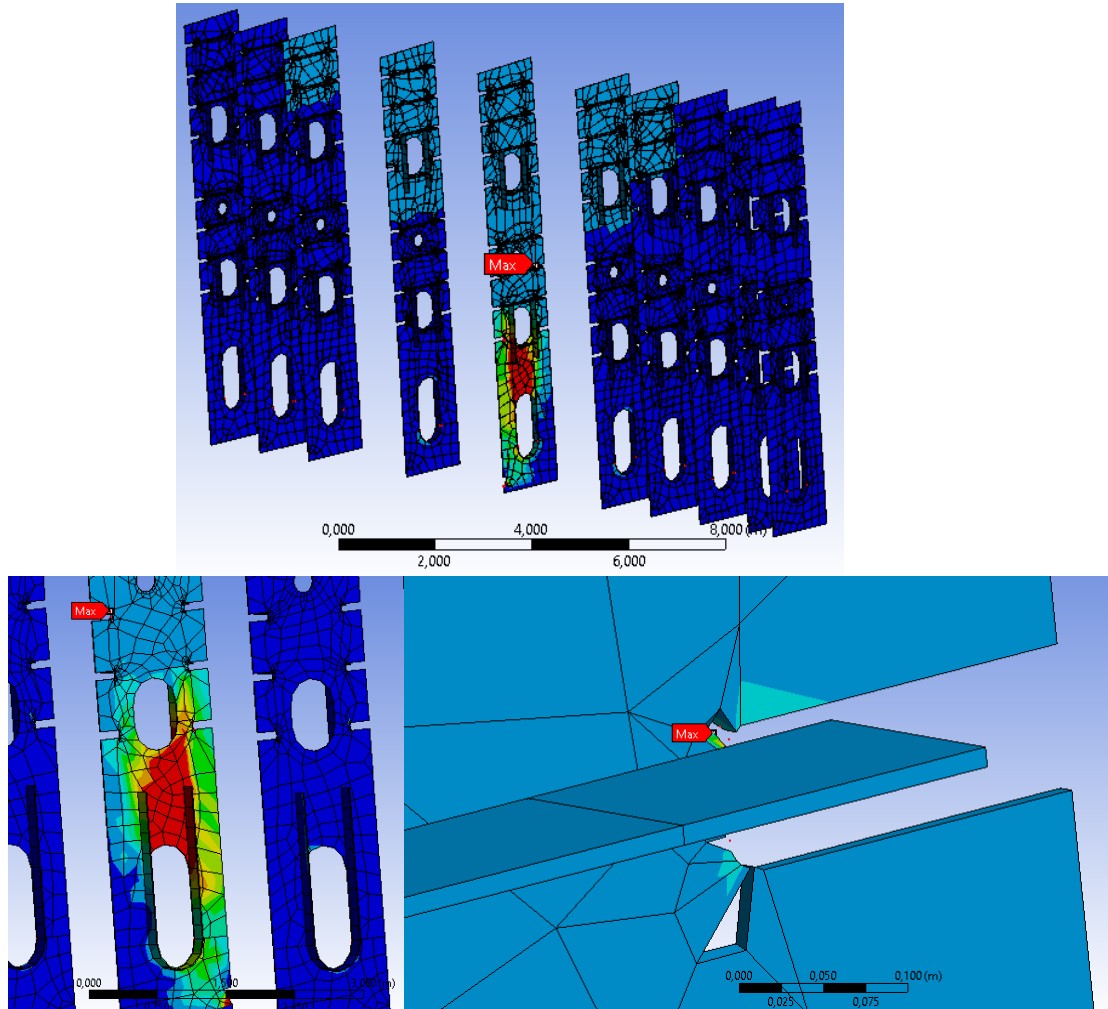
Deformasi maksimum terjadi pada sambungan *web frame* dengan penegarnya yang berada di daerah *manhole* dengan nilai sebesar 4,77 mm. Penyebaran deformasi maksimum pada skenario 2 ditunjukkan oleh Gambar IV.25.



Gambar IV.25 Deformasi Lokal Skenario 1 (*Web Frames*)

B. Tinjauan Skenario 2 (di *web frame*)

Deformasi maksimum terjadi pada *scallop* di *web frame 113* dengan nilai sebesar 224 mm. Penyebaran deformasi maksimum pada skenario 2 ditunjukkan oleh Gambar IV.26.



Gambar IV.26 Deformasi Lokal Skenario 2 (*Web Frames*)

Simulasi dinamis model untuk skenario 1 dan skenario 2 menghasilkan nilai deformasi terhadap waktu yang dapat dilihat pada Tabel IV.7 yang selanjutnya digambarkan oleh grafik pada Gambar IV.27.

Tabel IV.7 Deformasi *Web Frames* (a) Skenario 1; (b) Skenario 2

Skenario 1 (di antara <i>Web Frame</i>)		
	Waktu [s]	Deformasi [m]
1	1,18E-38	0
2	1,00E-03	1,2829E-06
3	2,00E-03	3,37E-05
4	3,00E-03	1,35E-04
5	4,00E-03	1,81E-04

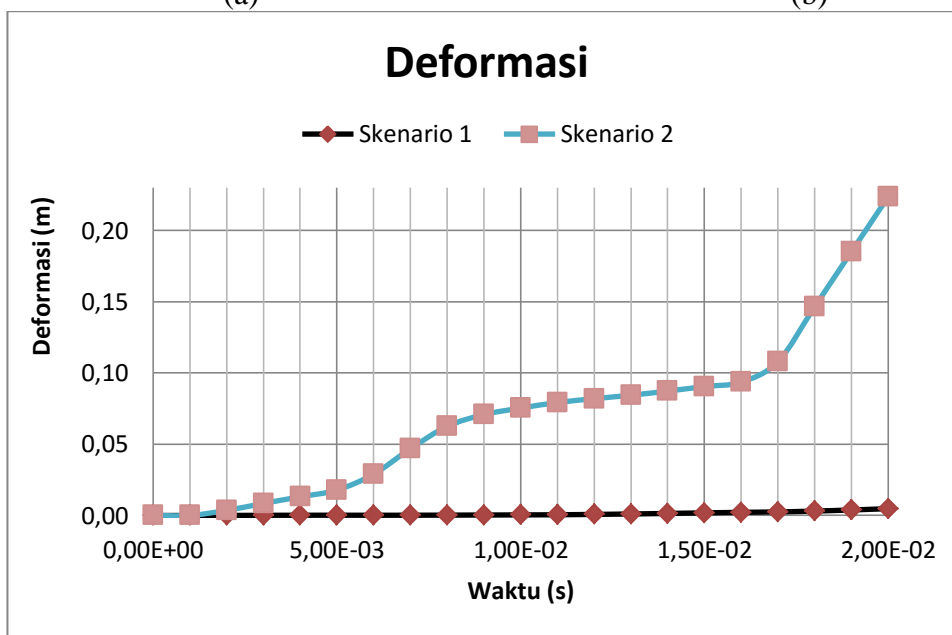
Skenario 2 (di <i>Web Frame</i>)		
	Waktu [s]	Deformasi [m]
1	1,18E-38	0,00E+00
2	1,00E-03	3,60E-08
3	2,00E-03	3,57E-03
4	3,00E-03	8,48E-03
5	4,00E-03	1,31E-02

Skenario 1 (di antara <i>Web Frame</i>)		
	Waktu [s]	Deformasi [m]
6	5,00E-03	1,92E-04
7	6,00E-03	1,81E-04
8	7,00E-03	1,95E-04
9	8,00E-03	2,59E-04
10	9,00E-03	3,35E-04
11	1,00E-02	4,17E-04
12	1,10E-02	5,21E-04
13	1,20E-02	7,58E-04
14	1,30E-02	1,07E-03
15	1,40E-02	1,44E-03
16	1,50E-02	1,84E-03
17	1,60E-02	2,22E-03
18	1,70E-02	2,52E-03
19	1,80E-02	3,10E-03
20	1,90E-02	3,89E-03
21	2,00E-02	4,77E-03

(a)

Skenario 2 (di <i>Web Frame</i>)		
	Waktu [s]	Deformasi [m]
6	5,00E-03	1,79E-02
7	6,00E-03	2,90E-02
8	7,00E-03	4,69E-02
9	8,00E-03	6,26E-02
10	9,00E-03	7,08E-02
11	1,00E-02	7,54E-02
12	1,10E-02	7,93E-02
13	1,20E-02	8,20E-02
14	1,30E-02	8,44E-02
15	1,40E-02	8,73E-02
16	1,50E-02	9,05E-02
17	1,60E-02	9,36E-02
18	1,70E-02	1,08E-01
19	1,80E-02	1,46E-01
20	1,90E-02	1,85E-01
21	2,00E-02	2,24E-01

(b)

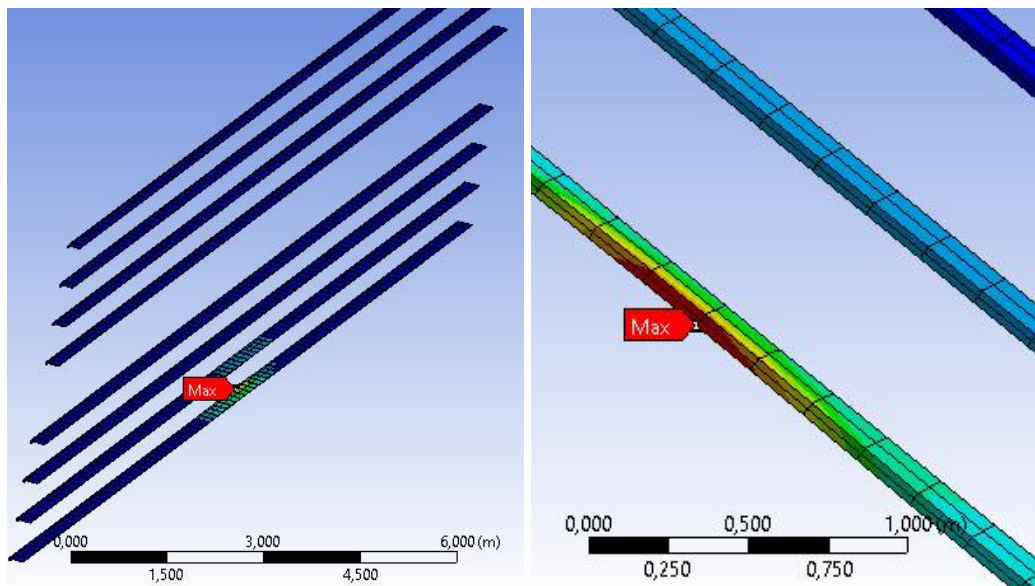
Gambar IV.27 Grafik Deformasi *Web Frames*

Didapatkan hasil deformasi pada *web frames* dengan skenario 2 lebih besar dibandingkan skenario 1. Hal ini terjadi karena pada skenario 2, *web frame* mengalami beban langsung karena lokasi tubrukan tepat pada lokasi *web frame*. Beban terdistribusi lebih besar pada skenario 2. Sedangkan pada skenario 1, *web frame* berada pada jarak tertentu dari lokasi tubrukan.

IV.3.4. Longitudinal

A. Tinjauan Skenario 1 (di antara *web frame*)

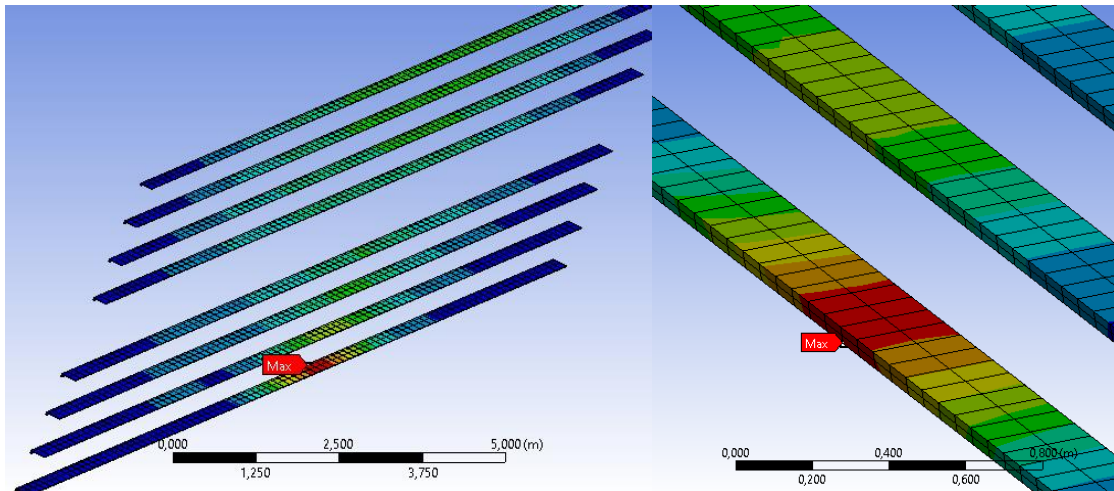
Tinjauan selanjutnya yaitu pada komponen *longitudinal* yang dipasang pada pelat *wing tank* yang mengalami *contact* tubrukan. Deformasi maksimum ini terjadi pada *longitudinal* yang terpasang paling dekat dengan lokasi tubrukan oleh haluan (*bulbous bow*) dengan nilai sebesar 15,6 mm. Penyebaran deformasi maksimum pada skenario 1 ditunjukkan oleh Gambar IV.28



Gambar IV.28 Deformasi Lokal Skenario 1 (*Longitudinal*)

B. Tinjauan Skenario 2 (di *web frame*)

Pada skenario 2, deformasi maksimum terjadi pada komponen *longitudinal* yang sama dengan skenario 1 dengan lokasi memanjang yang berbeda. Hal ini terkait perbedaan lokasi tabrakan secara memanjang. Deformasi maksimum pada longitudinal terjadi pada 0,015 detik yaitu sebesar 18 mm. Persebaran deformasi pada *longitudinal* ditunjukkan oleh Gambar IV.29.



Gambar IV.29 Deformasi Lokal Skenario 2 (*Longitudinal*)

Simulasi dinamis model untuk skenario 1 dan skenario 2 menghasilkan nilai deformasi terhadap waktu yang dapat dilihat pada Tabel IV.8 yang selanjutnya digambarkan oleh grafik pada Gambar IV.30.

Tabel IV.8 Deformasi *Longitudinal* (a) Skenario 1; (b) Skenario 2

Skenario 1 (di antara <i>Web Frame</i>)		
	Waktu [s]	Deformasi [m]
1	1,18E-38	0
2	1,00E-03	1,41E-07
3	2,00E-03	1,35E-05
4	3,00E-03	6,97E-05
5	4,00E-03	1,45E-04
6	5,00E-03	2,43E-04
7	6,00E-03	3,44E-04
8	7,00E-03	4,82E-04
9	8,00E-03	6,64E-04
10	9,00E-03	8,55E-04
11	1,00E-02	1,12E-03
12	1,10E-02	1,43E-03
13	1,20E-02	1,97E-03
14	1,30E-02	2,86E-03
15	1,40E-02	4,08E-03
16	1,50E-02	5,64E-03
17	1,60E-02	7,54E-03
18	1,70E-02	9,68E-03
19	1,80E-02	1,19E-02
20	1,90E-02	1,40E-02
21	2,00E-02	1,56E-02

(a)

Skenario 2 (di <i>Web Frame</i>)		
	Waktu [s]	Deformasi [m]
1	0,00E+00	0
2	1,00E-03	1,60E-07
3	2,00E-03	9,99E-05
4	3,00E-03	1,37E-03
5	4,00E-03	3,42E-03
6	5,00E-03	5,64E-03
7	6,00E-03	7,99E-03
8	7,00E-03	9,93E-03
9	8,00E-03	1,14E-02
10	9,00E-03	1,27E-02
11	1,00E-02	1,39E-02
12	1,10E-02	1,51E-02
13	1,20E-02	1,63E-02
14	1,30E-02	1,72E-02
15	1,40E-02	1,78E-02
16	1,50E-02	1,80E-02
17	1,60E-02	1,80E-02
18	1,70E-02	1,79E-02
19	1,80E-02	1,76E-02
20	1,90E-02	1,71E-02
21	2,00E-02	1,65E-02

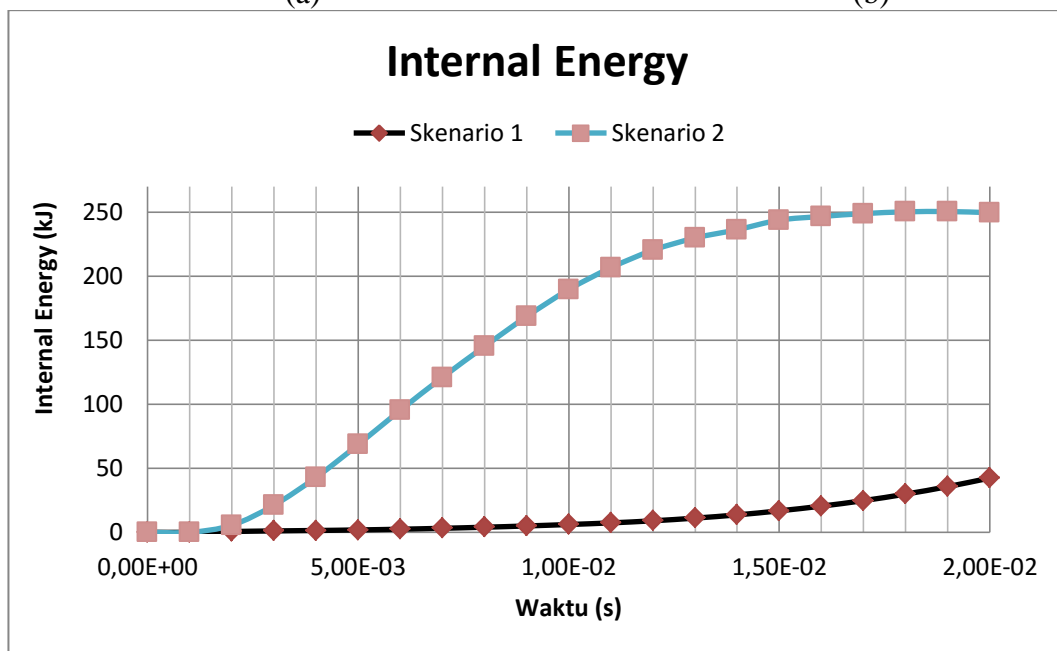
(b)

Tabel IV.9 *Internal Energy Global*

Skenario 1 (di antara Web Frame)			Skenario 2 (di Web Frame)		
	Waktu [s]	<i>Internal Energy</i> [mJ]		Waktu [s]	<i>Internal Energy</i> [mJ]
1	1,18E-38	0,00E+00	1	1,18E-38	0,00E+00
2	1,00E-03	1,19E+01	2	1,00E-03	2,42E+01
3	2,00E-03	6,39E+05	3	2,00E-03	5,58E+06
4	3,00E-03	1,08E+06	4	3,00E-03	2,12E+07
5	4,00E-03	1,43E+06	5	4,00E-03	4,30E+07
6	5,00E-03	1,86E+06	6	5,00E-03	6,86E+07
7	6,00E-03	2,42E+06	7	6,00E-03	9,54E+07
8	7,00E-03	3,14E+06	8	7,00E-03	1,21E+08
9	8,00E-03	3,98E+06	9	8,00E-03	1,45E+08
10	9,00E-03	4,97E+06	10	9,00E-03	1,69E+08
11	1,00E-02	6,10E+06	11	1,00E-02	1,90E+08
12	1,10E-02	7,36E+06	12	1,10E-02	2,07E+08
13	1,20E-02	9,00E+06	13	1,20E-02	2,20E+08
14	1,30E-02	1,11E+07	14	1,30E-02	2,30E+08
15	1,40E-02	1,36E+07	15	1,40E-02	2,36E+08
16	1,50E-02	1,68E+07	16	1,50E-02	2,44E+08
17	1,60E-02	2,04E+07	17	1,60E-02	2,47E+08
18	1,70E-02	2,48E+07	18	1,70E-02	2,49E+08
19	1,80E-02	2,98E+07	19	1,80E-02	2,50E+08
20	1,90E-02	3,57E+07	20	1,90E-02	2,51E+08
21	2,00E-02	4,24E+07	21	2,00E-02	2,50E+08

(a)

(b)



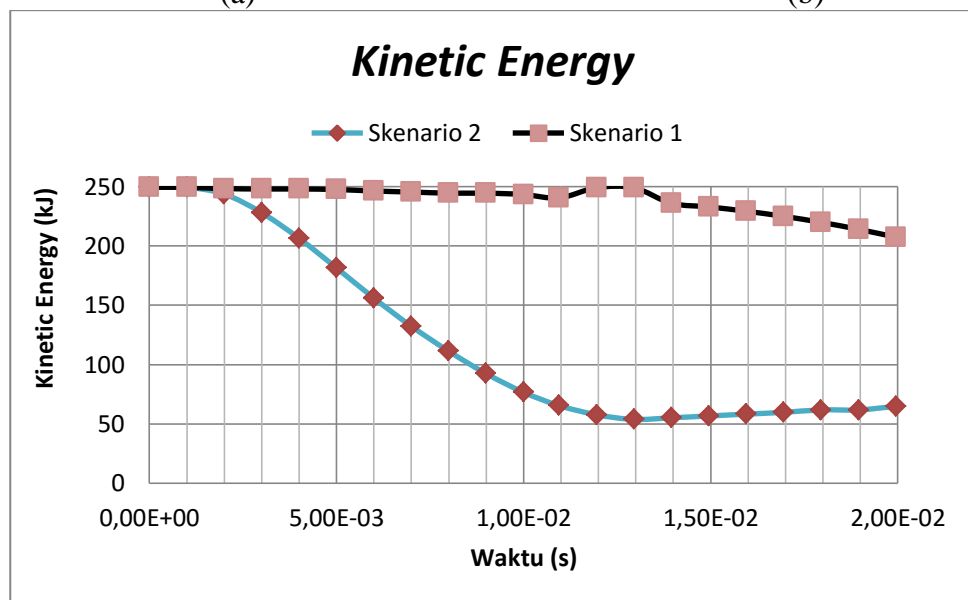
Gambar IV.31 Grafik *Internal Energy Global*

Tabel IV.10 *Kinetic Energy* Global

Skenario 1 (di antara <i>Web Frame</i>)			Skenario 2 (di <i>Web Frame</i>)		
	Waktu [s]	<i>Kinetic Energy</i> [mJ]		Waktu [s]	<i>Kinetic Energy</i> [mJ]
1	0,00E+00	2,49E+08	1	0,00E+00	2,49E+08
2	1,00E-03	2,49E+08	2	1,00E-03	2,49E+08
3	2,00E-03	2,48E+08	3	2,00E-03	2,44E+08
4	3,00E-03	2,48E+08	4	3,00E-03	2,28E+08
5	4,00E-03	2,48E+08	5	4,00E-03	2,07E+08
6	5,00E-03	2,48E+08	6	5,00E-03	1,82E+08
7	6,00E-03	2,46E+08	7	6,00E-03	1,56E+08
8	7,00E-03	2,46E+08	8	7,00E-03	1,32E+08
9	8,00E-03	2,45E+08	9	8,00E-03	1,11E+08
10	9,00E-03	2,45E+08	10	9,00E-03	9,24E+07
11	1,00E-02	2,44E+08	11	1,00E-02	7,67E+07
12	1,10E-02	2,41E+08	12	1,10E-02	6,54E+07
13	1,20E-02	2,49E+08	13	1,20E-02	5,77E+07
14	1,30E-02	2,49E+08	14	1,30E-02	5,37E+07
15	1,40E-02	2,36E+08	15	1,40E-02	5,51E+07
16	1,50E-02	2,33E+08	16	1,50E-02	5,66E+07
17	1,60E-02	2,29E+08	17	1,60E-02	5,82E+07
18	1,70E-02	2,25E+08	18	1,70E-02	5,97E+07
19	1,80E-02	2,20E+08	19	1,80E-02	6,17E+07
20	1,90E-02	2,14E+08	20	1,90E-02	6,17E+07
21	2,00E-02	2,07E+08	21	2,00E-02	6,47E+07

(a)

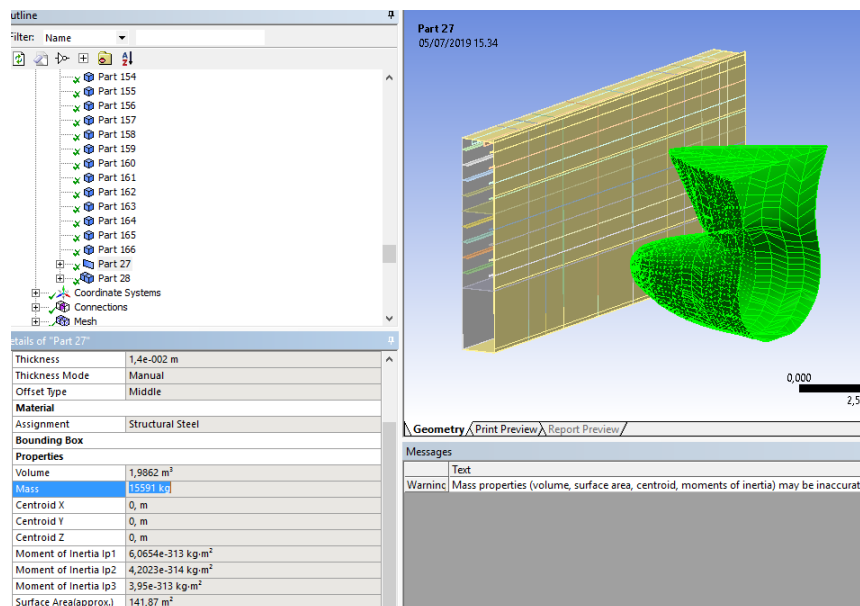
(b)



Gambar IV.32 Grafik *Kinetic Energy* Global

Dari grafik – grafik tersebut ditunjukkan bahwa pada skenario 1 maupun skenario 2, konstruksi *wing tank* menyerap energi yang merupakan transfer dari *kinetic energy*.

Hal ini dapat dilihat dari penurunan kurva nilai *kinetic energy* dan kenaikan kurva nilai *internal energy*. Nilai dari *internal energy* struktur skenario 2 lebih besar daripada skenario 1. Konstruksi tersebut mendapatkan transfer energi yang lebih besar, hal ini dikarenakan pada skenario tersebut konstruksi berusaha mempertahankan kekakuannya dengan adanya *web frame* 113 di belakang *pelat contact* tubrukan. Implikasi dari fenomena tersebut adalah nilai deformasi yang mengalami kenaikan terhadap fungsi waktu. Hal ini dapat dilihat pada pembahasan sebelumnya yaitu pada IV.3.1. Perhitungan energi kinetik dengan massa haluan seperti pada Gambar IV.33 dapat dilihat pada persamaan (IV.1). Nilai yang ditunjukkan pada persamaan tersebut sama dengan nilai yang ditunjukkan oleh *software* sesuai dengan Tabel IV.10 yaitu sebesar 2,49 kJ.



Gambar IV.33 Massa *Geometry* Haluan

$$E_k = \frac{1}{2} m v^2 = \frac{1}{2} (15591 \text{ kg}) (5,65889 \frac{\text{m}}{\text{s}})^2 = 249635,6 \text{ J} \quad (\text{IV.1})$$

Energi kinetik dari benda dengan massa yang berbeda menunjukkan nilai yang berbeda. Namun untuk tinjauan tegangan *von mises* menunjukkan perbedaan dengan margin yang sangat kecil yaitu sebesar 0,5 %. Hal ini menunjukkan bahwa respon tegangan *von mises* yang terjadi akibat kapal penuh 3500 LTDW dapat diwakili oleh *geometry* haluan yang telah dianalisis. Penjelasan lebih lanjut terdapat pada lampiran D.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

V.1. Kesimpulan

Setelah dilakukan analisis dan pembahasan mengenai kekuatan lambung kapal akibat tubrukan menggunakan simulasi dinamis FEM maka dihasilkan kesimpulan sebagai berikut:

1. Pada kondisi tubrukan, bagian sisi kapal (*wing tank*) mengalami tegangan pada seluruh konstruksinya. Lokasi tubrukan (posisi *bulbous bow*) yang mengenai konstruksi *wing tank* mempengaruhi nilai dan persebaran tegangan yang dihasilkan. Respon setiap komponen konstruksi *wing tank* berbeda untuk tiap skenario. Besar tegangan maksimum global; pelat *contact (side plate)*; *web frames*; *longitudinal* pada waktu 0,02 s untuk skenario 1 dan skenario 2 adalah 653 MPa dan 2130 MPa; 653 MPa dan 591 MPa; 176 MPa dan 2130 MPa; 192 MPa dan 293 MPa. Tegangan pada skenario 1 (tubrukan di antara *web frame*) lebih besar dari skenario 2 (tubrukan di *web frame*) untuk tinjauan pelat *contact* namun tegangan pada skenario 1 lebih kecil dari skenario 2 untuk tinjauan global, *web frames* dan *longitudinal*.
2. Nilai dan persebaran deformasi juga bergantung pada lokasi tubrukan kapal. Besar deformasi maksimum global; pelat *contact (side plate)*; *web frames*; *longitudinal* pada waktu 0,02 s untuk skenario 1 dan skenario 2 adalah 105 mm dan 224 mm; 105 mm dan 46,9 mm; 4,77 mm dan 224 mm; 15,6 mm dan 18 mm. Deformasi pada skenario 1 (tubrukan di antara *web frame*) lebih besar dari skenario 2 (tubrukan di *web frame*) untuk tinjauan pelat *contact* namun deformasi pada skenario 1 lebih kecil dari skenario 2 untuk tinjauan global, *web frames* dan *longitudinal*.
3. Energi yang diserap (*internal energy*) oleh konstruksi *wing tank* pada waktu analisis 0,02 detik untuk skenario 1 dan skenario 2 adalah 42.4 kJ dan 251 kJ.

V.2. Saran

Untuk tujuan pengembangan pada penelitian selanjutnya, ada beberapa hal yang perlu dipertimbangkan yaitu sebagai berikut:

1. Menggunakan variasi bentuk *bulbous bow*, dan juga variasi kecepatan.
2. Memperhitungkan aspek hidrodinamika kapal.

3. Metode untuk menghitung kedalaman penetrasi agar menggunakan formula yang dikhususkan untuk kapal.
4. Menggunakan *software* FEM lain yang *compatible* dengan spesifikasi PC.

DAFTAR PUSTAKA

- 25 November 2016. 2019 <<https://www.mechanicalbooster.com/2016/11/types-of-support.html>>.
- Beer, Ferdinand P. , John T. Dewolf and David F. Mazurek. Mechanics of materials. New York: McGraw-Hill companies, 2009.
- BKI. "Rules for Hull (Volume II)." Jakarta: Biro Klasifikasi Indonesia Office, 2018.
- Clearseas. Double Hulls. 17 September 2018. 20 June 2019 <<https://clearseas.org/en/blog/double-hulls/>>.
- Geography, Transport. Tanker Sizes and Classes. 2019. 25 June 2019 <transportgeography.org/?page_id=6877>.
- Harris, Sabril and Jorgen Amdahl. A. Analysis of Ship – Ship Collision Damage Accounting for Bow and Side Deformation Interaction (2013).
- Hasanudin, Wasis D Aryawan and Achmad Zubaydi. Dynamics Finite Element for Ship Damage Collision Analysis (2016).
- Hibeller, R C. "Mechanics of Material (Third Edition)." New Jersey: Prentice-Hall, 1997.
- Hoque, K N. Analysis of Structural Discontinuities in Ship Hull using Finite Element Method Thesis (2016).
- Insight, Marine. Different Types of Tankers : Extensive Classification of Tanker Ship. 8 October 2017. 3 April 2019 <<https://www.marineinsight.com/types-of-ships/different-types-of-tankers-extensive-classification-of-tanker-ships/>>.
- International Maritime Organization (IMO). "International Convention for the Safety of Life at Sea, 1974, as amended (SOLAS 1974)." London: IMO Publishing, 2009.
- Kelly, P A. "Mechanics Lecture Notes." 2015. March 2019 <<http://homepages.engineering.auckland.ac.nz/~pkel015/SolidMechanicsBooks/index.html>>.
- Kim, Ji Young. Analysis of Bow Crushing in Ship Collision Thesis (1996).
- Kumparan. 136 Ribu Ton Minyak Tumpah, Kecelakaan Kapal Tanker Iran Merusak Laut. 16 January 2018. 26 June 2019 <<https://kumparan.com/@kumparannews/136-ribu-ton-minyak-tumpah-kecelakaan-kapal-tanker-iran-merusak-laut>>.
- Logan, Daryl L. A First Course in The Finite Element Method. Stamford: Global Engineering, 2011.
- Mc Dermott, J, et al. Tanker Structural Analysis for Minor Collision (1974).
- Meriam, J L and L G Kraige. Engineering Mechanics Statics (Seventh Edition). California: Wiley, 1986.
- Morrel, Robert W. Oil Tankers (Second Edition). New York: Simmons-Boardman Publishing Company, 1931.
- Popov, E P. Mechanics of Material (Second Edition). New Jersey: Prentice-Hall, 1978.
- Pytel, Andrew and Ferdinand L Singer. Strength of Material (Fourth Edition). New York: Harpercollins College Div, 1995.
- Setyawan, Dony and Teguh Putranto. The Determination of Collision Bulkhead Position by Using Consideration of Ship Grounding Analysis (2018).
- Timoshenko, S. Strength of Material Second Edition. New York: D. Van Nostrad Company Inc., 1980.

- VOA. Tanker Iran yang Terbakar Meledak di Laut China Timur. 14 January 2018. <voaindonesia.com/amp/4207152>.
- Weaver, JR William and Paul R Johnston. Finite Element Analysis (Terjemahan). Bandung: PT Eresco, 1993.
- Wikipedia. Bow (Ship). 29 March 2019. June 2019 <[https://en.wikipedia.org/wiki/Bow_\(ship\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Bow_(ship))>.
- . Rigid Body. 8 March 2019. June 2019 <https://en.wikipedia.org/wiki/Rigid_body>.
- Zhang, Shengming , et al. D. Ship Collision Damage Assessment and Validation with Experiments and Numerical Simulations (2018).
- Zhang, Shengming. "The Mechanics of Ship Collisions." Thesis (1999).

LAMPIRAN

Lampiran A Hasil Tegangan Skenario 1 (Tubrukan di Antara *Web Frame*)

Lampiran B Hasil Tegangan Skenario 2 (Tubrukan di *Web Frame*)

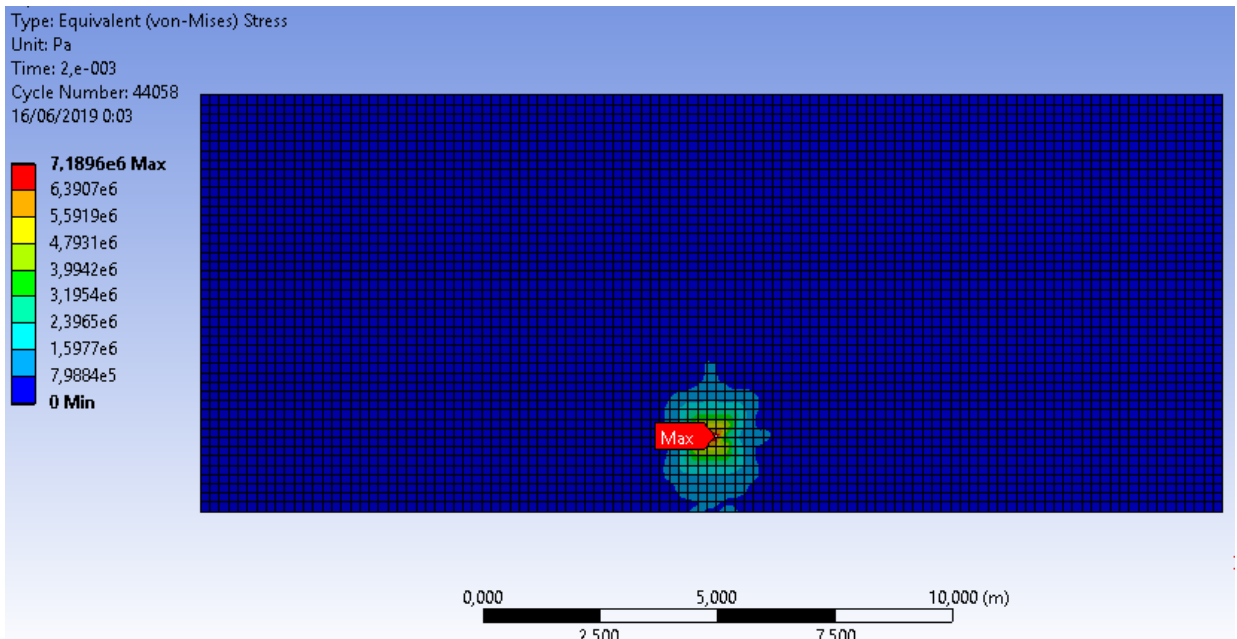
Lampiran C *Error* pada Skenario 3 (Tubrukan di *Bulkhead*)

Lampiran D Perbandingan Energi Kinetik dan Tegangan *Von Mises* dengan Massa Haluan yang Berbeda

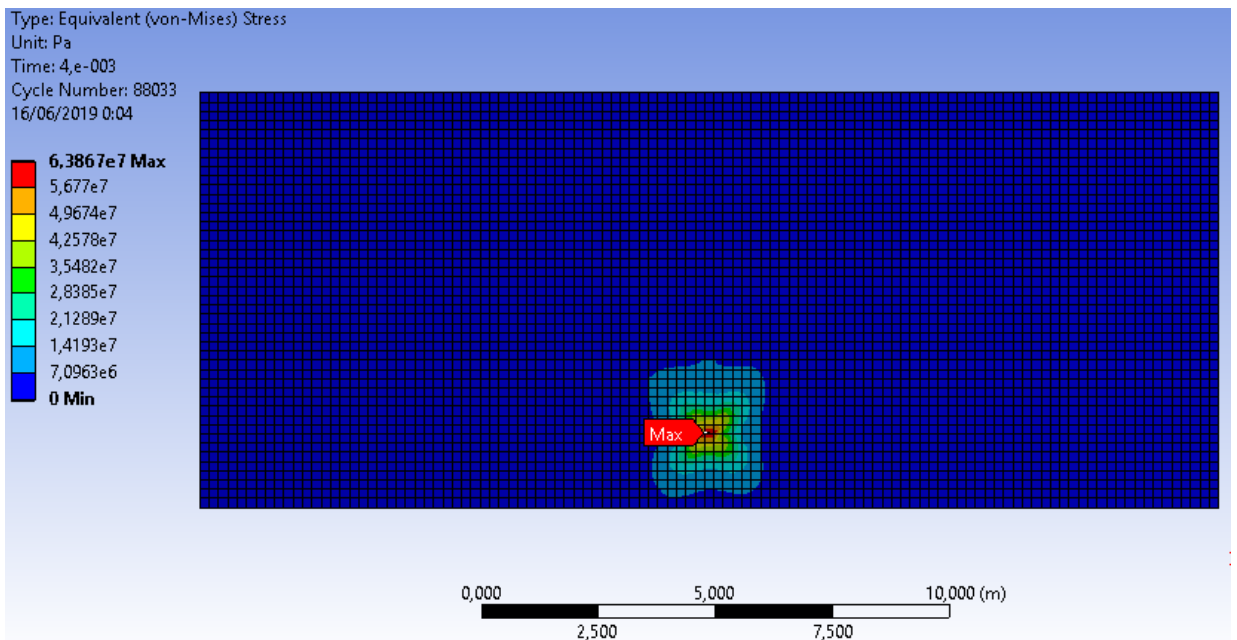
LAMPIRAN A
HASIL TEGANGAN SKENARIO 1 (TUBRUKAN DI ANTARA
***WEB FRAME*)**

A. Tegangan Von Mises Pelat *Contact*

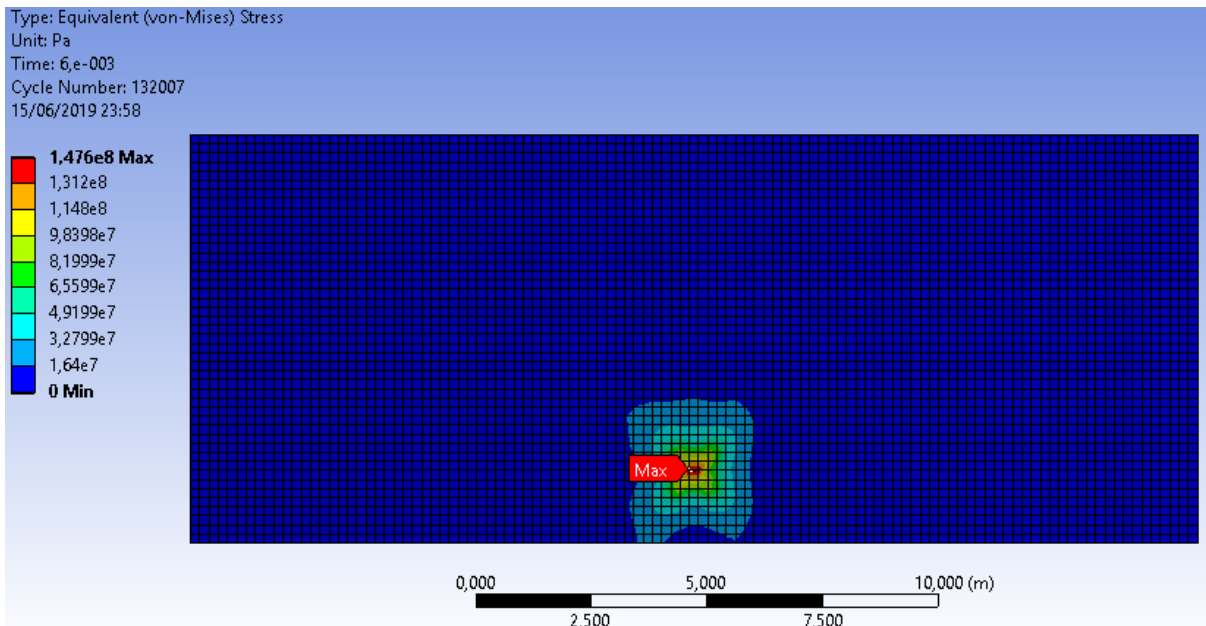
1. Waktu = 0,002 detik



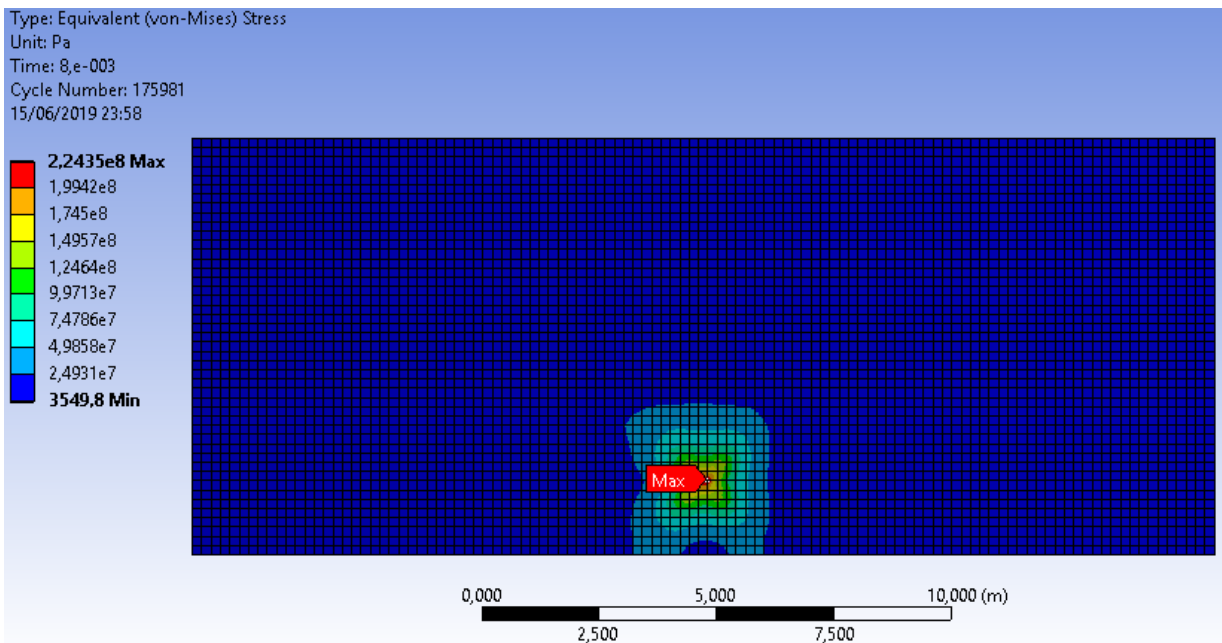
2. Waktu = 0,004 detik



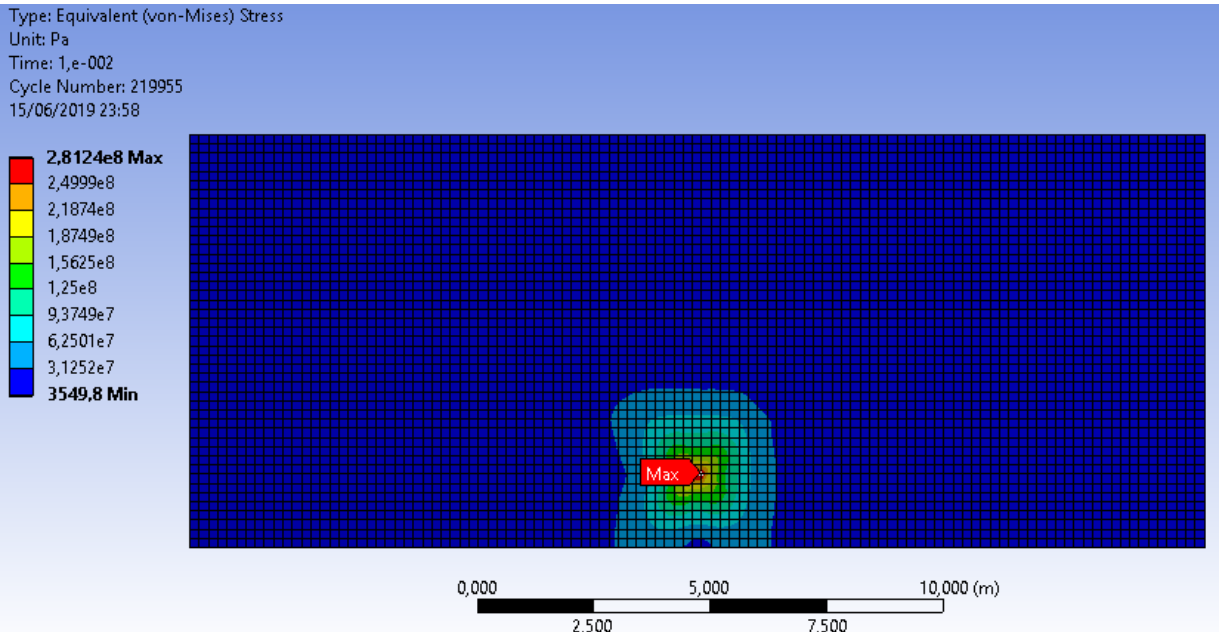
3. Waktu = 0,006 detik



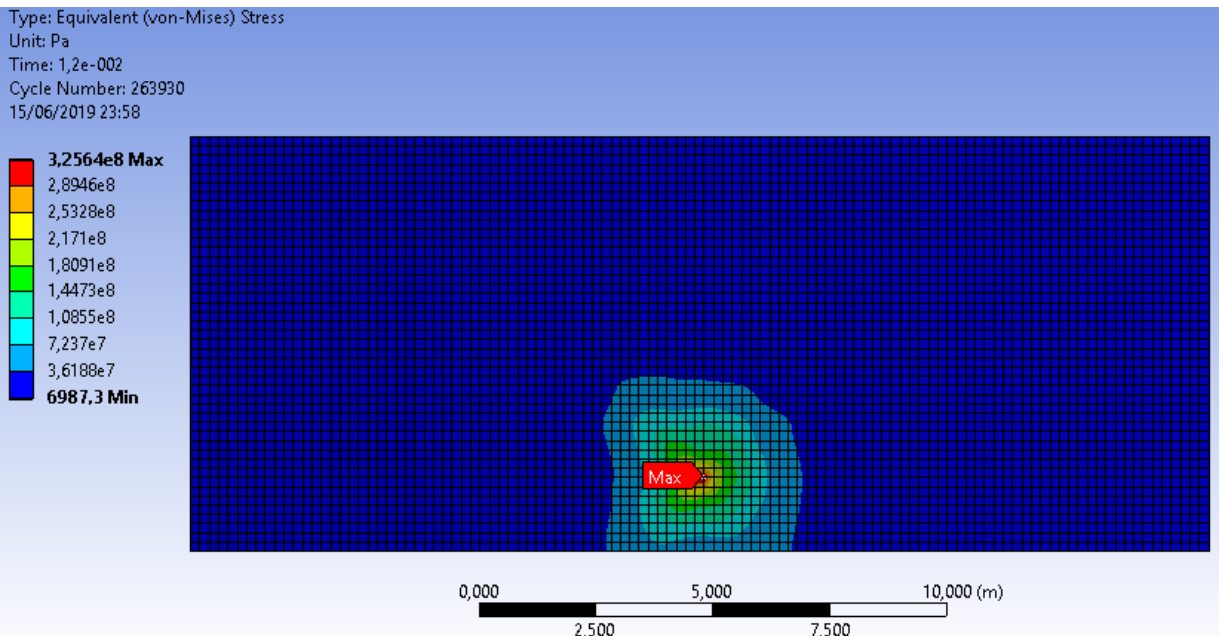
4. Waktu = 0,008 detik



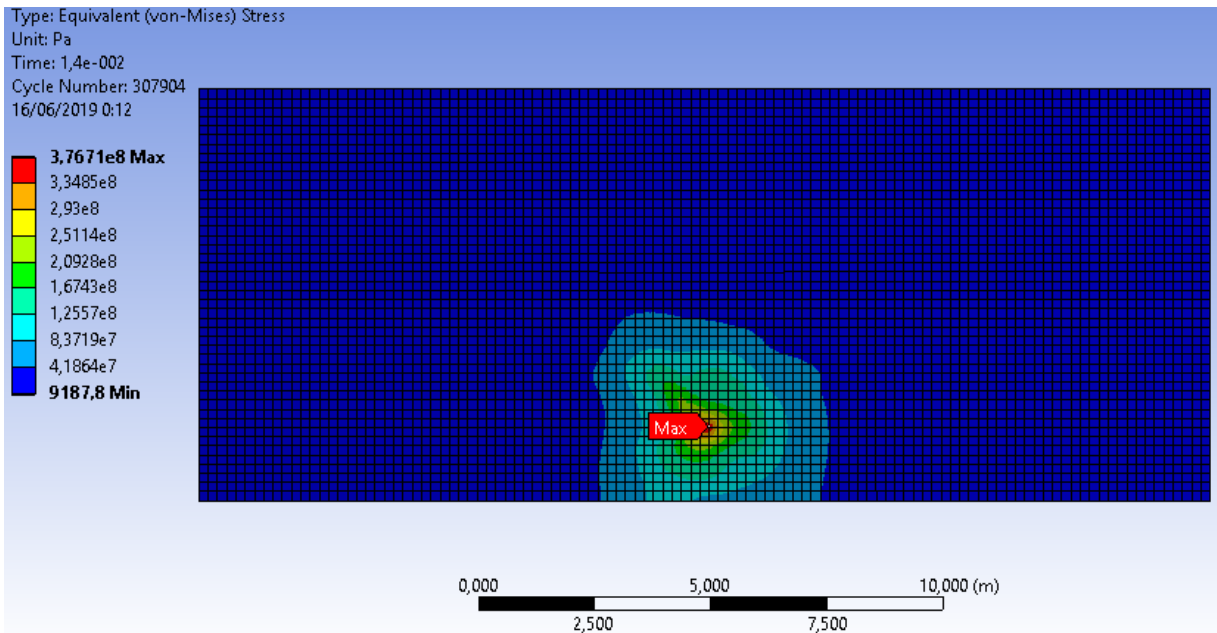
5. Waktu = 0,01 detik



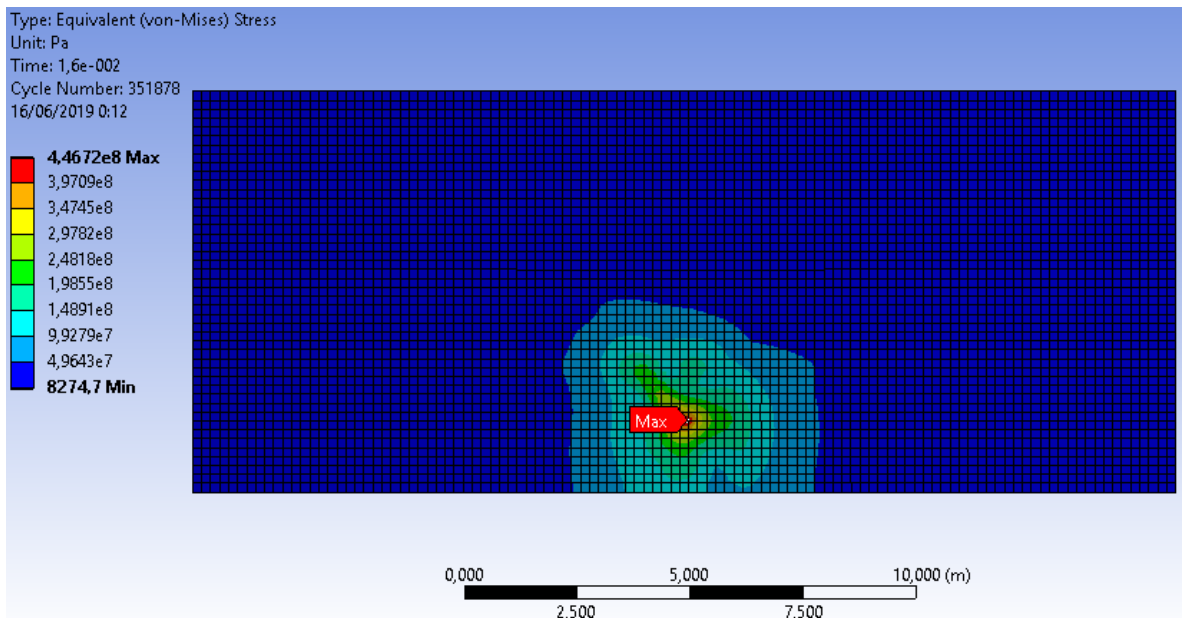
6. Waktu = 0,012 detik



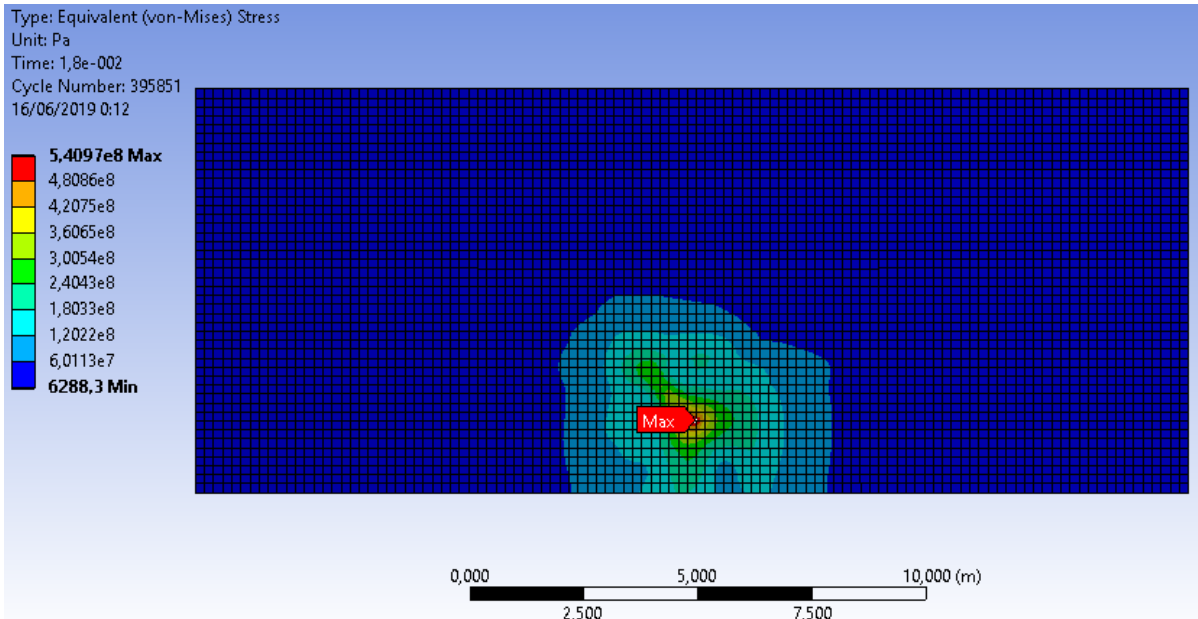
7. Waktu = 0,014 detik



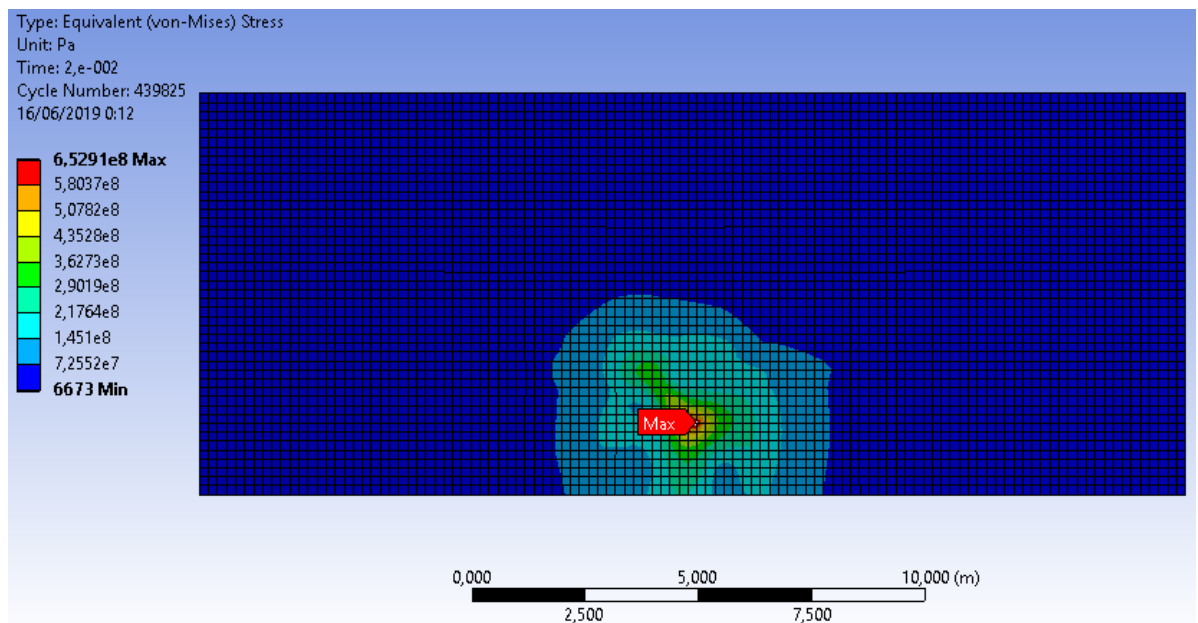
8. Waktu = 0,016 detik



9. Waktu = 0,018 detik

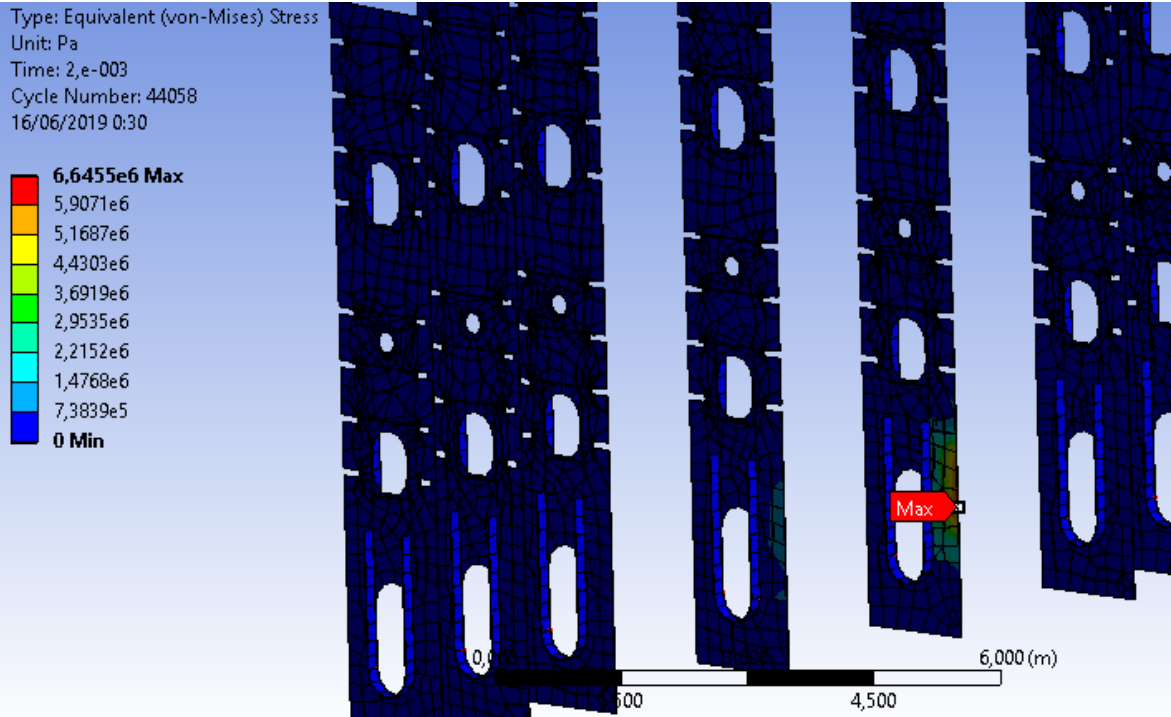


10. Waktu = 0,02 detik

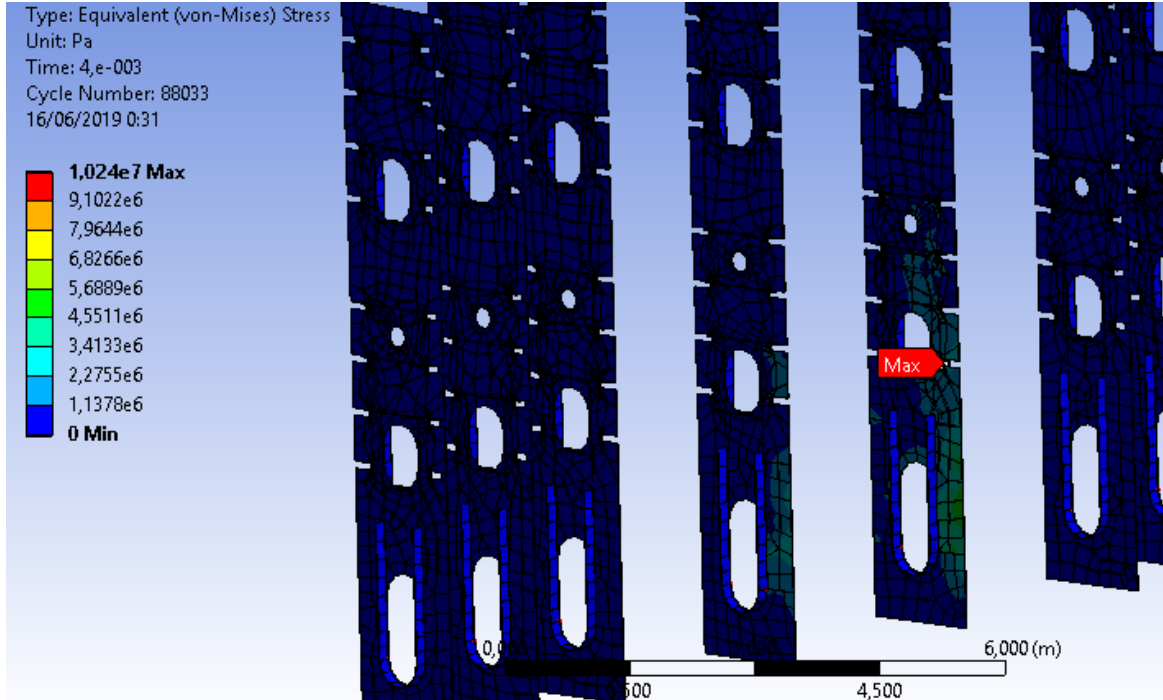


B. Tegangan Von Mises pada Web Frames

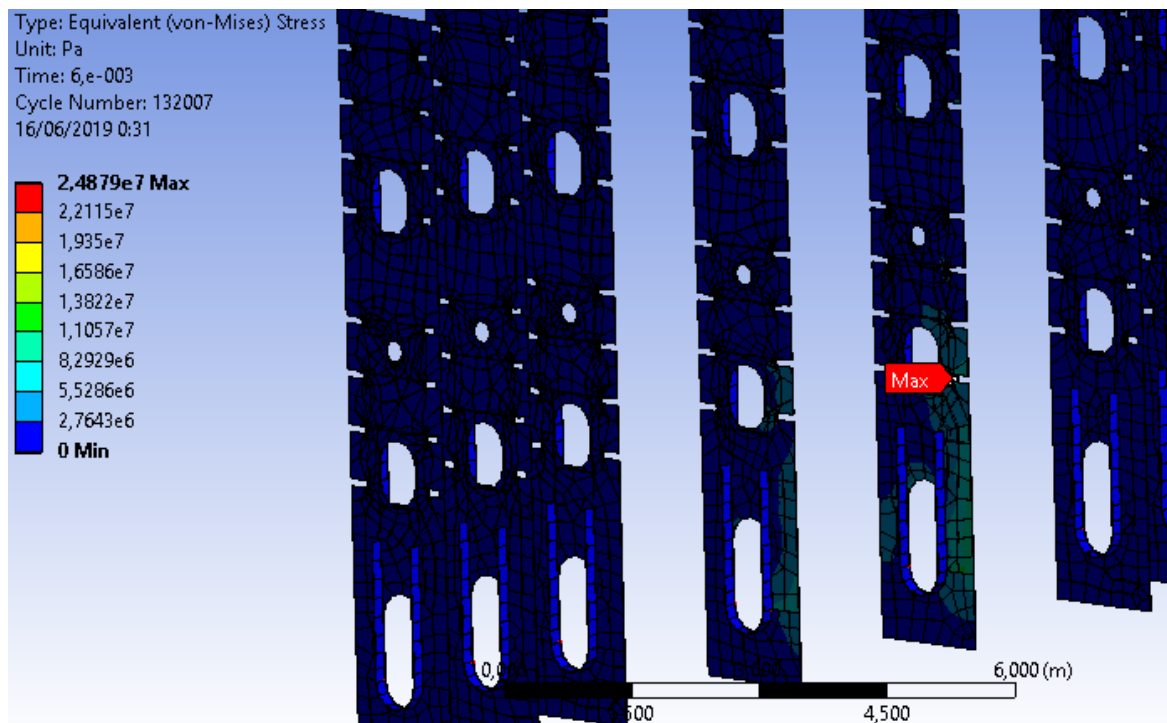
1. Waktu = 0,002 detik



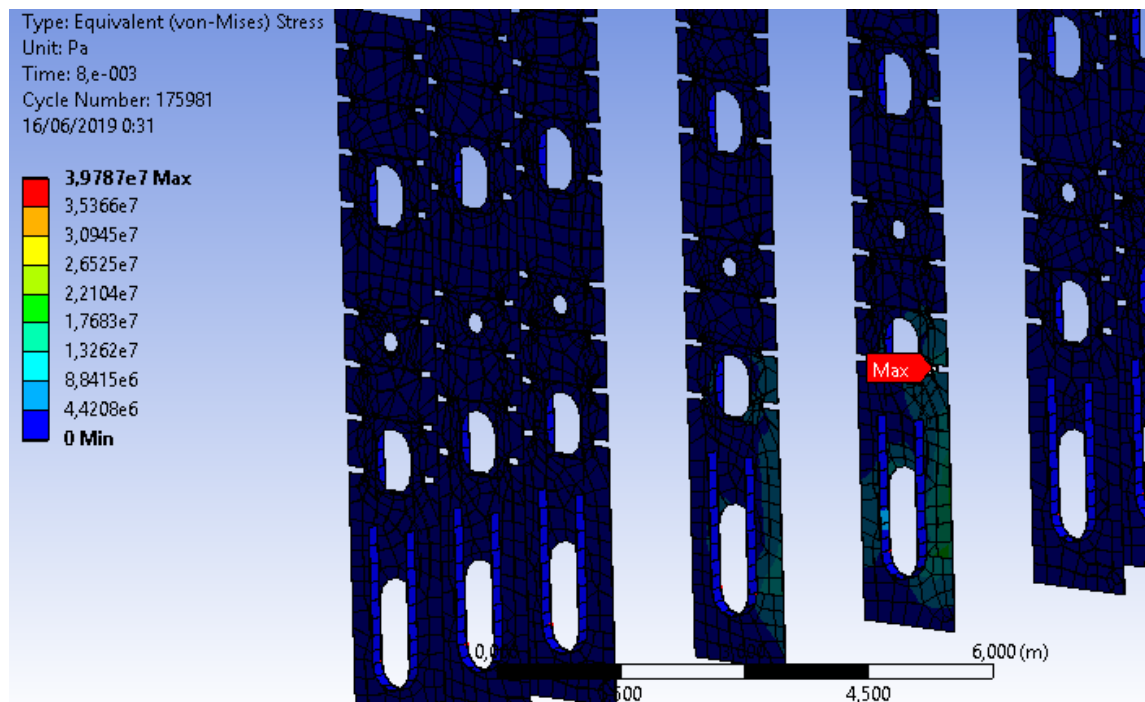
2. Waktu = 0,004 detik



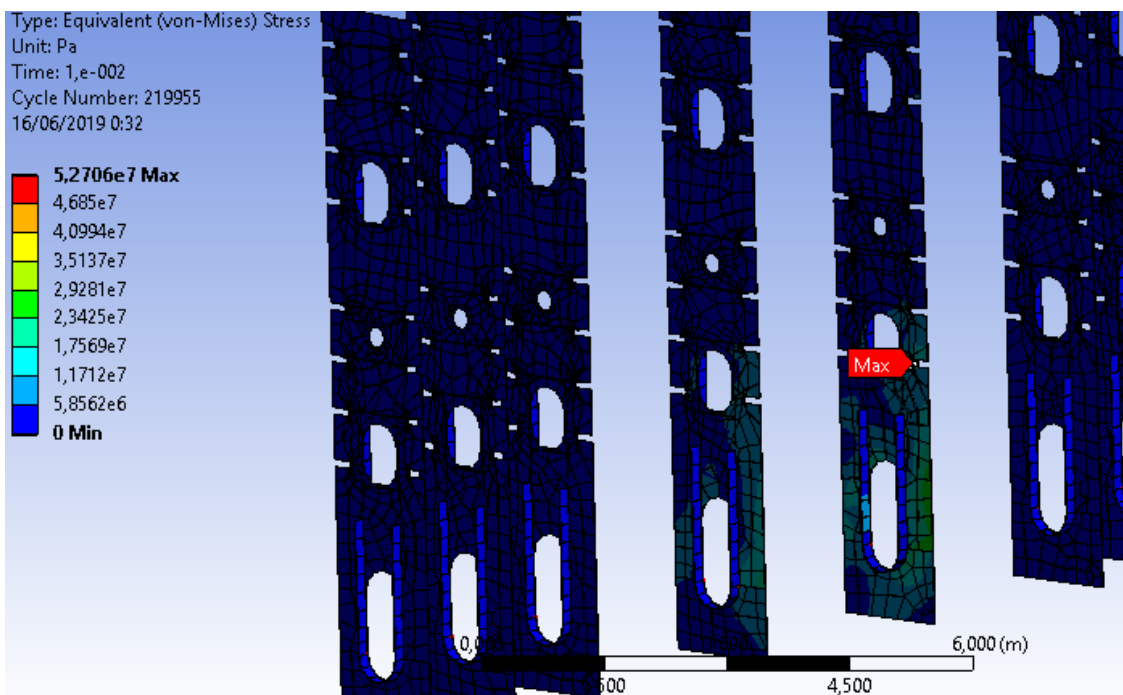
3. Waktu = 0,006 detik



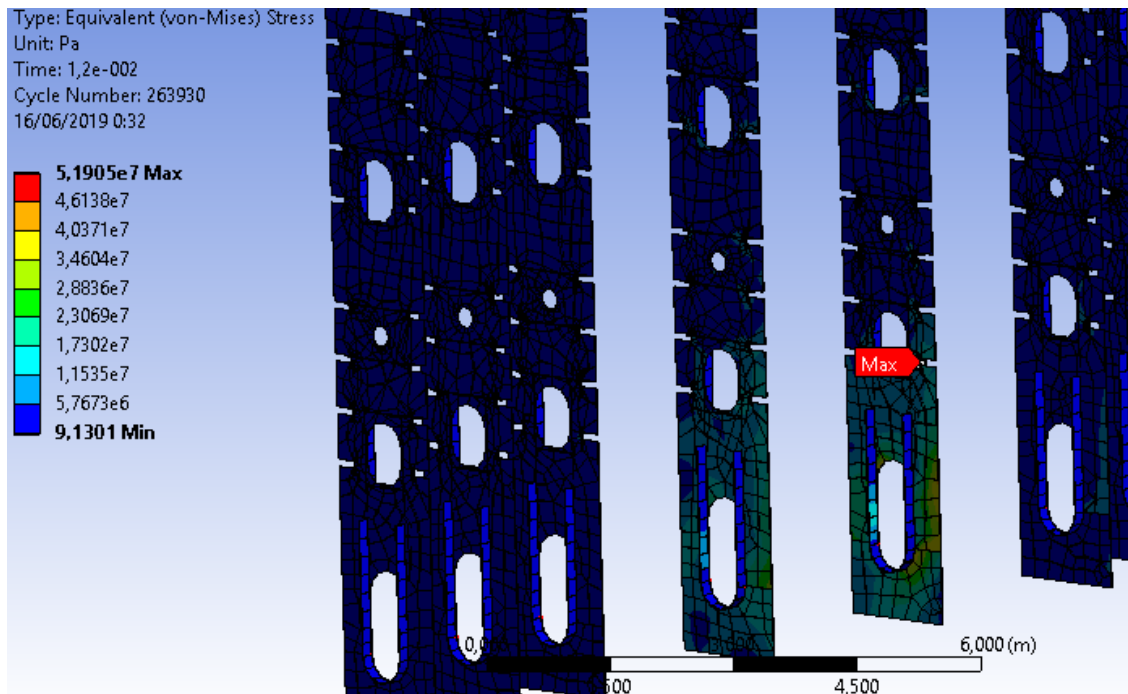
4. Waktu = 0,008 detik



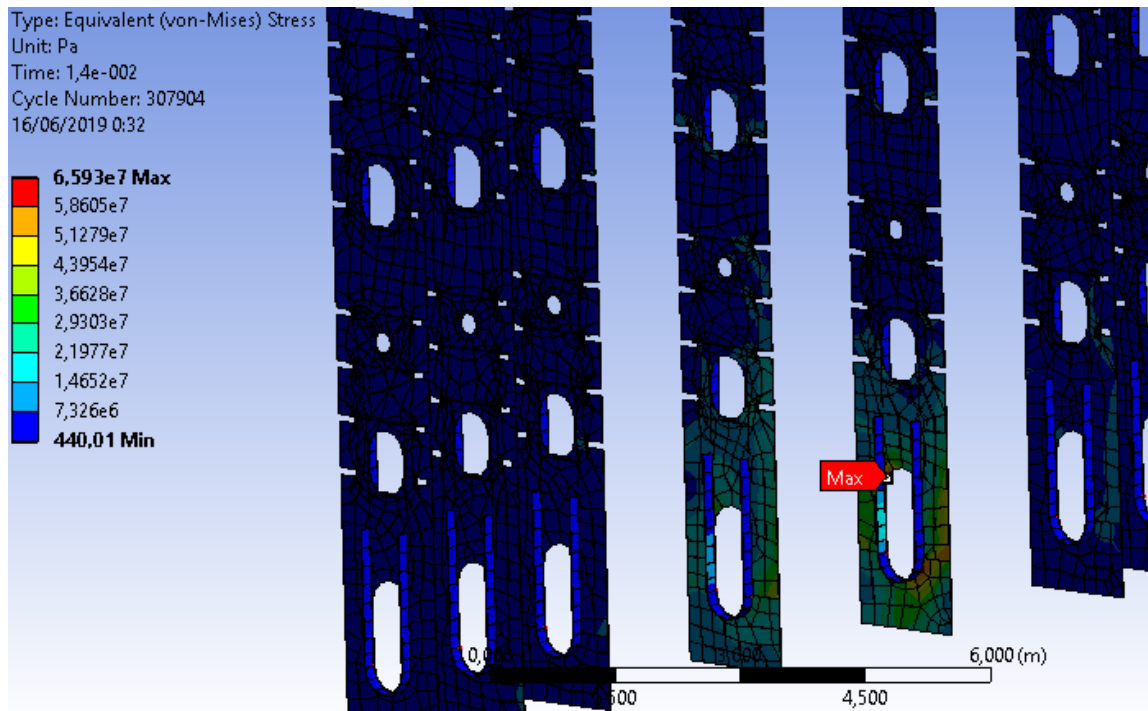
5. Waktu = 0,01 detik



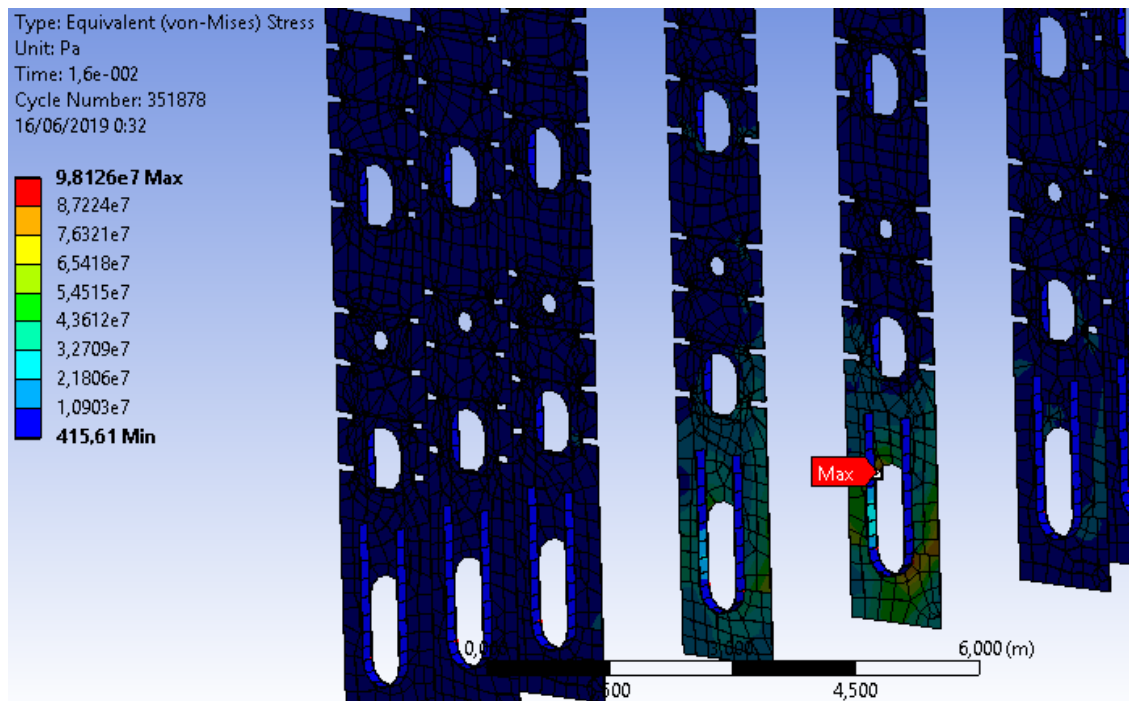
6. Waktu = 0,012 detik



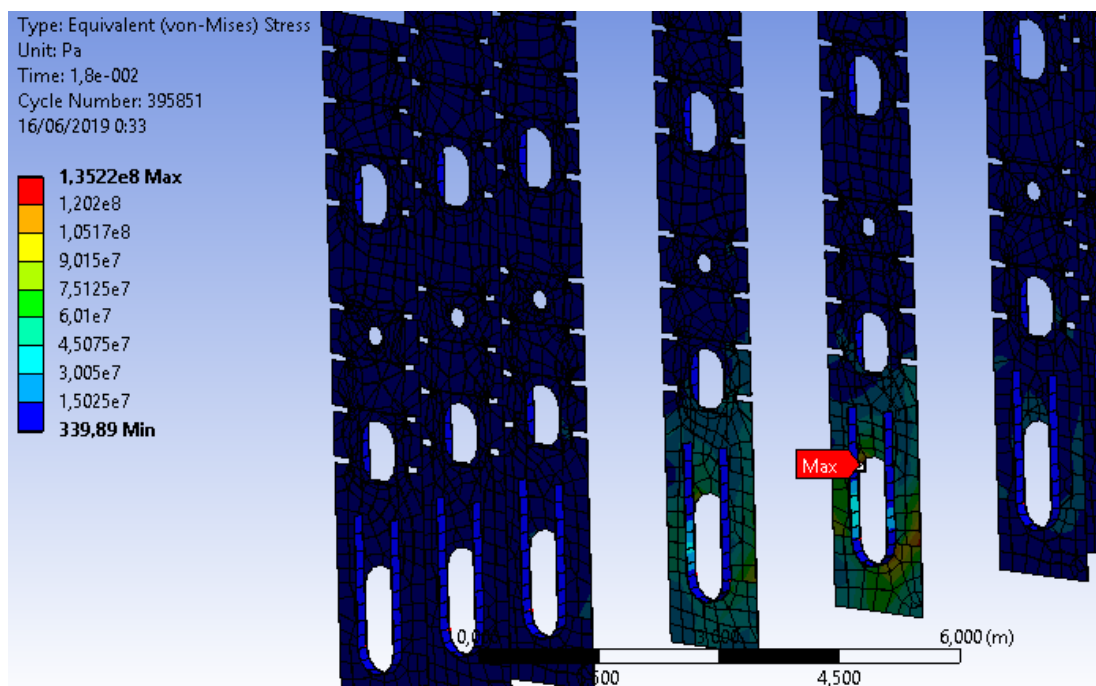
7. Waktu = 0,014 detik



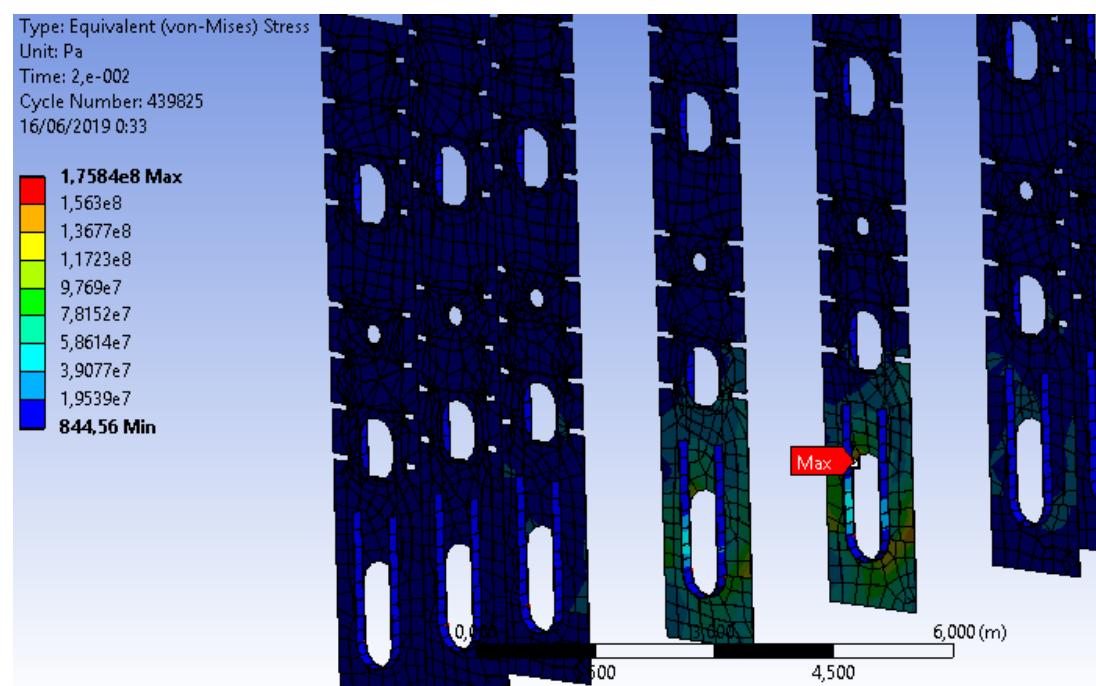
8. Waktu = 0,016 detik



9. Waktu = 0,018 detik

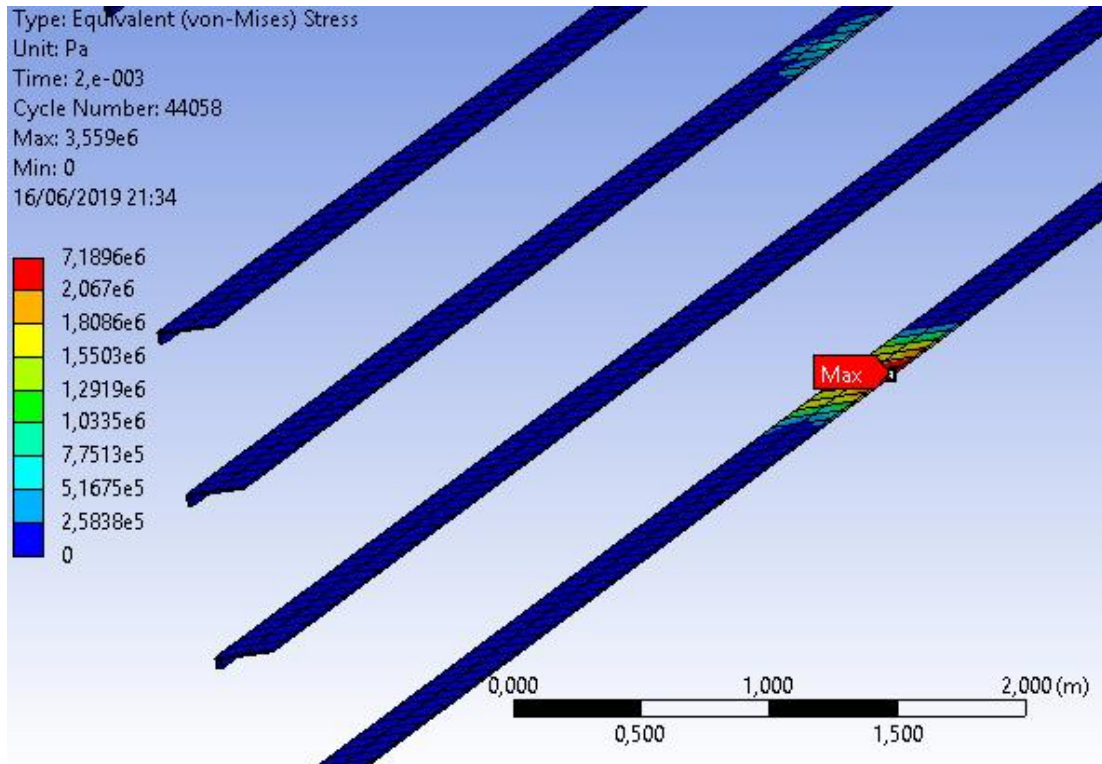


10. Waktu = 0,02 detik

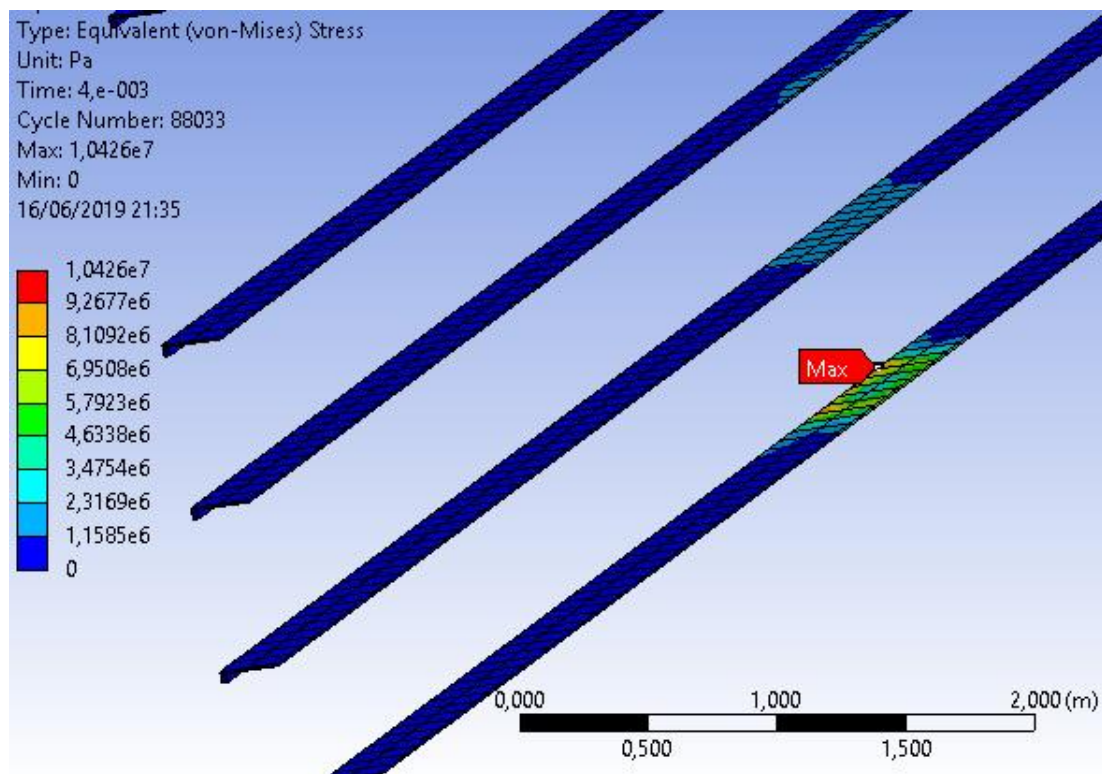


C. Tegangan Von Mises pada Longitudinal

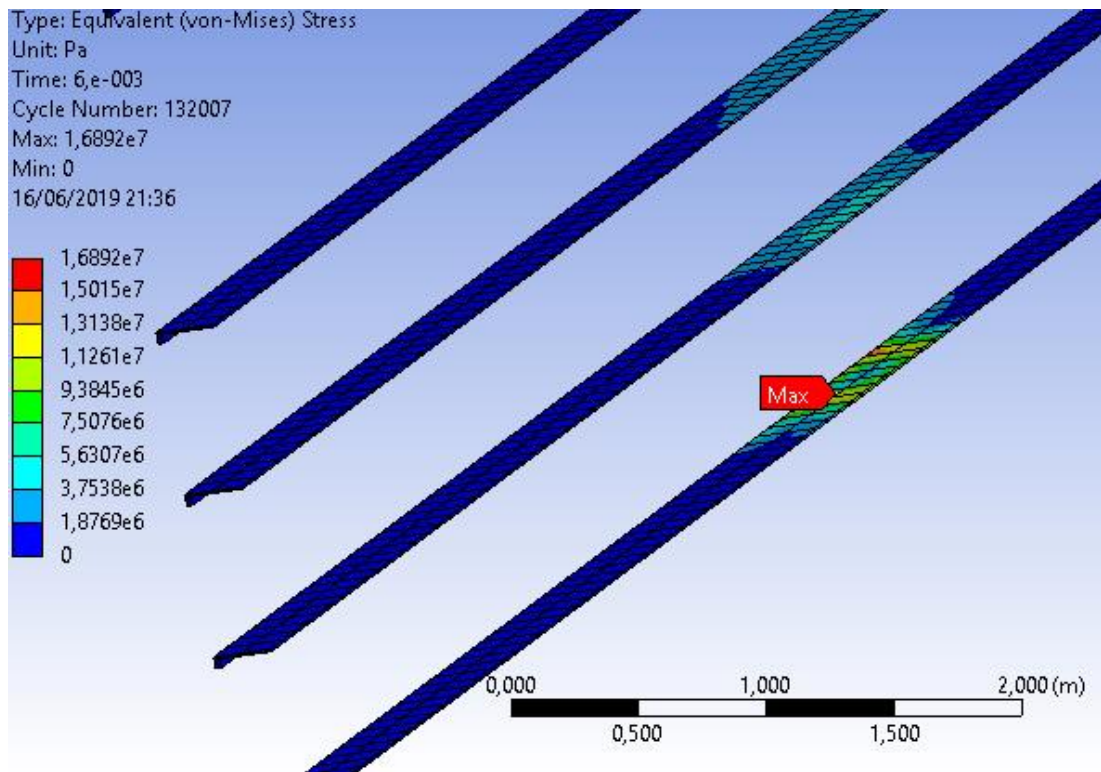
1. Waktu = 0,002 detik



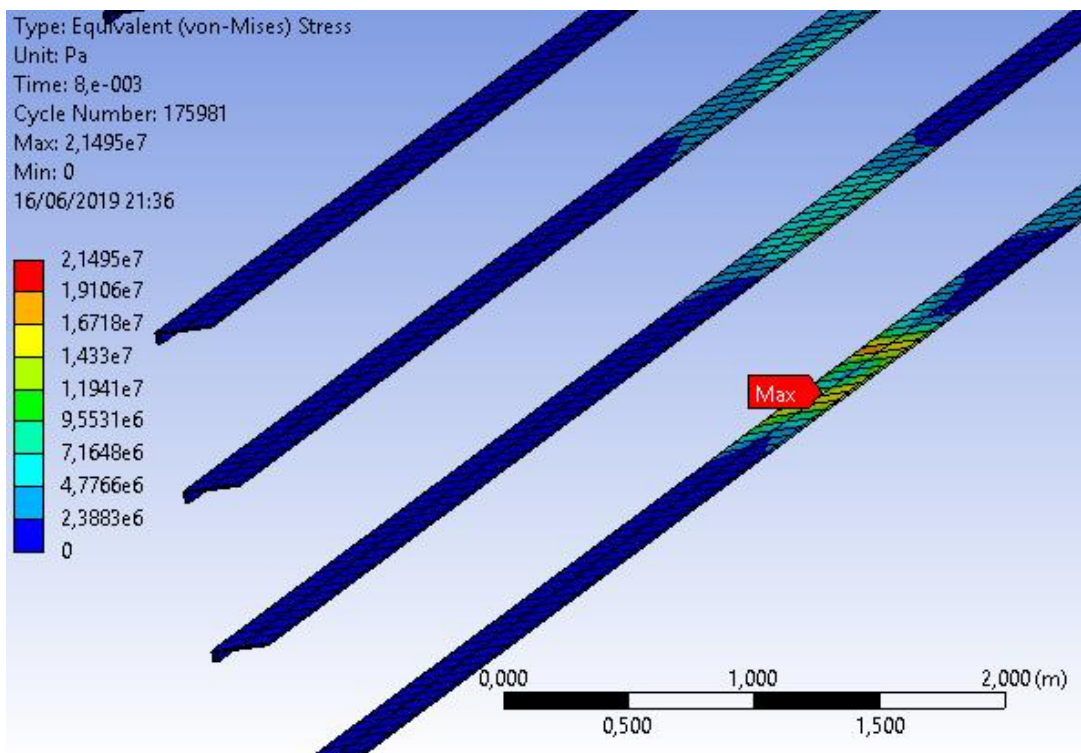
2. Waktu = 0,004 detik



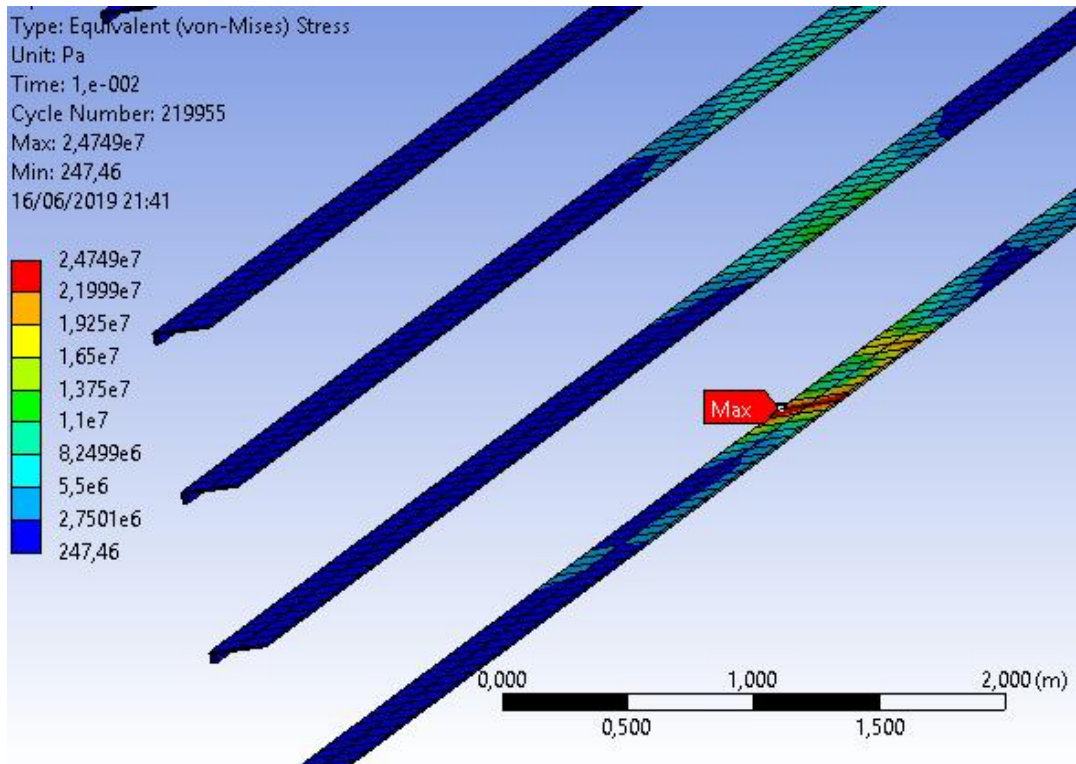
3. Waktu = 0,006 detik



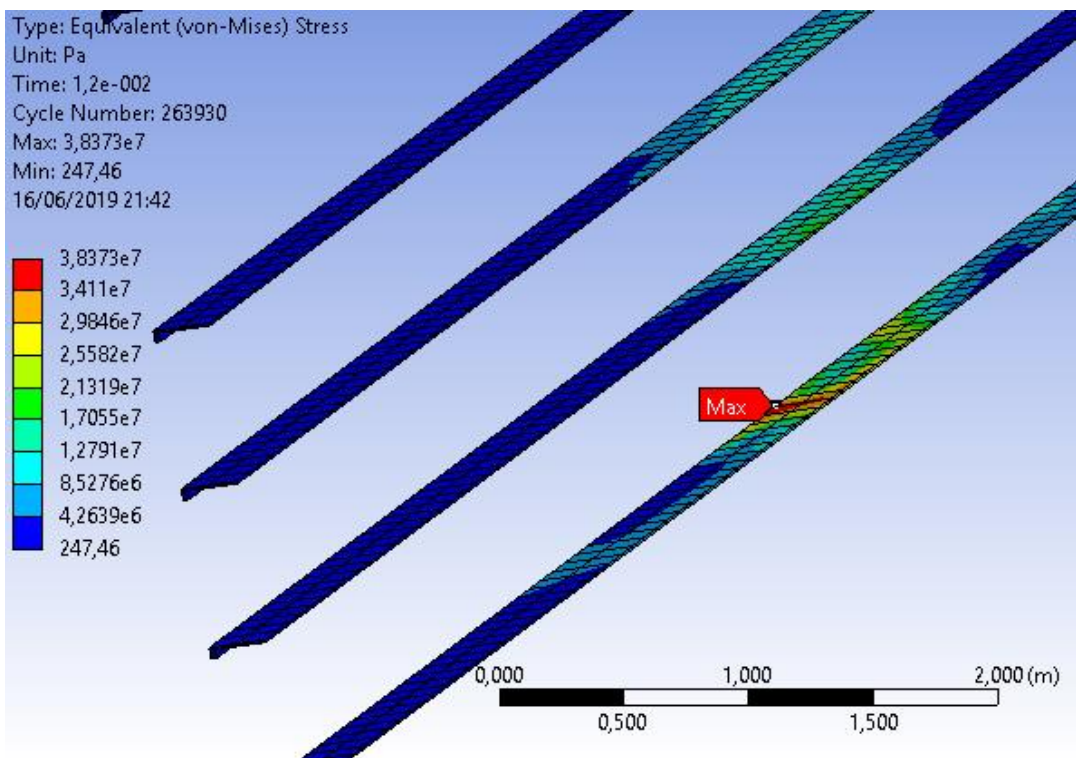
4. Waktu = 0,008 detik



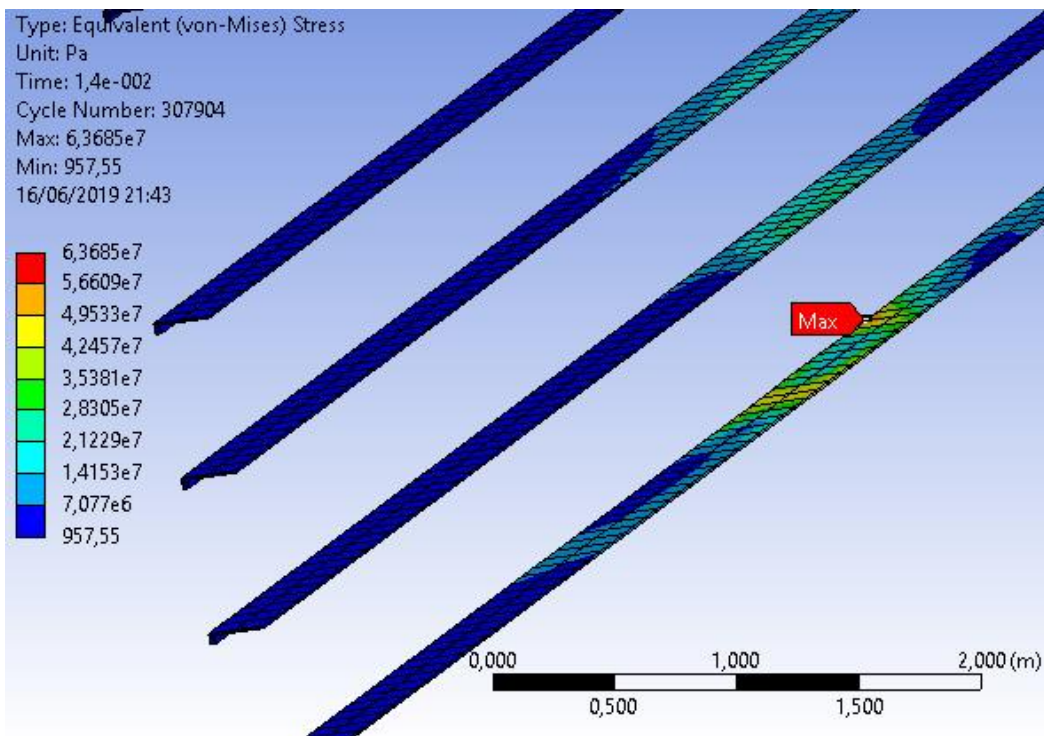
5. Waktu = 0,01 detik



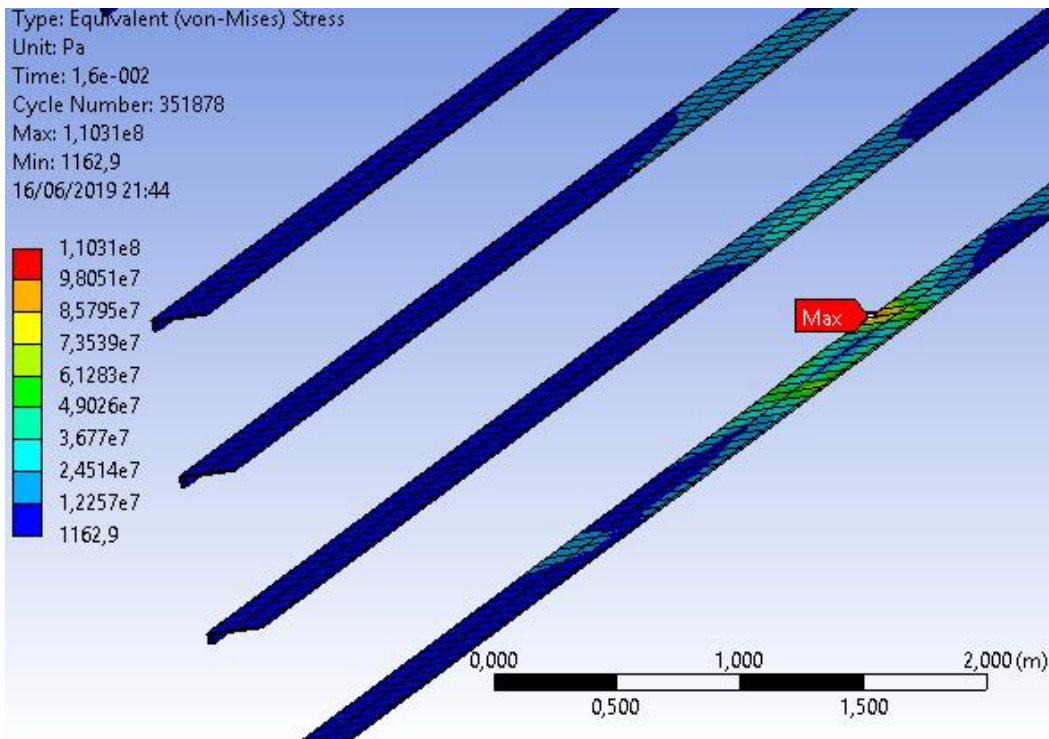
6. Waktu = 0,012 detik



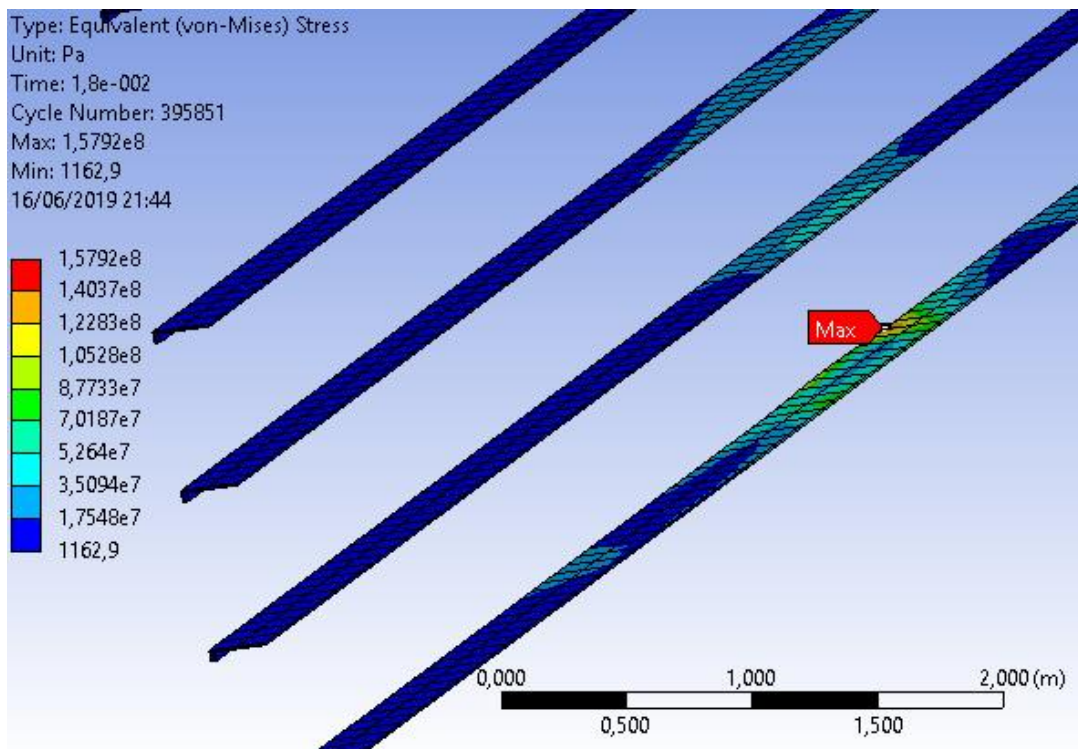
7. Waktu = 0,014 detik



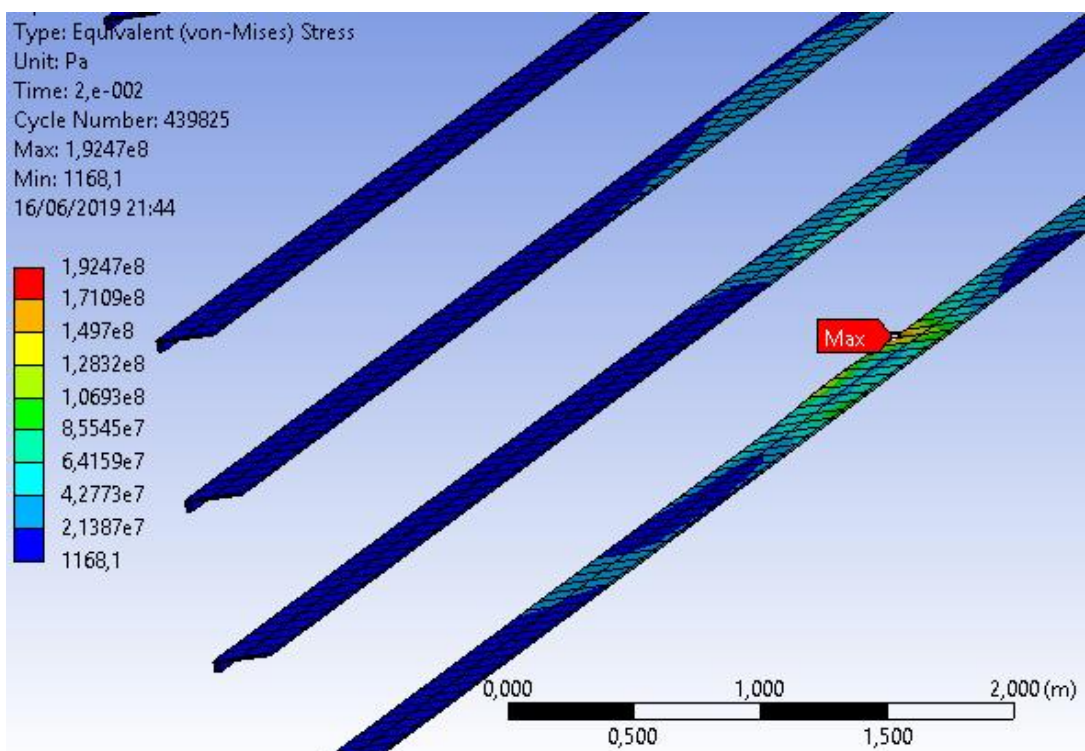
8. Waktu = 0,016 detik



9. Waktu = 0,018 detik



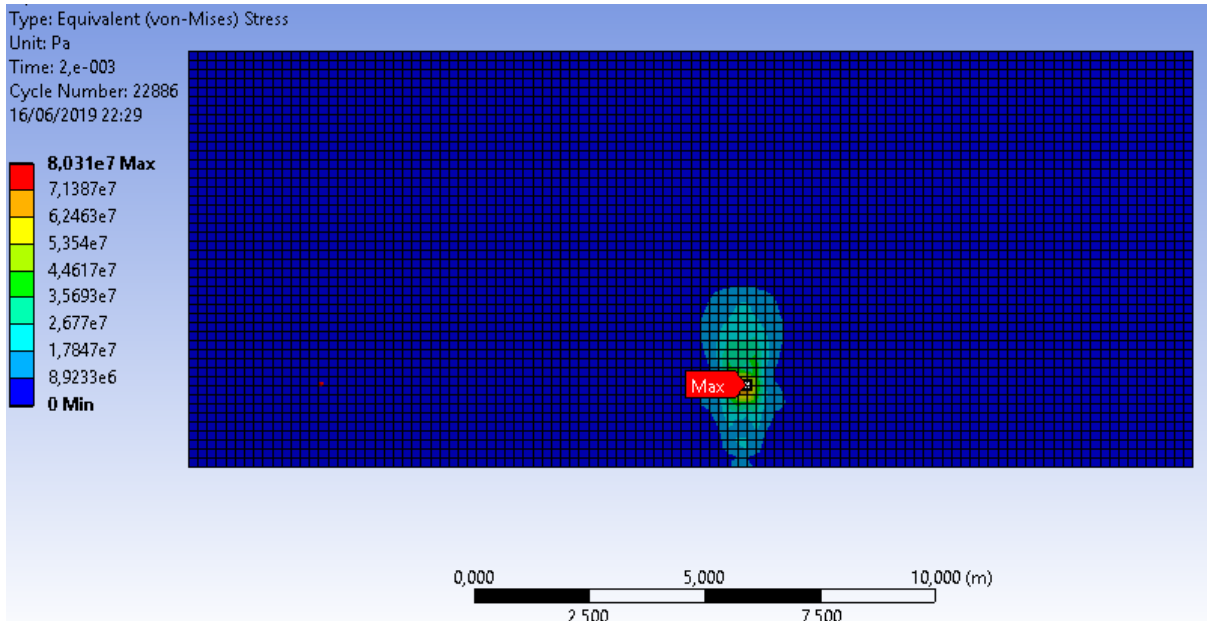
10. Waktu = 0,02 detik



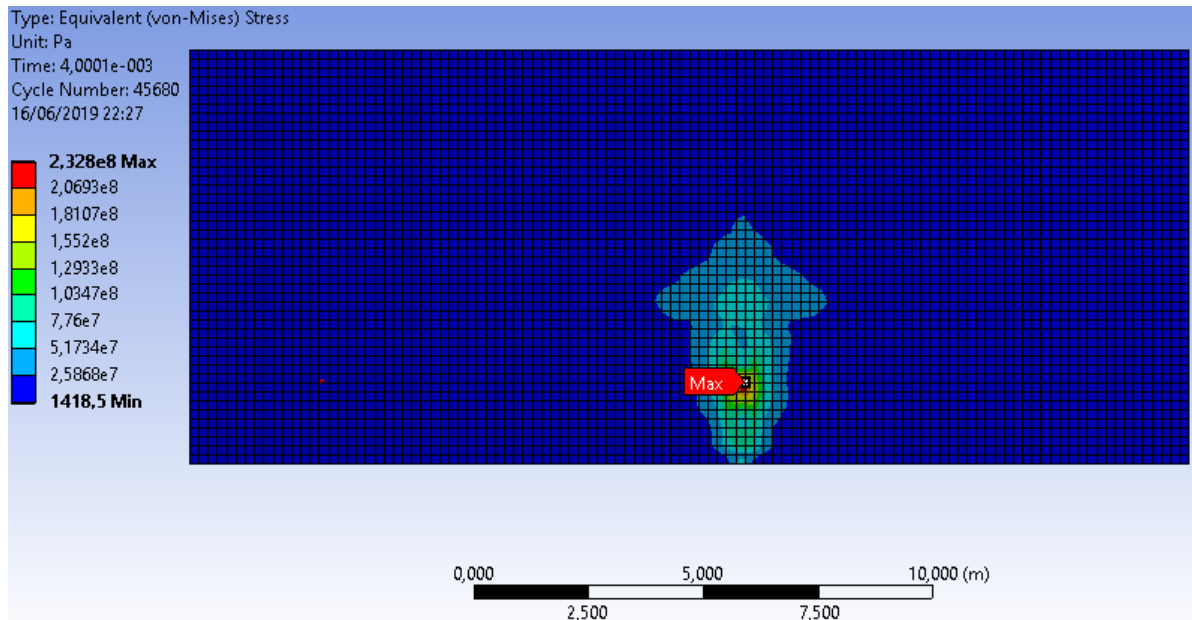
LAMPIRAN B
HASIL TEGANGAN SKENARIO 1 (TUBRUKAN DI *WEB*
***FRAME*)**

A. Tegangan Von Mises Pelat *Contact*

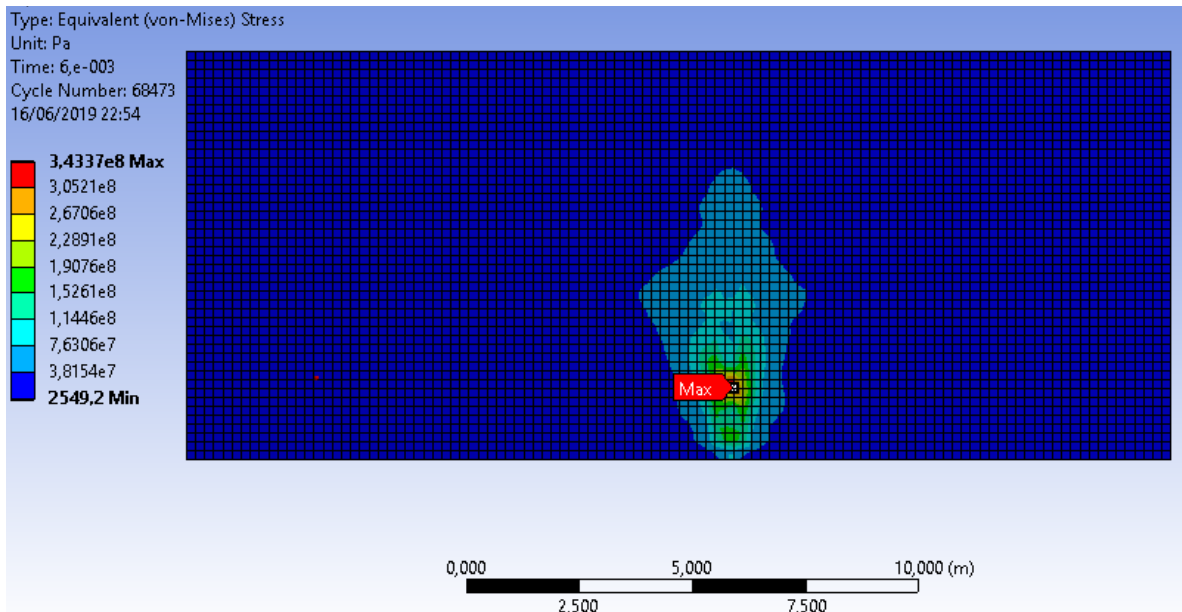
1. Waktu = 0,002 detik



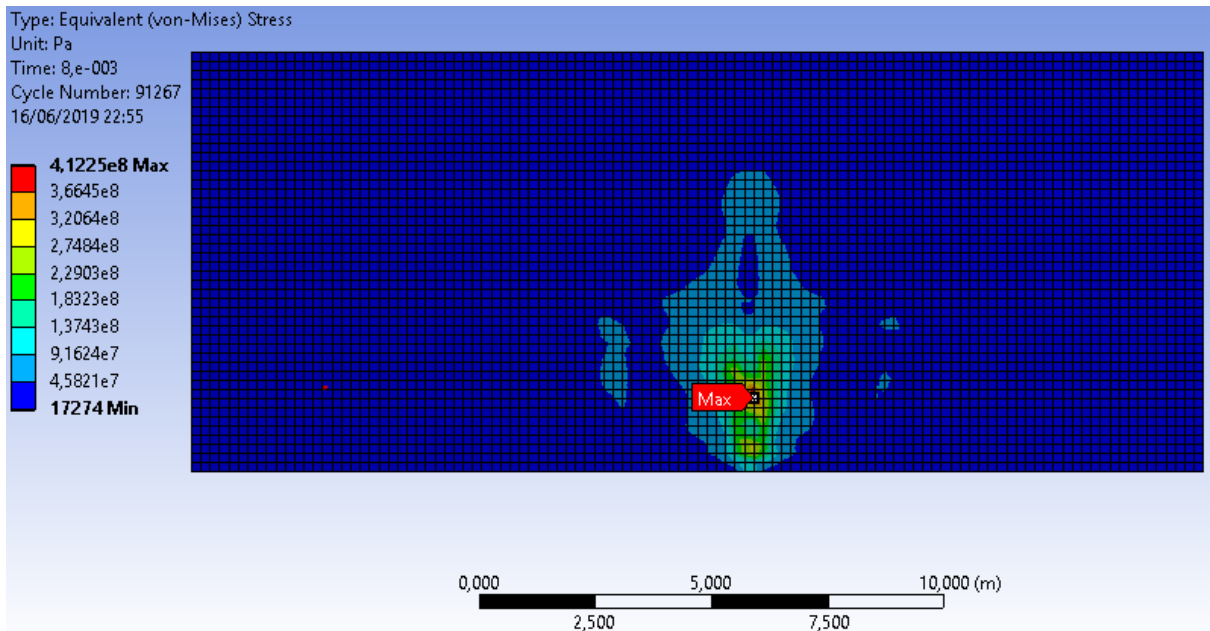
2. Waktu = 0,004 detik



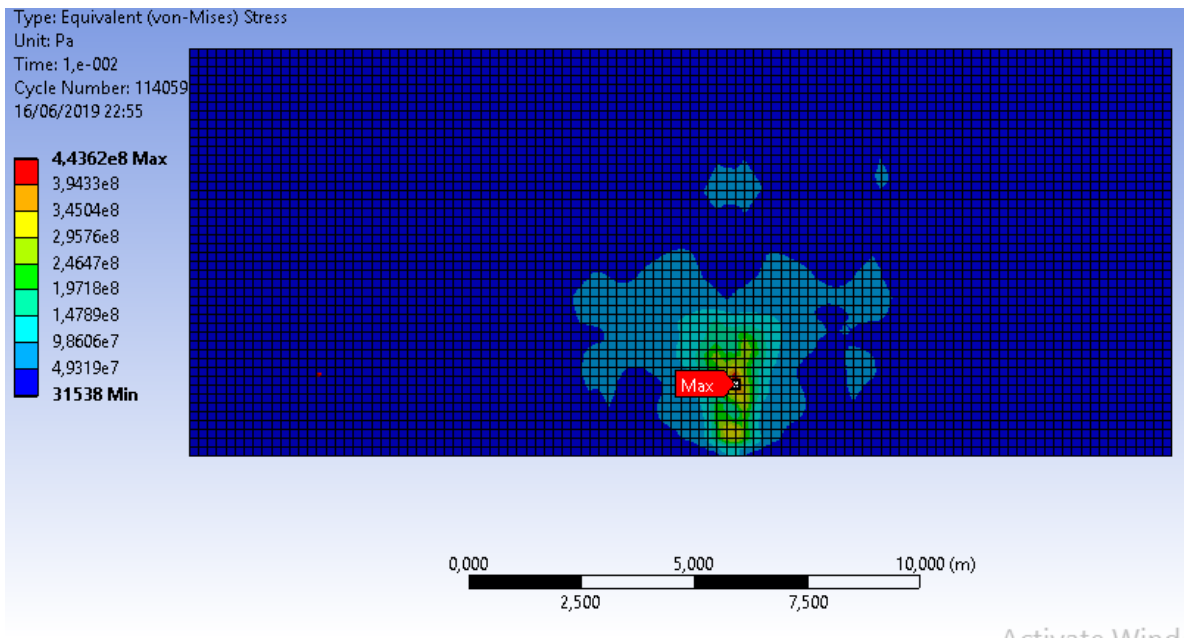
3. Waktu = 0,006 detik



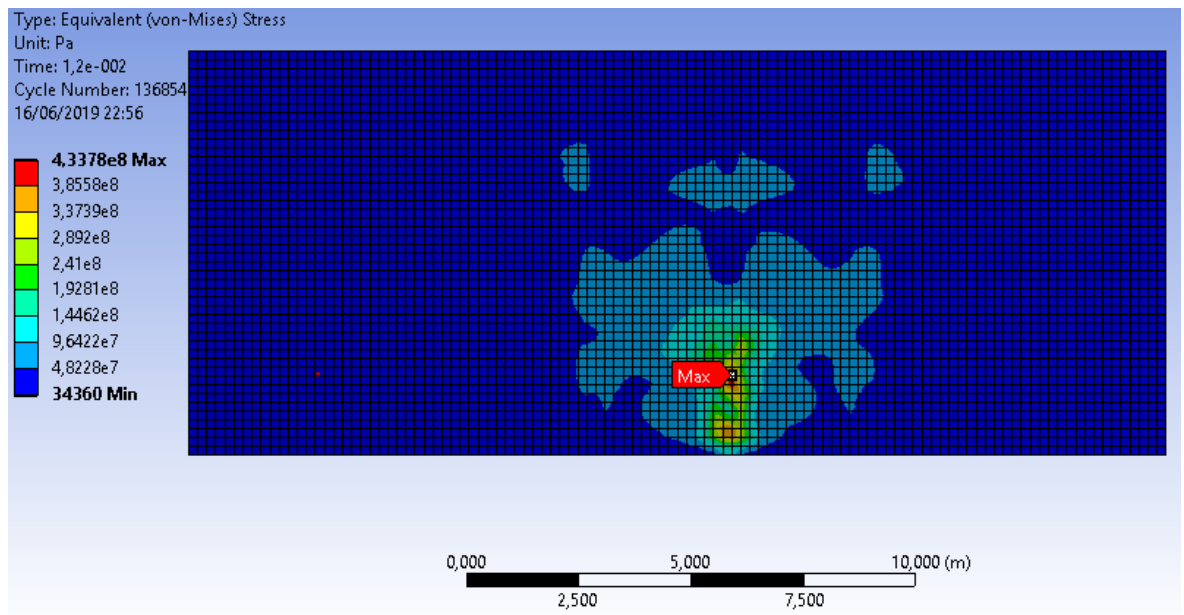
4. Waktu = 0,008 detik



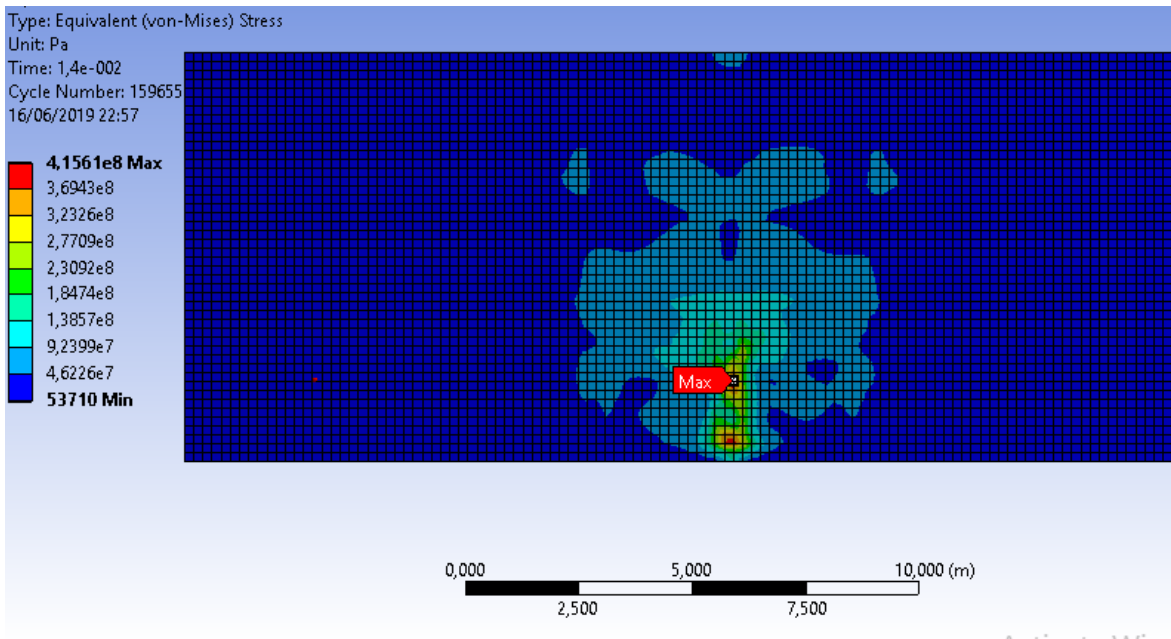
5. Waktu = 0,01 detik



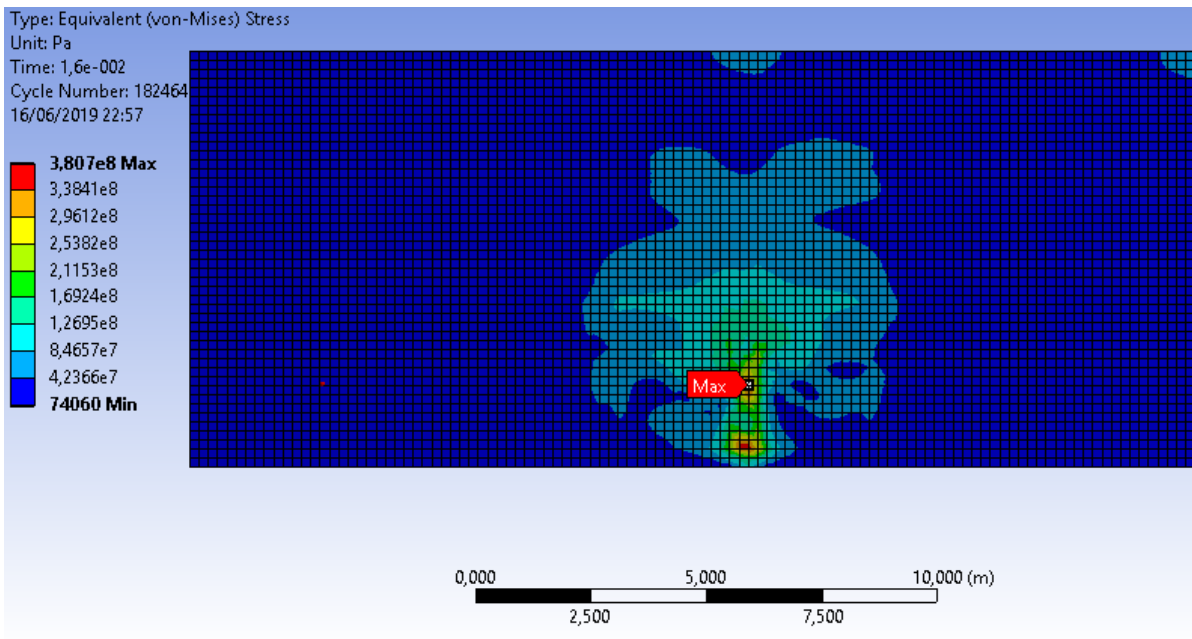
6. Waktu = 0,012 detik



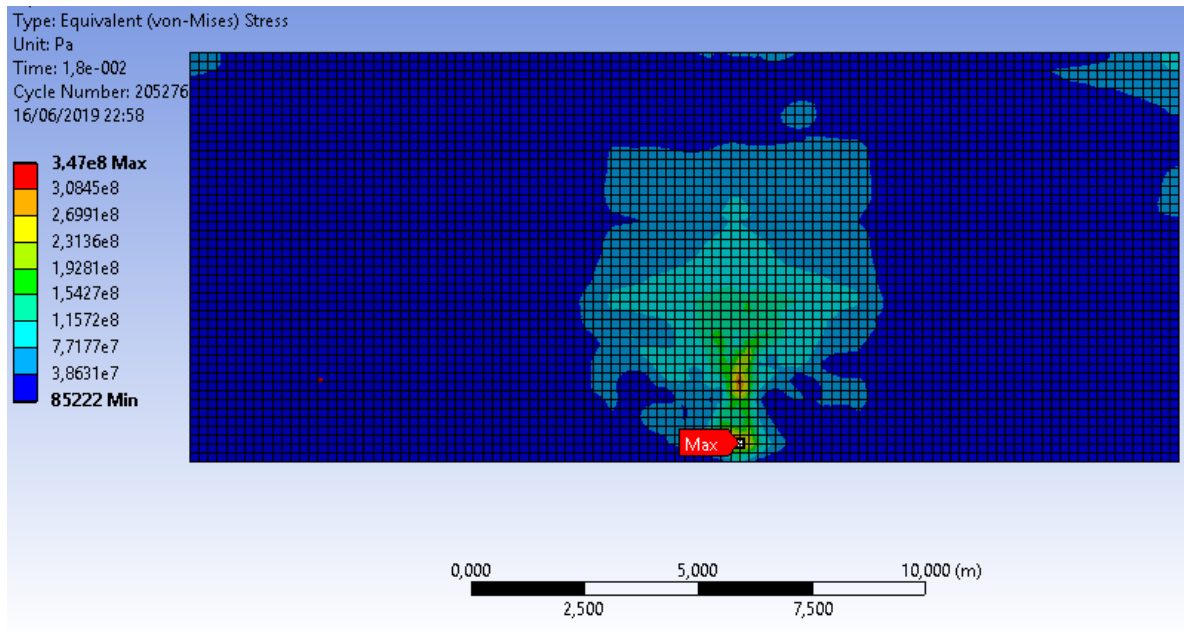
7. Waktu = 0,014 detik



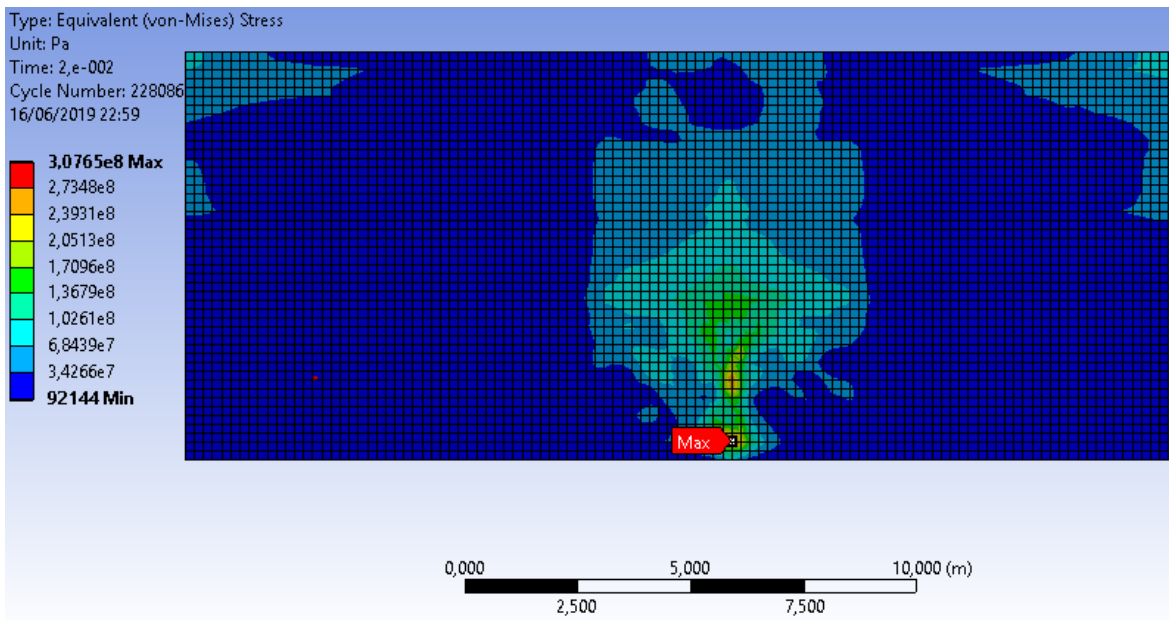
8. Waktu = 0,016 detik



9. Waktu = 0,018 detik

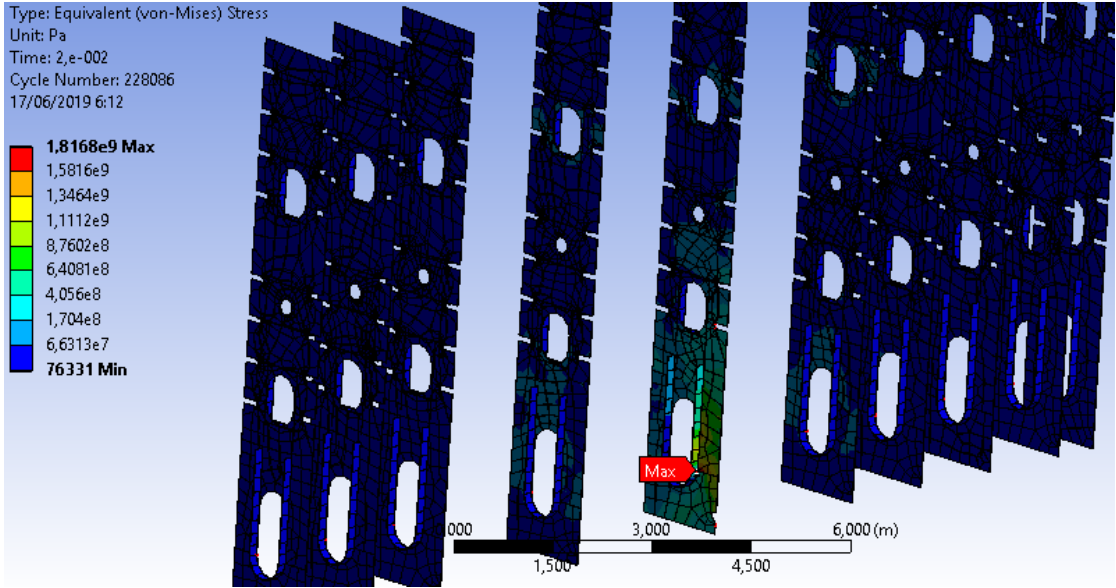


10. Waktu = 0,02 detik

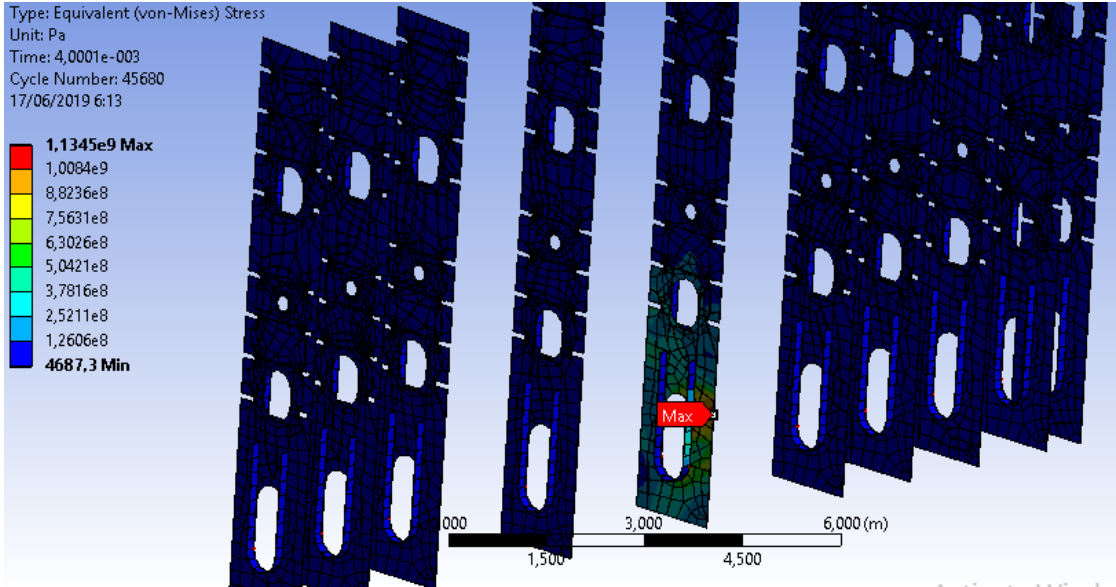


B. Tegangan *Von Mises* pada *Web Frames*

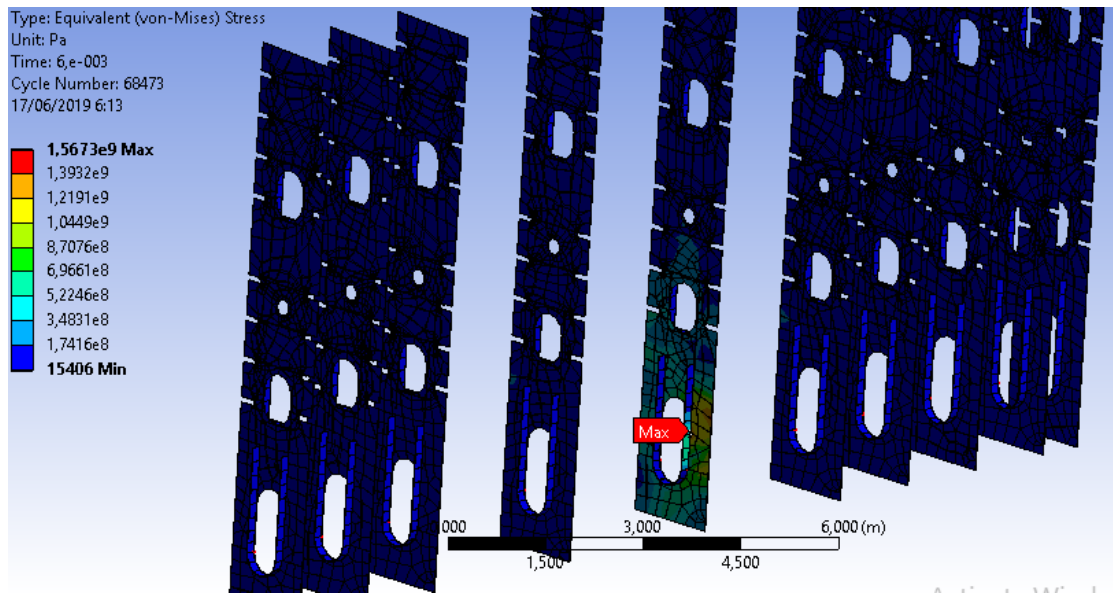
1. Waktu = 0,002 detik



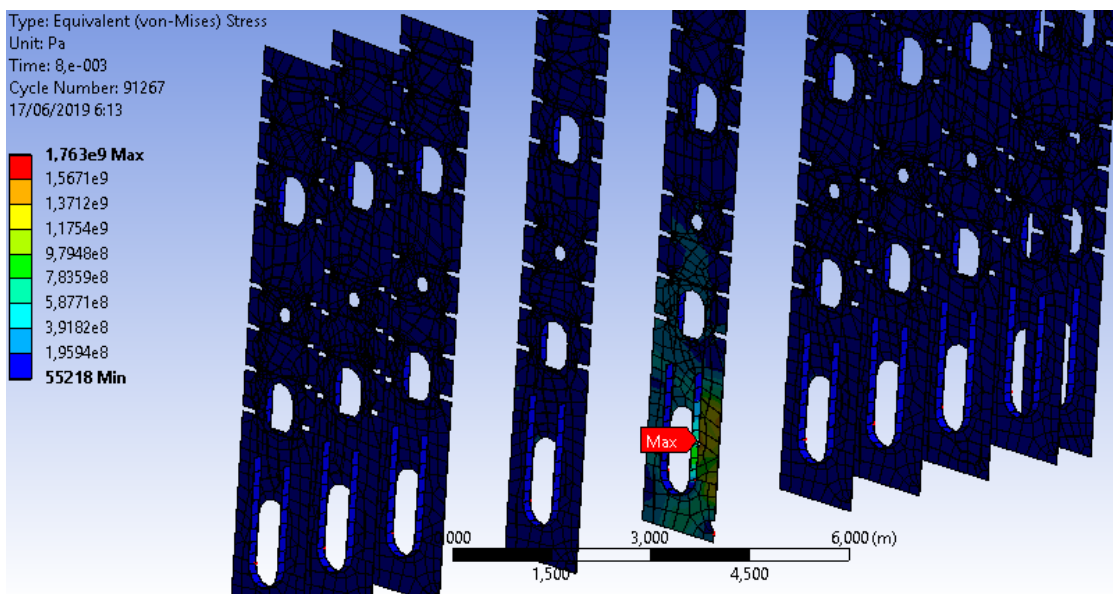
2. Waktu = 0,004 detik



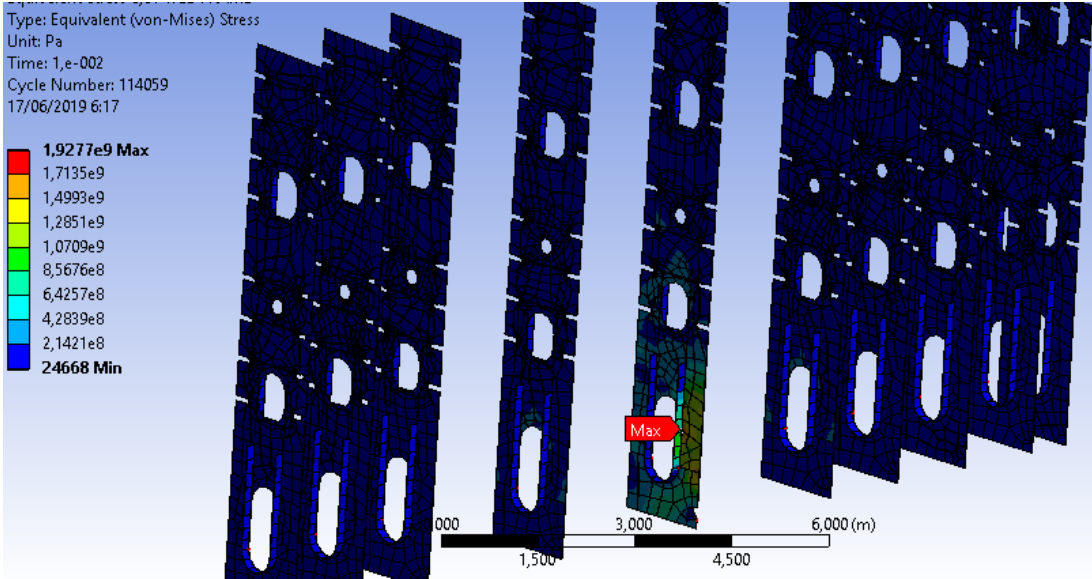
3. Waktu = 0,006 detik



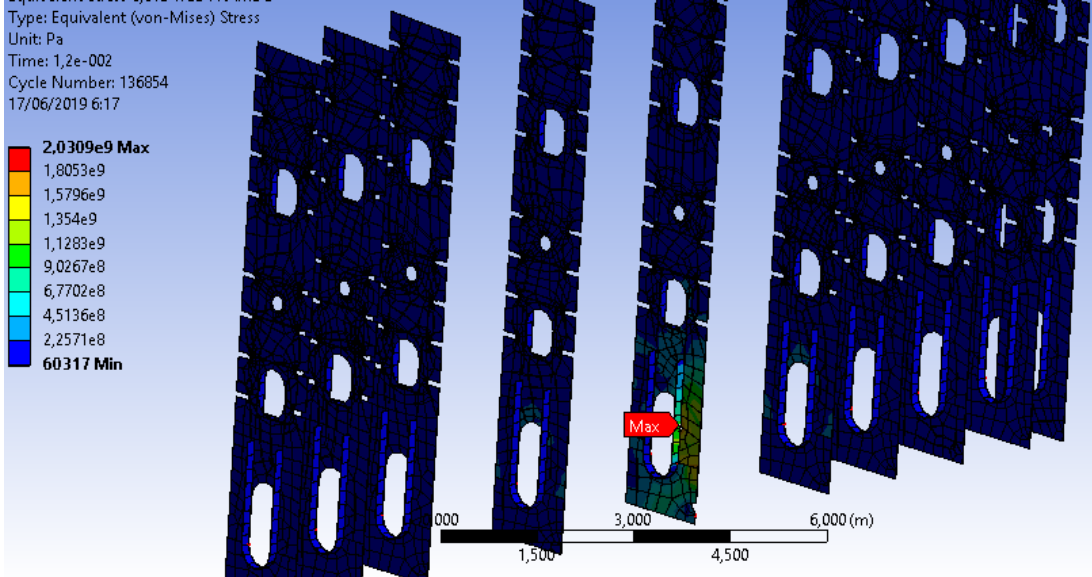
4. Waktu = 0,008 detik



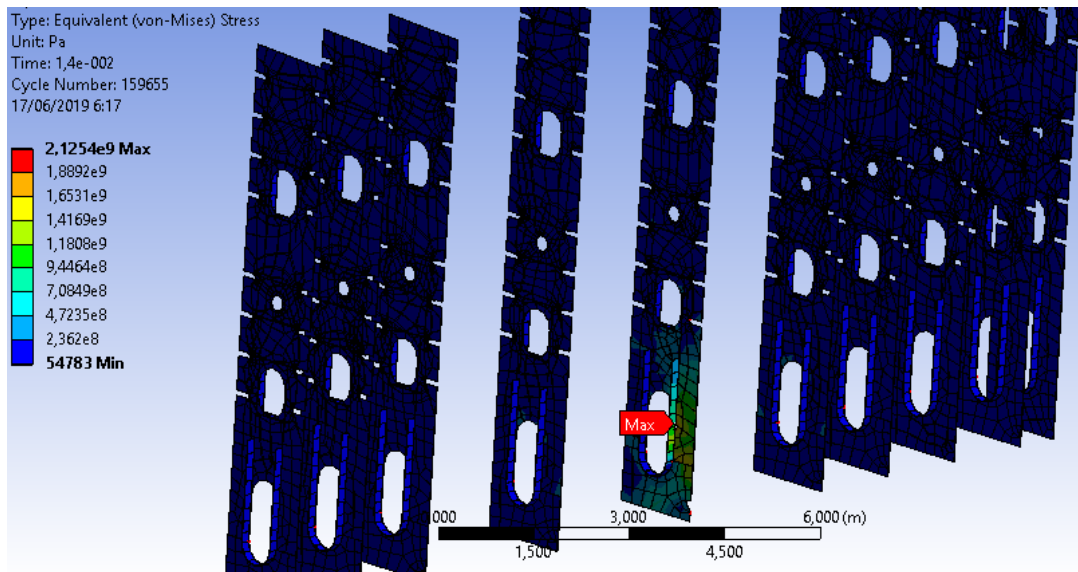
5. Waktu = 0,01 detik



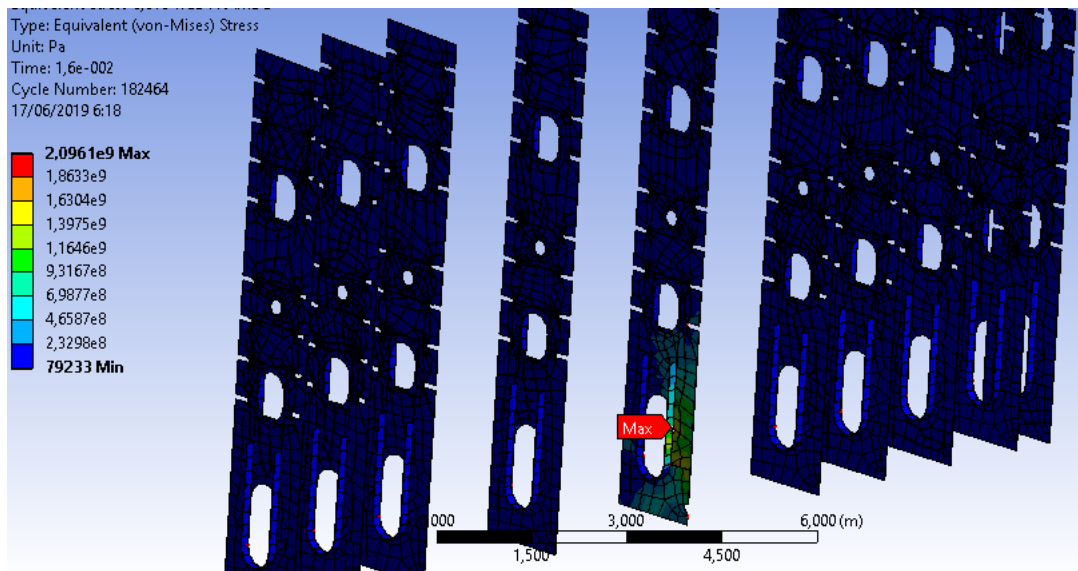
6. Waktu = 0,012 detik



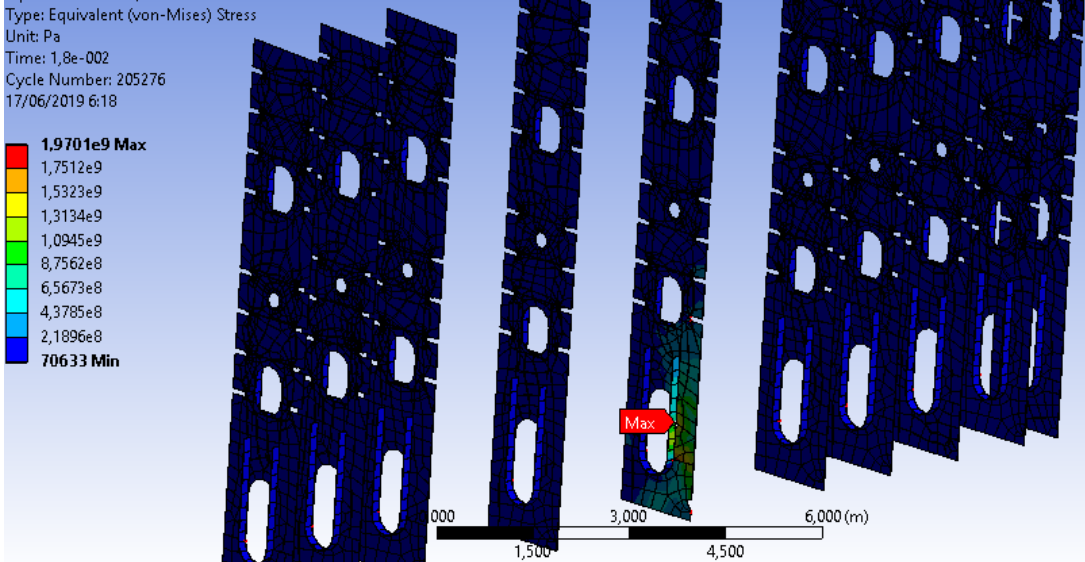
7. Waktu = 0,014 detik



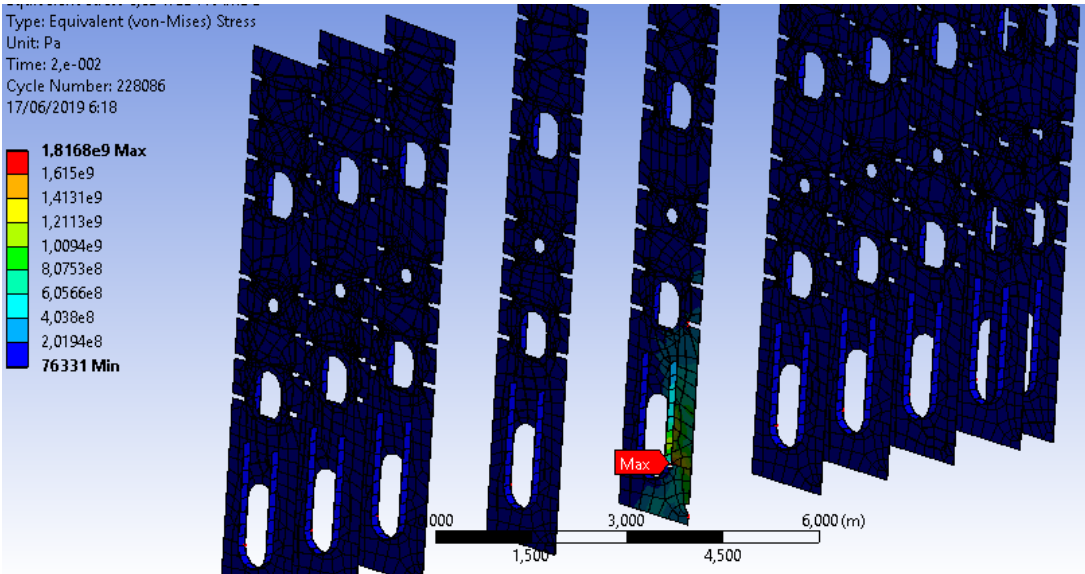
8. Waktu = 0,016 detik



9. Waktu = 0,018 detik

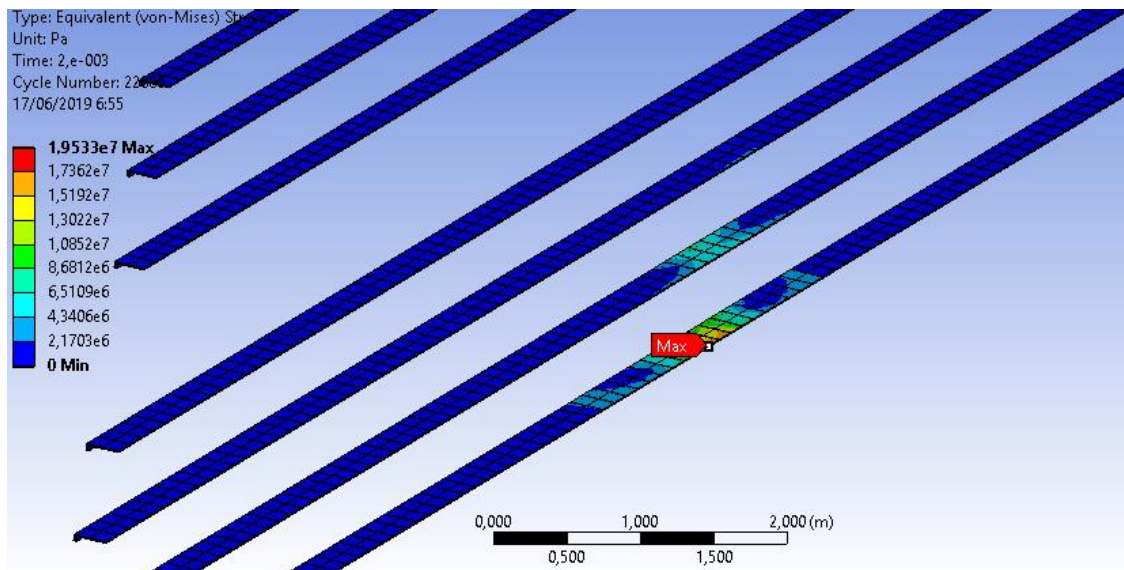


10. Waktu = 0,02 detik

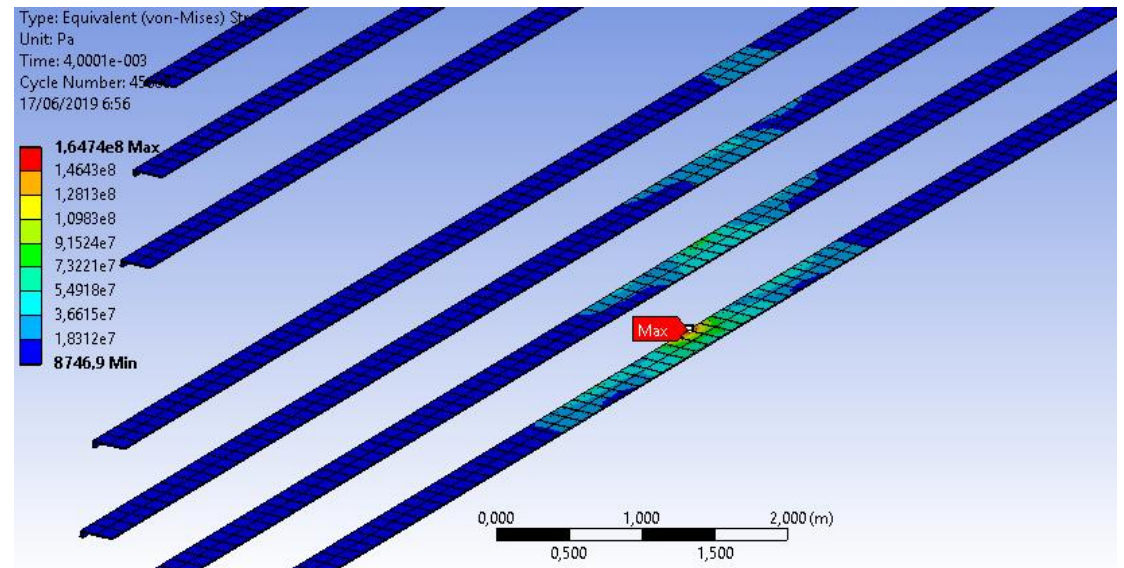


C. Tegangan Von Mises pada Longitudinal

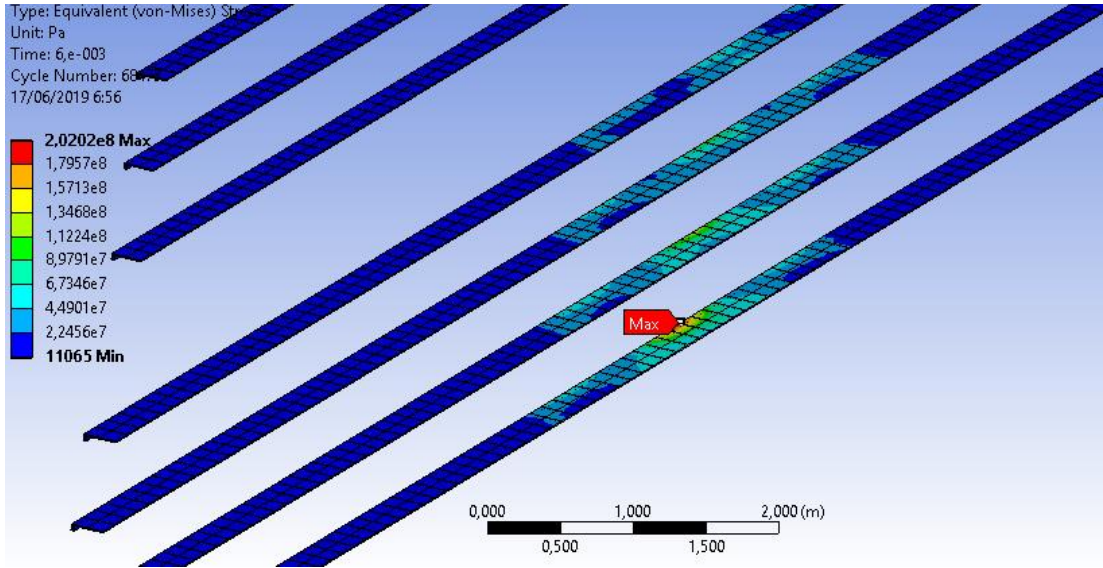
1. Waktu = 0,002 detik



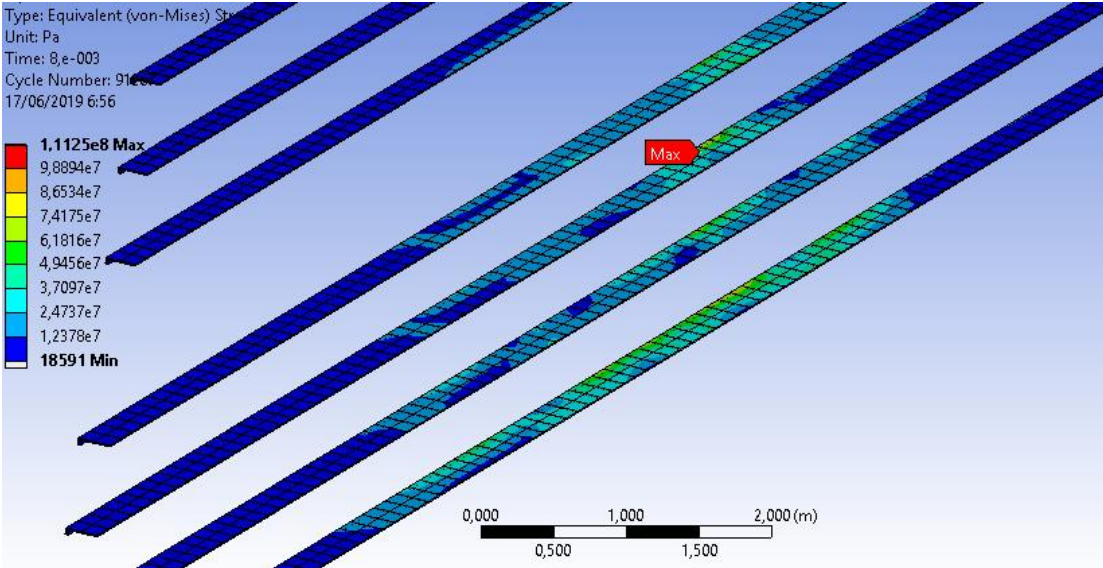
2. Waktu = 0,004 detik



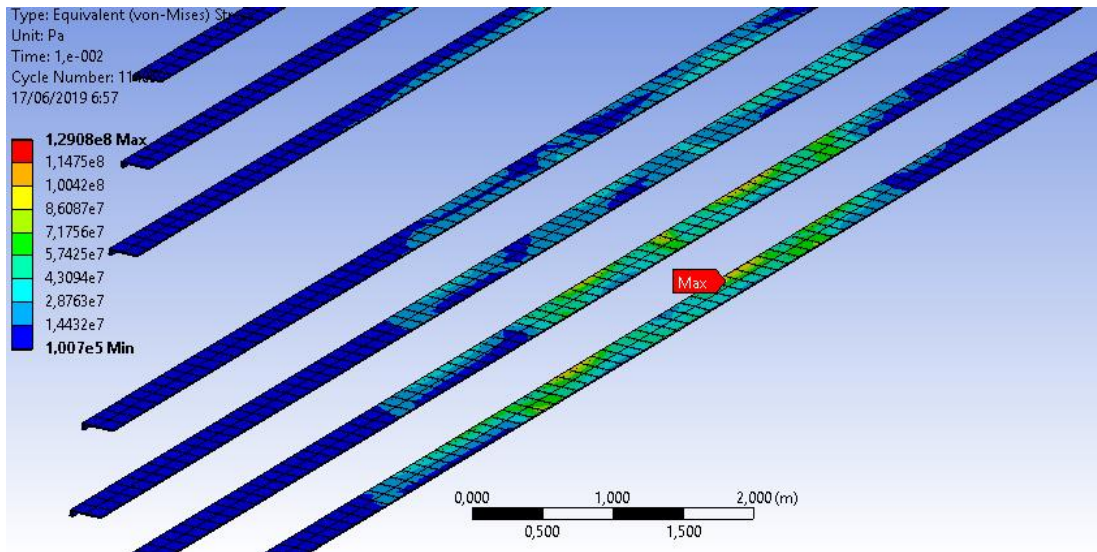
3. Waktu = 0,006 detik



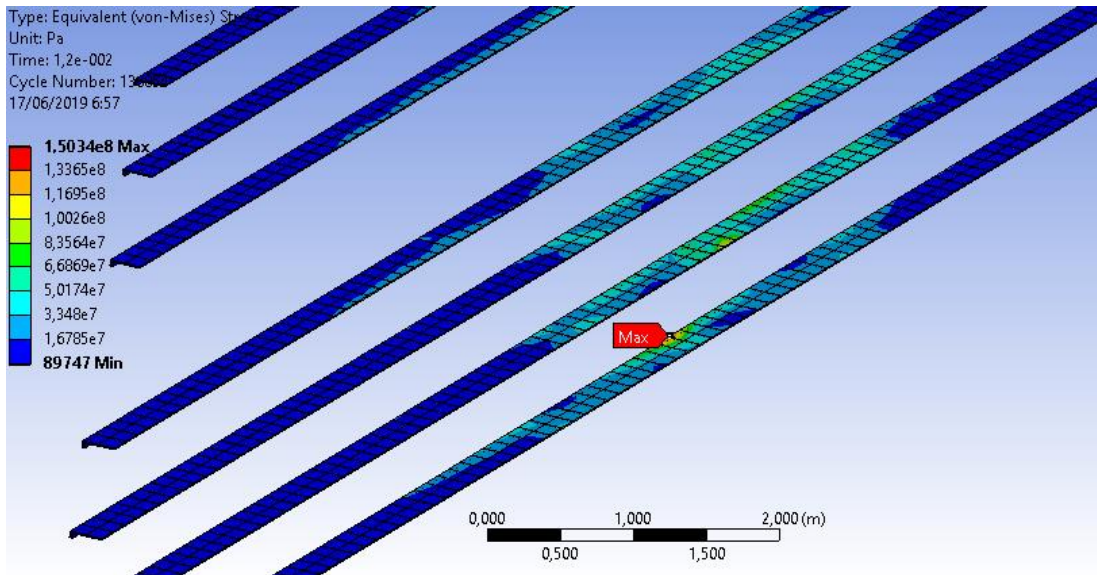
4. Waktu = 0,008 detik



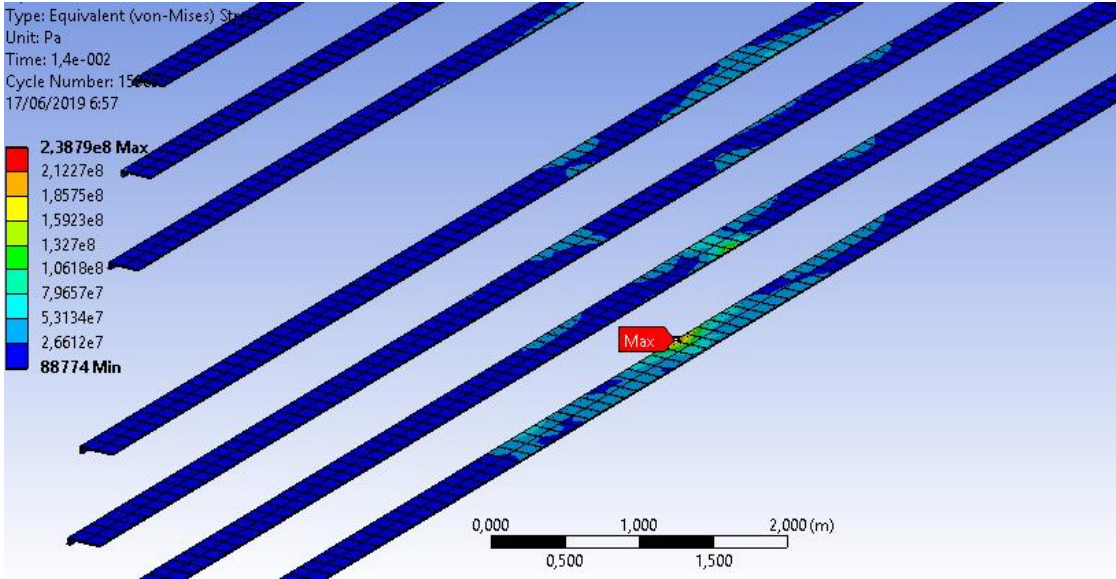
5. Waktu = 0,01 detik



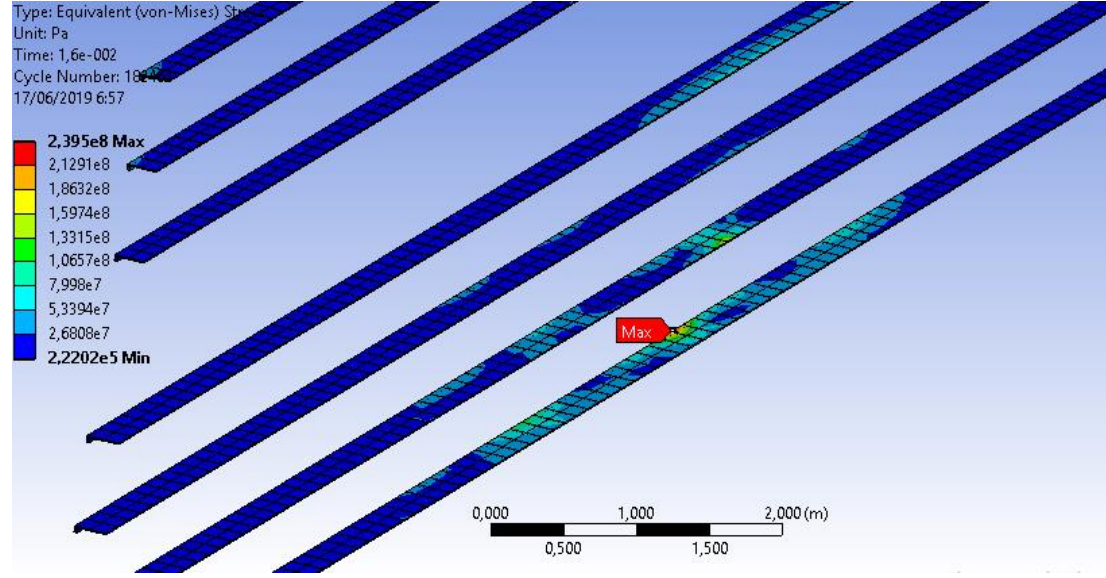
6. Waktu = 0,012 detik



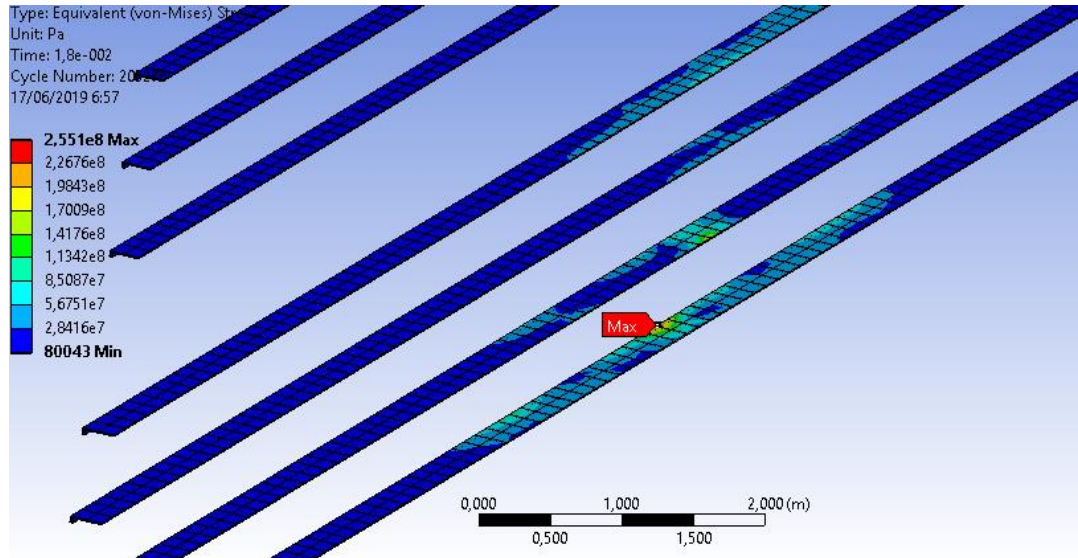
7. Waktu = 0,014 detik



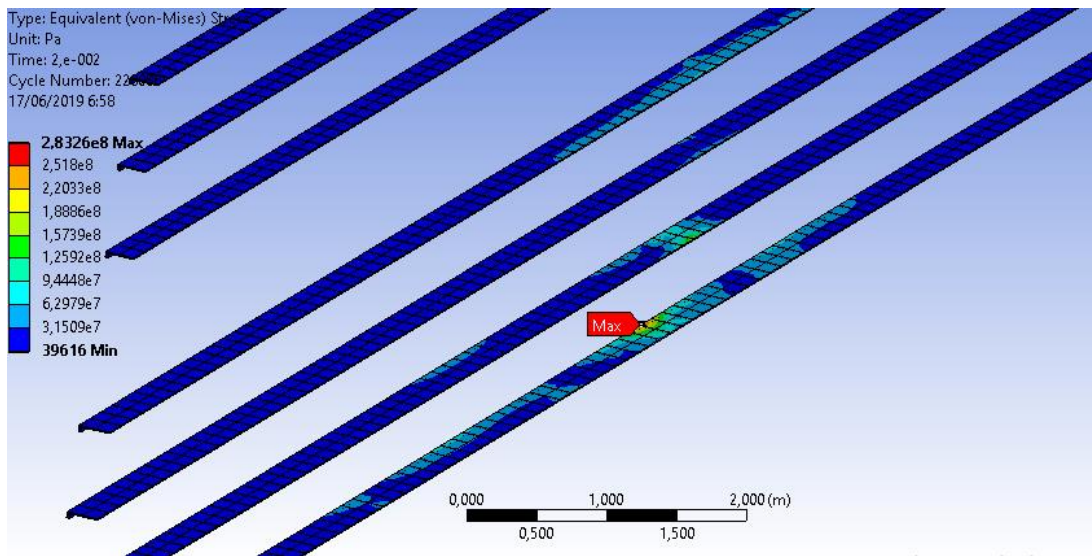
8. Waktu = 0,016 detik



9. Waktu = 0,018 detik

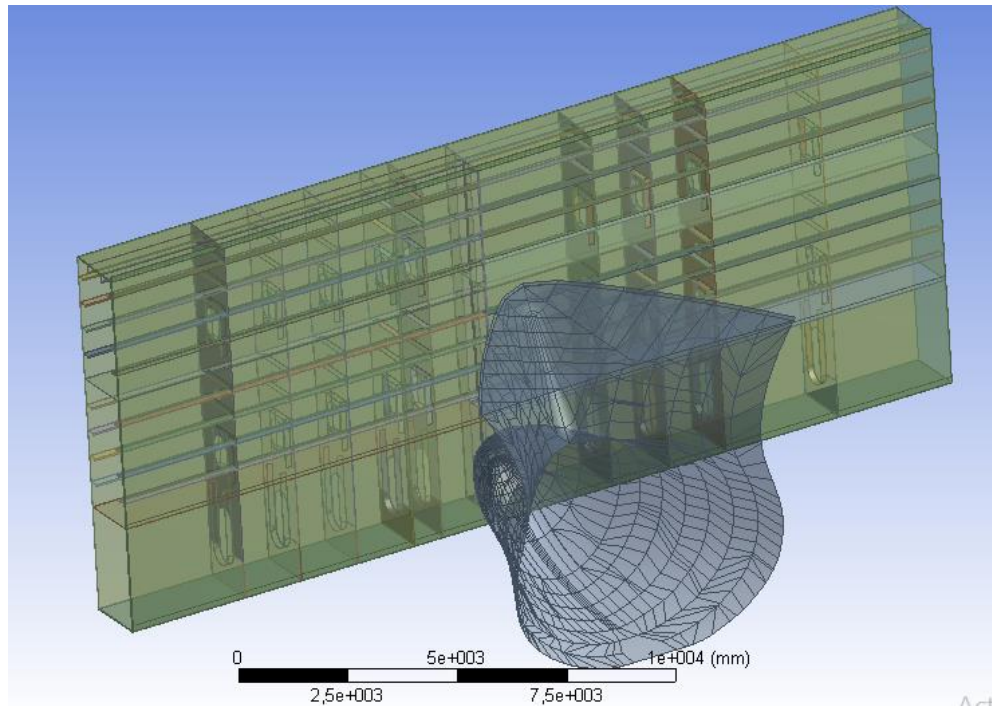


10. Waktu = 0,02 detik

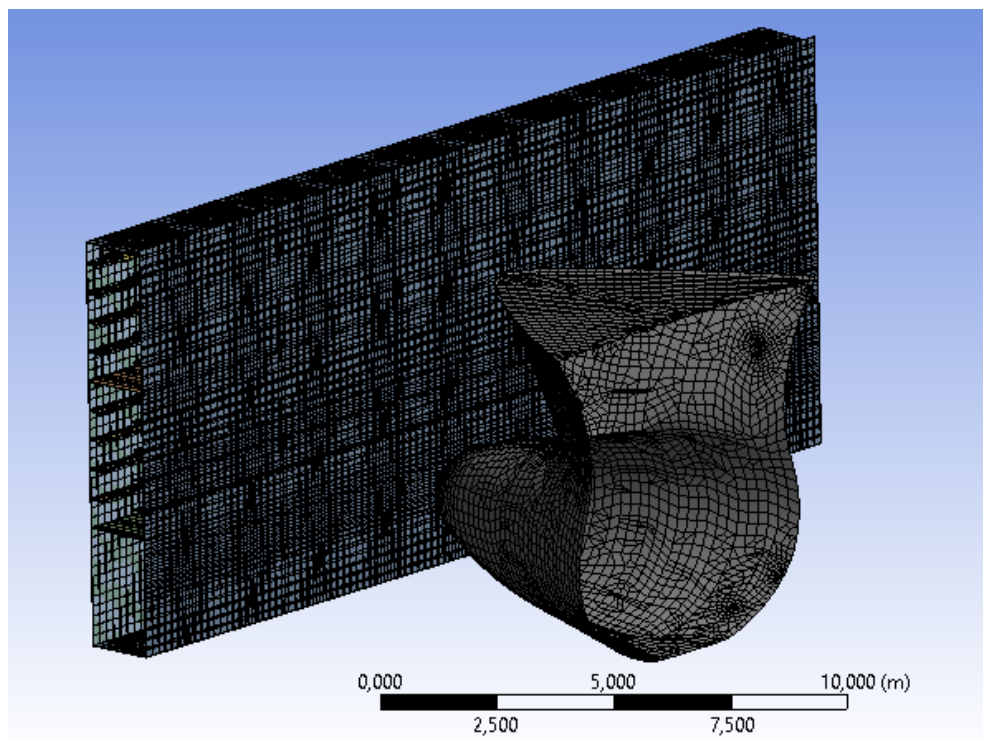


LAMPIRAN C
ERROR PADA SKENARIO 1 (TUBRUKAN DI ANTARA WEB
FRAME)

1. *Input geometri* skenario 3



2. *Meshing geometri* skenario 3



3. Proses *solving* menunjukkan waktu *running* yang tidak terdefinisi

The screenshot displays the ANSYS software interface. On the left, the 'Outline' pane shows a project structure with 'Model (B4)' containing 'Explicit Dynamics (B5)' and 'Solution (B6)'. The 'Details of "Solution Information"' pane shows the following settings:

Solution Information	
Solution Output	Solver Output
Update Interval	2,5 s
Display Points	All
Display Filter During Solve	Yes

The 'Worksheet' pane on the right shows the 'Solver Output' log, which lists 34 cycles (from 262 to 291). Each cycle entry includes Time, Time Inc., Progress, and Est. Clock Time Remaining. The progress for all cycles is 0.00%, and the estimated clock time remaining is consistently shown as a dash (-), indicating that the solver has not completed the calculation within the defined time limits.

```

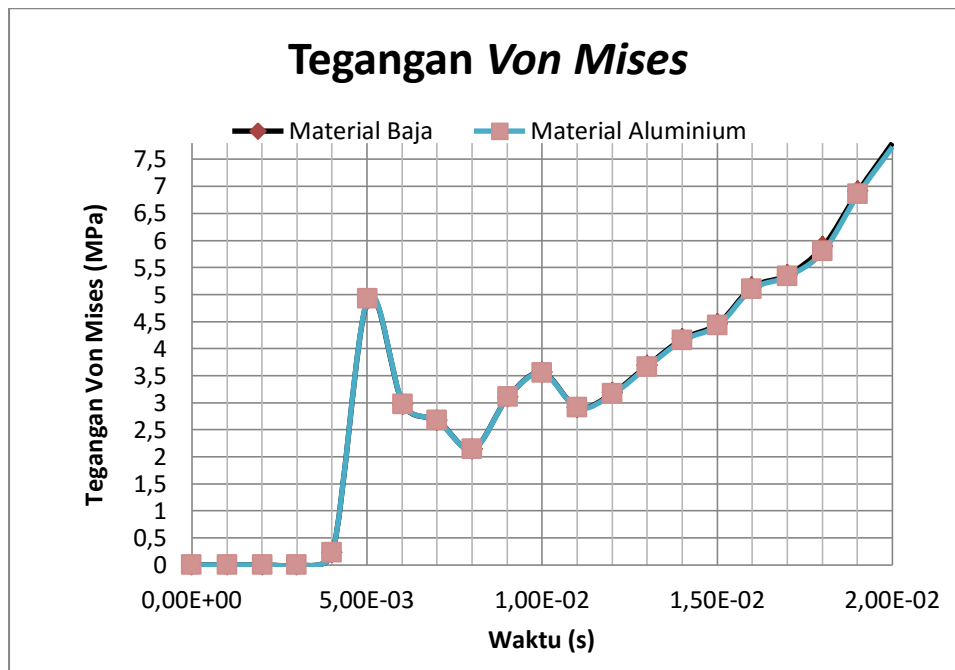
Cycle: 262, Time: 1.401E-11s, Time Inc.: 5.383E-14s, Progress: 0.00%, Est. Clock Time Remaining: -
Cycle: 263, Time: 1.406E-11s, Time Inc.: 5.383E-14s, Progress: 0.00%, Est. Clock Time Remaining: -
Cycle: 264, Time: 1.412E-11s, Time Inc.: 5.383E-14s, Progress: 0.00%, Est. Clock Time Remaining: -
Cycle: 265, Time: 1.417E-11s, Time Inc.: 5.383E-14s, Progress: 0.00%, Est. Clock Time Remaining: -
Cycle: 266, Time: 1.422E-11s, Time Inc.: 5.383E-14s, Progress: 0.00%, Est. Clock Time Remaining: -
Cycle: 267, Time: 1.428E-11s, Time Inc.: 5.383E-14s, Progress: 0.00%, Est. Clock Time Remaining: -
Cycle: 268, Time: 1.433E-11s, Time Inc.: 5.383E-14s, Progress: 0.00%, Est. Clock Time Remaining: -
Cycle: 269, Time: 1.439E-11s, Time Inc.: 5.383E-14s, Progress: 0.00%, Est. Clock Time Remaining: -
Cycle: 270, Time: 1.444E-11s, Time Inc.: 5.383E-14s, Progress: 0.00%, Est. Clock Time Remaining: -
Cycle: 271, Time: 1.449E-11s, Time Inc.: 5.383E-14s, Progress: 0.00%, Est. Clock Time Remaining: -
Cycle: 272, Time: 1.455E-11s, Time Inc.: 5.383E-14s, Progress: 0.00%, Est. Clock Time Remaining: -
Cycle: 273, Time: 1.460E-11s, Time Inc.: 5.383E-14s, Progress: 0.00%, Est. Clock Time Remaining: -
Cycle: 274, Time: 1.465E-11s, Time Inc.: 5.383E-14s, Progress: 0.00%, Est. Clock Time Remaining: -
Cycle: 275, Time: 1.471E-11s, Time Inc.: 5.383E-14s, Progress: 0.00%, Est. Clock Time Remaining: -
Cycle: 276, Time: 1.476E-11s, Time Inc.: 5.383E-14s, Progress: 0.00%, Est. Clock Time Remaining: -
Cycle: 277, Time: 1.482E-11s, Time Inc.: 5.383E-14s, Progress: 0.00%, Est. Clock Time Remaining: -
Cycle: 278, Time: 1.487E-11s, Time Inc.: 5.383E-14s, Progress: 0.00%, Est. Clock Time Remaining: -
Cycle: 279, Time: 1.492E-11s, Time Inc.: 5.383E-14s, Progress: 0.00%, Est. Clock Time Remaining: -
Cycle: 280, Time: 1.498E-11s, Time Inc.: 5.383E-14s, Progress: 0.00%, Est. Clock Time Remaining: -
Cycle: 281, Time: 1.503E-11s, Time Inc.: 5.383E-14s, Progress: 0.00%, Est. Clock Time Remaining: -
Cycle: 282, Time: 1.509E-11s, Time Inc.: 5.383E-14s, Progress: 0.00%, Est. Clock Time Remaining: -
Cycle: 283, Time: 1.514E-11s, Time Inc.: 5.383E-14s, Progress: 0.00%, Est. Clock Time Remaining: -
Cycle: 284, Time: 1.519E-11s, Time Inc.: 5.383E-14s, Progress: 0.00%, Est. Clock Time Remaining: -
Cycle: 285, Time: 1.525E-11s, Time Inc.: 5.383E-14s, Progress: 0.00%, Est. Clock Time Remaining: -
Cycle: 286, Time: 1.530E-11s, Time Inc.: 5.383E-14s, Progress: 0.00%, Est. Clock Time Remaining: -
Cycle: 287, Time: 1.535E-11s, Time Inc.: 5.383E-14s, Progress: 0.00%, Est. Clock Time Remaining: -
Cycle: 288, Time: 1.541E-11s, Time Inc.: 5.383E-14s, Progress: 0.00%, Est. Clock Time Remaining: -
Cycle: 289, Time: 1.546E-11s, Time Inc.: 5.383E-14s, Progress: 0.00%, Est. Clock Time Remaining: -
Cycle: 290, Time: 1.552E-11s, Time Inc.: 5.383E-14s, Progress: 0.00%, Est. Clock Time Remaining: -
Cycle: 291, Time: 1.557E-11s, Time Inc.: 5.383E-14s, Progress: 0.00%, Est. Clock Time Remaining: -
    
```

LAMPIRAN D
PERBANDINGAN ENERGI KINETIK DAN TEGANGAN *VON MISES* DENGAN MASSA HALUAN YANG BERBEDA

1. Nilai tegangan *von mises* dengan massa haluan yang berbeda.

	Waktu [s]	Tegangan Baja [Pa]	Tegangan Aluminium [Pa]	Margin [%]
1	1,18E-38	0	0	
2	1,02E-03	0	0	
3	2,03E-03	0	0	
4	3,00E-03	0	0	
5	4,01E-03	2,21E+05	2,20E+05	9,08E-02
6	5,02E-03	4,91E+06	4,92E+06	2,76E-01
7	6,03E-03	2,96E+06	2,97E+06	3,10E-01
8	7,01E-03	2,67E+06	2,67E+06	1,01E-01
9	8,02E-03	2,14E+06	2,14E+06	1,83E-01
10	9,03E-03	3,11E+06	3,10E+06	1,42E-01
11	1,00E-02	3,56E+06	3,55E+06	2,82E-01
12	1,10E-02	2,91E+06	2,90E+06	1,72E-01
13	1,20E-02	3,18E+06	3,16E+06	6,35E-01
14	1,30E-02	3,69E+06	3,66E+06	6,64E-01
15	1,40E-02	4,18E+06	4,15E+06	6,33E-01
16	1,50E-02	4,46E+06	4,43E+06	6,75E-01
17	1,60E-02	5,13E+06	5,10E+06	6,33E-01
18	1,70E-02	5,36E+06	5,33E+06	5,31E-01
19	1,80E-02	5,88E+06	5,79E+06	1,55E+00
20	1,90E-02	6,91E+06	6,86E+06	7,67E-01
21	2,00E-02	7,80E+06	7,73E+06	9,55E-01
Rata - rata margin				0,505652111

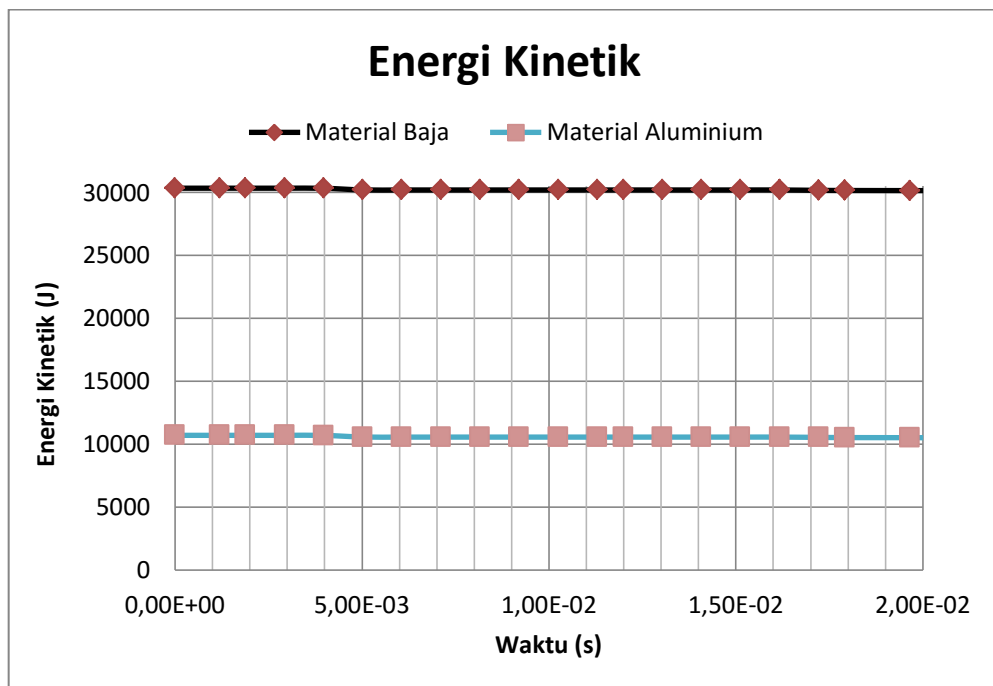
2. Grafik tegangan *von mises* dengan massa haluan yang berbeda.



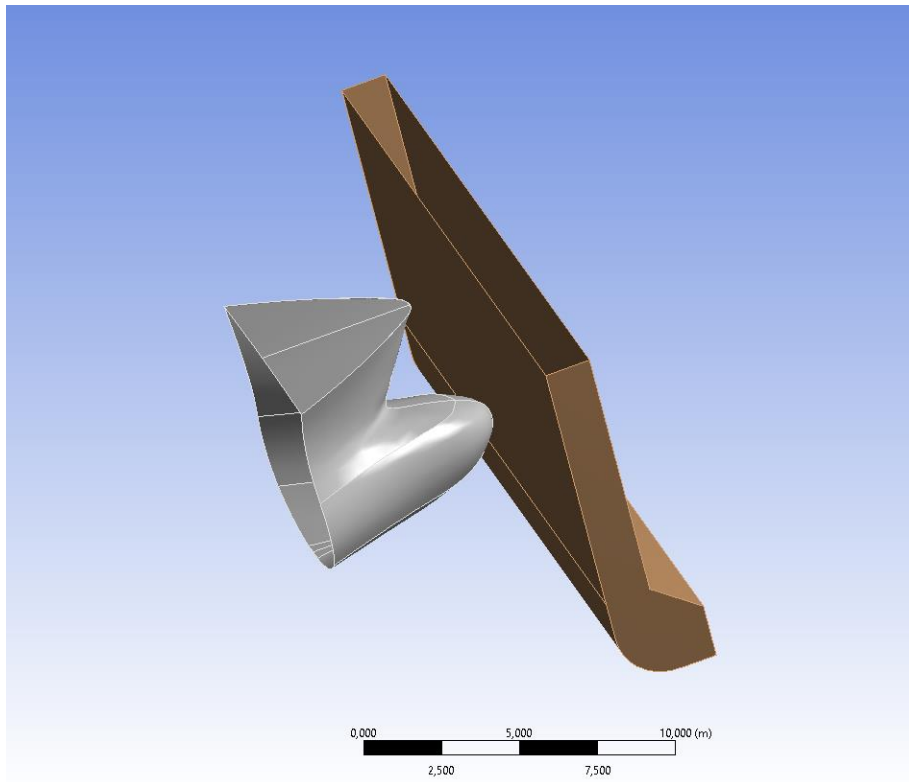
3. Nilai *kinetic energy* dengan massa haluan yang berbeda.

	Waktu [s]	<i>Kinetic Energy</i> Baja[J]	<i>Kinetic Energy</i> Al [J]
1	0,00E+00	30336	10704
2	1,19E-03	30336	10704
3	1,89E-03	30336	10704
4	2,93E-03	30336	10704
5	3,98E-03	3,03E+04	1,07E+04
6	5,02E-03	3,02E+04	1,06E+04
7	6,07E-03	3,02E+04	1,06E+04
8	7,11E-03	3,02E+04	1,06E+04
9	8,16E-03	3,02E+04	1,06E+04
10	9,21E-03	3,02E+04	1,06E+04
11	1,03E-02	3,02E+04	1,06E+04
12	1,13E-02	3,02E+04	1,06E+04
13	1,20E-02	3,02E+04	1,06E+04
14	1,30E-02	3,02E+04	1,06E+04
15	1,41E-02	3,02E+04	1,06E+04
16	1,51E-02	3,02E+04	1,06E+04
17	1,62E-02	3,02E+04	1,06E+04
18	1,72E-02	3,02E+04	1,05E+04
19	1,79E-02	3,02E+04	1,05E+04
20	1,97E-02	3,01E+04	1,05E+04
21	2,00E-02	3,01E+04	1,05E+04

4. Grafik *kinetic energy* dengan massa haluan yang berbeda.



5. *Geometry* sederhana yang digunakan untuk menganalisis tegangan *von mises* dan *kinetic energy* dengan massa haluan yang berbeda.



BIODATA PENULIS



Sholichatul Ilmiah, itulah nama lengkap penulis. Dilahirkan di Pasuruan pada 26 April 1998 silam, Penulis merupakan anak bungsu dari pernikahan Muhammad Sholeh Yusuf dan Naning S. Penulis menempuh pendidikan formal tingkat dasar pada TK Masyithoh IV, kemudian melanjutkan ke SDN Jogosari II, SMPN 1 Pandaan dan SMAN 1 Pandaan. Setelah lulus SMA, Penulis diterima di Departemen Teknik Perkapalan FTK ITS pada tahun 2015 melalui ujian tulis nasional (SBMPTN).

Pada Departemen Teknik Perkapalan, Penulis mengambil Bidang Studi Rekayasa Perkapalan – Konstruksi Kapal. Selama masa studi di ITS, selain kuliah Penulis juga pernah menjadi anggota BPH Himpunan Mahasiswa Teknik Perkapalan periode 2016/2017 dan periode 2017/2018. Selain itu, Penulis juga pernah menjadi Semifinalis LKTI Nasional serta menjadi peserta dalam kompetisi *RC Boat* Nasional.

Penulis tercatat pernah menjadi *grader* untuk mata kuliah Desain Konstruksi Kapal dan Perencanaan Produksi Kapal.

Email: sholichatul15@mhs.na.its.ac.id/ilmiahsholichatul@gmail.com

