



TUGAS AKHIR - MN 184802

**ANALISIS KEKUATAN KONSTRUKSI ALAS KAPAL AKIBAT
*GROUNDING***

**Iqbal Permana
NRP 0411154000010**

**Dosen Pembimbing
Dony Setyawan, S.T., M.Eng.**

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



TUGAS AKHIR - MN 184802

**ANALISIS KEKUATAN KONSTRUKSI ALAS KAPAL AKIBAT
*GROUNDING***

**Iqbal Permana
NRP 0411154000010**

**Dosen Pembimbing
Dony Setyawan, S.T., M.Eng.**

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



FINAL PROJECT - MN 184802

**BOTTOM STRUCTURE STRENGTH ANALYSIS OF SHIP
DUE TO GROUNDING**

**Iqbal Permana
NRP 0411154000010**

**Supervisor
Dony Setyawan, S.T., M.Eng**

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

LEMBAR PENGESAHAN

ANALISIS KEKUATAN KONSTRUKSI ALAS KAPAL AKIBAT *GROUNDING*

TUGAS AKHIR

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

Oleh:

IQBAL PERMANA
NRP 0411154000010

Disetujui oleh Dosen Pembimbing Tugas Akhir:

Dosen Pembimbing



Dony Setyawan, S.T., M.Eng
NIP 19750320 199903 1 001

Mengetahui,
Kepala Departemen Teknik Perkapalan



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

SURABAYA, 11 JULI 2019

LEMBAR REVISI

ANALISIS KEKUATAN KONSTRUKSI ALAS KAPAL AKIBAT *GROUNDING*

TUGAS AKHIR

Telah direvisi sesuai dengan hasil Ujian Tugas Akhir
Tanggal 4 Juli 2019

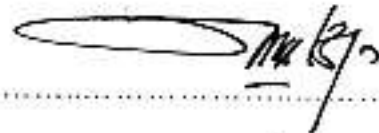
Bidang Keahlian Rekayasa Perkapalan – Konstruksi
Program Sarjana Departemen Teknik Perkapalan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

IQBAL PERMANA
NRP 0411154000010

Disetujui oleh Tim Penguji Ujian Tugas Akhir:

1. Dedi Budi Purwanto, S.T., M.T.



.....

2. Muhammad Nurul Misbah, S.T., M.T.



.....

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



.....

Disetujui oleh Dosen Pembimbing Tugas Akhir:

1. Dony Setyawan, S.T., M.Eng.



.....

SURABAYA, 11 JULI 2019

Dipersembahkan kepada kedua orang tua atas segala dukungan dan doanya

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. Papa dan Mama selaku kedua orang tua Penulis serta adik - adik Penulis yang telah memberikan dukungan baik moral maupun materi;
2. Dony Setyawan, S.T., M.Eng. selaku Dosen Pembimbing atas bimbingan dan motivasinya selama pengerjaan dan penyusunan Tugas Akhir ini;
3. Dedi Budi Purwanto, S.T., M.T., Muhammad Nurul Misbah, S.T., M.T., Totok Yulianto, 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 izin pemakaian fasilitas laboratorium;
5. Mutiara Pujiasepti yang selalu memberikan semangat dan sebagai motivasi bagi penulis;
6. Nur Ahmad Dzikron, Sholichatul Ilmiah, Fajar Rachmanul, Tyo Dwiki, dan seluruh teman serta senior yang telah berdiskusi dan membantu dalam penyelesaian Tugas Akhir ini;
7. P55 Samudraraksa yang telah memberikan motivasi dalam proses pengerjaan tugas akhir ini.

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, 11 Juli 2019

Iqbal Permana

ANALISIS KEKUATAN KONSTRUKSI ALAS KAPAL AKIBAT *GROUNDING*

Nama Mahasiswa : Iqbal Permana
NRP : 04111540000010
Departemen / Fakultas : Teknik Perkapalan / Teknologi Kelautan
Dosen Pembimbing : Dony Setyawan, S.T., M.Eng.

ABSTRAK

Jumlah kecelakaan kapal di dunia, sejak tahun 2007 hingga tahun 2016, sebanyak 1186 kasus dengan 249 kasus berada di Lautan China, Indonesia, dan Phillipines. Dari semua kasus kecelakaan yang terjadi, kecelakaan yang terjadi akibat karam sebanyak 598 kasus dan akibat *grounding* sebanyak 244 kasus. *Grounding* merupakan salah satu penyebab kecelakaan yang sering terjadi pada kapal. Oleh karena itu penelitian ini akan menganalisis tegangan yang diterima konstruksi alas kapal akibat *grounding*. Analisis dilakukan menggunakan metode elemen hingga dengan studi kasus konstruksi alas kapal tanker 17500 tonnes deadweight. Pemodelan dilakukan dengan software Finite Element Method (FEM). Hasil yang didapatkan berupa nilai tegangan von mises dan deformasi. Simulasi dilakukan dengan 3 skenario yaitu saat karang menabrak *solid floor*, *open floor*, dan *watertight floor*. Lokasi tempat karang mengenai konstruksi alas saat terjadinya *grounding* memengaruhi besar tegangan yang dihasilkan. Maka respon setiap komponen utama konstruksi alas akan berbeda. Besar tegangan maksimum dan deformasi maksimum global, *bottom plate*, *side girder*, *transverse construction* pada waktu 0,02 detik untuk skenario 1; skenario 2; dan skenario 3 adalah 1050 MPa; 965 MPa; dan 645 MPa, 62,1 MPa; 696 MPa; dan 94,4 MPa, 268 MPa; 366 MPa; dan 337 Mpa, 1050 MPa; 965 MPa; dan 645 Mpa dan 16,2 mm; 15,3 mm; dan 13,5 mm, 9 mm; 11,7 mm; dan 13,3 mm, 7 mm; 9,15 mm dan 6,98 mm, 16,2 mm; 15,3 mm dan 11,6 mm. Konstruksi alas kapal tidak mampu menerima beban akibat *grounding* dikarenakan tegangan yang dihasilkan pada respon konstruksi alas melebihi *ultimate tensile strength*.

Kata Kunci : FEM, *ship grounding*, *ship bottom crushing*

BOTTOM STRUCTURE STRENGTH ANALYSIS OF SHIP DUE TO GROUNDING

Author : Iqbal Permana
Student Number : 0411154000010
Department / Faculty : Naval Architecture / Marine Technology
Supervisor : Dony Setyawan, S.T., M.Eng.

ABSTRACT

The number of ship accidents in the world, from 2007 to 2016, there were 1186 cases with 249 cases in the Oceans of China, Indonesia and the Philippines. Of all the cases of accidents that occurred, there were 598 accidents caused by shipwrecks and 244 cases of grounding. Grounding is one of the causes of accidents that often occur on ships. Therefore this study will analyze the stress received by ship bottom construction due to grounding. The analysis was carried out using the finite element method with a case study of the construction of the 17500 tonnes tanker deadweight. Modeling is done by software Finite Element Method (FEM). The results obtained are in the form of von stress values and deformation. The simulation was carried out in 3 scenarios, namely when the reef hit the solid floor, open floor and watertight floor. The location of the reef on the construction of the base when the grounding occurs affects the amount of stress produced. Then the response of each main component of the base construction will be different. Maximum global stress and maximum deformation, bottom plate, side girder, transverse construction at 0.02 seconds for scenario 1; scenario 2; and scenario 3 is 1050 MPa; 965 MPa; and 645 MPa, 62.1 MPa; 696 MPa; and 94.4 MPa, 268 MPa; 366 MPa; and 337 Mpa, 1050 MPa; 965 MPa; and 645 Mpa and 16.2 mm; 15.3 mm; and 13.5 mm, 9 mm; 11.7 mm; and 13.3 mm, 7 mm; 9.15 mm and 6.98 mm, 16.2 mm; 15.3 mm and 11.6 mm. The construction of the ship's base is not able to accept the load due to grounding because the stress produced in the base construction response exceeds the ultimate tensile strength.

Keywords : FEM, ship bottom crushing, ship grounding

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.....	1
I.1. Latar Belakang Masalah.....	1
I.2. Perumusan Masalah.....	2
I.3. Tujuan.....	2
I.4. Batasan Masalah.....	2
I.5. Manfaat.....	3
I.6. Hipotesis.....	3
Bab II STUDI LITERATUR.....	5
II.1. Dasar Teori.....	5
II.1.1. Kapal Tanker.....	5
II.1.2. Konstruksi Alas.....	6
II.1.3. Tegangan.....	7
II.1.4. Regangan.....	7
II.1.5. Modulus Elastisitas.....	8
II.1.6. Tegangan <i>Von Mises</i>	9
II.1.7. <i>Grounding</i>	10
II.1.8. <i>Finite Element Method</i> (Metode Elemen Hingga).....	10
II.1.9. Deformasi.....	12
II.1.10. <i>Rigid Body</i>	13
II.1.11. <i>Meshing</i>	13
II.2. Tinjauan Pustaka.....	14
II.2.1. Analisis Dampak Perilaku Kapal Akibat <i>Grounding</i>	14
II.2.2. Analisis Kekuatan Kapal saat <i>Grounding</i>	14
Bab III METODOLOGI.....	15
III.1. Studi Literatur.....	15
III.2. Pengumpulan Data.....	15
III.2.1. Ukuran Utama.....	15
III.2.2. <i>Construction Profile</i>	16
III.2.3. <i>Midship Section</i>	17
III.2.4. <i>Mechanical Properties</i>	18
III.3. Pemodelan Elemen Hingga.....	18
III.3.1. Proses Pengerjaan <i>Geometry</i>	18
III.3.2. <i>Dynamic Finite Element Software</i>	19
III.4. Konvergensi Model.....	22

III.5.	Kondisi Batas	23
III.5.1.	<i>Connections</i>	23
III.5.2.	<i>Fixed Support</i>	24
III.5.3.	<i>Rigid Body</i>	24
III.5.4.	<i>Meshing</i>	24
III.5.5.	<i>End Time</i>	25
III.6.	Pembebanan	26
III.7.	Analisis.....	26
III.8.	Bagan Alir	27
Bab IV	HASIL DAN PEMBAHASAN.....	29
IV.1.	Pendahuluan	29
IV.2.	Tegangan	29
IV.2.1.	Tegangan Global.....	29
IV.2.2.	Tegangan pada <i>Bottom Plate</i>	34
IV.2.3.	Tegangan pada <i>Side Girder</i>	37
IV.2.4.	Tegangan pada <i>Transverse Construction</i>	39
IV.3.	Deformasi	42
IV.3.1.	Deformasi Global.....	42
IV.3.2.	Deformasi pada <i>Bottom Plate</i>	47
IV.3.3.	Deformasi pada <i>Side Girder</i>	49
IV.3.4.	Deformasi pada <i>Transverse Construction</i>	52
IV.4.	<i>Internal Energy</i>	54
IV.4.1.	<i>Internal Energy Global</i>	54
IV.5.	Analisis Pengaruh Berat	56
Bab V	KESIMPULAN DAN SARAN.....	59
V.1.	Kesimpulan.....	59
V.2.	Saran.....	59
	DAFTAR PUSTAKA.....	61
	LAMPIRAN	
	LAMPIRAN A Tegangan dan Deformasi Skenario 1	
	LAMPIRAN B Tegangan dan Deformasi Skenario 2	
	LAMPIRAN C Tegangan dan Deformasi Skenario 3	
	BIODATA PENULIS	

DAFTAR GAMBAR

Gambar I. 1 Ilustrasi kapal terkena karang dan terjadinya grounding.....	2
Gambar II. 1 Klasifikasi Kapal Tanker Berdasarkan Kapasitas Muatan	5
Gambar II. 2 <i>Single Bottom Oil Tanker</i>	6
Gambar II. 3 <i>Double Bottom Oil Tanker</i>	7
Gambar II. 4 Model Kapal Saat terjadi <i>Grounding</i>	10
Gambar II. 5 Model Midship Kapal dengan Software FEM	12
Gambar III. 1 <i>Construction Profile</i> Kapal Tanker 17500 LTDWT pada <i>Tank Top</i>	16
Gambar III. 2 <i>Construction Profile</i> Kapal Tanker 17500 LTDWT pada <i>Bottom</i>	17
Gambar III. 3 <i>Midship Section</i> Kapal Tanker 17500 LTDWT.....	17
Gambar III. 4 <i>Geometry</i> konstruksi alas dan karang pada <i>software 3d</i>	19
Gambar III. 5 Beberapa Modul pada <i>Dynamic Finite Element Software</i>	20
Gambar III. 6 Modul <i>Engineering Data</i>	20
Gambar III. 7 <i>Input Geometry</i> Skenario 1	21
Gambar III. 8 <i>Input Geometry</i> Skenario 2	21
Gambar III. 9 <i>Input Geometry</i> Skenario 3	22
Gambar III. 10 Grafik Konvergensi Ukuran Meshing	23
Gambar III. 11 Contoh Pendefinisian <i>Connections</i>	24
Gambar III. 12 Meshing pada Konstruksi Alas Kapal	25
Gambar III. 13 Meshing pada Karang	25
Gambar III. 14 Proyeksi <i>force</i> pada Sumbu x dan Sumbu y	26
Gambar IV. 1 Kurva <i>Time-Stress</i> Global	30
Gambar IV. 2 Hasil Tegangan Global (Skenario 1)	31
Gambar IV. 3 Hasil Tegangan Global (Skenario 2)	32
Gambar IV. 4 Hasil Tegangan Global (Skenario 3)	33
Gambar IV. 5 Kurva <i>Time-Stress</i> pada <i>Bottom Plate</i>	35
Gambar IV. 6 Hasil Tegangan pada <i>Bottom Plate</i> (Skenario 1)	36
Gambar IV. 7 Hasil Tegangan pada <i>Bottom Plate</i> (Skenario 2)	36
Gambar IV. 8 Hasil Tegangan pada <i>Bottom Plate</i> (Skenario 3)	36
Gambar IV. 9 Kurva <i>Time-Stress</i> pada <i>Side Girder</i>	38
Gambar IV. 10 Hasil Tegangan pada <i>Side Girder</i> (Skenario 1).....	38
Gambar IV. 11 Hasil Tegangan pada <i>Side Girder</i> (Skenario 2).....	39
Gambar IV. 12 Hasil Tegangan pada <i>Side Girder</i> (Skenario 3).....	39
Gambar IV. 13 Kurva <i>Time-Stress</i> pada <i>Transverse Construction</i>	40
Gambar IV. 14 Hasil Tegangan pada <i>Transverse Construction</i> (Skenario 1).....	41
Gambar IV. 15 Hasil Tegangan pada <i>Transverse Construction</i> (Skenario 2).....	41
Gambar IV. 16 Hasil Tegangan pada <i>Transverse Construction</i> (Skenario 3).....	42
Gambar IV. 17 Kurva <i>Time-Deformation</i> Global	43
Gambar IV. 18 Hasil Deformasi Global (Skenario 1)	44
Gambar IV. 19 Hasil Deformasi Global (Skenario 2)	45
Gambar IV. 20 Hasil Deformasi Global (Skenario 3)	46
Gambar IV. 21 Kurva <i>Time-Deformation</i> pada <i>Bottom Plate</i>	48
Gambar IV. 22 Hasil Deformasi pada <i>Bottom Plate</i> (Skenario 1)	48
Gambar IV. 23 Hasil Deformasi pada <i>Bottom Plate</i> (Skenario 2)	49

Gambar IV. 24 Hasil Deformasi pada <i>Bottom Plate</i> (Skenario 3)	49
Gambar IV. 25 Kurva <i>Time-Deformation</i> pada <i>Side Girder</i>	50
Gambar IV. 26 Hasil Deformasi pada <i>Side Girder</i> (Skenario 1).....	51
Gambar IV. 27 Hasil Deformasi pada <i>Side Girder</i> (Skenario 2).....	51
Gambar IV. 28 Hasil Deformasi pada <i>Side Girder</i> (Skenario 3).....	52
Gambar IV. 29 Kurva <i>Time-Deformation</i> pada <i>Transverse Construction</i>	53
Gambar IV. 30 Hasil Deformasi pada <i>Transverse Construction</i> (Skenario 1).....	53
Gambar IV. 31 Hasil Deformasi pada <i>Transverse Construction</i> (Skenario 2).....	54
Gambar IV. 32 Hasil Deformasi pada <i>Transverse Construction</i> (Skenario 3).....	54
Gambar IV. 33 Kurva <i>Internal Energy</i> Global.....	55
Gambar IV. 34 Kurva Tegangan pada Material yang Berbeda	57

DAFTAR TABEL

Tabel III. 1 Data ukuran utama kapal Tanker 17500 LTDWT	15
Tabel III. 2 <i>Mechanical Properties</i> baja A36	18
Tabel III. 3 <i>Mechanical Properties Limestone</i>	18
Tabel III. 4 Tabel Konvergensi Ukuran Meshing Model	22
Tabel IV. 1 Hasil Tegangan Global	29
Tabel IV. 2 Hasil Tegangan pada <i>Bottom Plate</i>	34
Tabel IV. 3 Hasil Tegangan pada <i>Side Girder</i>	37
Tabel IV. 4 Hasil Tegangan pada <i>Transverse Construction</i>	39
Tabel IV. 5 Hasil Deformasi Global	42
Tabel IV. 6 Hasil Deformasi pada <i>Bottom Plate</i>	47
Tabel IV. 7 Hasil Deformasi pada <i>Side Girder</i>	49
Tabel IV. 8 Hasil Deformasi pada <i>Transverse Construction</i>	52
Tabel IV. 9 Hasil <i>Internal Energy</i> Global	54
Tabel IV. 10 Perbandingan Tegangan Dengan Material yang Berbeda	56

DAFTAR SIMBOL

σ	= tegangan (N/m ²)
F	= gaya (N)
A	= luas penampang (m ²)
ε	= regangan
ΔL	= perubahan panjang (m)
L_0	= panjang awal (m)
σ_{vm}	= tegangan von mises (N/m ²)
σ_x dan σ_y	= tegangan normal elemen (N/m ²)
τ_{xy}	= tegangan geser elemen (N/m ²)

BAB I

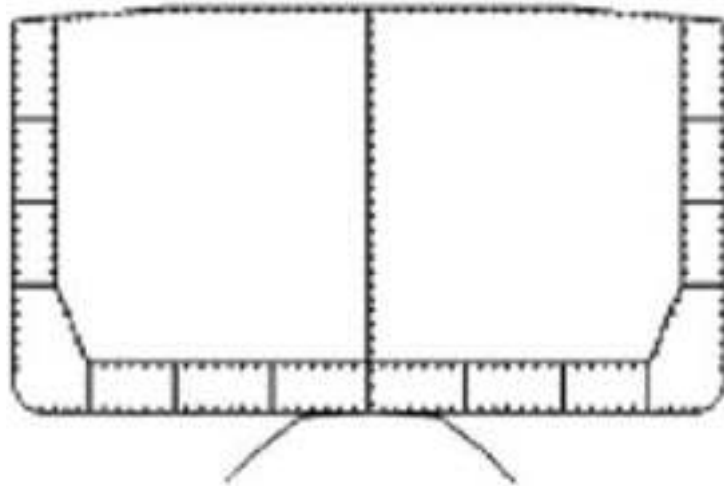
PENDAHULUAN

I.1. Latar Belakang Masalah

Berdasarkan Allianz Global Corporate & Speciality : Safety an Shipping Review 2017, selama satu dekade sejak tahun 2007 hingga tahun 2016, jumlah kecelakaan kapal di dunia sebanyak 1186 kasus dengan lautan China, Indonesia, dan Phillipines menempati peringkat pertama wilayah yang mengalami kecelakaan kapal paling banyak, yaitu sebesar 249 kasus. Adapun tipe kapal yang paling banyak mengalami kecelakaan adalah kapal kargo, yaitu sebanyak 481 kapal. Dari semua kasus kecelakaan yang terjadi, *grounding*, ledakan/kebakaran, tubrukan, dan kerusakan mesin merupakan penyebab utamanya. Kecelakaan yang terjadi akibat *grounding* sebanyak 244 kasus. Dengan demikian *grounding* merupakan salah satu penyebab kecelakaan yang sering terjadi pada kapal.

Grounding merupakan salah satu penyebab kecelakaan yang sering terjadi pada kapal. Selain itu *grounding* berdampak langsung pada kekuatan konstruksi alas kapal sehingga apabila *grounding* terjadi pada kapal pembawa zat berbahaya seperti *oil tanker*, LNG/LPG dapat menyebabkan kerusakan lingkungan yang cukup serius. Untuk mengurangi resiko kerusakan kapal dan polusi lingkungan, sangat penting untuk meminimalisir kemungkinan terjadinya tubrukan/karam dan konsekuensi yang disebabkan. Oleh karena itu dibutuhkan suatu desain konstruksi struktur kapal yang mampu menerima beban akibat tubrukan dan karam.

Grounding dapat disebabkan oleh karang atau benda lain yang ditabrak oleh bagian lambung alas kapal. Oleh karena itu penelitian ini akan menganalisis tegangan yang diterima konstruksi alas kapal akibat *grounding*. Analisis dilakukan menggunakan metode elemen hingga dengan studi kasus konstruksi alas kapal tanker 17500 tonnes deadweight. Pemodelan dilakukan dengan software Finite Element Method (FEM). Hasil yang didapatkan berupa nilai tegangan von mises dan deformasi.



Gambar I. 1 Ilustrasi kapal terkena karang dan terjadinya *grounding*

I.2. Perumusan Masalah

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

1. Bagaimana perilaku tegangan yang terjadi pada konstruksi alas kapal akibat *grounding*?
2. Bagaimana perilaku deformasi yang terjadi pada konstruksi alas kapal akibat *grounding*?
3. Berapa besar *energy* yang diserap oleh konstruksi alas kapal akibat *grounding*?

I.3. Tujuan

Tujuan dari penulisan Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Mengetahui perilaku tegangan yang terjadi pada konstruksi alas kapal akibat *grounding*
2. Mengetahui perilaku deformasi yang terjadi pada konstruksi alas kapal akibat *grounding*
3. Mengetahui besar *energy* yang diserap oleh konstruksi alas kapal akibat *grounding*

I.4. Batasan Masalah

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

1. Dilakukan di perairan tenang
2. Kapal dalam kondisi muatan penuh

3. Menggunakan konstruksi *double bottom* pada kapal
4. *Grounding* terjadi karena kapal menabrak karang
5. Penelitian dilakukan dengan software
6. Skenario tubrukan terjadi di tiga titik, yaitu pada *solid floor*, *open floor* dan *watertight floor*

I.5. Manfaat

1. Memberikan pemahaman tentang perhitungan beban yang terjadi pada saat kapal mengalami *grounding*
2. Memberikan pemahaman tentang kekuatan yang dapat dihasilkan dari konstruksi alas.

I.6. Hipotesis

Dengan tugas akhir ini, akan didapatkan tegangan paling besar pada area *open floor* karena konstruksi di daerah ini tidak kuat.

Halaman ini sengaja dikosongkan

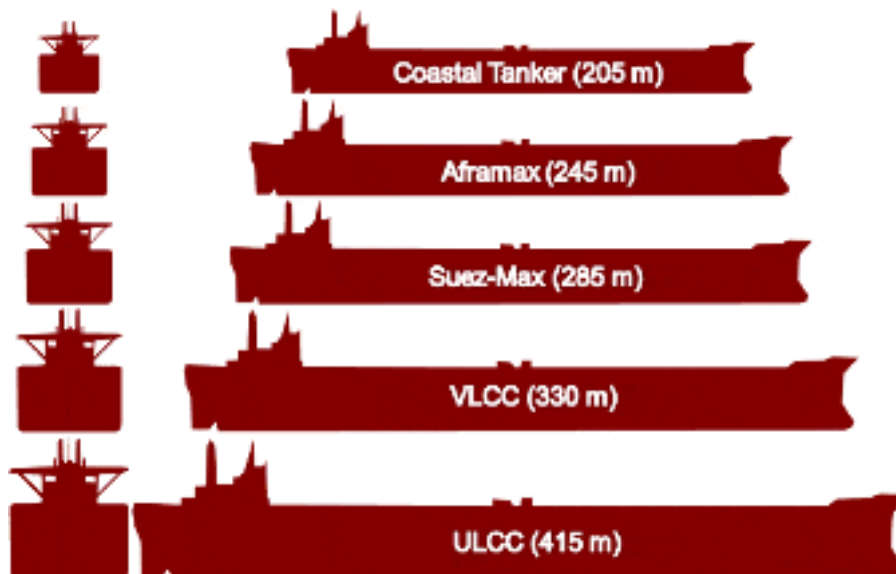
BAB II

STUDI LITERATUR

II.1. Dasar Teori

II.1.1. Kapal Tanker

Kapal Tanker merupakan jenis kapal yang dirancang sebagai alat transportasi muatan minyak dan produk turunannya. Klasifikasi kapal tanker berdasarkan kapasitas muatan yang diangkut seperti pada Gambar II. 1.



Gambar II. 1 Klasifikasi Kapal Tanker Berdasarkan Kapasitas Muatan
(Sumber : hofstra.edu)

- ULCC (*Ultra Large Crude Carrier*), berkapasitas 500.000 ton
- VLCC (*Very Large Crude Carrier/Malaccamax*), berkapasitas 300.000 ton
- Suezmax, yang dapat melintasi Terusan Suez dalam muatan penuh, berkapasitas 125.000-200.000 ton
- Aframax (*Average Freight Rate Assessment*) berkapasitas 80.000-125.000 ton
- Panamax, yang dapat melintasi pintu di Terusan Panamá, berkapasitas 50.000-79.000 ton (Marine Insight, 2017)

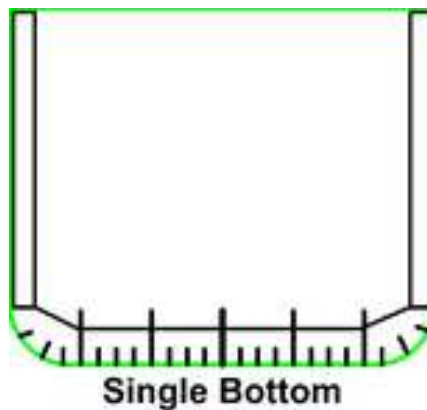
II.1.2. Konstruksi Alas

Biasanya semua kapal berukuran lebih kecil menggunakan konstruksi alas *single bottom*, karena tidak memerlukan dasar ganda untuk menahan muatan kargo. Pada kapal ini *plate floors* berfungsi sebagai penyangga dari pelat alas. *Plate floors* tersebut merupakan lempengan yang melintang pada setiap jarak antar bingkai.

Tetapi, hampir semua kapal yang berlayar di laut memiliki konstruksi *double bottom*. Dalam susunannya, *tank top* berada diatas plat dan *bracket floors*. *Bracket floors* memiliki sedikit perbedaan dengan *plate floors*. Konstruksi *double bottom* memiliki *struts* atau *stiffener* untuk menyangga dari plat alas dalam (Eyres, 2006)

Perbandingan lebih rinci mengenai tipe konstruksi yang dimaksud adalah sbb :

1. Kapal yang membawa muatan dengan desain *single bottom* memiliki kelemahan karena hanya memiliki satu lapisan kulit yang membatasi ruang muat dengan laut lepas. Hal ini menjadi perhatian yang serius dikarenakan seiring dengan beroperasinya suatu kapal, pelat akan mengalami pengikisan serta korosi akibat interaksi pelat dengan muatan maupun air laut yang berdampak pada penurunan fungsi pelat. Struktur pelat yang tidak bagus tersebut meningkatkan resiko terjadinya kebocoran secara langsung.

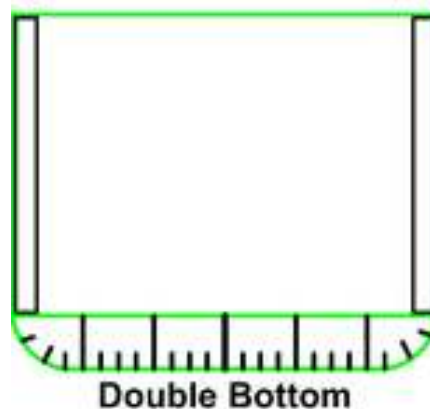


Gambar II. 2 *Single Bottom Oil Tanker*

(Sumber : kids.kiddle.co)

2. Berlainan dengan konstruksi *single bottom*, dengan adanya konstruksi *double bottom* muatan akan tetap terjaga ketika mengalami *grounding* selama penetrasi yang diakibatkan oleh *grounding* kurang dari tinggi *double bottom*.

Kemungkinan terjadinya korosi juga diminimalisir karena pelat luar lambung kapal tidak berinteraksi dengan muatan kapal secara langsung.



Gambar II. 3 *Double Bottom Oil Tanker*

(Sumber : kids.kiddle.co)

II.1.3. Tegangan

Jika sebuah benda elastis ditarik dengan suatu gaya maka benda tersebut akan mengalami pertambahan panjang sampai ukuran tertentu. Pertambahan panjang tersebut sebanding dengan gaya yang diberikan pada benda tersebut. Gaya yang bekerja sebanding dengan perpanjangan dari benda dan berbanding terbalik dengan luas penampangnya. Besarnya gaya yang bekerja dibagi dengan luasan penampang didefinisikan sebagai tegangan (*stress*).

$$\sigma = \frac{F}{A_0} \quad (\text{II.1})$$

dimana

σ = tegangan (N/m^2)

F = gaya (N)

A = luas penampang (m^2)

Gaya yang bekerja pada benda akan mengakibatkan pertambahan panjang dari benda disebut tegangan tensil. Sebaliknya apabila gaya tersebut menyebabkan berkurangnya panjang dari benda tersebut maka disebut dengan tegangan kompresional. Terdapat beberapa macam tegangan yaitu tegangan normal, tegangan tekan, tegangan puntir, tegangan geser dan tegangan lengkung (Hariyadi, 2008).

II.1.4. Regangan

Regangan didefinisikan sebagai hasil bagi antara pertambahan panjang dengan panjang awal. Contoh dari kasus tersebut adalah pada saat benda yang digantungkan pada tali, menimbulkan gaya tarik pada tali sehingga menyebabkan tali tersebut memberikan perlawanan

berupa gaya reaksi yang sebanfing dengan berat beban yang dipikulnya (gaya aksi = gaya reaksi).

Respon dari tali terhadap beban yang bekerja pada sistem tersebut akan mengakibatkan tali menegang sekaligus juga meregang akibat efek terjadinya pergeseran internal pada tingkat atom penyusun partikel tali tersebut. Hal ini mengakibatkan tali tersebut mengalami penambahan panjang.

Tali yang mengalami pertambahan sejauh ΔL dari semula yang memiliki panjang L maka akan terjadi regangan pada tali tersebut. Regangan dari tali dihitung dengan membandingkan antara penambahan panjang yang terjadi terhadap panjang mula mula dari tali dan dinyatakan dengan persamaan

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L_0} \quad (\text{II.2})$$

dimana

ε = regangan

ΔL = perubahan panjang (m)

L_0 = panjang awal (m)

Persamaan diatas memiliki satuan pembilang yang memiliki dimensi panjang serta pada bagian penyebutnya yang memiliki dimensi panjang sehingga persamaan regangan tersebut merupakan bentuk yang nisbi. Regangan tersebut dapat dinyatakan dalam persen dan tidak memiliki satuan.

II.1.5. Modulus Elastisitas

Terdapat hukum yang menyatakan hubungan antara tegangan dan regangan yang terjadi pada suatu benda. Hukum tersebut adalah hukum Hooke. Hukum Hooke menunjukkan terjadinya hubungan linier atau proporsional antara tegangan dan regangan suatu material. Hubungan diantara keduanya ditentukan oleh modulus elastisitas atau disebut dengan modulus young (E) dari masing-masing material.

Material disebut dengan elastis apabila material tersebut diberi beban dan mengalami regangan lalu ketika beban dihilangkan material tersebut kembali ke bentuk semula. Elastisitas dari benda tersebut berada pada daerah tersebut, apabila beban yang dikenai pada material dihilangkan material tersebut akan kembali ke bentuk semula. Bila tegangan yang bekerja tidak melewati batas tertentu atau batas elastis maka akan terjadi perubahan yang bersifat sementara.

Perubahan sementara yang dimaksud adalah perubahan yang terjadi pada benda atau material yang tidak permanen (Ardianus, 2017).

Untuk menentukan modulus young dari suatu bahan tidak terlepas dari sifat elastisitas suatu benda dan batas elastisitasnya. Elastis sendiri didefinisikan sebagai kemampuan benda untuk kembali pada ukuran dan bentuk awalnya ketika gaya-gaya yang mengubah bentuknya dihilangkan. Batas elastis dari suatu benda adalah tegangan terkecil yang akan menghasilkan gangguan permanen pada benda. Benda tidak akan kembali persis seperti keadaan awalnya setelah tegangan tersebut dihilangkan ketika benda diberikan tegangan melebihi batas ini. (Tripler, 1998).

Modulus elastisitas dari suatu benda didapatkan dengan membagi antara tegangan dan regangan yang terjadi pada benda. Sehingga hubungan antara regangan dan tegangan dapat ditulis dengan persamaan

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} \quad (\text{II.3})$$

dimana

E = modulus elastisitas (Mpa)

σ = tegangan (Mpa)

ε = regangan

II.1.6. Tegangan *Von Mises*

Tegangan *von mises* adalah kombinasi dari semua tegangan diantaranya adalah tegangan normal pada tiga arah dan juga tegangan geser yang bereaksi pada tempat tertentu. Jika tegangan *von mises* yang dihasilkan melebihi *yield strength*, maka material akan memberikan kekuatan sebesar *yield strength*, dan jika tegangan *von mises* yang dihasilkan melebihi *ultimate strength* maka akan pecah. Tegangan *von mises* menurut IACS (2014) dirumuskan sebagai berikut

$$\sigma_{vm} = \sqrt{(\sigma_x)^2 - (\sigma_x\sigma_y)^2 + (\sigma_y)^2 + 3(\tau_{xy})^2} \quad (\text{II.4})$$

dimana

σ_{vm} = tegangan von mises (N/m²)

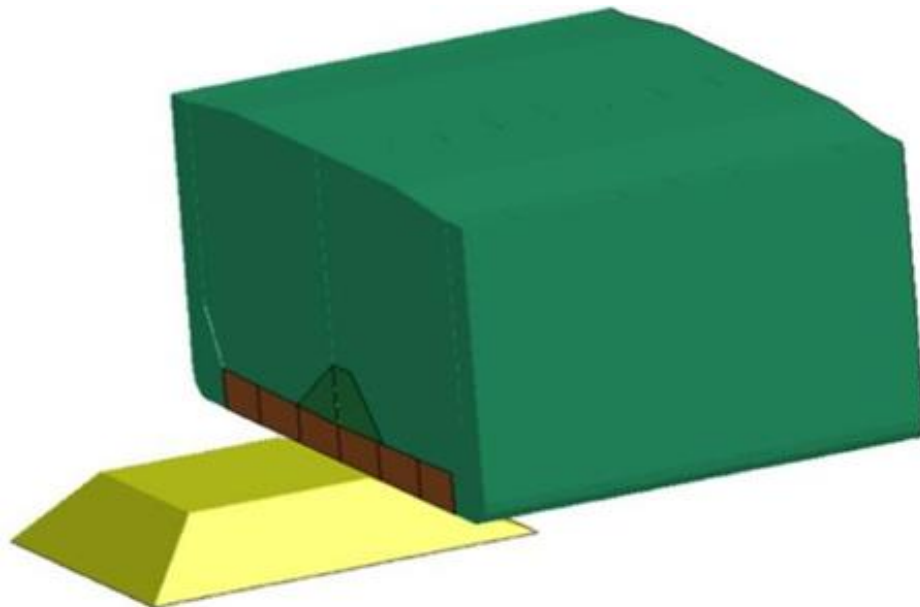
σ_x dan σ_y = tegangan normal elemen (N/m²)

τ_{xy} = tegangan geser elemen (N/m²)

II.1.7. *Grounding*

Sederhananya, ship grounding adalah jenis kecelakaan di laut. Ketika bagian alas disebut ship grounding. Kerusakan bisa dapat menyebabkan kerusakan pada alas kapal sampai dengan struktur lambung kapal yang dapat juga mempengaruhi stabilitas dari kapal itu sendiri (Marine Insight, 2017).

Grounding merupakan fenomena yang kompleks melibatkan jumlah dari *energy absorb mechanisms*. Lalu respon dari struktur tergantung dari posisi kapal dengan benda yang tertabrak atau bagaimana benda mengenai dari lambung kapal itu sendiri, dari bentuk dan kekerasan benda. Kerusakan kapal saat grounding tidak berhenti pada saat fase kapal bergerak mengenai benda yang tertabrak, tetapi kapal juga mengalami kerusakan saat kapal sudah berhenti pada karang atau benda yang ditabraknya (Samuelides, 2007).



Gambar II. 4 Model Kapal Saat terjadi *Grounding*

(Sumber : Zhaolong Yu)

II.1.8. *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 analisis 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*) (Hasanudin dkk, 2017).

Dinamakan elemen hingga karena ukuran elemen kecil ini berhingga dan umumnya mempunyai bentuk geometri yang lebih sederhana dibandingkan kontinunya. 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, 1978).

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 adalah sebagai berikut:

$$\{f\} = [k] \cdot \{d\} \quad (\text{II.5})$$

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

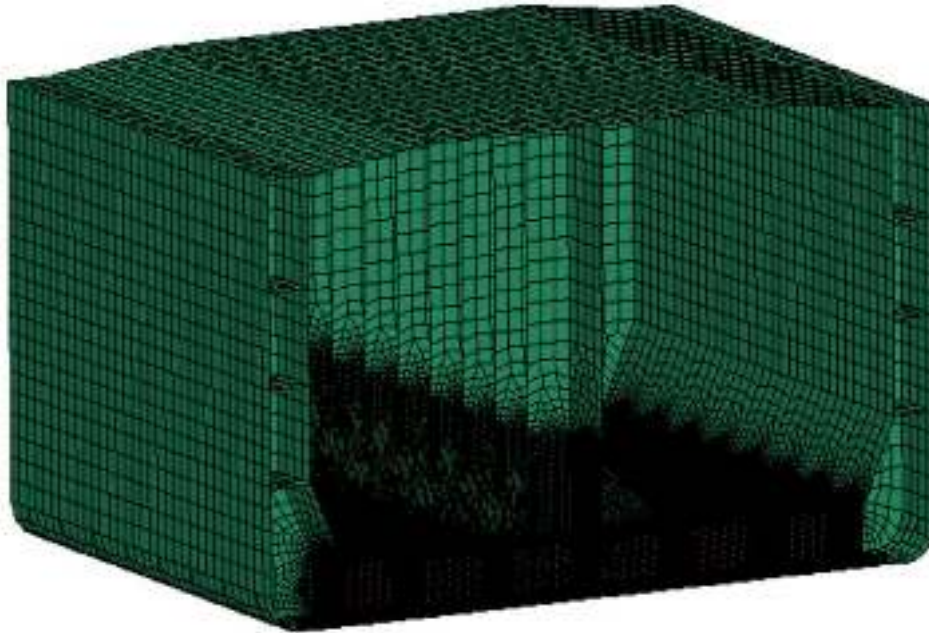
Analisis kekuatan dengan metode elemen hingga digunakan untuk mendapatkan nilai tegangan *von mises*. Suatu konstruksi dinyatakan memenuhi apabila besarnya nilai *von mises stress* (σ_{vm}) kurang dari *yield stress material* (σ_y). Persamaan *von mises* dituliskan sbb :

$$\sigma_{vm} = \sqrt{I_1^2 - 3I_2} \quad (\text{II.6})$$

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

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

Dimana, nilai σ adalah tegangan normal, τ adalah tegangan geser (Hoque, 2013).



Gambar II. 5 Model Midship Kapal dengan Software FEM

(Sumber : Zhaolong Yu)

II.1.9. 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 diiadakan, 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, 1997).

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*) (Singer & Pytel, 1986).

II.1.10. Rigid Body

Suatu bahan/material bisa saja terdiri dari partikel yang sangat besar. 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 (Featherstone, 1987).

II.1.11. Meshing

Meshing merupakan proses pembuatan elemen berbentuk poligonal atau polihedral yang mendekati domain geometris model. Atau dapat disebut membagi model menjadi beberapa elemen dengan ukuran yang lebih kecil. Merupakan tahap penting atau langkah kunci pada analisis menggunakan metode elemen hingga untuk perhitungan numerik menurut (Hoque, 2016) pada tesisnya. Tipe meshing dibagi menjadi beberapa bagian berdasarkan pertemuan antar elemen yaitu

1. Structure Mesh

Jenis *meshing* ini adalah jenis *meshing* yang dapat dilihat pada interior *node* yang memiliki jumlah elemen sama pada setiap titik pertemuan elemennya. Jenis *meshing* ini biasanya berbentuk *quad* atau *hexagonal*. *Meshing* ini memiliki ciri-ciri bentuk yang teratur.

2. Unstructure Mesh

Jenis *meshing* ini digunakan untuk model yang bentuknya tidak teratur. Jenis dari *meshing* ini biasanya berbentuk *tetrahedral* atau *triangle*.

Pemilihan ukuran meshing juga ditentukan berdasarkan lokasinya. Menurut (IACS, 2014) mengatakan bahwa beberapa bagian dari kapal harus menggunakan *fine mesh zone* yaitu pada daerah yang memiliki tegangan tinggi. Pemilihan dari ukuran *mesh* pada daerah tersebut tidak boleh kurang dari 50 mm. Hal ini dilakukan agar hasil solusi yang dihasilkan dengan menggunakan perhitungan elemen hingga dapat dikatakan mendekati dari penyelesaian yang sebenarnya. Seperti contoh *meshing* di daerah *manhole*, *scallop*.

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. Analisis Dampak Perilaku Kapal Akibat *Grounding*

1. (Samuelides, 2007) telah melakukan penelitian tentang dampak perilaku pada struktur *bottom* kapal saat terjadinya *grounding*, dengan mengambil studi kasus kapal *VLCC* dan *Navy Vessel* yang mengalami *grounding* lalu disimpulkan kerusakan saat terjadi *grounding* tidak hanya terjadi pada saat pertama kali kapal terkena karang, tetapi akan tetap mengalami kerusakan saat kapal sudah berhenti selama beberapa hari dari kali pertama saat lambung kapal terkena karang. Tampak kerusakan juga berbeda beda dihasilkan berdasarkan dari kecepatan kapal melaju, jenis karang yang ditabrak dan tempat dimana karang tersebut menabrak kapal. Penelitian ini juga membuat simulasi *grounding* dengan *software* elemen hingga.

II.2.2. Analisis Kekuatan Kapal saat *Grounding*

1. (Zhaolong, 2013) telah melakukan penelitian tentang prediksi kekuatan pada struktur dari *double bottom* pada saat terjadi *shoal grounding* menggunakan Hong and Amdahl's *simplified analytical method* dan membandingkan dengan mendemonstrasikan *numerical analysis method* untuk membandingkan energi distorsi yang didapatkan pada komponen besar dari konstruksi alas yaitu seperti *longitudinal girders*, *transverse floors* dan *bottom shell plating*.
2. (Hareide, 2013) telah melakukan penelitian tentang memodelkan kapal saat terjadi *grounding* dengan metode elemen hingga, dengan memodelkan *barge* sebagai kapal yang akan menabrak karang dengan kecepatan 14 knot yang menghasilkan *reaction force* dan *energy force* yang masing masing dibandingkan dengan hasil eksperimen.

BAB III METODOLOGI

III.1. Studi Literatur

Tugas Akhir ini bertujuan untuk menganalisis kekuatan konstruksi alas kapal Tanker 17500 LTDWT 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. Referensi yang diperlukan adalah mengenai pemodelan *grounding* dan konstruksi alas melalui berbagai media diantaranya adalah :

1. Buku
2. Artikel
3. Jurnal
4. Tugas Akhir
5. *Paper*
6. Internet
7. *Rules*

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 kapal yang diperlukan untuk permodelan konstruksi alas. Rincian data yang diperlukan adalah ukuran utama, *construction profile*, *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 merupakan kapal Tanker 17500 LTDWT dengan ukuran utama yang tertera pada Tabel III. 1

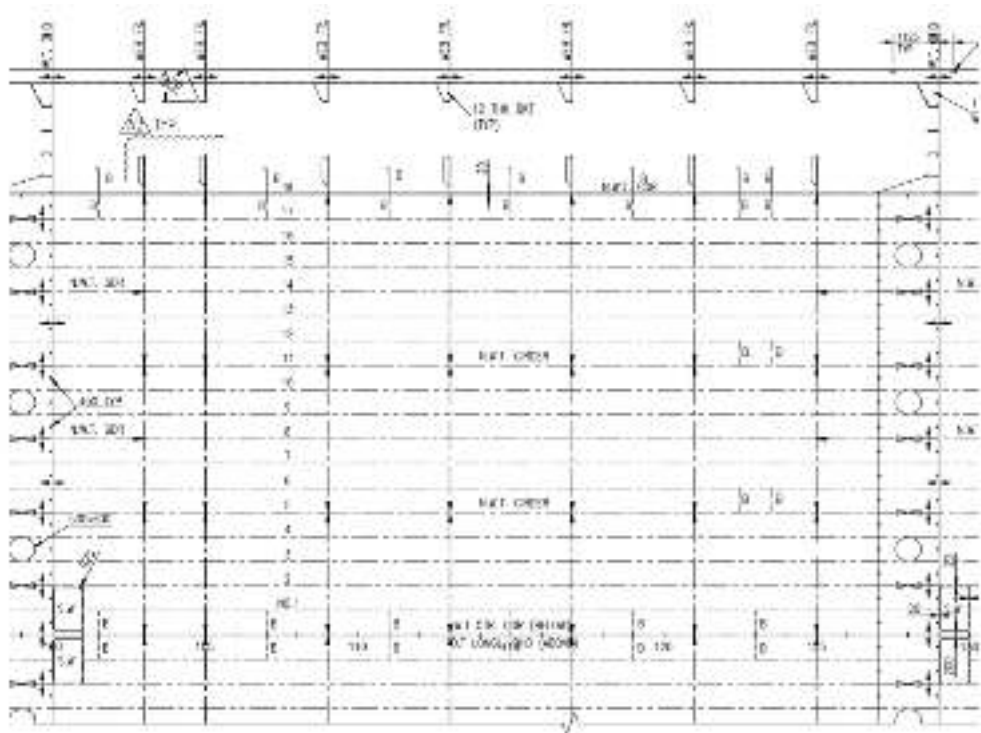
Tabel III. 1 Data ukuran utama kapal Tanker 17500 LTDWT

Deskripsi	Ukuran	Satuan
<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

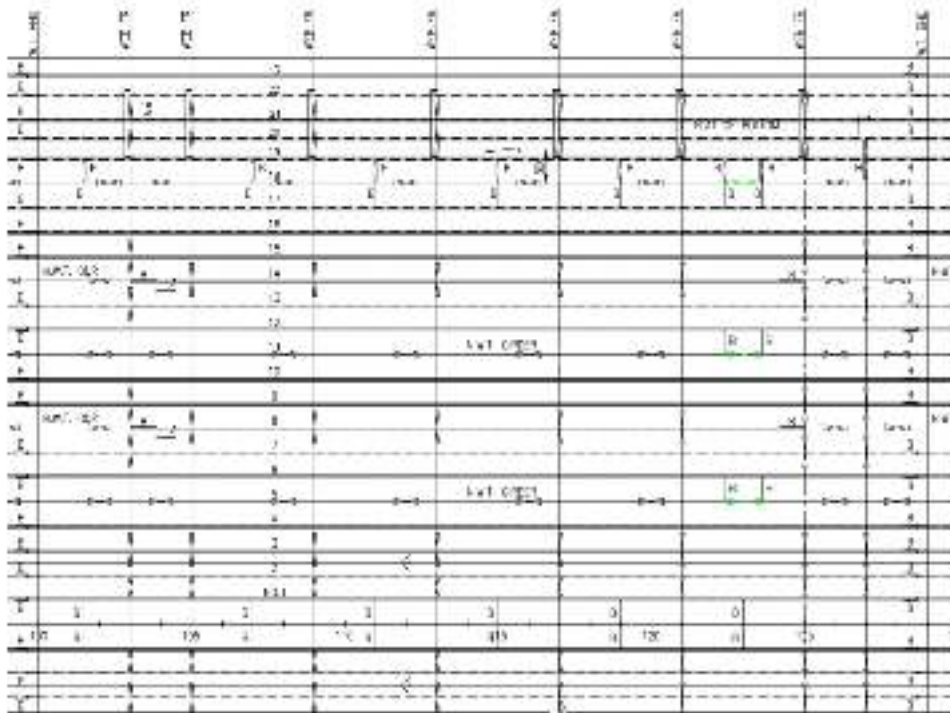
Deskripsi	Ukuran	Satuan
<i>Draft</i> (T)	7,5	m
Kecepatan Dinas (Vs)	13	knots

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 LTDWT pada *Tank Top* bisa dilihat pada Gambar III. 1. Sedangkan gambar konstruksi kapal Tanker 17500 LTDWT pada *bottom* ditunjukkan oleh Gambar III. 2.



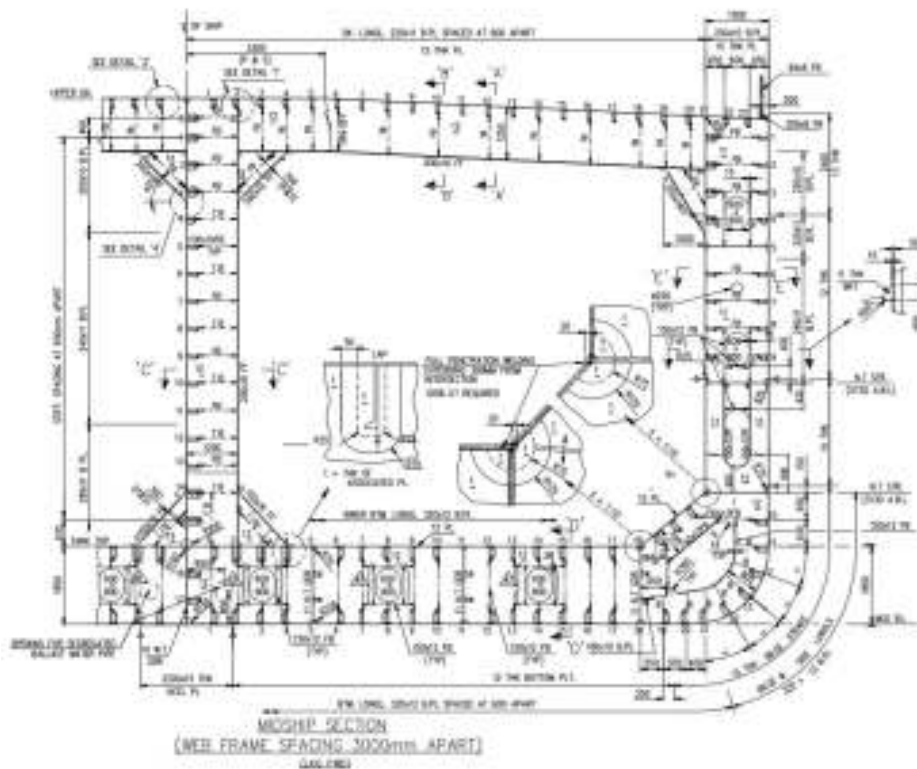
Gambar III. 1 *Construction Profile* Kapal Tanker 17500 LTDWT pada *Tank Top*



Gambar III. 2 *Construction Profile* Kapal Tanker 17500 LTDWT pada *Bottom*

III.2.3. *Midship Section*

Midship Section menggambarkan penampang melintang sebuah kapal. Pada gambar III.3 ditunjukkan *midship section* pada kapal Tanker 17500 LTDWT.



Gambar III. 3 *Midship Section* Kapal Tanker 17500 LTDWT

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.

III.2.4. Mechanical Properties

Material kapal yang digunakan adalah baja A36 dengan karakteristik sesuai dengan yang tertera pada Tabel III. 2.

Tabel III. 2 Mechanical Properties baja A36

Deskripsi	Ukuran
Massa jenis	7850 kg/m ³
Modulus Young	200 GPa
Poisson's ratio	0,3
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

Material karang yang digunakan adalah *Limestone* dengan karakteristik sesuai dengan yang tertera pada Tabel III. 3. Digunakan material *Limestone* dikarenakan material tersebut terdapat pada karang.

Tabel III. 3 Mechanical Properties Limestone

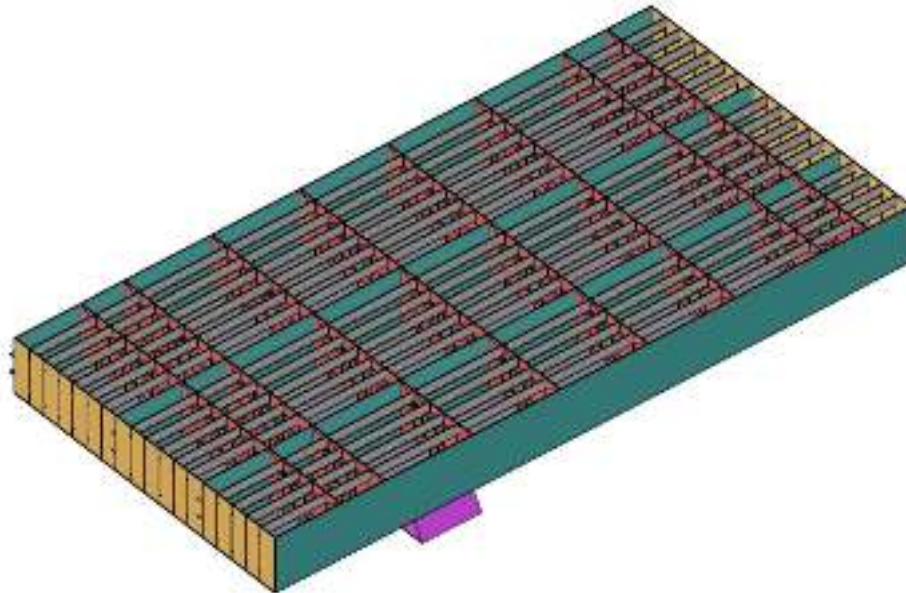
Deskripsi	Ukuran
Massa jenis	4002 kg/m ³
Modulus Young	378 GPa
Poisson's ratio	0,307
Shear modulus	14,4 GPa
Bulk Modulus	32,8 GPa

III.3. Pemodelan Elemen Hingga

III.3.1. Proses Pengerjaan Geometry

Konstruksi alas 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 dan selebar setengah dari lebar kapal dari *center girder* sampai *side girder* tserluar kapal dengan alasan untuk mempersingkat waktu pada saat analisis dengan *software* FEM. *Geometry* karang dibuat dengan asumsi menyerupai bentuk prisma trapesium dengan luasan karang yang *contact* dengan

bottom plate seluas 2 m². Kedua *geometry* dibuat dalam satu *file* dengan menggunakan *software* 3D dan telah diubah dengan ekstensi file (.iges) dengan alasan kompatibilitas format tersebut dengan *software* FEM yang digunakan pada tahap analisis.



Gambar III. 4 *Geometry* konstruksi alas dan karang pada *software* 3d

III.3.2. *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*. Terdapat 3 skenario *grounding*. Pada skenario 1, *grounding* terjadi pada daerah *solid floor*, skenario 2, *grounding* terjadi pada daerah *open floor*, sedangkan skenario 3 terjadi pada daerah *watertight floor*.

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*.

B		
1	Explicit Dynamics	
2	Engineering Data	✓
3	Geometry	✓
4	Model	✓
5	Setup	✓
6	Solution	✓
7	Results	✓

Explicit Dynamics

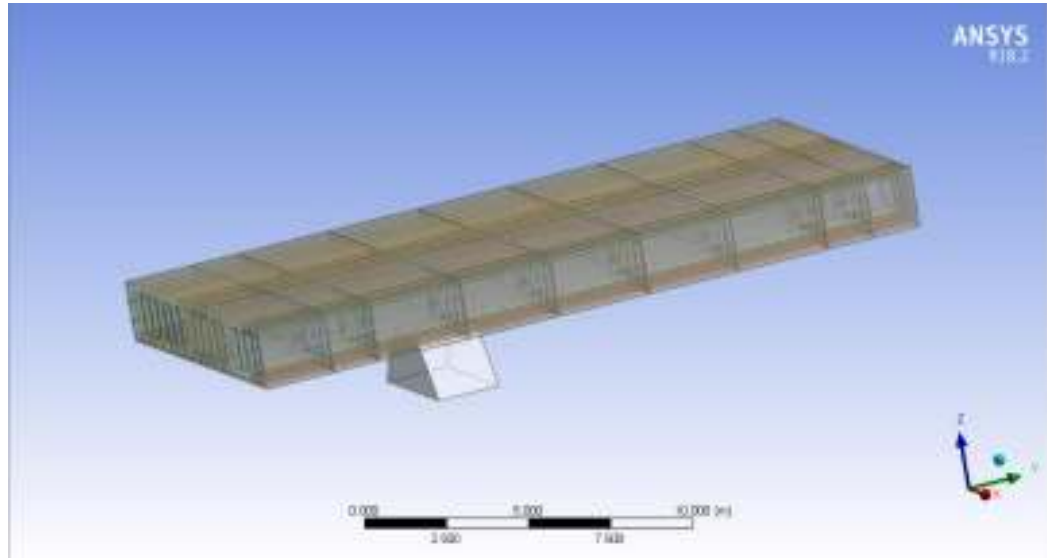
Gambar III. 5 Beberapa Modul pada *Dynamic Finite Element Software*

	A	B	C	D	E
1	Property	Value	Unit		
2	Material Field Variables	Table			
3	Density	7890	kg m ⁻³		
4	Isotropic Secant Coefficient of Thermal Expansion				
5	Coefficient of Thermal Expansion	1.2E-05	C ⁻¹		
6	Isotropic Elasticity				
7	Derive from	Young's ...			
8	Young's Modulus	2E+11	Pa		
9	Poisson's Ratio	0.3			
10	Bulk Modulus	1.6667E+11	Pa		
11	Shear Modulus	7.6923E+10	Pa		
12	Alternating Stress Mean Stress	Tabular			
13	Interpolation	Log-Log			
14	Scale	1			
15	Offset	0	Pa		
16	Strain-Life Parameters				
17	Display Curve Type	Strain-Life			
18	Strength Coefficient	9.2E+08	Pa		
19	Strength Exponent	-0.105			
20	Ductility Coefficient	0.213			
21	Ductility Exponent	-0.47			
22	Cyclic Strength Coefficient	1E+09	Pa		
23	Cyclic Strain Hardening Exponent	0.2			
24	Tensile Yield Strength	2.5E+08	Pa		
25	Compressive Yield Strength	2.5E+08	Pa		
26	Tensile Ultimate Strength	4.6E+08	Pa		
27	Compressive Ultimate Strength	0	Pa		
28	Isotropic Thermal Conductivity	60.5	W m ⁻¹ ...		
29	Specific Heat, C _p	434	J kg ⁻¹ ...		
30	Isotropic Relative Permeability	10000			
31	Isotropic Resistivity	1.7E-07	ohm m		

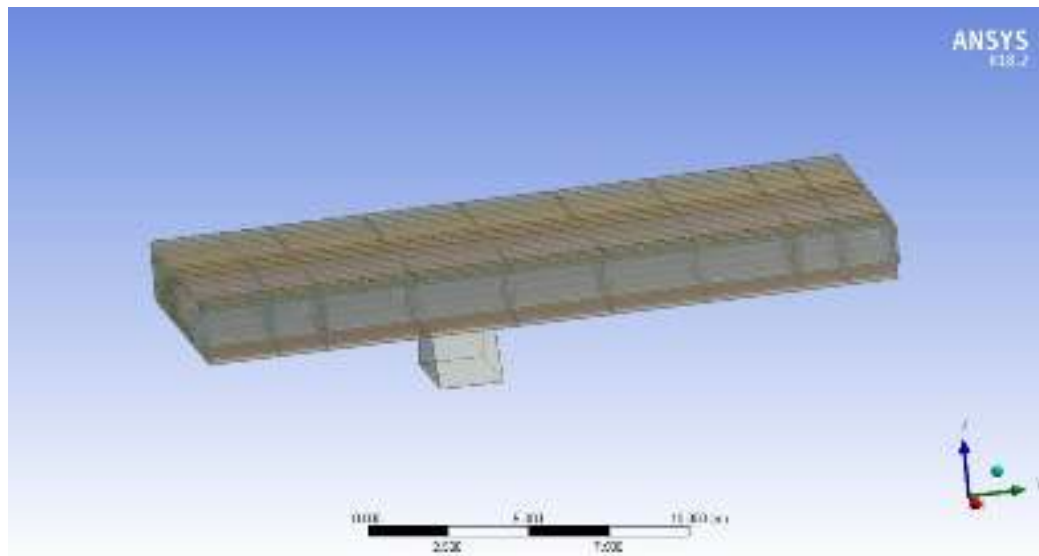
Gambar III. 6 Modul *Engineering Data*

B. *Input data geometry*

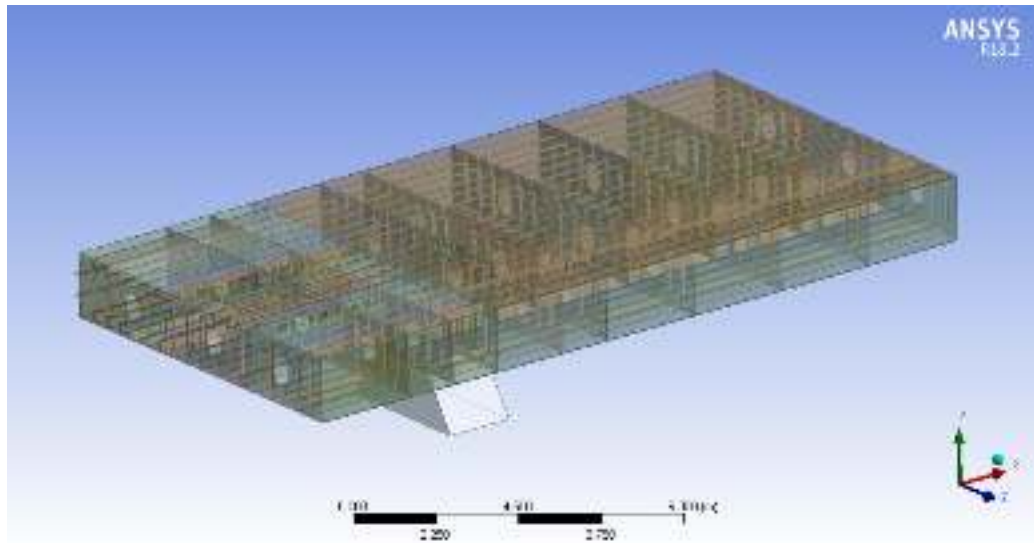
Geometry dimasukkan ke dalam *software* berbasis *dynamic finite element* dan dipastikan tidak bermasalah (seluruh komponen terdefinisi sebagai *solid object*).



Gambar III. 7 *Input Geometry* Skenario 1



Gambar III. 8 *Input Geometry* Skenario 2



Gambar III. 9 *Input Geometry* Skenario 3

III.4. 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.

Untuk penentuan *sizing element*, terdapat beberapa pilihan *size function* seperti *adaptive*, *curvature*, *proximity*, dan *uniform*. Berdasarkan hasil *running*, *size function adaptive* dipilih dikarenakan keakuratan hasil tegangan dan tidak adanya *error* yang ditimbulkan saat dilakukannya proses *running* juga hal ini dikarenakan karna tidak adanya perubahan cukup ekstrim pada ukuran *element* di daerah *manhole*, dan *scallop*. Distribusi tegangan yang dihasilkan dari *size function adaptive* lebih akurat.

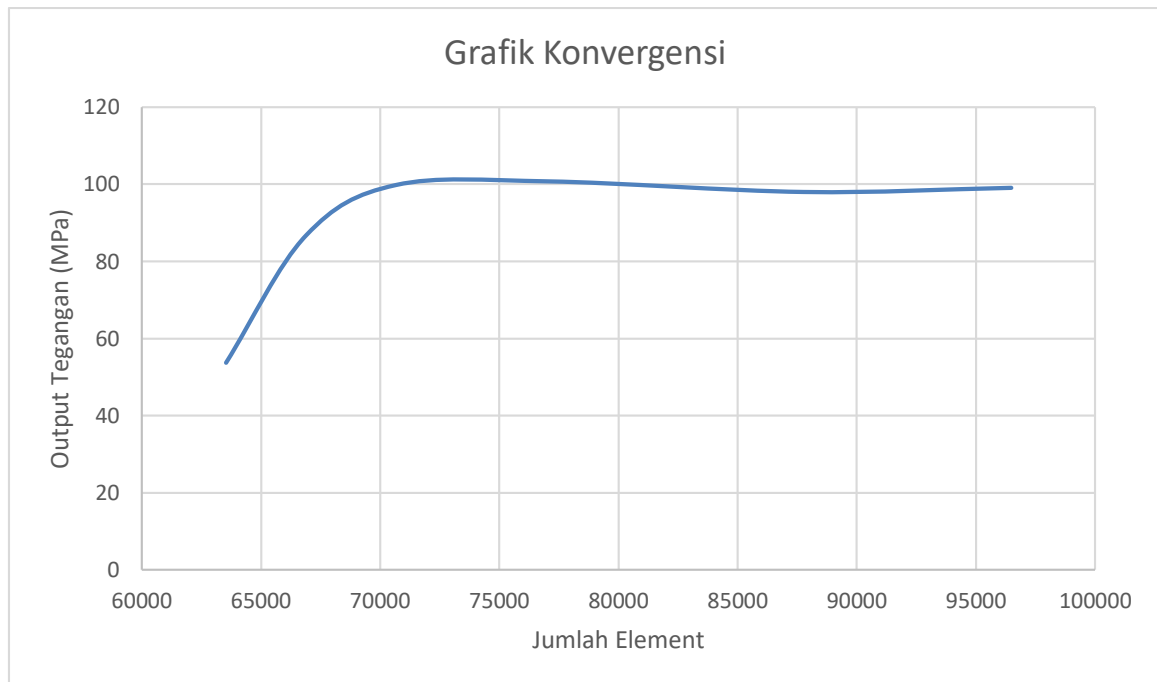
Berdasarkan hasil konvergensi yang dilakukan pada model didapatkan hasil konvergensi seperti yang dapat dilihat pada Tabel III. 4.

Tabel III. 4 Tabel Konvergensi Ukuran Meshing Model

Ukuran	elemen (n)	teg (MPa)
0.4	63544	53.65
0.35	66903	86.71
0.3	70673	99.782
0.25	77131	100.72
0.2	87779	97.98
0.19	96494	99.05

Tabel III. 4. menunjukkan hasil konvergensi tegangan dengan beberapa ukuran meshing, dapat terlihat konvergensi tercapai pada ukuran meshing antara 0,25 m sampai 0,19 m. Dari hasil konvergensi diambil ukuran *meshing* 0,2 m dengan nilai tegangan sebesar 97,98 MPa. Berikut grafik konvergensi ukuran meshing model berdasarkan Tabel III. 4.

Ukuran element tidak dapat dikecilkan lagi dikarenakan pada software FEM tidak dapat mengatur *time step*, oleh karena itu *time step* akan menjadi sangat kecil berbanding lurus dengan ukuran *meshing*. Semakin kecil *time step* menyebabkan error *time step too small*.



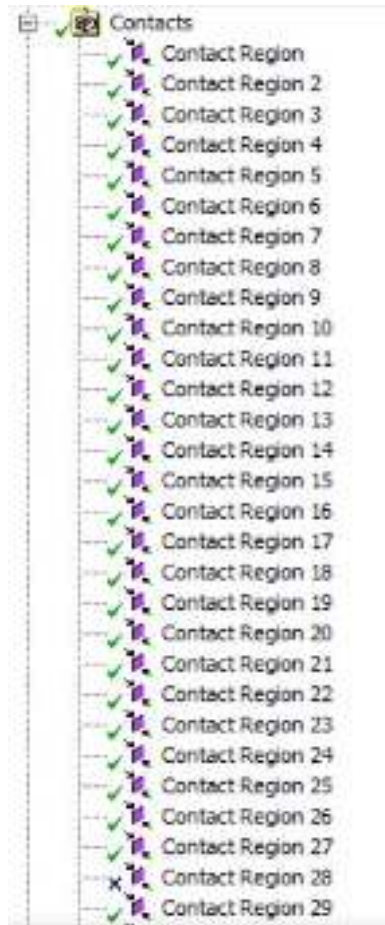
Gambar III. 10 Grafik Konvergensi Ukuran Meshing

Berdasarkan dari grafik konvergensi yang diperoleh, proses perhitungan analisis tegangan dilakukan pada ukuran meshing 0,2 m dengan jumlah elemen 87779.

III.5. Kondisi Batas

III.5.1. Connections

Perlu didefinisikan koneksi antar *geometry* yang terjadi untuk setiap bagian dari *geometry* yang terjadi untuk setiap bagian dari *geometry* konstruksi alas yang dibuat. Koneksi yang terdapat pada konstruksi alas adalah berupa las – lasan pada keadaan sebenarnya. Digunakan koneksi berupa *bonded* untuk dapat diaplikasikan pada model struktur.



Gambar III. 11 Contoh Pendefinisian *Connections*

III.5.2. Fixed Support

Perlu didefinisikan jenis tumpuan apa yang terjadi pada *geometry* konstruksi alas saat terjadinya *grounding*. Jenis tumpuan tersebut berupa jenis tumpuan jepit, yang dimana didefinisikan sebagai *Fixed Support*. Setiap *Fix Support* diberikan pada setiap *face* terluar dari bagian terluar *geometry* konstruksi alas.

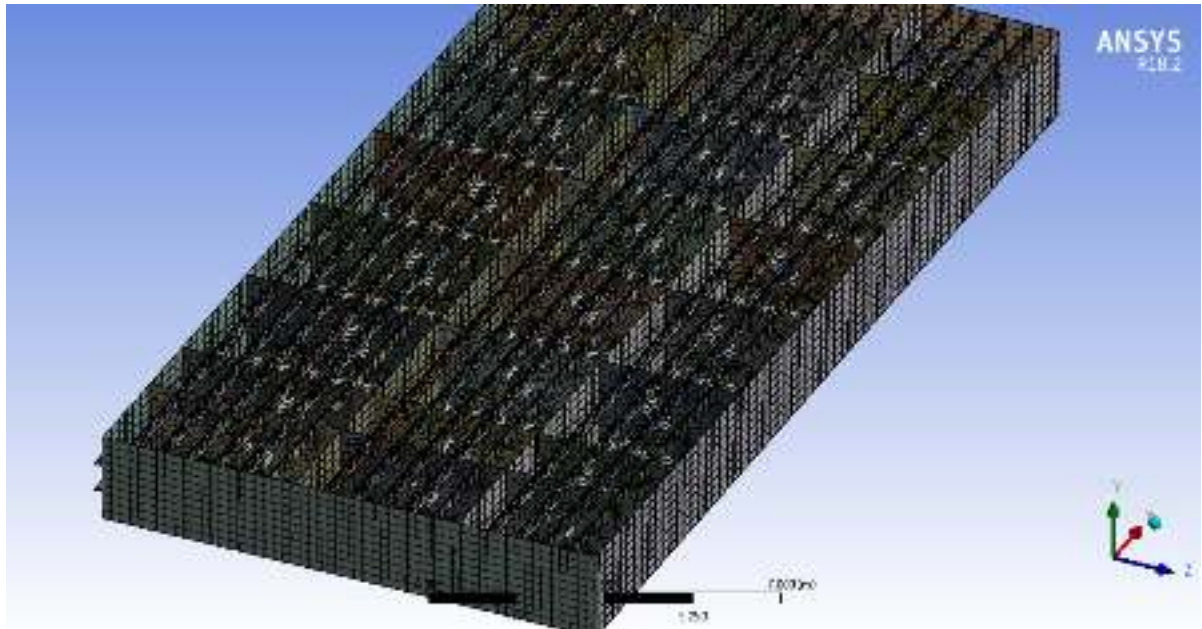
III.5.3. Rigid Body

Pada *geometry* karang ditentukan sebagai *Rigid Body* agar struktur dari karang tidak mengalami *deformasi* yang dikarenakan dari efek terjadinya *grounding*. Hal ini ditentukan agar saat analisis energi yang diserap oleh struktur konstruksi alas kapal sebesar 100%.

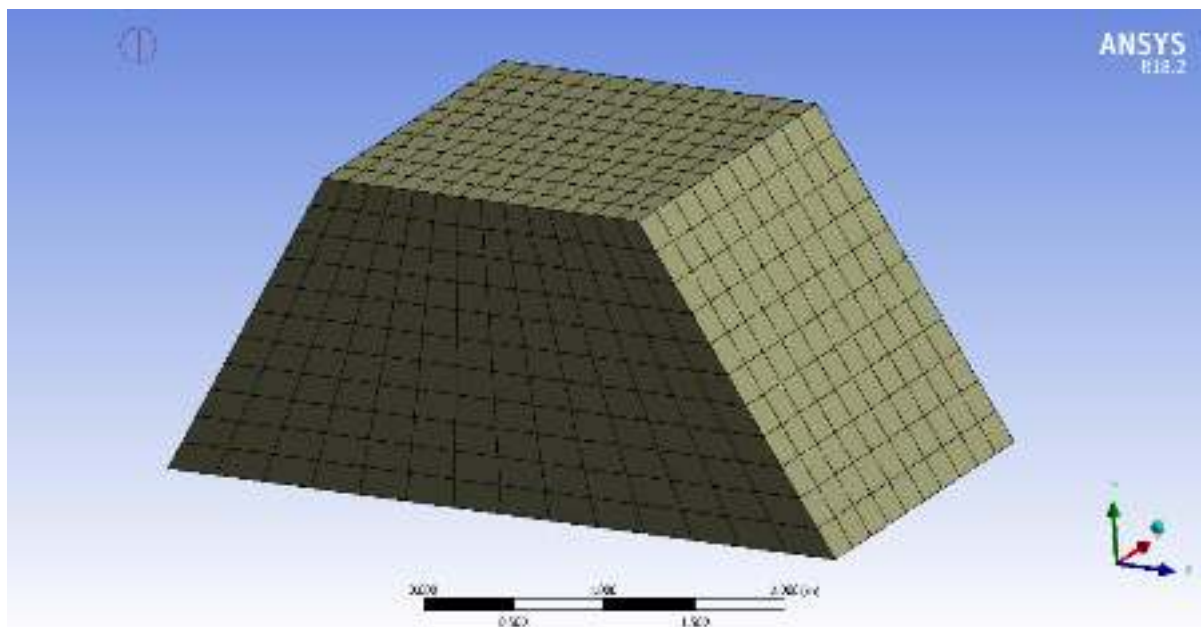
III.5.4. Meshing

Dalam penelitian ini, ukuran elemen yang digunakan untuk *meshing* sesuai dengan hasil yang didapatkan dalam konvergensi *meshing*, yaitu 0,2 meter. Metode yang digunakan untuk tahap *meshing* adalah *adaptive* dan mengatur dari *size function* pada proses *meshing*, dan terdapat dua macam *meshing* yaitu *tetrahedron* dan *hex dominant*. Gambar III. 12 dan Gambar III. 13 menunjukkan model geometri hasil *meshing* dari konstruksi alas kapal dan karang.

Karang diberikan ukuran meshing sebesar 0,2 m, karena karang dianggap sebagai *rigid body* maka tidak akan terjadi deformasi dan tidak akan menghasilkan nilai tegangan pada karang itu sendiri.



Gambar III. 12 Meshing pada Konstruksi Alas Kapal



Gambar III. 13 Meshing pada Karang

III.5.5. End Time

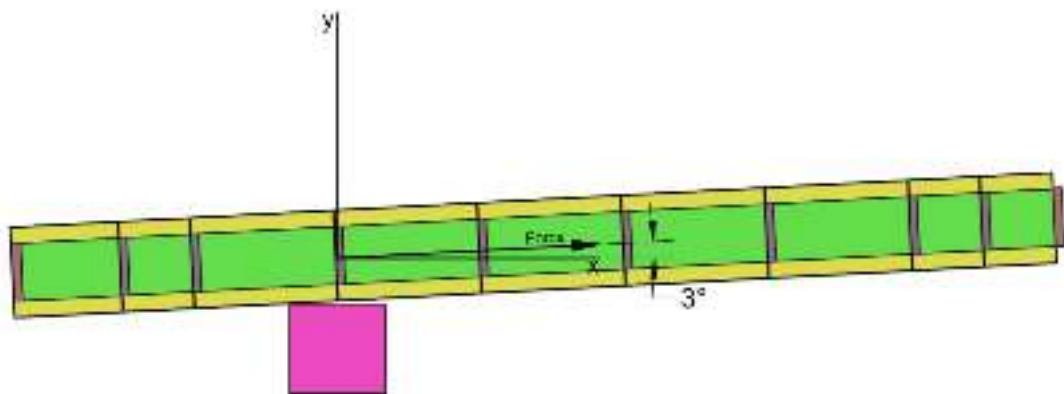
End time adalah lama waktu yang diinginkan untuk melihat proses analisis konstruksi alas saat mengalami *grounding*. Nilai *end time* dicari dengan asumsi saat kapal menabrak dengan karang tidak mengalami perubahan kecepatan. Dengan harapan karang dapat merusak

kapal dengan jarak tempuh sebesar satu jarak gading. Jarak gading kapal yang ingin ditempuh sebesar 3 meter, maka waktu yang dibutuhkan adalah 0,448 detik.

End time ditentukan sebesar 0,448 detik, tetapi dikarenakan keterbatasan spesifikasi komputer dan mempersingkat waktu analisis maka *end time* ditentukan menjadi sebesar 0,02 detik. Untuk menganalisis satu skenario *grounding* dengan *end time* 0,02 detik dibutuhkan waktu *running* kurang lebih 8 jam.

III.6. Pembebanan

Beban yang digunakan pada analisis ini adalah beban eksternal yang disebabkan oleh model konstruksi alas kapal 17500 LTDWT dengan kecepatan dinas sebesar 13 knot. Untuk membuat kapal menghantam karang dibuat pada saat *running* karang bergerak menghantam konstruksi alas kapal dengan kecepatan 13 knot dan berkemiringan sebesar 3 derajat, yang nantinya kecepatan akan di proyeksikan ke sumbu x dan sumbu y. Lalu untuk proyeksi *force* yang dihasilkan dapat dilihat pada Gambar III. 14.



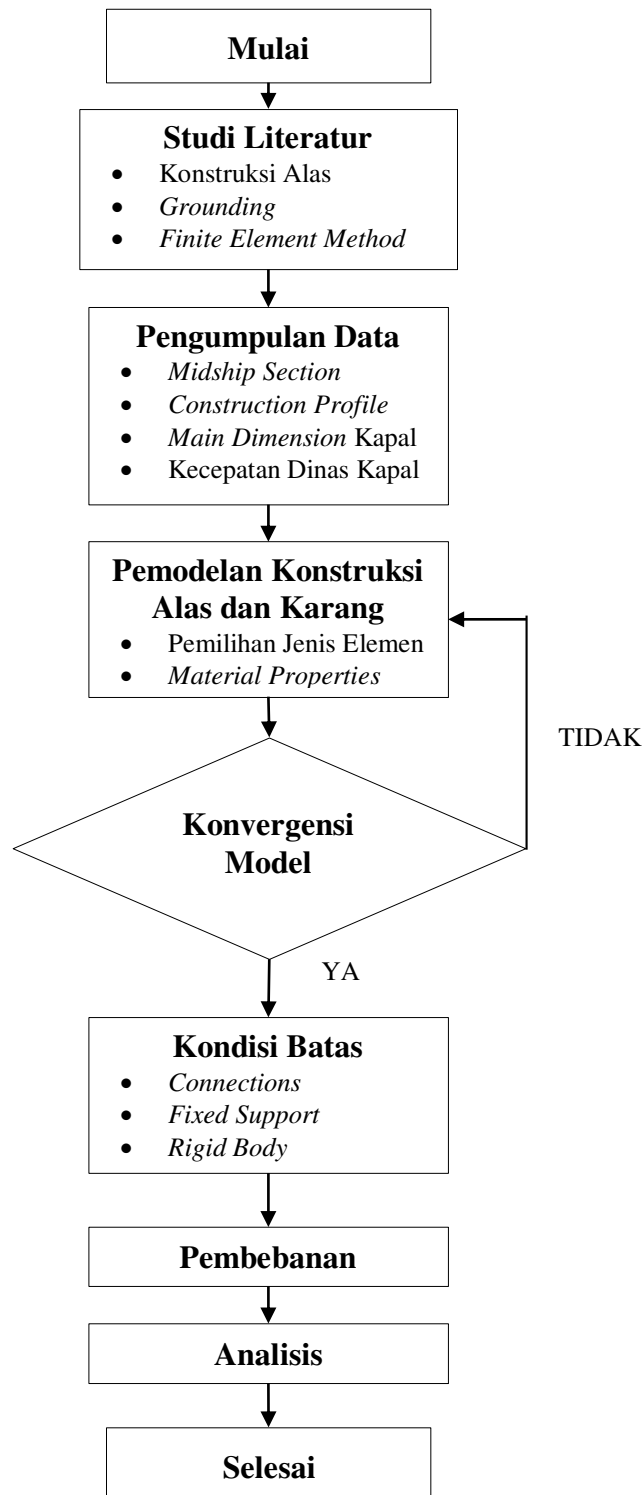
Gambar III. 14 Proyeksi *force* pada Sumbu x dan Sumbu y

III.7. Analisis

Analisis dilakukan terhadap respon struktur konstruksi alas kapal yang terjadi akibat *grounding* pada saat kapal menabrak karang. Variabel yang menjadi pengamatan adalah tegangan dan deformasi yang terjadi pada konstruksi alas. Tegangan yang dimaksud adalah tegangan von mises yang terjadi pada struktur konstruksi alas kapal. Tegangan ini merupakan resultan dari semua tegangan yang terjadi pada struktur konstruksi alas kapal.

III.8. Bagan Alir

Metode – metode yang digunakan dalam menyelesaikan permasalahan pada tugas akhir ini diterapkan berdasarkan langkah – langkah pekerjaan yang terurai pada



Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

IV.1. Pendahuluan

Pada Bab IV ini berisi hasil dan pembahasan mengenai tegangan yang terjadi pada model yang merupakan hasil dari metodologi yang telah digunakan pada Bab sebelumnya.

IV.2. Tegangan

Pada ketiga skenario dari hasil simulasi dinamis didapatkan tegangan terbesar terdapat pada daerah *scallop* dikarenakannya adanya konsentrasi tegangan yang tinggi. Analisis tegangan terhadap seluruh model (Global), dan komponen konstruksi utama (*Bottom Plate, Side Girder, Transverse Construction*).

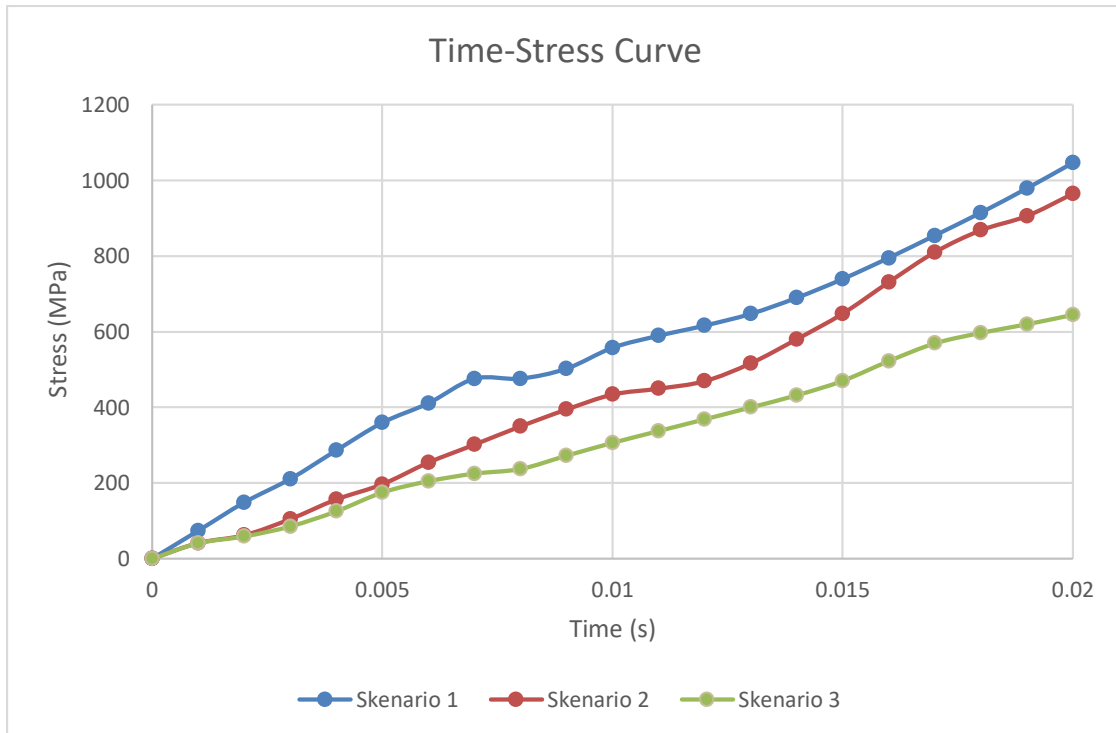
IV.2.1. Tegangan Global

Dari hasil simulasi dinamis didapatkan penyebaran tegangan pada ketiga skenario sesuai pada Tabel IV. 1 dan Gambar IV. 1.

Tabel IV. 1 Hasil Tegangan Global

Time (s)	Stress (MPa)		
	Skenario 1	Skenario 2	Skenario 3
	Solid Floor	Open Floor	Watertight Floor
0	0	0	0
0,001	73,836	41,242	40,720
0,002	148,620	61,870	58,666
0,003	210,620	104,550	85,287
0,004	286,010	156,520	125,070
0,005	359,240	196,630	175,000
0,006	410,580	253,970	204,750
0,007	475,370	301,390	224,930
0,008	475,750	349,550	237,150
0,009	501,960	394,170	272,270
0,01	557,250	433,760	306,240
0,011	588,820	449,310	337,430
0,012	615,700	469,080	368,490
0,013	646,640	516,220	399,980
0,014	689,060	579,910	432,050
0,015	738,800	647,690	470,290
0,016	794,670	730,760	522,480

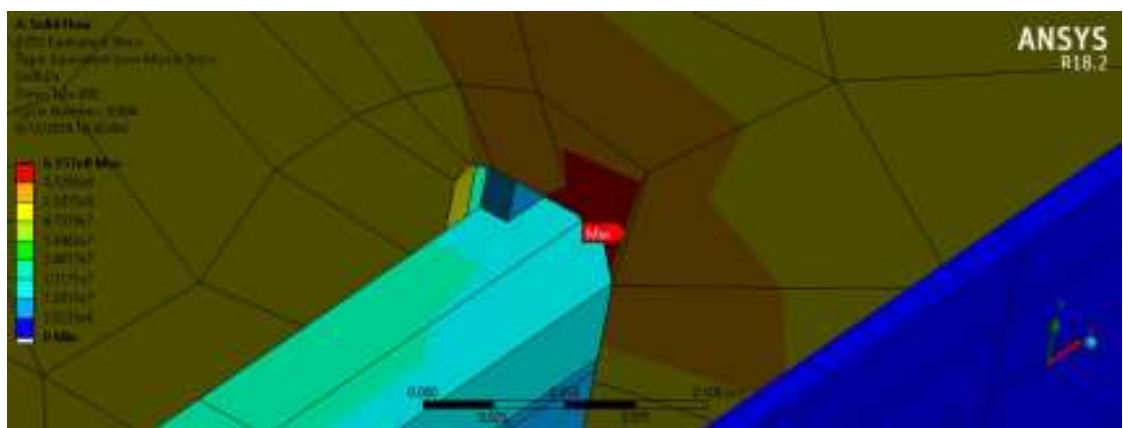
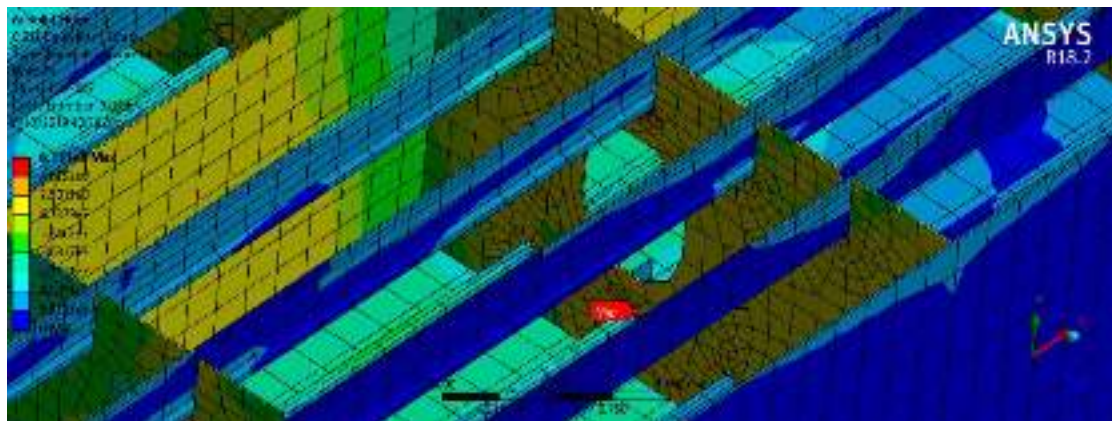
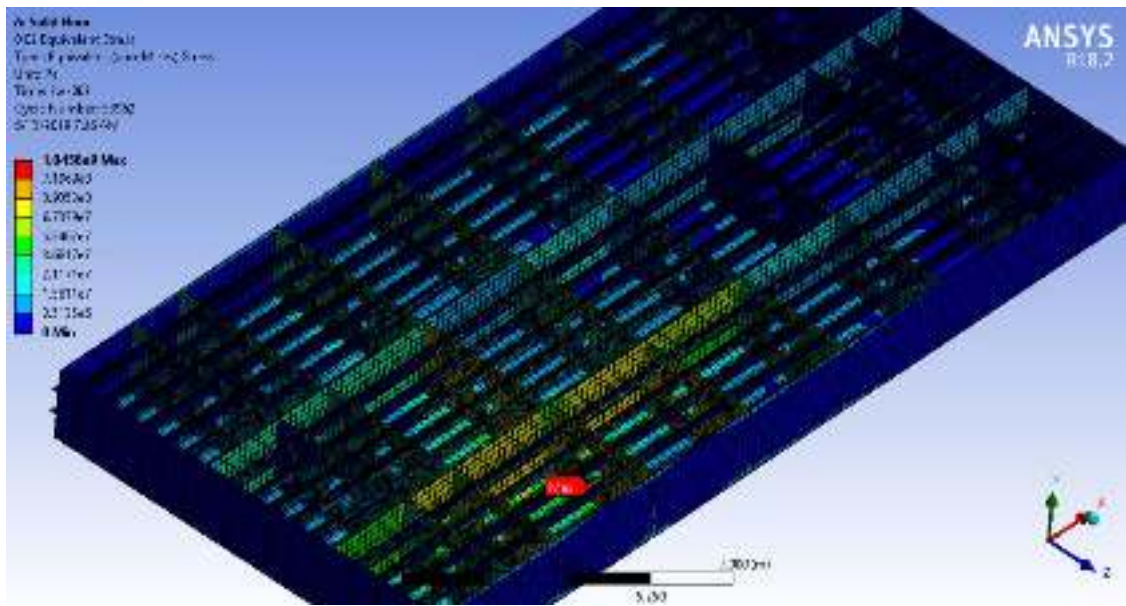
Time (s)	Stress (MPa)		
	Skenario 1	Skenario 2	Skenario 3
	Solid Floor	Open Floor	Watertight Floor
0,017	853,750	809,960	569,290
0,018	914,030	868,020	597,100
0,019	978,250	905,670	619,790
0,02	1045,800	964,600	644,860



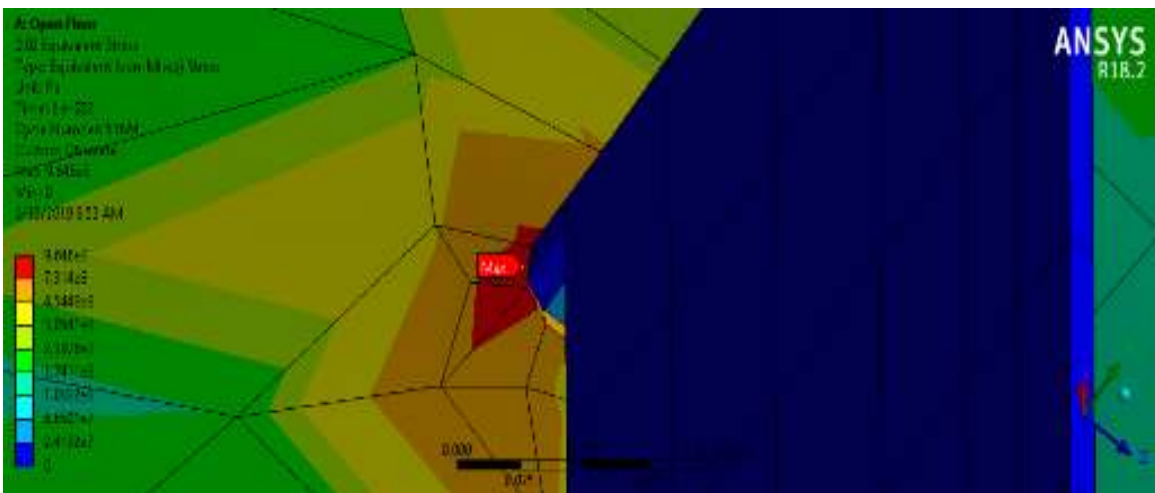
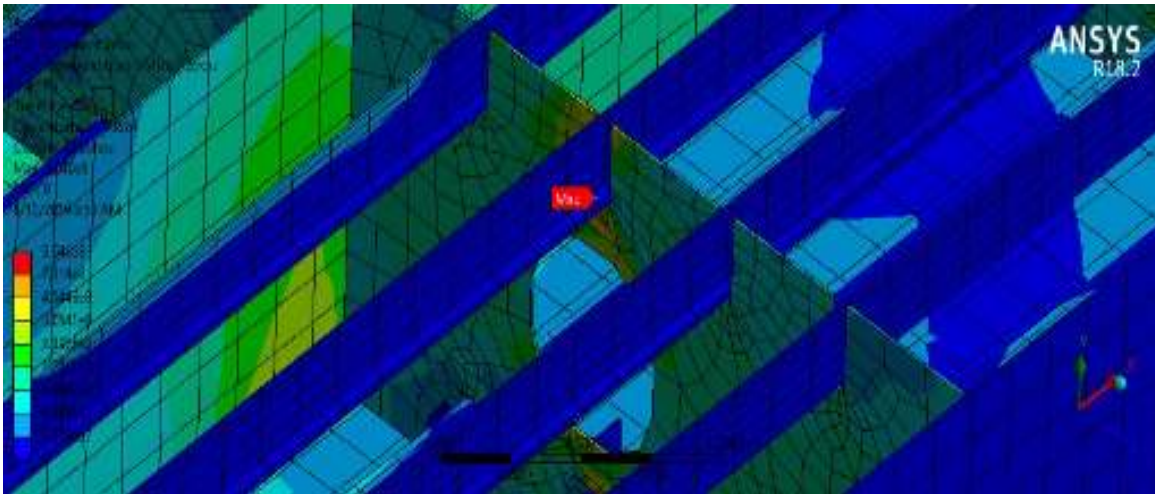
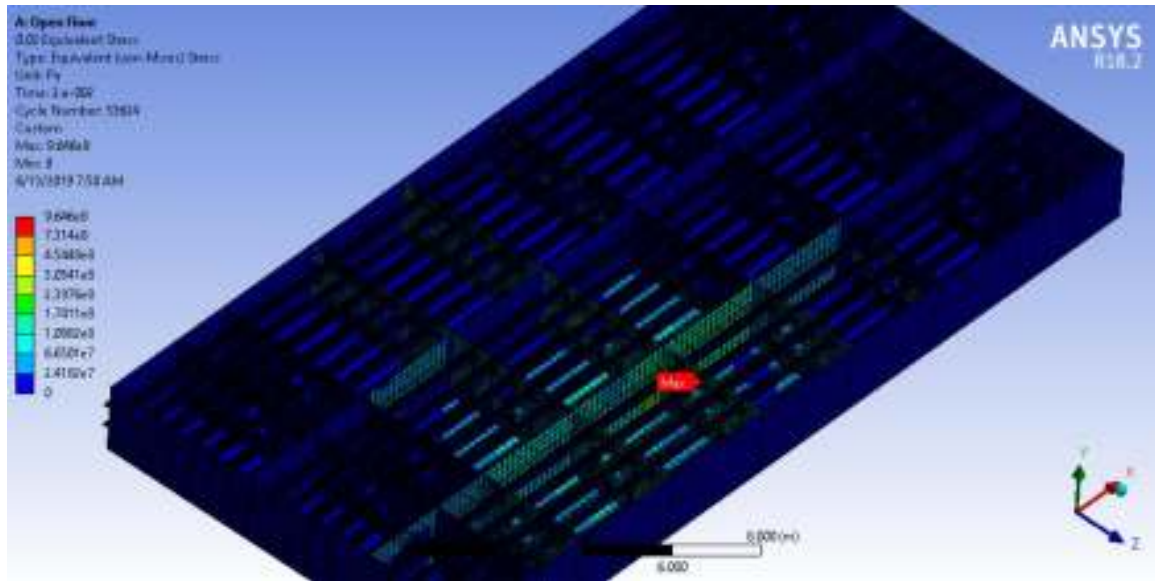
Gambar IV. 1 Kurva *Time-Stress* Global

Berdasarkan Tabel IV. 1 dan Gambar IV. 1 didapatkan hasil tegangan global saat karang mengenai bagian *solid floor* (skenario 1) paling besar dibandingkan saat karang mengenai bagian *open floor* (skenario 2) dan saat karang mengenai bagian *watertight floor* (skenario 3). Hasil tersebut didapatkan karena pada skenario 1 saat rentang waktu 0,02 detik *wrang plate* langsung menyangga *bottom plate* dan mendapatkan konsentrasi tegangan yang sangat tinggi, oleh karena itu pada skenario 2 dan skenario 3 pada rentang waktu 0,02 detik *wrang plate* tidak menyangga langsung yang menyebabkan konsentrasi tegangan yang tidak setinggi pada skenario 1.

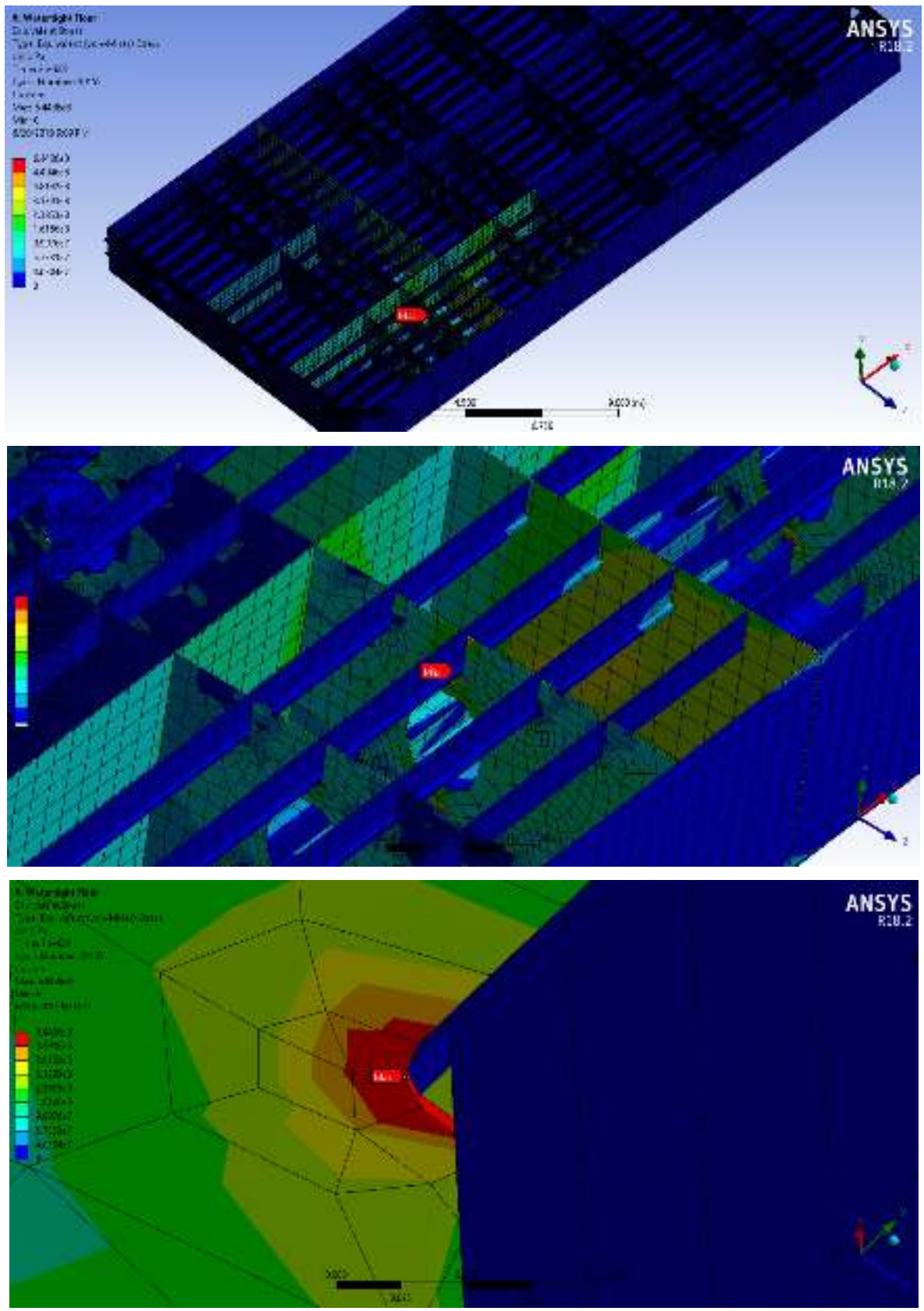
Berikut gambar dari hasil penyebaran tegangan pada saat 0,02 detik di ketiga skenario tegangan global sesuai pada Gambar IV. 2, Gambar IV. 3, dan Gambar IV. 4.



Gambar IV. 2 Hasil Tegangan Global (Skenario 1)



Gambar IV. 3 Hasil Tegangan Global (Skenario 2)



Gambar IV. 4 Hasil Tegangan Global (Skenario 3)

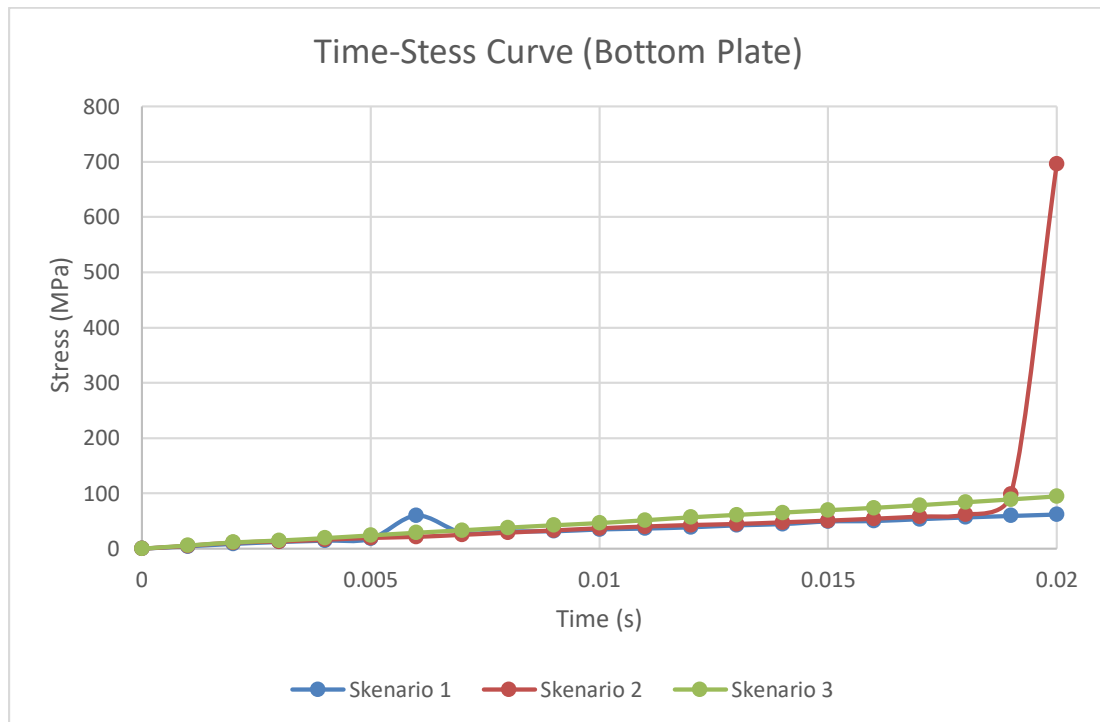
IV.2.2. Tegangan pada *Bottom Plate*

Dari hasil simulasi dinamis didapatkan penyebaran tegangan pada ketiga skenario sesuai pada Tabel IV. 2 dan Gambar IV. 5.

Tabel IV. 2 Hasil Tegangan pada *Bottom Plate*

Time (s)	Stress (MPa)		
	Skenario 1	Skenario 2	Skenario 3
	Solid Floor	Open Floor	Watertight Floor
0	0	0	0
0,001	4,303	5,080	5,648
0,002	8,674	11,050	11,247
0,003	12,209	13,056	14,706
0,004	14,657	16,200	19,071
0,005	18,034	19,436	23,922
0,006	60,258	21,385	28,764
0,007	29,259	25,016	33,206
0,008	31,550	28,922	37,932
0,009	31,624	32,995	42,232
0,01	35,002	36,864	46,218
0,011	36,598	40,080	51,345
0,012	38,908	42,762	56,588
0,013	42,486	44,643	61,012
0,014	44,721	47,610	65,150
0,015	49,521	50,709	69,499
0,016	50,320	54,175	73,695
0,017	53,657	57,969	78,550
0,018	56,820	61,907	83,735
0,019	59,543	98,369	88,992
0,02	62,142	695,510	94,395

Tabel IV. 2 menunjukkan hasil tegangan yang dihasilkan pada simulasi grounding pada konstruksi alas pada bagian *bottom plate* di ketiga skenario. Didapatkan hasil tegangan pada saat karang mengenai bagian *open floor* (skenario 2) paling besar dibandingkan saat karang mengenai bagian *solid floor* (skenario 1) dan saat karang mengenai bagian *watertight floor* (skenario 3). Dari hasil tersebut dibuat kurva yang menunjukkan perbedaan hasil tegangan pada Gambar IV. 5.

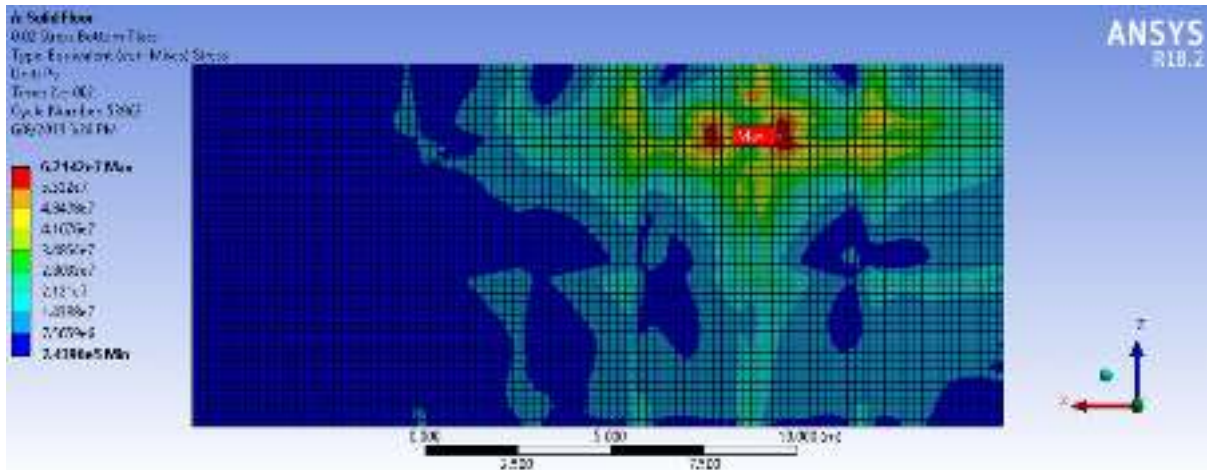


Gambar IV. 5 Kurva *Time-Stress* pada Bottom Plate

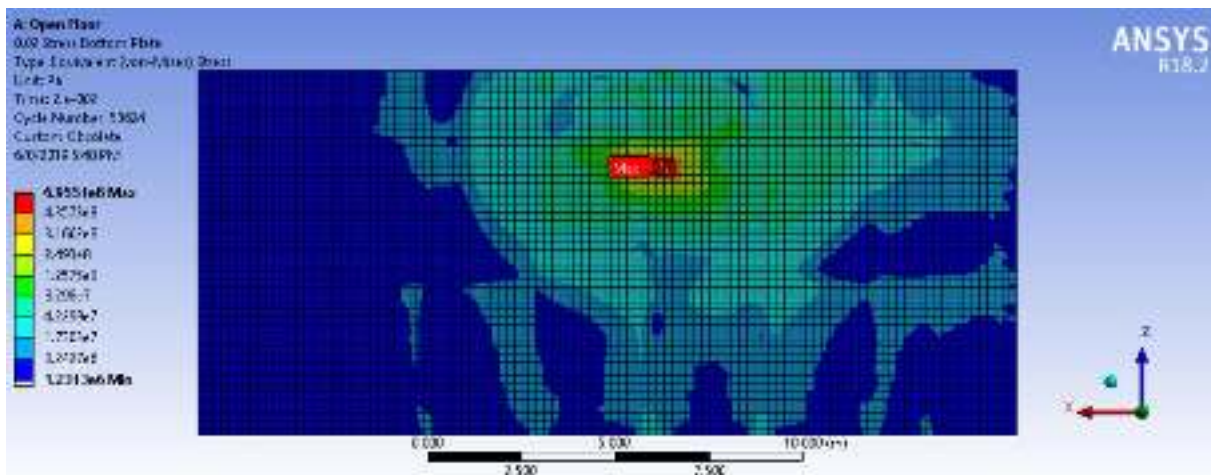
Berdasarkan Gambar IV. 5 didapatkan hasil tegangan pada saat karang mengenai bagian *open floor* (skenario 2) paling besar dibandingkan saat karang mengenai bagian *solid floor* (skenario 1) dan saat karang mengenai bagian *watertight floor* (skenario 3). Hasil tersebut didapatkan karena pada skenario 2 saat rentang waktu 0,02 detik konstruksi dibelakang *bottom plate* yang menyangga langsung tidak dapat menyangga lagi, dapat dilihat pada Gambar IV. 5 tegangan pada *bottom plate* saat 0,02 detik mengalami kenaikan drastis. Kenaikan drastis tersebut tidak dialami oleh skenario 1 dan skenario 3 yang dimana konstruksi dibelakang *bottom plate* yang menyangga langsung masih lebih dapat menangani beban pada saat mengalami *grounding*.

Bottom plate tidak mengalami tegangan yang terlalu tinggi dibandingkan komponen konstruksi utama lainnya dikarenakan karang yang mengenai kapal berpermukaan datar yang menyebabkan *bottom plate* hanya mengalami *indentation*.

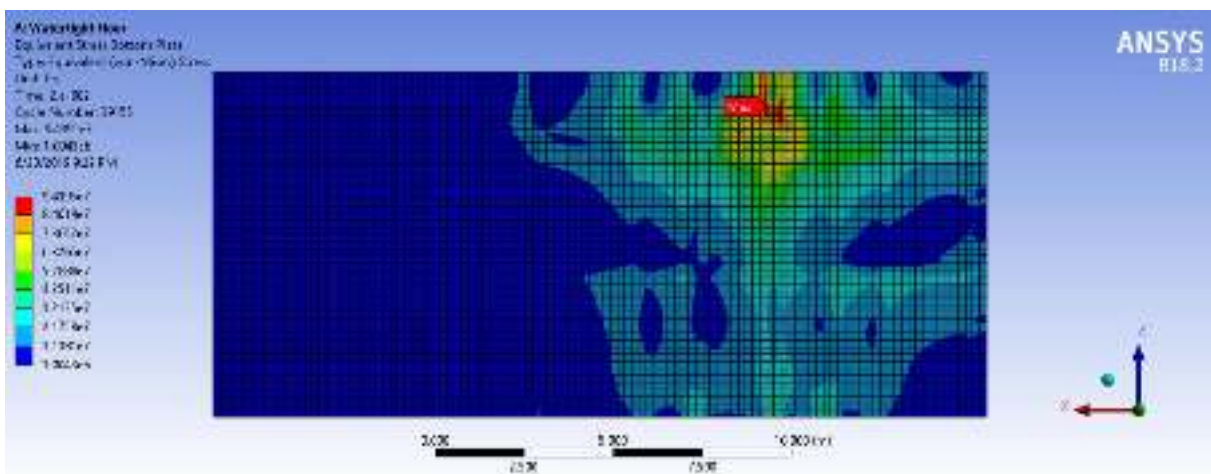
Berikut gambar dari hasil penyebaran tegangan pada saat 0,02 detik di ketiga skenario tegangan global sesuai pada Gambar IV. 6, Gambar IV. 7, Gambar IV. 8.



Gambar IV. 6 Hasil Tegangan pada *Bottom Plate* (Skenario 1)



Gambar IV. 7 Hasil Tegangan pada *Bottom Plate* (Skenario 2)



Gambar IV. 8 Hasil Tegangan pada *Bottom Plate* (Skenario 3)

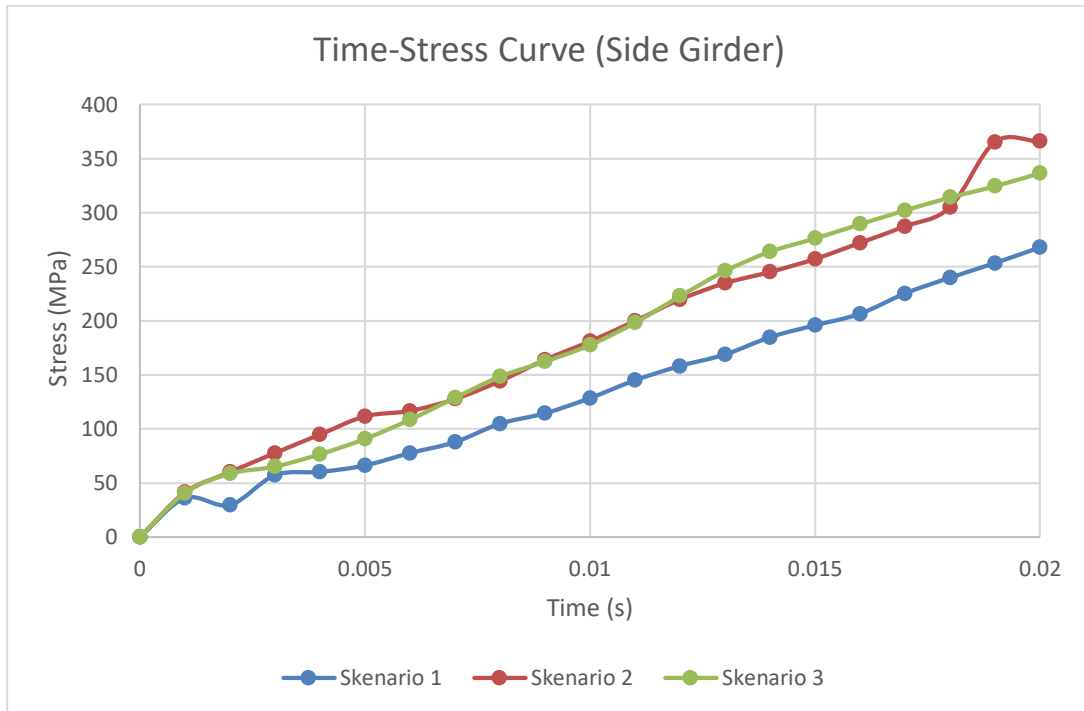
IV.2.3. Tegangan pada *Side Girder*

Dari hasil simulasi dinamis didapatkan penyebaran tegangan pada kedua skenario sesuai pada Tabel IV. 3 dan Gambar IV. 9.

Tabel IV. 3 Hasil Tegangan pada *Side Girder*

Time (s)	Stress (MPa)		
	Skenario 1	Skenario 2	Skenario 3
	Solid Floor	Open Floor	Watertight Floor
0	0	0	0
0,001	35,904	41,242	40,720
0,002	29,689	59,994	58,666
0,003	57,180	77,683	65,188
0,004	60,224	94,777	76,672
0,005	66,165	111,600	90,817
0,006	77,638	116,650	108,570
0,007	87,739	127,580	128,850
0,008	104,760	144,210	148,440
0,009	114,330	163,880	162,360
0,01	128,420	180,910	177,570
0,011	144,840	199,740	198,230
0,012	158,090	219,580	222,780
0,013	168,620	234,730	246,050
0,014	184,690	245,050	264,020
0,015	195,700	257,060	276,210
0,016	206,310	271,990	289,390
0,017	225,090	287,300	302,170
0,018	239,660	304,840	314,130
0,019	253,180	365,190	324,590
0,02	267,700	365,980	336,690

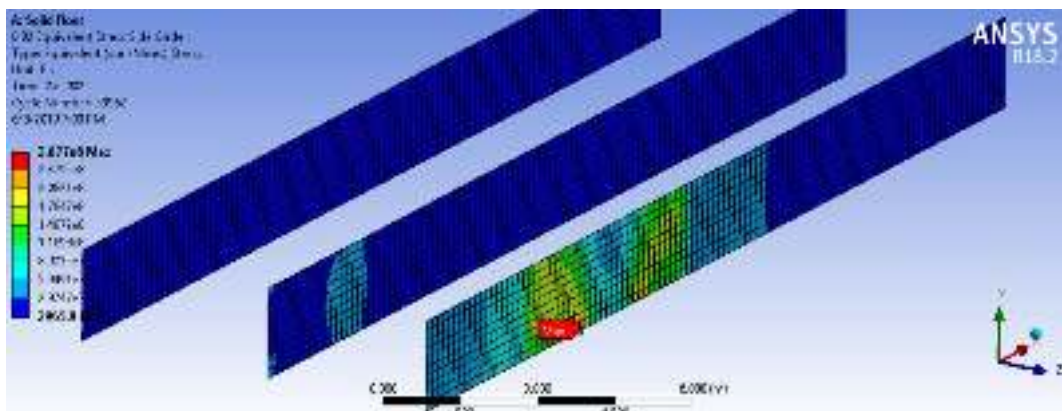
Tabel IV. 3 menunjukkan hasil tegangan yang dihasilkan pada simulasi grounding pada konstruksi alas pada bagian *side girder* di ketiga skenario. Didapatkan hasil tegangan pada saat karang mengenai bagian *open floor* (skenario 2) paling besar dibandingkan saat karang mengenai bagian *solid floor* (skenario 1) dan saat karang mengenai bagian *watertight floor* (skenario 3). Dari hasil tersebut dibuat kurva yang menunjukkan perbedaan hasil tegangan pada Gambar IV. 9.



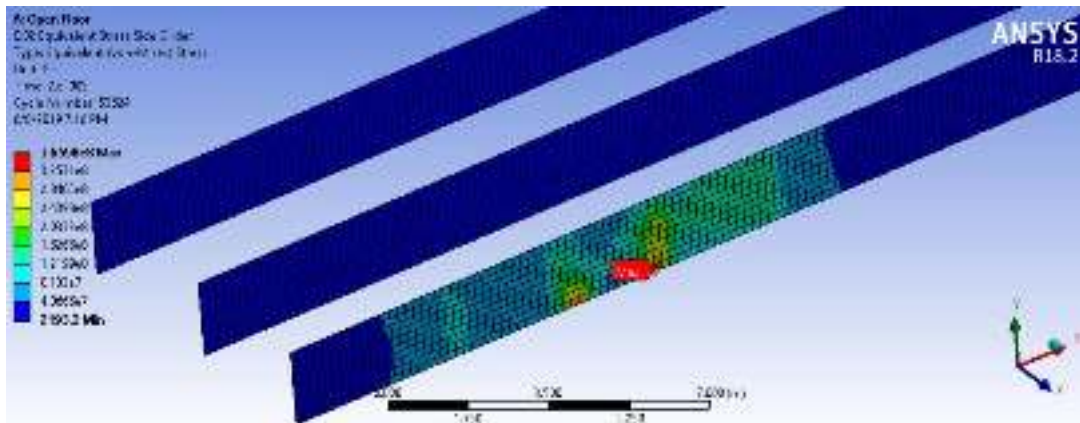
Gambar IV. 9 Kurva *Time-Stress* pada Side Girder

Berdasarkan Gambar IV. 9 didapatkan hasil tegangan pada saat karang mengenai bagian *open floor* (skenario 2) paling besar dibandingkan saat karang mengenai bagian *solid floor* (skenario 1) dan saat karang mengenai bagian *watertight floor* (skenario 3). Hasil tersebut didapatkan karena pada skenario 2 saat rentang waktu 0,02 detik aliran tegangan dibagikan lebih sedikit kepada *wrang plate* maupun *watertight floor*, lain halnya pada skenario 1 dan skenario 2 yang terdapat *wrang plate* maupun *watertight floor* yang menyangga langsung dibelakang *bottom plate* yang menyebabkan aliran tegangan lebih terbagi kepada *side girder*, *wrang plate*, dan *watertight floor*.

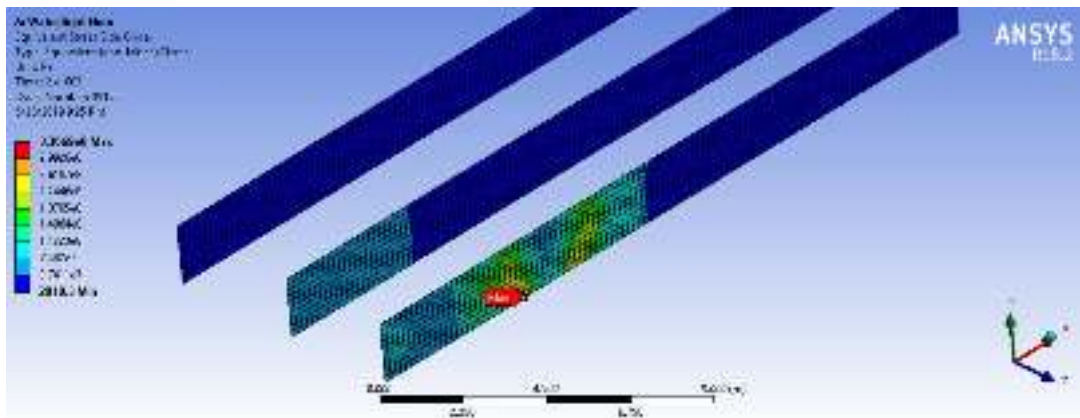
Berikut gambar dari hasil penyebaran tegangan pada saat 0,02 detik di ketiga skenario tegangan pada *side girder* sesuai pada Gambar IV. 10, Gambar IV. 11, dan Gambar IV. 12.



Gambar IV. 10 Hasil Tegangan pada *Side Girder* (Skenario 1)



Gambar IV. 11 Hasil Tegangan pada *Side Girder* (Skenario 2)



Gambar IV. 12 Hasil Tegangan pada *Side Girder* (Skenario 3)

IV.2.4. Tegangan pada *Transverse Construction*

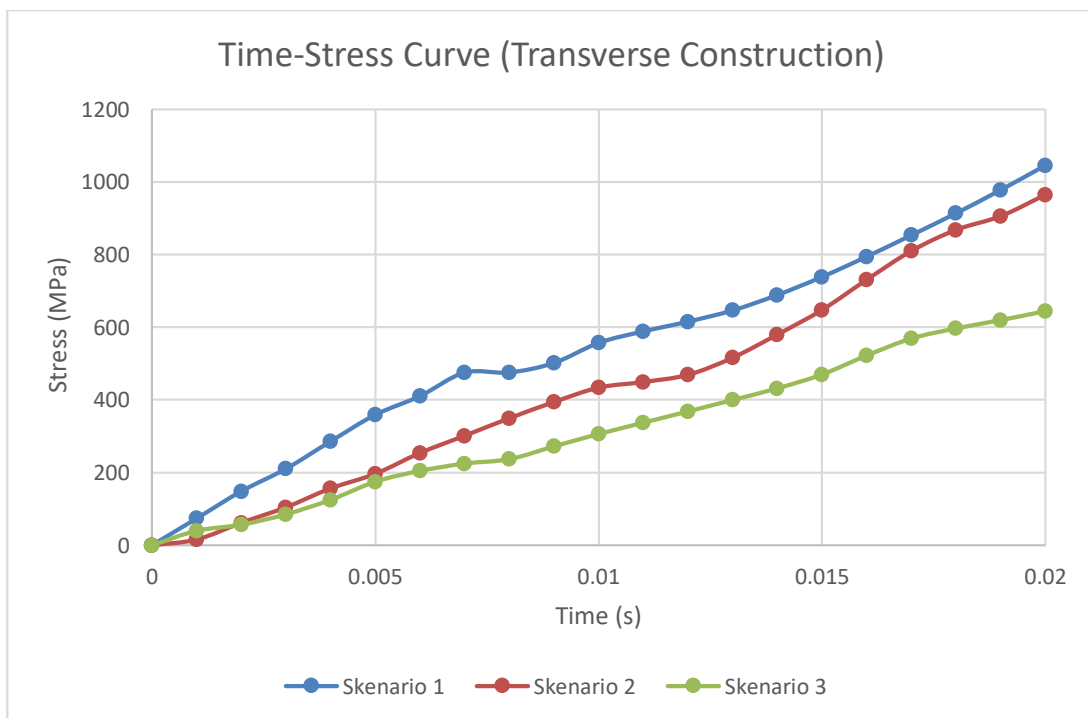
Dari hasil simulasi dinamis didapatkan penyebaran tegangan pada ketiga skenario sesuai pada Tabel IV. 4 dan Gambar IV. 13.

Tabel IV. 4 Hasil Tegangan pada *Transverse Construction*

Time (s)	Stress (MPa)		
	Skenario 1 Solid Floor	Skenario 2 Open Floor	Skenario 3 Watertight Floor
0	0	0	0
0,001	73,836	15,724	39,762
0,002	148,620	61,870	56,545
0,003	210,620	104,550	85,287
0,004	286,010	156,520	125,070
0,005	359,240	196,630	175,000
0,006	410,580	253,970	204,750
0,007	475,370	301,390	224,930
0,008	475,750	349,550	237,150

Time (s)	Stress (MPa)		
	Skenario 1	Skenario 2	Skenario 3
	Solid Floor	Open Floor	Watertight Floor
0,009	501,960	394,170	272,270
0,01	557,250	433,760	306,240
0,011	588,820	449,310	337,430
0,012	615,700	469,080	368,490
0,013	646,640	516,220	399,980
0,014	689,060	579,910	432,050
0,015	738,800	647,690	470,290
0,016	794,670	730,760	522,480
0,017	853,750	809,960	569,290
0,018	914,030	868,020	597,100
0,019	978,250	905,670	619,790
0,02	1045,800	964,600	644,860

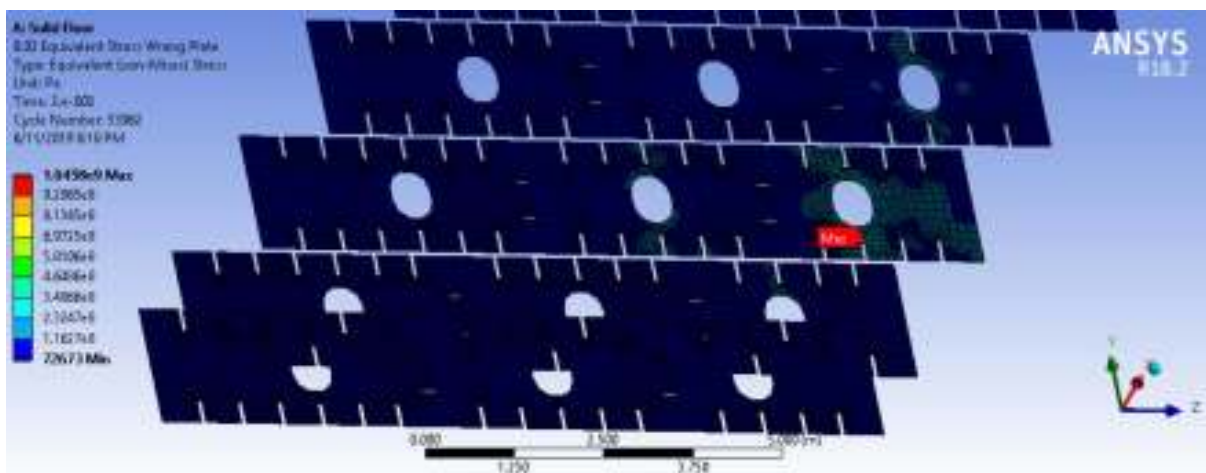
Tabel IV. 4 menunjukkan hasil tegangan yang dihasilkan pada simulasi grounding pada konstruksi alas pada bagian *transverse construction* di ketiga skenario. Didapatkan hasil tegangan *transverse construction* saat karang mengenai bagian *solid floor* (skenario 1) paling besar dibandingkan saat karang mengenai bagian *open floor* (skenario 2) dan saat karang mengenai bagian *watertight floor* (skenario 3). Dari hasil tersebut dibuat kurva yang menunjukkan perbedaan hasil tegangan pada Gambar IV. 13.



Gambar IV. 13 Kurva Time-Stress pada *Transverse Construction*

Berdasarkan Gambar IV. 13 didapatkan hasil tegangan *transverse construction* saat karang mengenai bagian *solid floor* (skenario 1) paling besar dibandingkan saat karang mengenai bagian *open floor* (skenario 2) dan saat karang mengenai bagian *watertight floor* (skenario 3). Hasil tersebut didapatkan karena pada skenario 1 saat rentang waktu 0,02 detik *wrang plate* langsung menyangga *bottom plate* dan mendapatkan konsentrasi tegangan yang sangat tinggi, oleh karena itu pada skenario 2 dan skenario 3 pada rentang waktu 0,02 detik *wrang plate* tidak menyangga langsung yang menyebabkan konsentrasi tegangan yang tidak setinggi pada skenario 1.

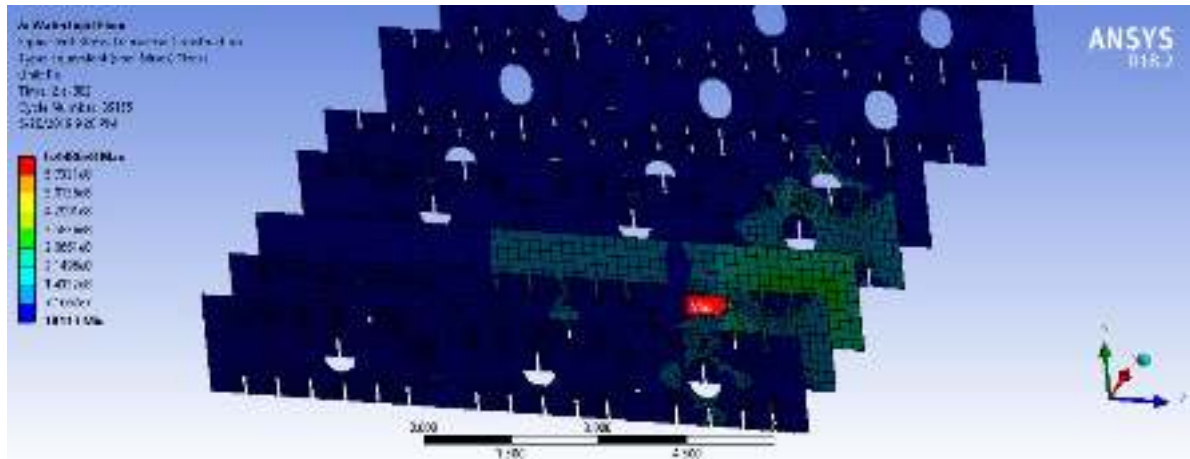
Berikut gambar dari hasil penyebaran tegangan *transverse construction* pada saat 0,02 detik di ketiga skenario tegangan pada *transverse construction* sesuai pada Gambar IV. 14, Gambar IV. 15, dan Gambar IV. 16.



Gambar IV. 14 Hasil Tegangan pada *Transverse Construction* (Skenario 1)



Gambar IV. 15 Hasil Tegangan pada *Transverse Construction* (Skenario 2)



Gambar IV. 16 Hasil Tegangan pada *Transverse Construction* (Skenario 3)

IV.3. Deformasi

Pada skenario 1 dan 2 dari hasil simulasi dinamis didapatkan deformasi terbesar terdapat pada daerah *scallop* dikarenakannya adanya konsentrasi tegangan yang tinggi, dan pada skenario 3 didapatkan deformasi terbesar pada daerah *longitudinal bottom*. Analisis deformasi terhadap seluruh model (Global), dan konstruksi utama (*Bottom Plate, Side Girder, Transverse Construction*).

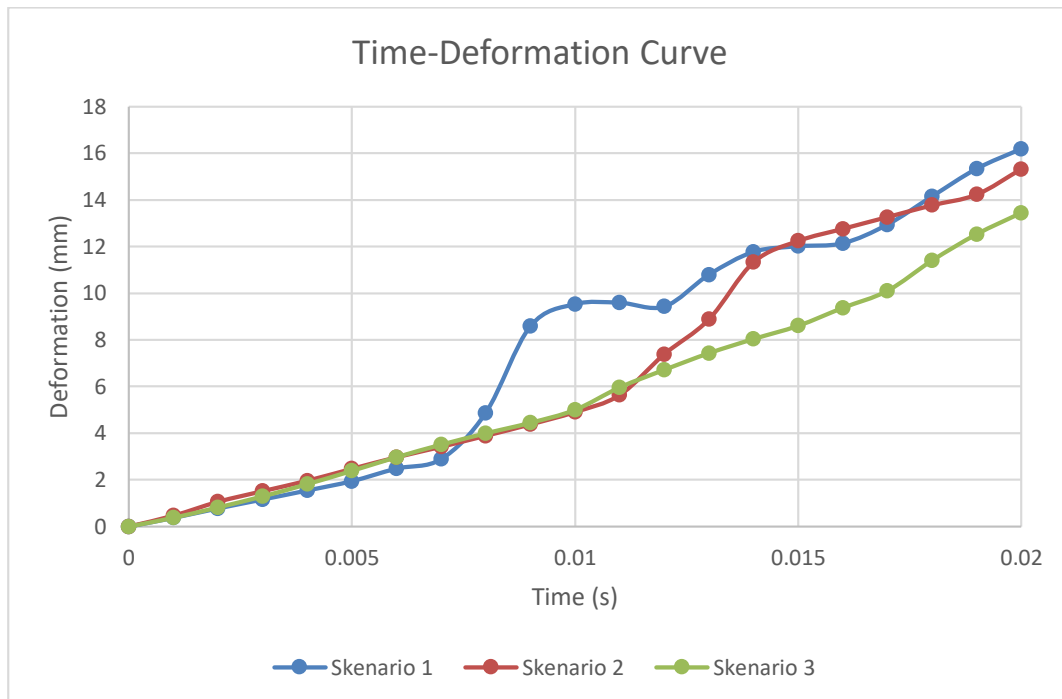
IV.3.1. Deformasi Global

Dari hasil simulasi dinamis didapatkan penyebaran deformasi pada kedua skenario sesuai pada Tabel IV. 5 dan Gambar IV. 17.

Tabel IV. 5 Hasil Deformasi Global

Time (s)	Deformation (mm)		
	Skenario 1 Solid Floor	Skenario 2 Open Floor	Skenario 3 Watertight Floor
0	0	0	0
0,001	0,371	0,466	0,376
0,002	0,778	1,062	0,822
0,003	1,161	1,519	1,293
0,004	1,547	1,965	1,819
0,005	1,946	2,476	2,388
0,006	2,485	2,972	2,975
0,007	2,893	3,420	3,512
0,008	4,875	3,894	3,998
0,009	8,587	4,382	4,450
0,01	9,533	4,911	5,004
0,011	9,594	5,640	5,967

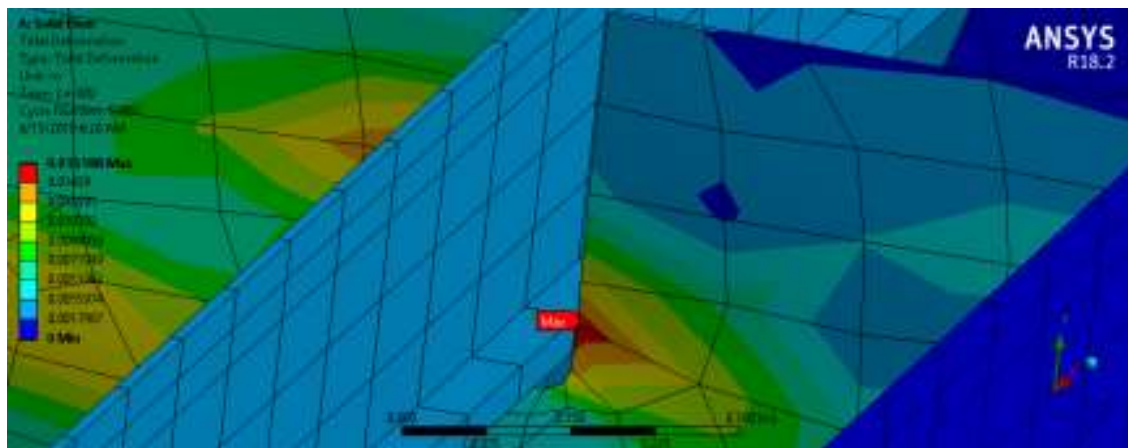
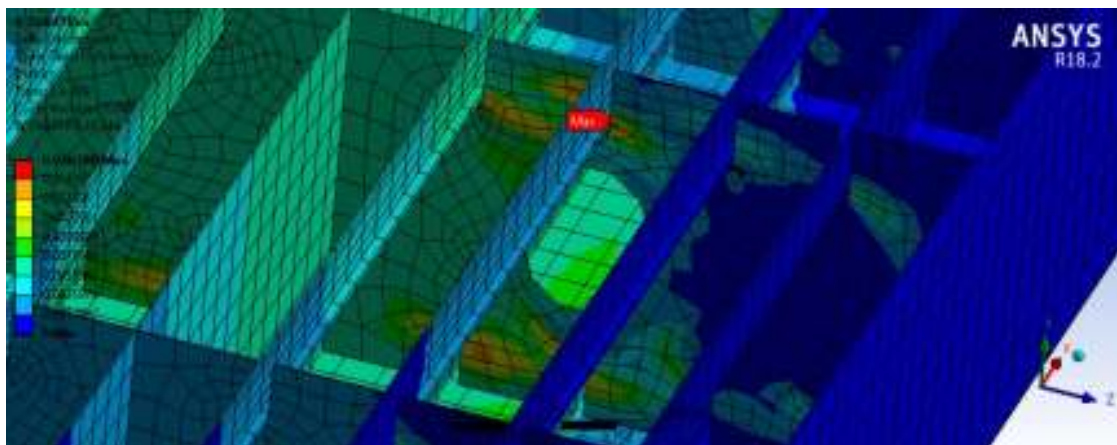
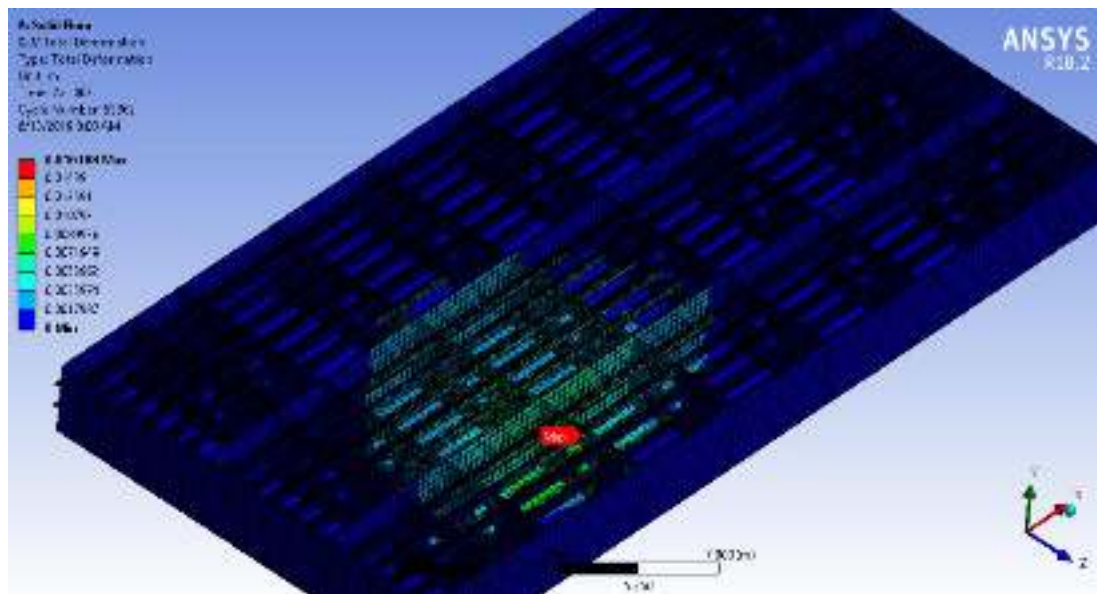
Time (s)	Deformation (mm)		
	Skenario 1	Skenario 2	Skenario 3
	Solid Floor	Open Floor	Watertight Floor
0,012	9,430	7,391	6,722
0,013	10,794	8,884	7,435
0,014	11,774	11,333	8,044
0,015	12,015	12,247	8,610
0,016	12,142	12,767	9,380
0,017	12,941	13,272	10,108
0,018	14,150	13,779	11,408
0,019	15,336	14,237	12,538
0,02	16,188	15,330	13,454



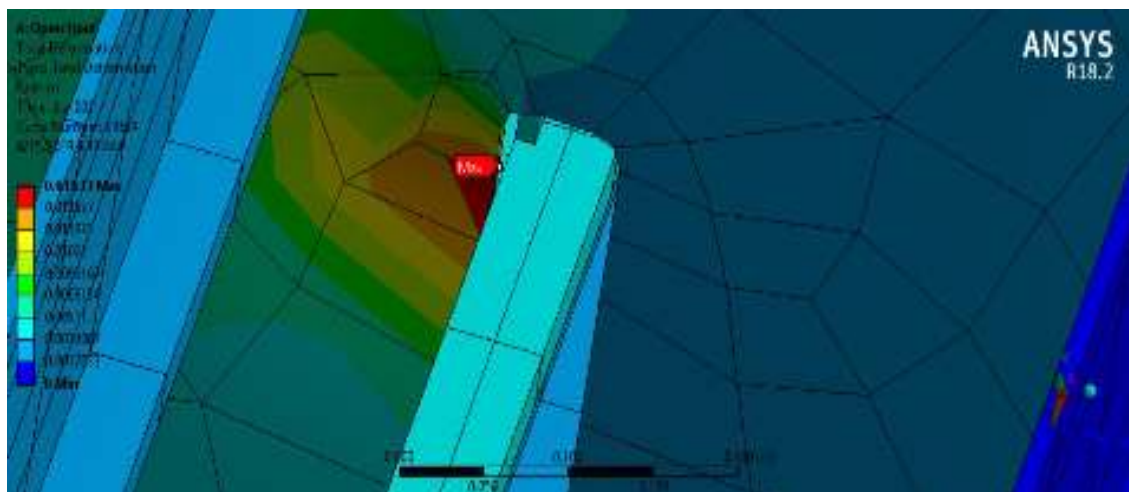
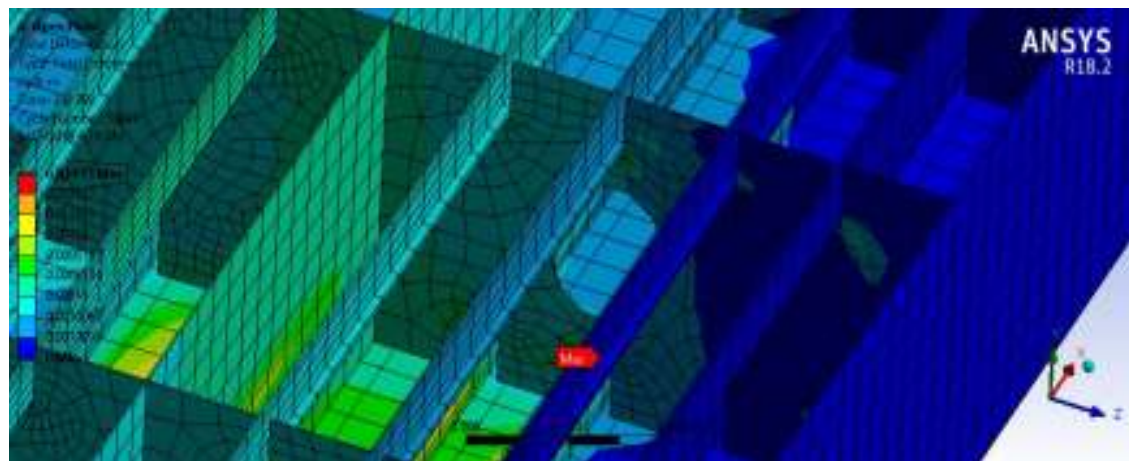
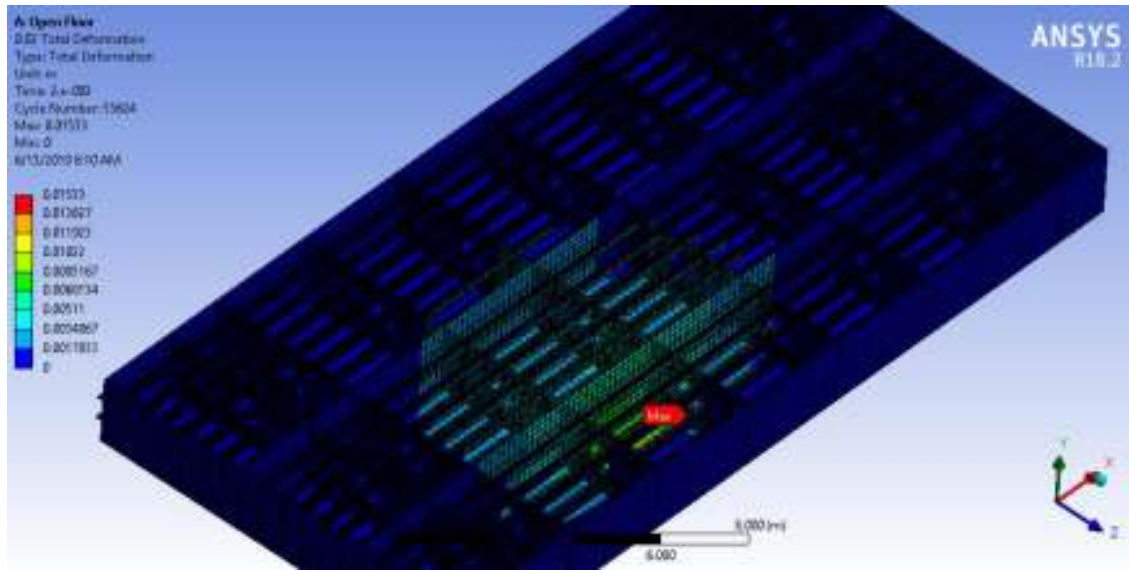
Gambar IV. 17 Kurva *Time-Deformation* Global

Berdasarkan Tabel IV. 5 dan Gambar IV. 17 didapatkan hasil deformasi global saat karang mengenai bagian *solid floor* (skenario 1) paling besar dibandingkan saat karang mengenai bagian *open floor* (skenario 2) dan saat karang mengenai bagian *watertight floor* (skenario 3). Hasil tersebut didapatkan karena pada skenario 1 saat rentang waktu 0,02 detik *wrang plate* langsung menyangga *bottom plate* dan mendapatkan konsentrasi tegangan yang sangat tinggi, oleh karena itu pada skenario 2 dan skenario 3 pada rentang waktu 0,02 detik *wrang plate* tidak menyangga langsung yang menyebabkan konsentrasi tegangan yang tidak setinggi pada skenario 1. Oleh karena itu deformasi yang dihasilkan pada skenario 1 juga lebih tinggi.

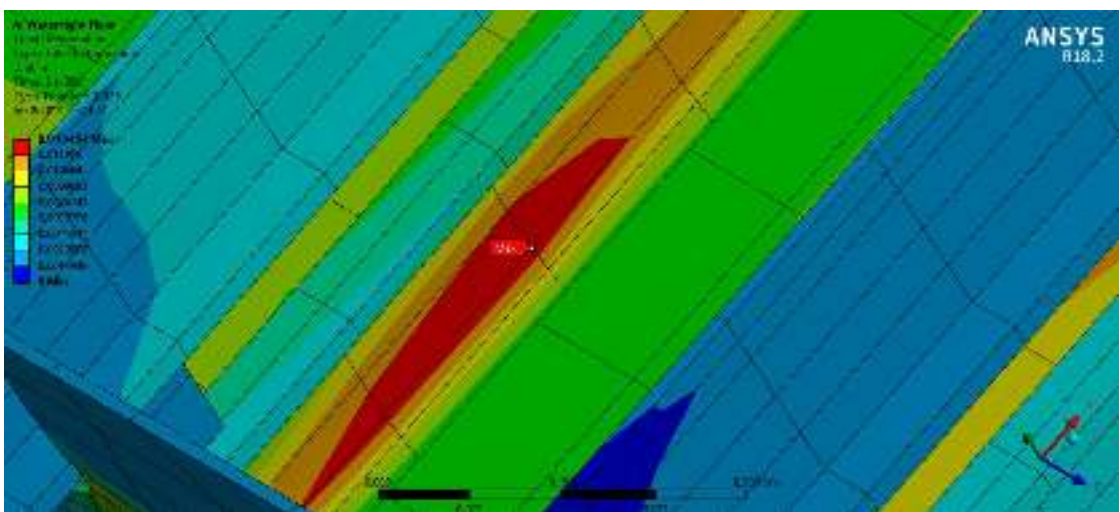
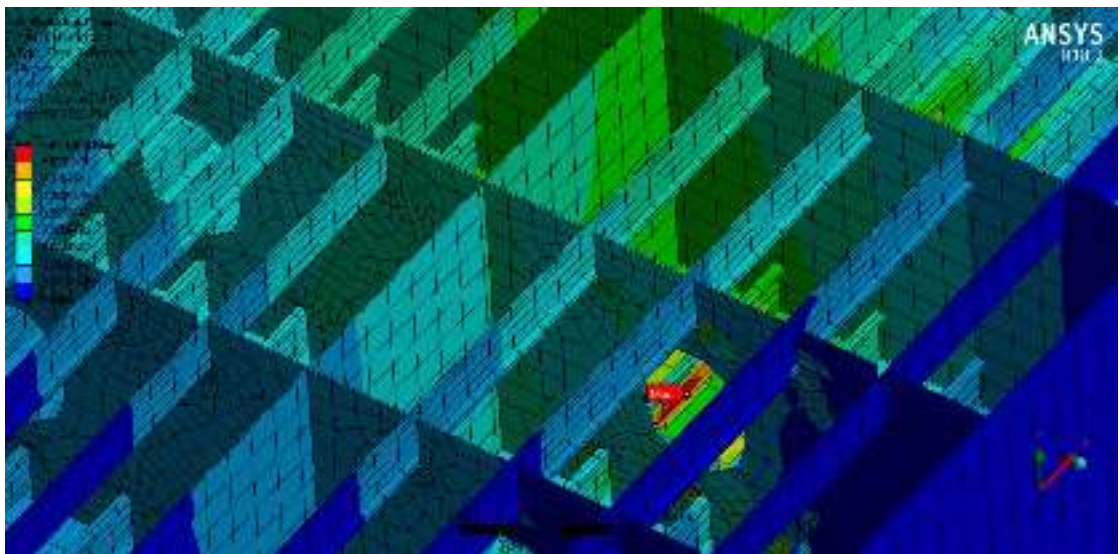
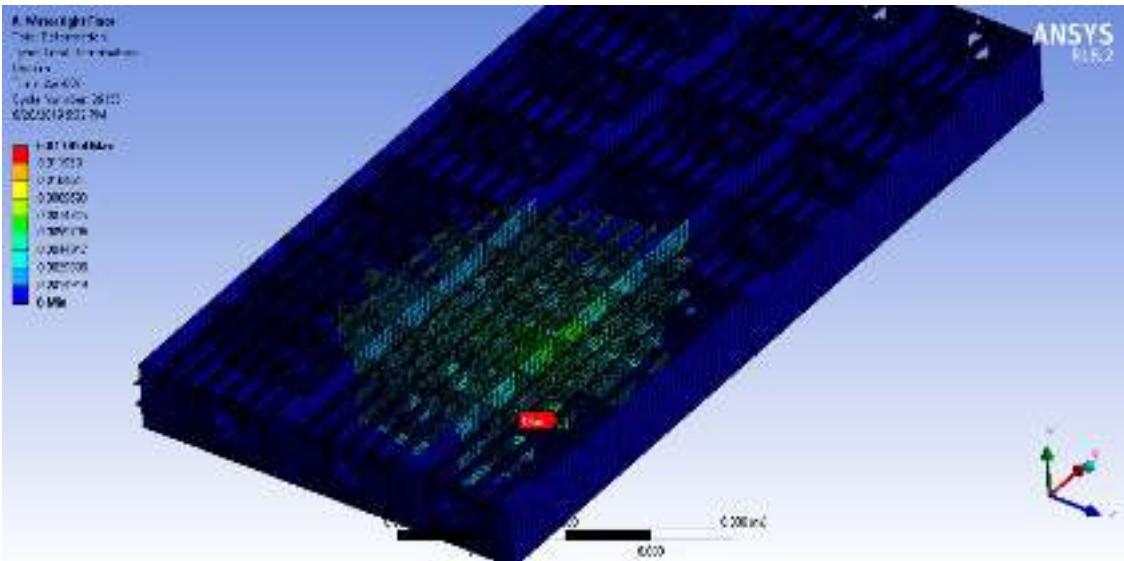
Berikut gambar dari hasil penyebaran deformasi pada saat 0,02 detik di ketiga skenario deformasi global sesuai pada Gambar IV. 18, Gambar IV. 19, dan Gambar IV. 20.



Gambar IV. 18 Hasil Deformasi Global (Skenario 1)



Gambar IV. 19 Hasil Deformasi Global (Skenario 2)



Gambar IV. 20 Hasil Deformasi Global (Skenario 3)

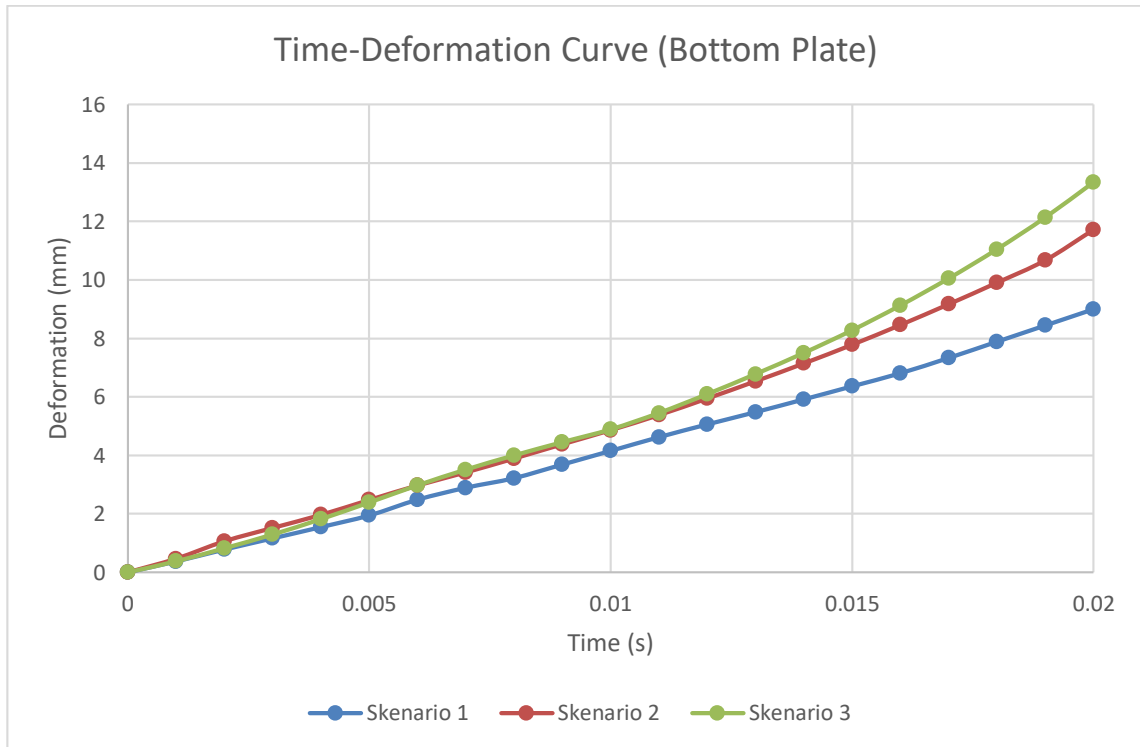
IV.3.2. Deformasi pada *Bottom Plate*

Dari hasil simulasi dinamis didapatkan penyebaran deformasi pada kedua skenario sesuai pada Tabel IV. 6 dan Gambar IV. 21.

Tabel IV. 6 Hasil Deformasi pada *Bottom Plate*

Time (s)	Deformation (mm)		
	Skenario 1	Skenario 2	Skenario 3
	Solid Floor	Open Floor	Watertight Floor
0	0	0	0
0,001	0,371	0,466	0,376
0,002	0,778	1,062	0,822
0,003	1,161	1,519	1,293
0,004	1,547	1,965	1,819
0,005	1,946	2,476	2,388
0,006	2,485	2,972	2,975
0,007	2,893	3,420	3,512
0,008	3,222	3,894	3,998
0,009	3,687	4,382	4,450
0,01	4,154	4,864	4,888
0,011	4,624	5,380	5,448
0,012	5,061	5,948	6,093
0,013	5,480	6,537	6,779
0,014	5,917	7,147	7,501
0,015	6,363	7,786	8,276
0,016	6,811	8,463	9,125
0,017	7,334	9,173	10,047
0,018	7,890	9,910	11,045
0,019	8,445	10,676	12,132
0,02	9,000	11,722	13,336

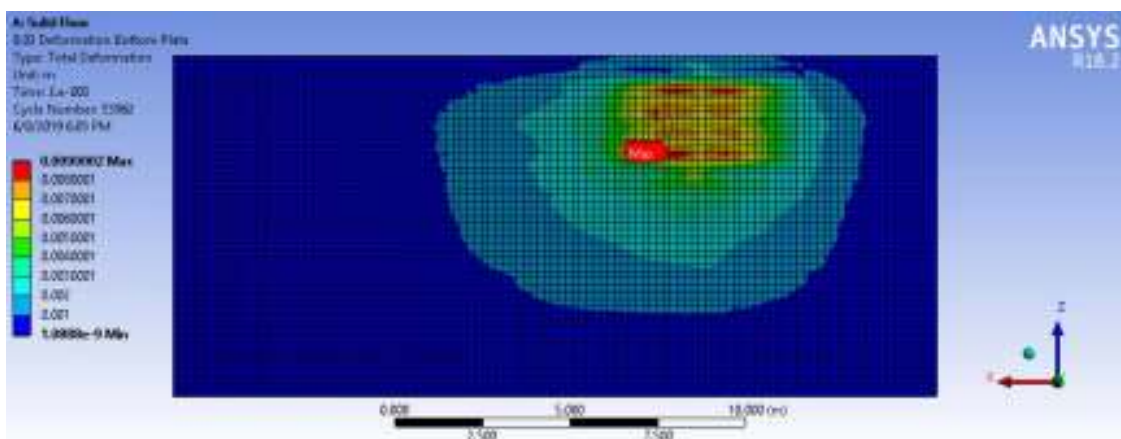
Tabel IV. 6 menunjukkan hasil deformasi yang dihasilkan pada simulasi *grounding* pada konstruksi alas pada bagian *bottom plate* di ketiga skenario. Didapatkan hasil deformasi pada saat karang mengenai bagian *watertight floor* (skenario 3) paling besar dibandingkan saat karang mengenai bagian *solid floor* (skenario 1) dan saat karang mengenai bagian *open floor* (skenario 2). Dari hasil tersebut dibuat kurva yang menunjukkan perbedaan hasil tegangan pada Gambar IV. 21.



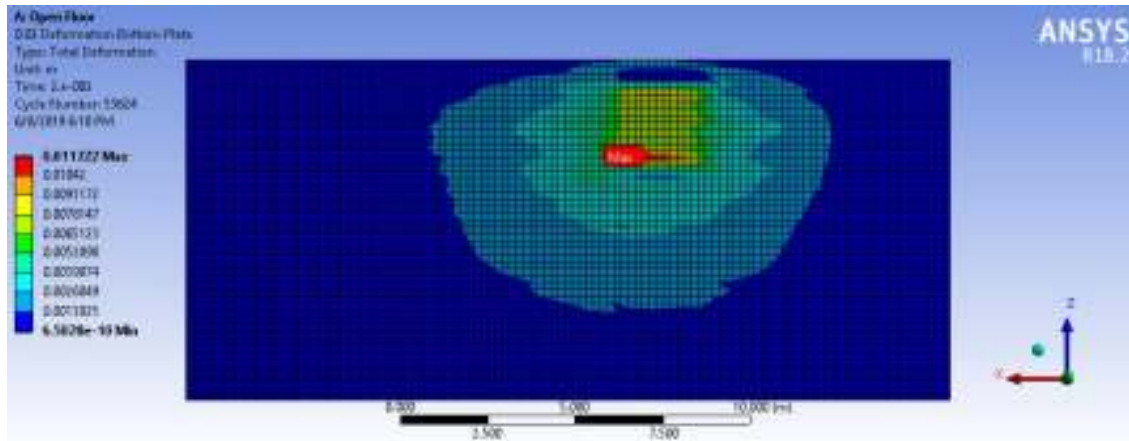
Gambar IV. 21 Kurva *Time-Deformation* pada *Bottom Plate*

Berdasarkan Gambar IV. 21 didapatkan hasil deformasi pada saat karang mengenai bagian *watertight floor* (skenario 3) paling besar dibandingkan saat karang mengenai bagian *solid floor* (skenario 1) dan saat karang mengenai bagian *open floor* (skenario 2). Hasil tersebut didapatkan karena pada skenario 3 saat rentang waktu 0,02 detik deformasi maksimum global yang terjadi pada bagian *longitudinal bottom*, berbeda dengan skenario 1 dan skenario 2 yang deformasi maksimumnya terjadi pada *wrang plate*.

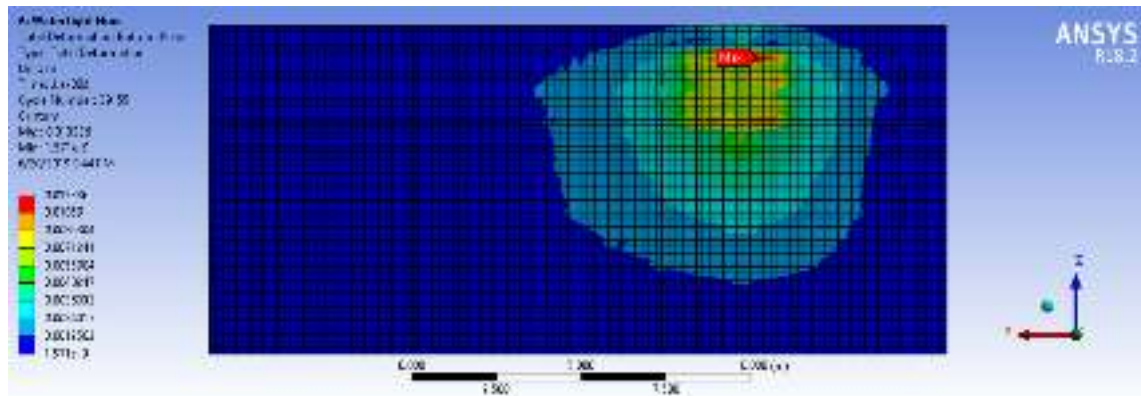
Berikut gambar dari hasil penyebaran tegangan pada saat 0,02 detik di ketiga skenario tegangan global sesuai pada Gambar IV. 22, Gambar IV. 23, dan Gambar IV. 24.



Gambar IV. 22 Hasil Deformasi pada *Bottom Plate* (Skenario 1)



Gambar IV. 23 Hasil Deformasi pada *Bottom Plate* (Skenario 2)



Gambar IV. 24 Hasil Deformasi pada *Bottom Plate* (Skenario 3)

IV.3.3. Deformasi pada *Side Girder*

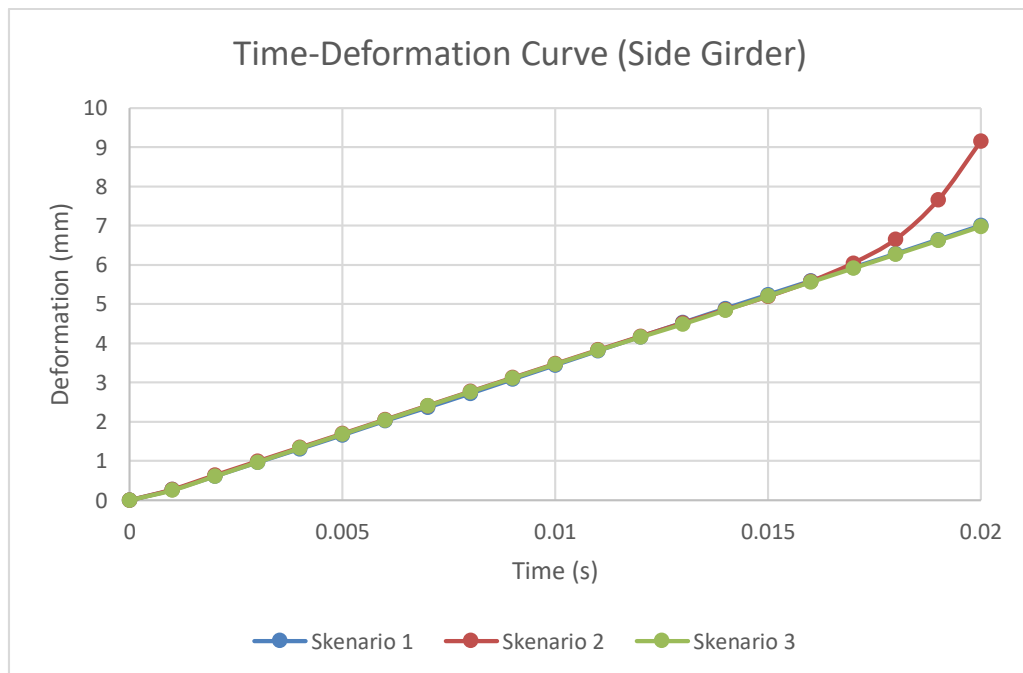
Dari hasil simulasi dinamis didapatkan penyebaran deformasi pada kedua skenario sesuai pada Tabel IV. 7 dan Gambar IV. 9.

Tabel IV. 7 Hasil Deformasi pada *Side Girder*

Time (s)	Deformation (mm)		
	Skenario 1	Skenario 2	Skenario 3
	Solid Floor	Open Floor	Watertight Floor
0	0	0	0
0,001	0,263	0,273	0,252
0,002	0,609	0,635	0,607
0,003	0,962	0,991	0,967
0,004	1,307	1,343	1,325
0,005	1,658	1,695	1,683
0,006	2,019	2,053	2,042
0,007	2,362	2,410	2,402

Time (s)	Deformation (mm)		
	Skenario 1	Skenario 2	Skenario 3
	Solid Floor	Open Floor	Watertight Floor
0,008	2,716	2,768	2,760
0,009	3,080	3,122	3,113
0,01	3,440	3,475	3,467
0,011	3,804	3,827	3,817
0,012	4,164	4,174	4,158
0,013	4,523	4,516	4,490
0,014	4,883	4,855	4,844
0,015	5,234	5,191	5,205
0,016	5,584	5,577	5,559
0,017	5,928	6,043	5,913
0,018	6,278	6,649	6,267
0,019	6,639	7,657	6,621
0,02	6,996	9,147	6,979

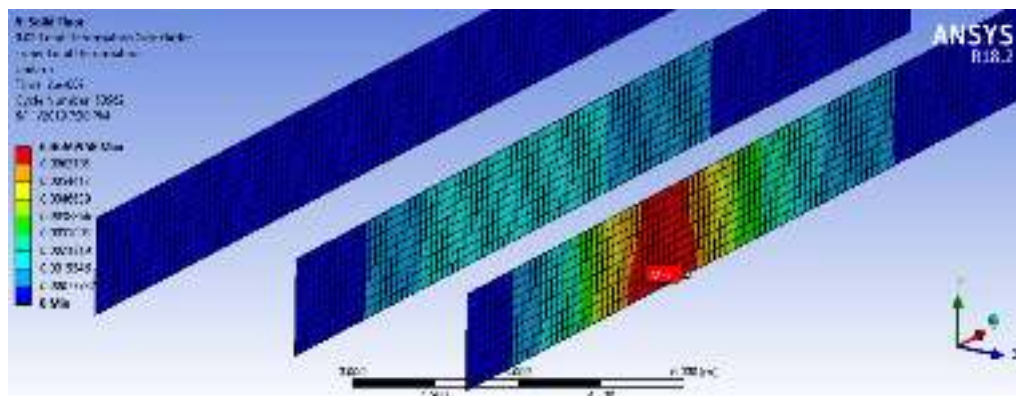
Tabel IV. 7 menunjukkan hasil deformasi yang dihasilkan pada simulasi *grounding* pada konstruksi alas pada bagian *side girder* di ketiga skenario. Didapatkan hasil deformasi pada saat karang mengenai bagian *open floor* (skenario 2) paling besar dibandingkan saat karang mengenai bagian *solid floor* (skenario 1) dan saat karang mengenai bagian *watertight floor* (skenario 3). Dari hasil tersebut dibuat kurva yang menunjukkan perbedaan hasil tegangan pada Gambar IV. 25.



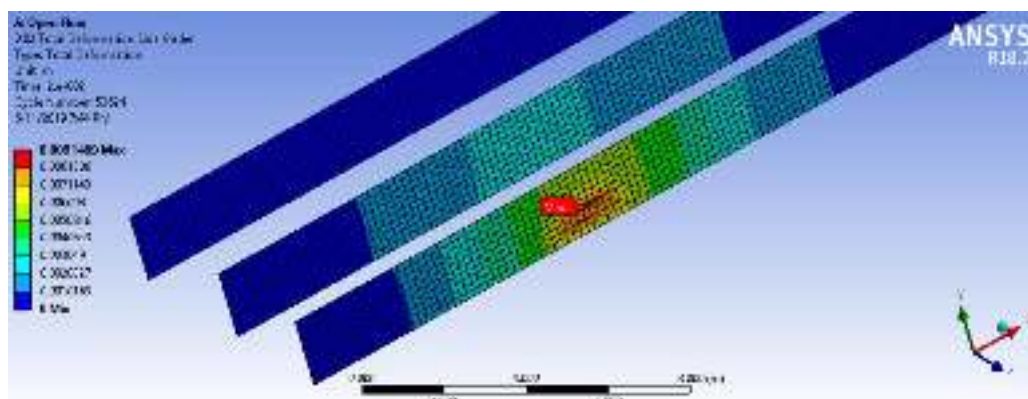
Gambar IV. 25 Kurva Time-Deformation pada Side Girder

Berdasarkan Tabel IV. 7 dan Gambar IV. 9 didapatkan hasil deformasi pada saat karang mengenai bagian *open floor* (skenario 2) paling besar dibandingkan saat karang mengenai bagian *solid floor* (skenario 1) dan saat karang mengenai bagian *watertight floor* (skenario 3). Hasil tersebut didapatkan karena pada skenario 2 saat rentang waktu 0,02 detik deformasi dibagikan lebih sedikit kepada *wrang plate* maupun *watertight floor*, lain halnya pada skenario 1 dan skenario 2 yang terdapat *wrang plate* maupun *watertight floor* yang menyangga langsung dibelakang *bottom plate* yang menyebabkan deformasi lebih terbagi kepada *side girder*, *wrang plate*, dan *watertight floor*. Berdasarkan Gambar IV. 25 deformasi yang terjadi pada skenario 2 dan 3 memiliki *trend* yang sama dan hasil yang hampir sama.

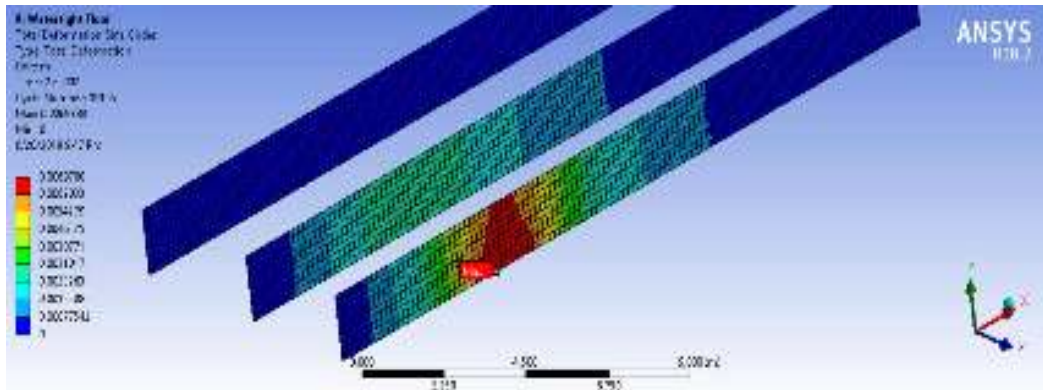
Berikut gambar dari hasil penyebaran deformasi pada saat 0,02 detik di ketiga skenario tegangan pada *side girder* sesuai pada Gambar IV. 26, Gambar IV. 27, dan Gambar IV. 28.



Gambar IV. 26 Hasil Deformasi pada *Side Girder* (Skenario 1)



Gambar IV. 27 Hasil Deformasi pada *Side Girder* (Skenario 2)



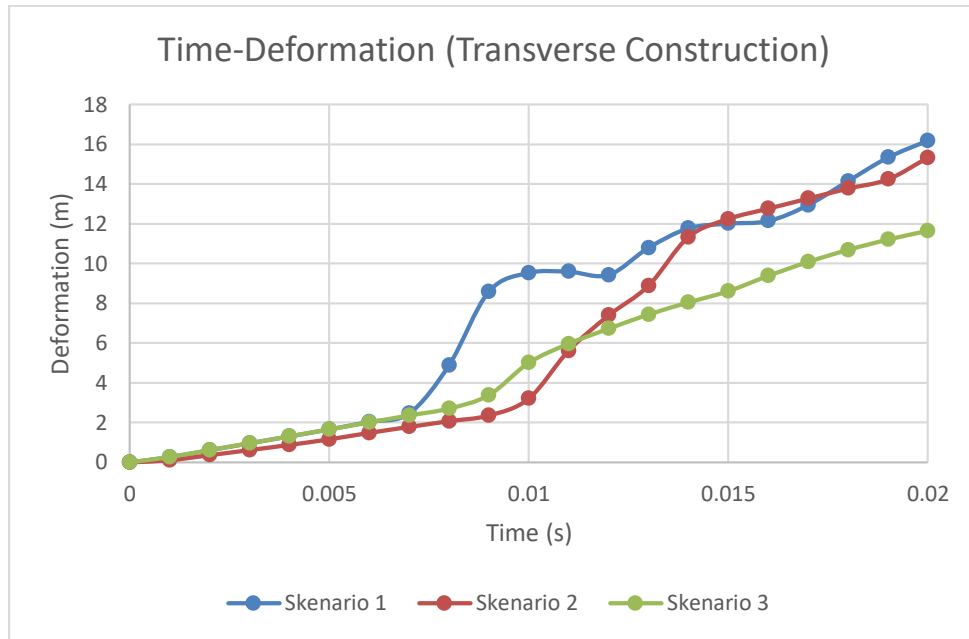
Gambar IV. 28 Hasil Deformasi pada *Side Girder* (Skenario 3)

IV.3.4. Deformasi pada *Transverse Construction*

Dari hasil simulasi dinamis didapatkan penyebaran deformasi pada kedua skenario sesuai pada Tabel IV. 8 dan Gambar IV. 29.

Tabel IV. 8 Hasil Deformasi pada *Transverse Construction*

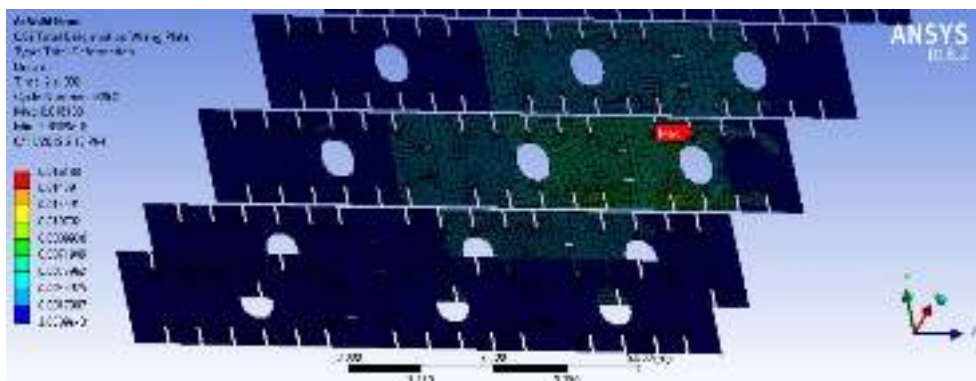
Time (s)	Deformation (mm)		
	Skenario 1	Skenario 2	Skenario 3
	Solid Floor	Open Floor	Watertight Floor
0	0	0	0
0,001	0,263	0,107	0,272
0,002	0,609	0,361	0,617
0,003	0,958	0,618	0,960
0,004	1,306	0,878	1,308
0,005	1,657	1,160	1,660
0,006	2,039	1,484	2,010
0,007	2,459	1,783	2,359
0,008	4,875	2,073	2,707
0,009	8,587	2,357	3,380
0,01	9,533	3,206	5,004
0,011	9,594	5,619	5,967
0,012	9,430	7,391	6,722
0,013	10,794	8,884	7,435
0,014	11,774	11,333	8,044
0,015	12,015	12,247	8,610
0,016	12,142	12,767	9,380
0,017	12,941	13,272	10,081
0,018	14,150	13,779	10,688
0,019	15,336	14,237	11,205
0,02	16,188	15,330	11,647



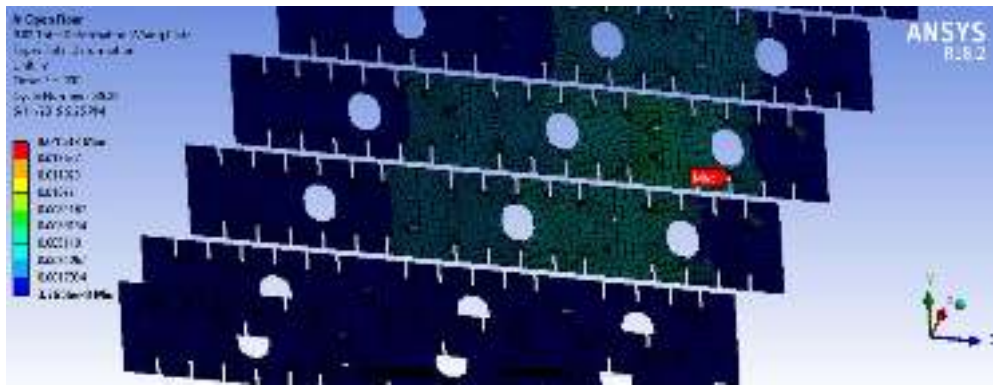
Gambar IV. 29 Kurva *Time-Deformation* pada *Transverse Construction*

Berdasarkan Tabel IV. 8 dan Gambar IV. 29 didapatkan hasil deformasi *transverse construction* saat karang mengenai bagian *solid floor* (skenario 1) paling besar dibandingkan saat karang mengenai bagian *open floor* (skenario 2) dan saat karang mengenai bagian *watertight floor* (skenario 3). Hasil tersebut didapatkan karena pada skenario 1 saat rentang waktu 0,02 detik *wrang plate* langsung menyangga *bottom plate* dan mendapatkan konsentrasi tegangan yang sangat tinggi, oleh karena itu pada skenario 2 dan skenario 3 pada rentang waktu 0,02 detik *wrang plate* tidak menyangga langsung yang menyebabkan konsentrasi tegangan yang tidak setinggi pada skenario 1. Lalu deformasi didapatkan karena keadaan konsentrasi tegangan tersebut.

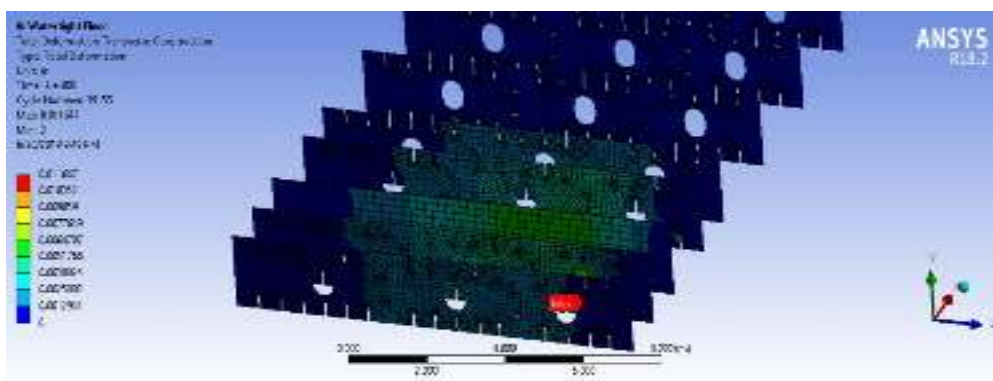
Berikut gambar dari hasil penyebaran deformasi *transverse construction* pada saat 0,02 detik di ketiga skenario deformasi pada *transverse construction* sesuai pada Gambar IV. 30, Gambar IV. 31, dan Gambar IV. 32.



Gambar IV. 30 Hasil Deformasi pada *Transverse Construction* (Skenario 1)



Gambar IV. 31 Hasil Deformasi pada *Transverse Construction* (Skenario 2)



Gambar IV. 32 Hasil Deformasi pada *Transverse Construction* (Skenario 3)

IV.4. *Internal Energy*

Internal energy merupakan energi yang diserap oleh konstruksi alas. Nilai *internal energy* sama dengan nilai energi kinetik yang hilang saat tubrukan terjadi. Analisis *internal energy* terhadap seluruh model (Global).

IV.4.1. *Internal Energy Global*

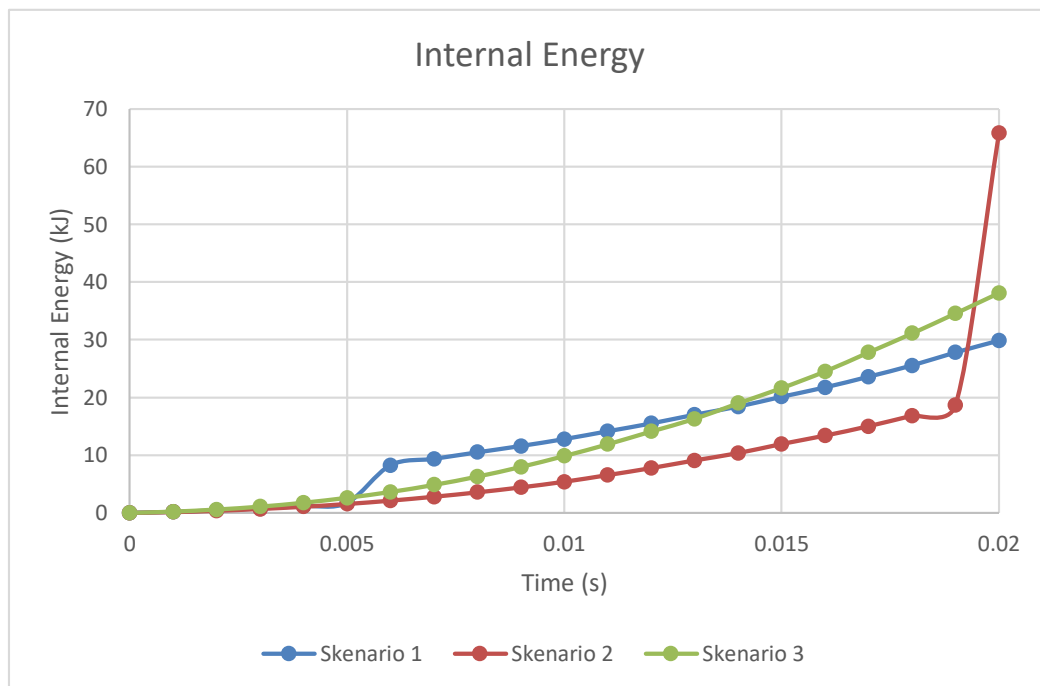
Dari hasil simulasi dinamis didapatkan *internal energy* pada kedua skenario sesuai pada Tabel IV. 9 dan Gambar IV. 33.

Tabel IV. 9 Hasil *Internal Energy Global*

Time (s)	Internal Energy (kJ)		
	Skenario 1	Skenario 2	Skenario 3
	Solid Floor	Open Floor	Watertight Floor
0	0	0	0
0,001	0,178	0,129	0,215
0,002	0,435	0,358	0,583
0,003	0,769	0,677	1,083
0,004	1,189	1,059	1,760

Time (s)	Internal Energy (kJ)		
	Skenario 1	Skenario 2	Skenario 3
	Solid Floor	Open Floor	Watertight Floor
0,005	1,732	1,538	2,612
0,006	8,243	2,117	3,625
0,007	9,360	2,793	4,848
0,008	10,486	3,554	6,291
0,009	11,583	4,416	7,962
0,01	12,781	5,391	9,854
0,011	14,134	6,545	11,892
0,012	15,489	7,760	14,112
0,013	17,005	9,090	16,304
0,014	18,407	10,355	18,999
0,015	20,106	11,931	21,630
0,016	21,737	13,387	24,520
0,017	23,584	15,009	27,811
0,018	25,545	16,832	31,101
0,019	27,790	18,686	34,576
0,02	29,840	65,771	38,107

Dari Tabel IV. 9 dapat dilihat bahwa *internal energy* relatif naik. Selain itu, *internal energy* akhir paling besar diserap oleh konstruksi alas pada saat skenario 2.



Gambar IV. 33 Kurva *Internal Energy* Global

Dari kurva tersebut dapat dilihat bahwa *internal energy* relatif naik. Selain itu, *internal energy* akhir paling besar diserap oleh konstruksi alas pada saat skenario 2. Terlihat pada saat 0,02 detik menyebabkan tegangan pada skenario 2 naik drastis saat *energy* yang diserap atau *internal energy* juga mengalami kenaikan yang drastis.

IV.5. Analisis Pengaruh Berat

Simulasi *grounding* menggunakan *finite element method* membutuhkan waktu yang lama. Oleh karena itu pada tugas akhir ini, simulasi *grounding* tidak dimodelkan dengan geometri kapal seutuhnya melainkan hanya bagian konstruksi alas saja untuk mempercepat waktu simulasi. Namun, karena model yang digunakan hanya bagian konstruksi alas maka berat yang digunakan untuk simulasi adalah berat konstruksi alas tersebut dan bukan total berat kapal. Dengan demikian dibutuhkan simulasi tambahan yang menunjukkan apakah berat kapal berpengaruh terhadap hasil simulasi tubrukan dengan FEM.

Simulasi dilakukan dengan mengubah material yang digunakan pada konstruksi alas dari baja A36 menjadi aluminium. Mengubah material sama dengan mengubah massa jenis sehingga dapat mengubah berat model konstruksi alas kapal. Kondisi batas yang digunakan pada simulasi ini tetap sama seperti simulasi sebelumnya. Namun, hanya satu skenario yang digunakan, yaitu pada saat karang mengenai *watertight floor*.

Tabel IV. 10 Perbandingan Tegangan Dengan Material yang Berbeda

Time (s)	Stress (Mpa)	
	Baja	Aluminium
0	0	0
0,001	5,648	1,9026
0,002	11,247	3,9014
0,003	14,706	5,1227
0,004	19,071	6,6128
0,005	23,922	8,3026
0,006	28,764	9,9872
0,007	33,206	11,532
0,008	37,932	13,179
0,009	42,232	14,675
0,01	46,218	16,053
0,011	51,345	17,827
0,012	56,588	19,654
0,013	61,012	21,203
0,014	65,150	22,635
0,015	69,499	24,138

Time (s)	Stress (Mpa)	
	Baja	Aluminium
0,016	73,695	25,553
0,017	78,550	27,221
0,018	83,735	29,033
0,019	88,992	30,889
0,02	94,395	32,775

Tabel IV. 10 menunjukkan perbedaan tegangan yang dihasilkan pada simulasi *grounding* pada konstruksi alas dengan material baja A36 dan konstruksi alas dengan material aluminium. Tegangan yang dihasilkan pada konstruksi alas kapal dengan material aluminium cenderung lebih kecil dikarenakan massa konstruksi alas juga lebih kecil dibandingkan massa konstruksi alas dengan material baja. Dengan waktu selama 0,02 detik sudah dapat terlihat jelas adanya perbedaan yang cukup jauh dari tegangan yang dihasilkan konstruksi alas kapal dengan material baja A36 dengan konstruksi alas kapal dengan material aluminium. Untuk melihat perbedaan yang cukup jelas dari hasil tersebut dibuat kurva yang menunjukkan perbedaan hasil tegangan pada Gambar IV. 34.



Gambar IV. 34 Kurva Tegangan pada Material yang Berbeda

Gambar IV. 34 menunjukkan kurva perbedaan hasil tegangan pada konstruksi alas kapal dengan material baja dan aluminium. Pada kurva tersebut dapat dilihat perbedaan tegangan yang signifikan antara konstruksi alas kapal baja dengan konstruksi alas kapal aluminium. Dari

simulasi ini dapat disimpulkan bahwa berat pada model memengaruhi hasil simulasi *grounding* sehingga hasil yang didapatkan pada simulasi sebelumnya akan berbeda apabila kapal dimodelkan keseluruhan. Oleh karena itu pada tugas akhir ini hasil yang didapatkan hanya diakibatkan oleh berat model konstruksi alas kapal saja.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

V.1. Kesimpulan

Setelah dilakukan analisis dan pembahasan mengenai kekuatan alas kapal akibat grounding menggunakan simulasi FEM maka dihasilkan kesimpulan sebagai berikut:

1. Pada kondisi grounding, alas kapal mengalami tegangan pada seluruh konstruksi alas kapal. Lokasi tempat karang mengenai konstruksi alas saat terjadinya grounding memengaruhi besar tegangan yang dihasilkan. Maka respon setiap komponen utama konstruksi alas akan berbeda. Besar tegangan maksimum global, *bottom plate*, *side girder*, *transverse construction* pada waktu 0,02 detik untuk skenario 1; skenario 2; dan skenario 3 adalah 1050 MPa; 965 MPa; dan 645 MPa, 62,1 MPa; 696 MPa; dan 94,4 MPa, 268 MPa; 366 MPa; dan 337 Mpa, 1050 MPa; 965 MPa; dan 645 Mpa.
2. Hasil deformasi juga ditentukan dari lokasi karang mengenai konstruksi alas dan respon setiap komponen utama konstruksi alas, sama halnya dengan hasil tegangan. Besar deformasi maksimum global, *bottom plate*, *side girder*, *wrang plate* pada waktu 0,02 detik untuk skenario 1; skenario 2; dan skenario 3 adalah 16,188 mm; 15,330 mm; dan 13,454 mm, 9 mm; 11,722 mm; dan 13,336 mm, 6,996 mm; 9,147 mm dan 6,979 mm, 16,188 mm; 15,330 mm dan 11,647 mm.
3. *Internal Energy* yang diserap oleh konstruksi alas kapal pada waktu 0,02 detik untuk skenario 1; skenario 2; dan skenario 3 adalah 29,840 kJ; 65,771 kJ; dan 38,107 kJ.

V.2. Saran

Untuk tujuan perbaikan dan pengembangan pada penelitian selanjutnya, ada beberapa hal yang perlu diakomodir, tetapi belum dipertimbangkan dalam penelitian ini yaitu sebagai berikut:

1. Menggunakan variasi bentuk karang, dan juga variasi kecepatan
2. Menambahkan variasi pada sudut kemiringan kapal saat kapal mengenai karang
3. Menggunakan *software* FEM lain yang lebih memadai
4. Menggunakan input tambahan yang dapat mempresentasikan berat satu kapal

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR PUSTAKA

- A370, A. (2004). *Standard Test Methods and Definitions for Mechanical Testing of Steel*. New York: American Society for Testing and Materials (ASTM).
- Allianz Global Corporate & Speciality. (2017). *Safety and Shipping Review*. Allianz Global Corporate Speciality.
- Ardianus. (2017). Analisis Kekuatan Konstruksi Sekat Melintang Kapal Tanker dengan Metode Elemen Hingga. *Jurnal Teknik ITS Vol. 6, No 2*, G186-G192.
- BKI. (2018). *Rules for Classification and Construction Vol. II Rules for Hull*. Jakarta: Biro Klasifikasi Indonesia (BKI).
- Eyres, D. (2006). *Ship Construction*. United Kingdom: Butterworth-Heinemann.
- Hareide. (2013). *Modelling Ship Grounding with Finite Element*. Norway: University of Oslo.
- Hariyadi, B. (2008). *Teori Fisika Dasar*. Bandung.
- Hasanudin, H., Zubaydi, W. D., & Putranto, T. (2017). *Dynamics Finite Element for Ship Damage Collision Analysis*. Retrieved from <https://doi.org/10.12962/j23546026.y2017i2.2308>
- Hibeller, R. C. (1997). *Mechanics of Material Third Edition*. New Jersey: Prentice-Hall.
- Hoque, K. N. (2013). *Analysis of Structural Discontinuities in Ship Hull Using Finite Element Method*. Bangladesh: Bangladesh niversity of Engineering and Technology.
- IACS. (2014). *Common Structural Rules for Double Hull Oil Tanker*. IACS.
- Kelly, P. A. (2015). *An introduction to Solid Mechanics*. Retrieved from Mechanics Lecture Notes: <https://homepages.engineering.auckland.ac.nz/~pkel015/SolidMechanicsBooks/index.html>
- Marine Insight. (2017, Oktober 8). *Types of Ships*. Retrieved from Marine Insight: www.marineinsight.com/types-of-ships/different-types-of-tankers-extensive-classification-of-tanker-ships/
- Niklas, K. (2008). *Numerical Calculations of Behaviour of Ship Double-Bottom Structure During Grounding*. Gdańsk: Gdańsk University of Technology.
- Popov, E. (1978). *Mechanics of Material*. New Jersey: Prentice-Hall.
- Ruina, A., & Pratap, R. (2015). *Introduction to Statics and Dynamics*. Oxford.
- Samuelides, M. (2007). *Studies on The Behaviour of Bottom Structures During Grounding*. Greece : National Technical University of Athen.
- Singer, F. L., & Pytel, A. (1986). *Engineering Mechanics Statics*. New York: Wiley American.
- Tripler, A. P. (1998). *Fisika untuk Sains dan Teknik Edisi Ketiga Jilid 1*. Jakarta: Erlangga.
- Zhaolong. (2013). *Investigation on structural performance prediction of double-bottom tankers during shoal grounding accidents* . Trondheim: NTNU.

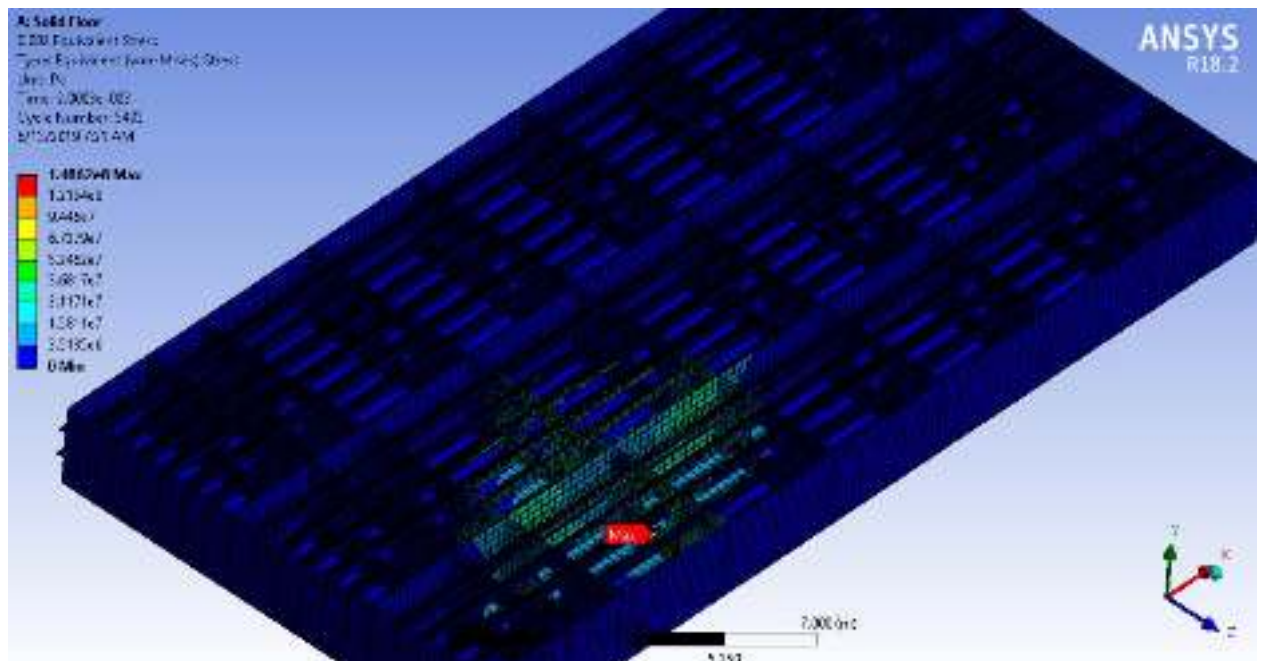
LAMPIRAN

- Lampiran A Tegangan dan Deformasi Skenario 1
- Lampiran B Tegangan dan Deformasi Skenario 2
- Lampiran C Tegangan dan Deformasi Skenario 3

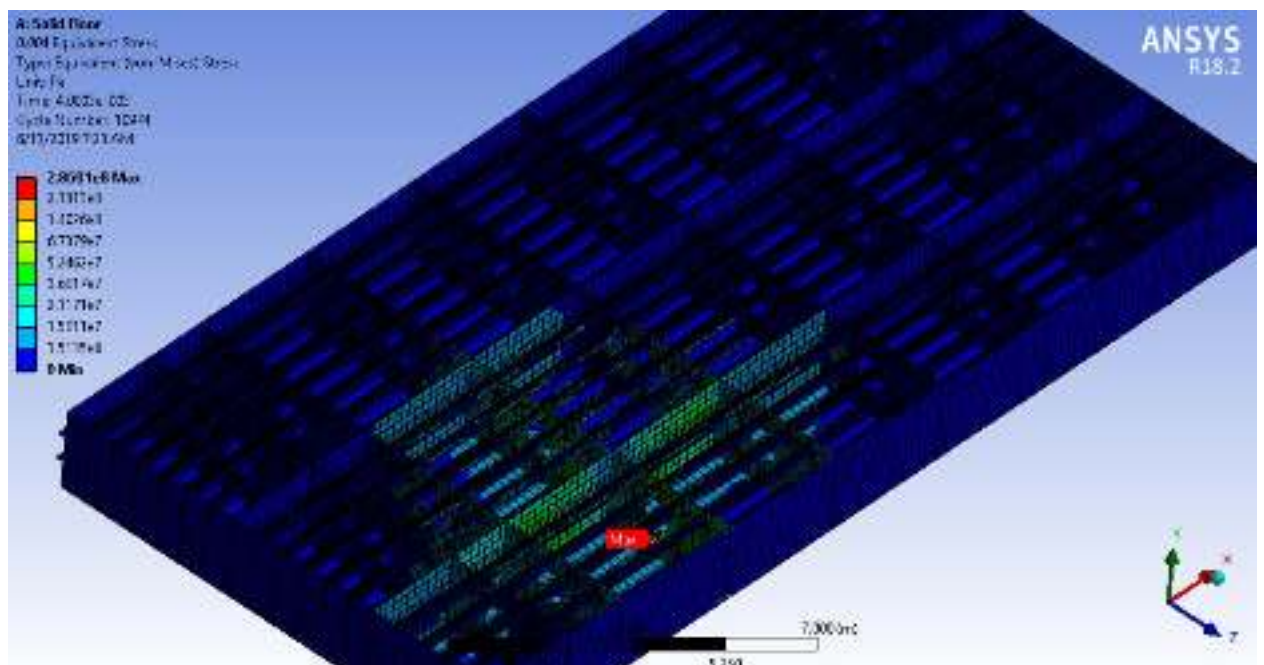
LAMPIRAN A
TEGANGAN DAN DEFORMASI SKENARIO 1

Tegangan Global (*Solid Floor*)

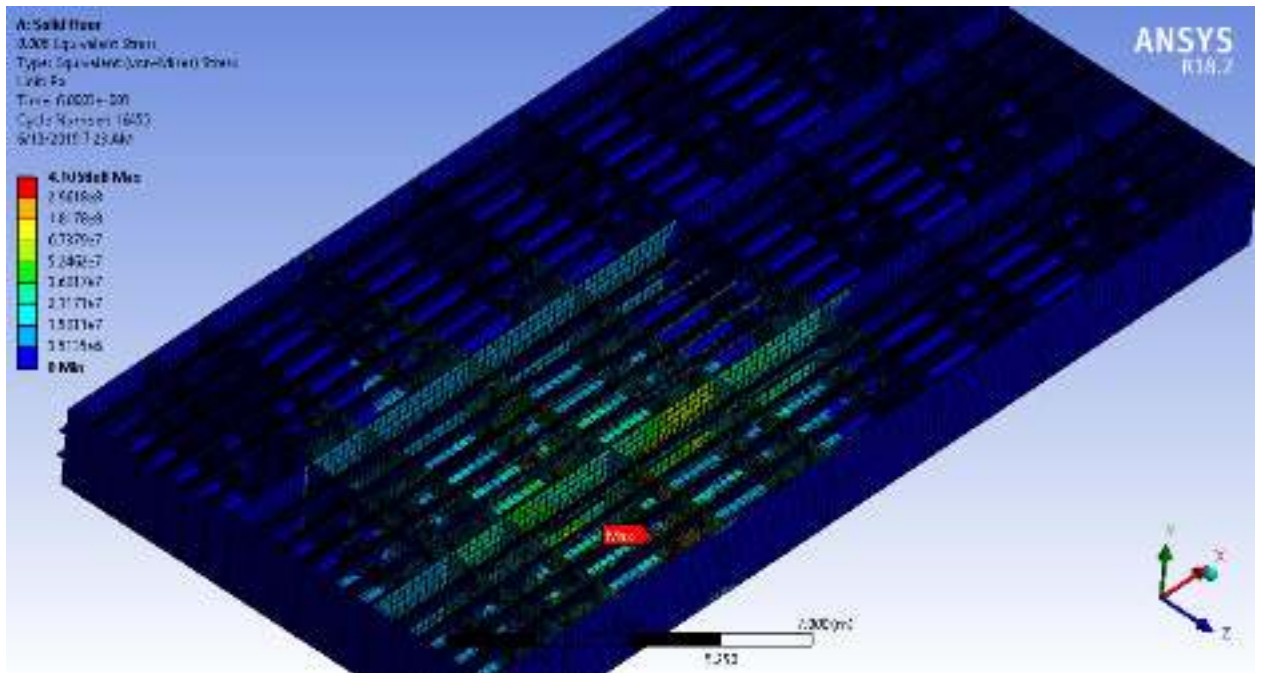
Detik 0,002



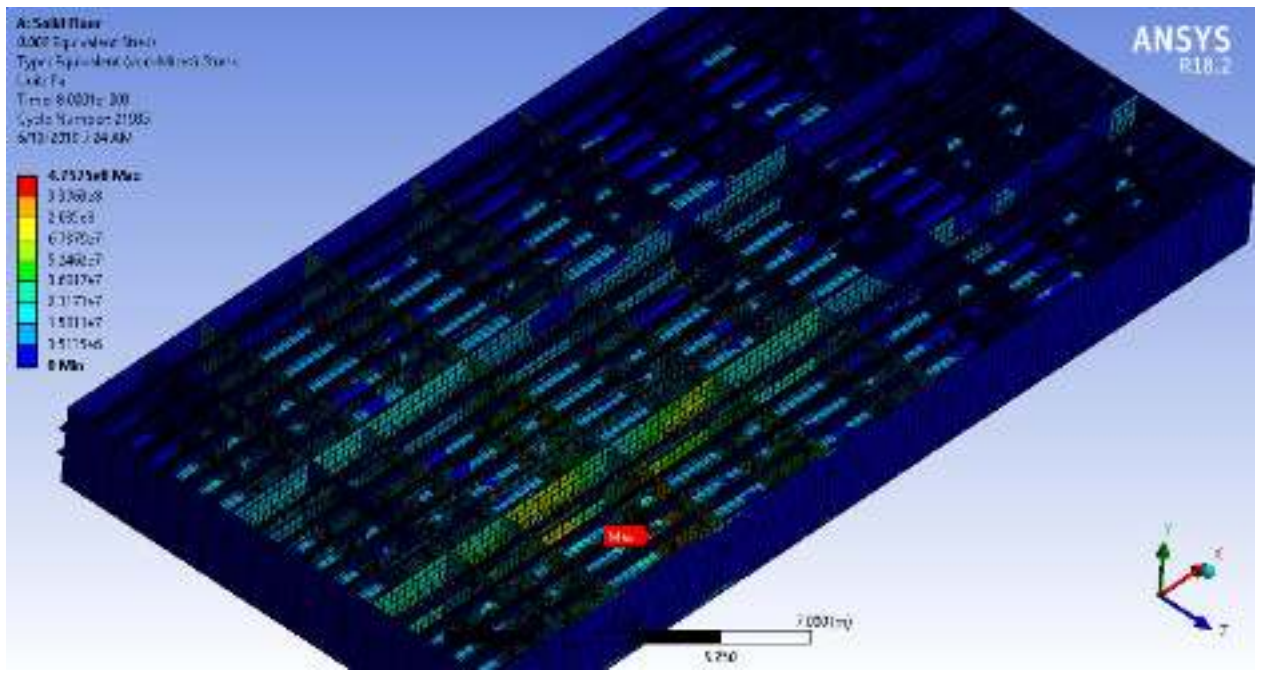
Detik 0,004



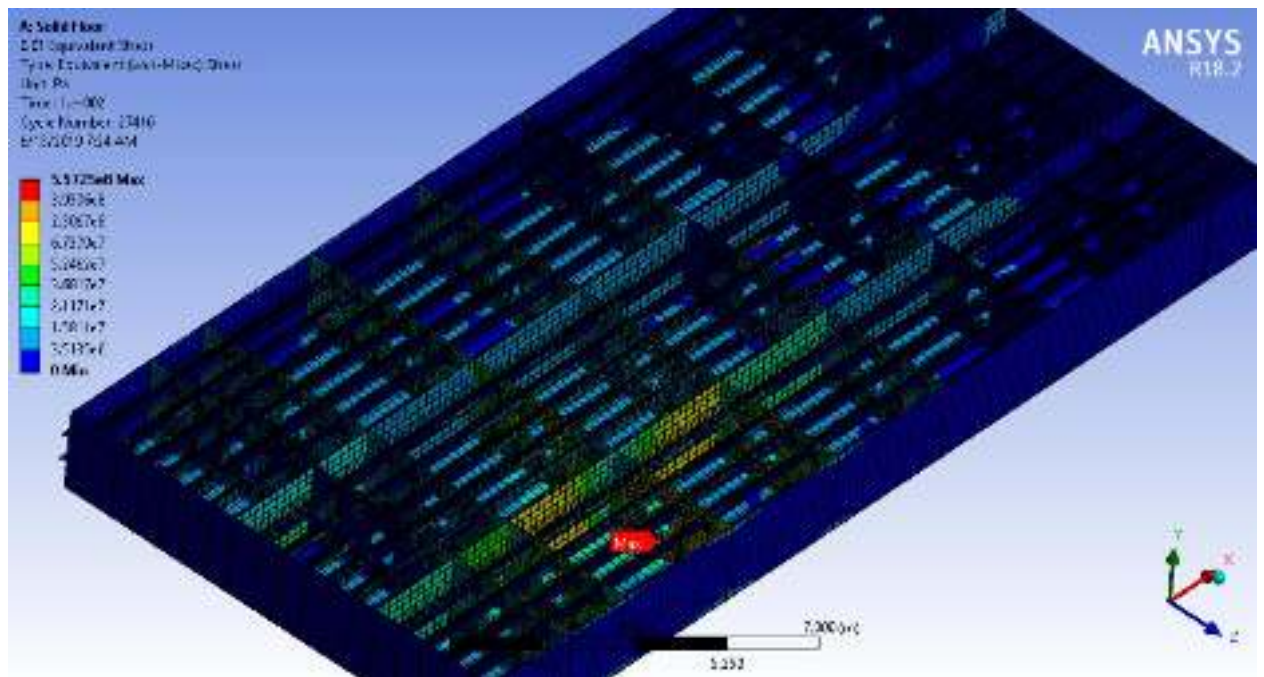
Detik 0,006



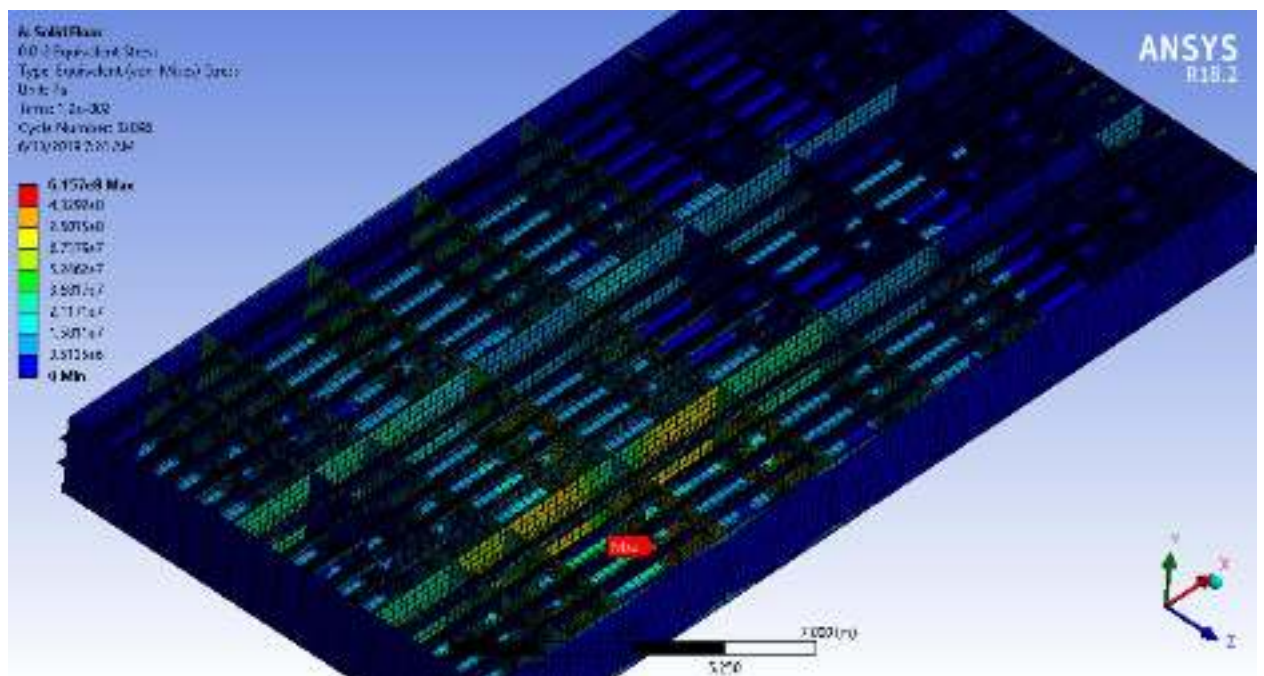
Detik 0,008



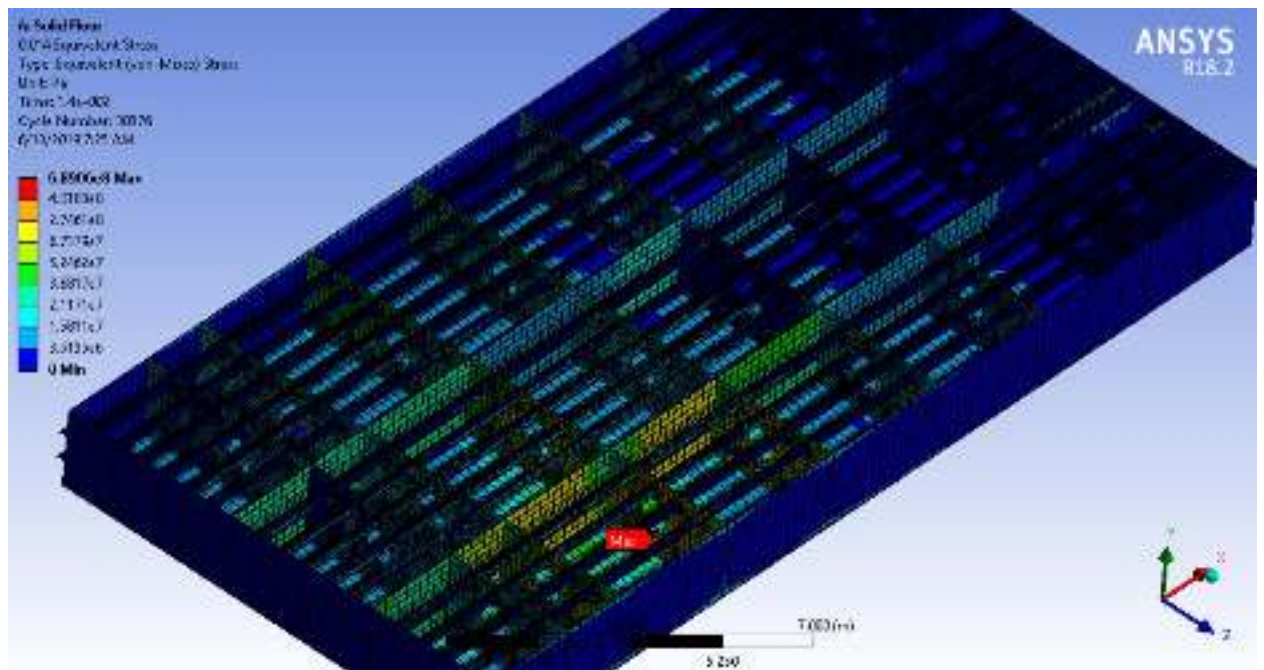
Detik 0,01



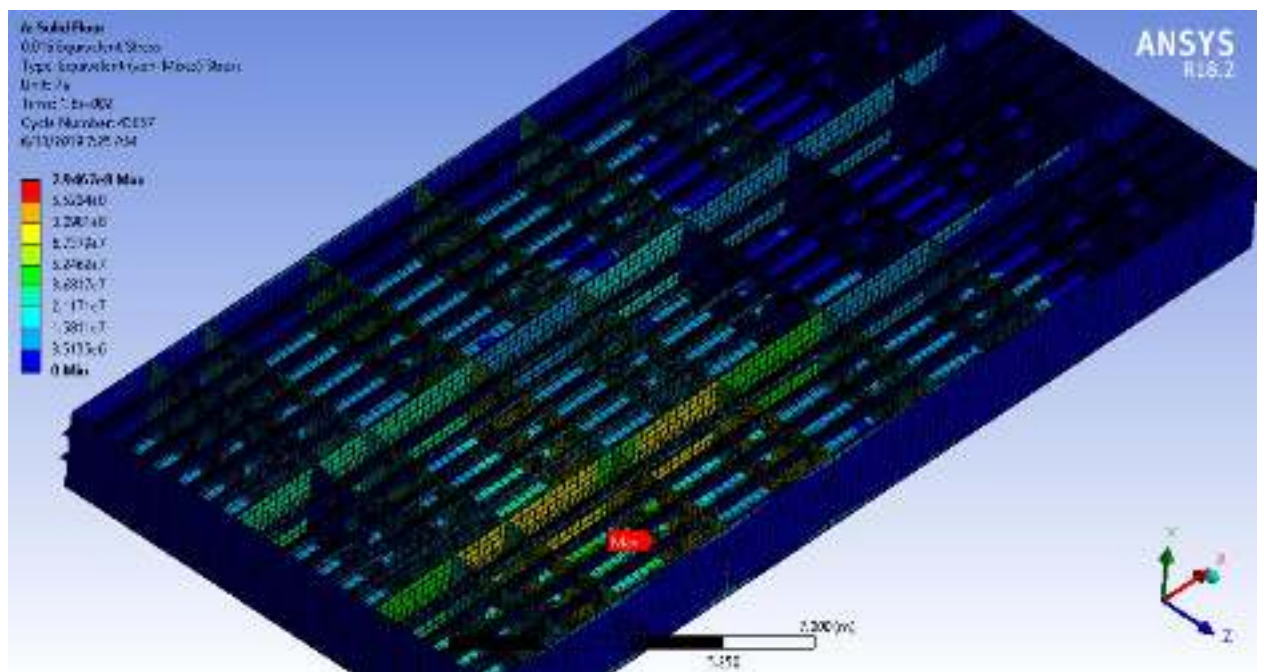
Detik 0,012



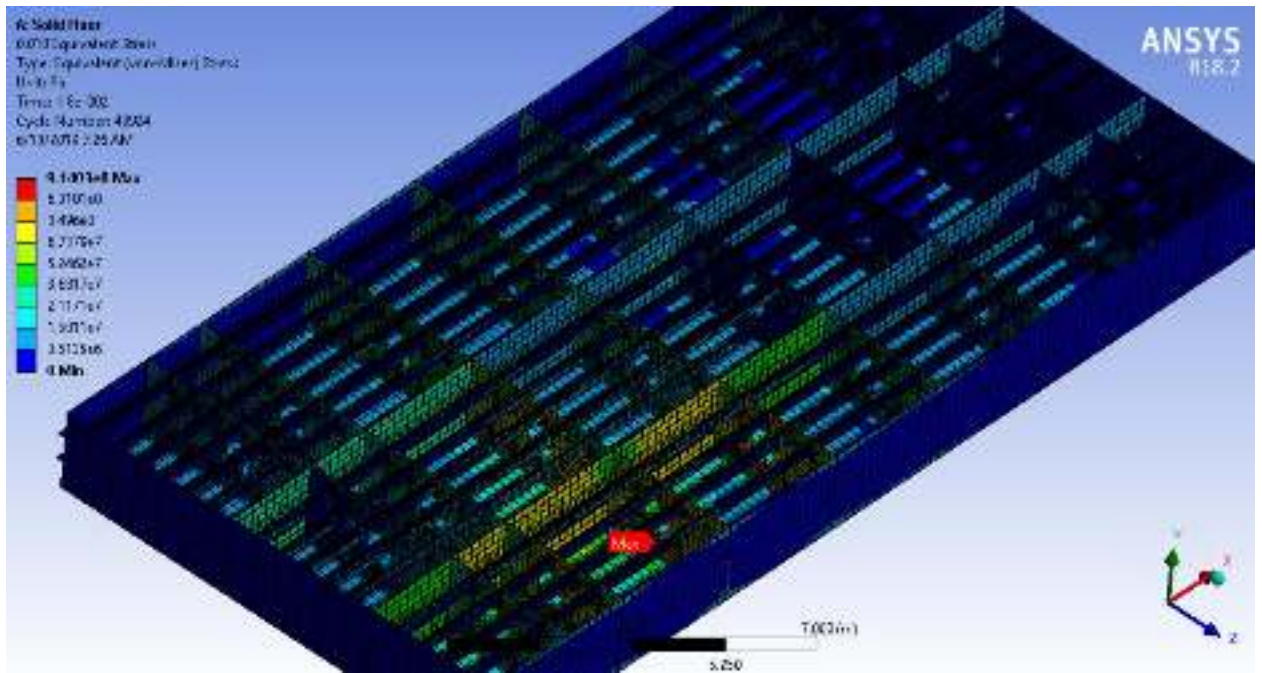
Detik 0,014



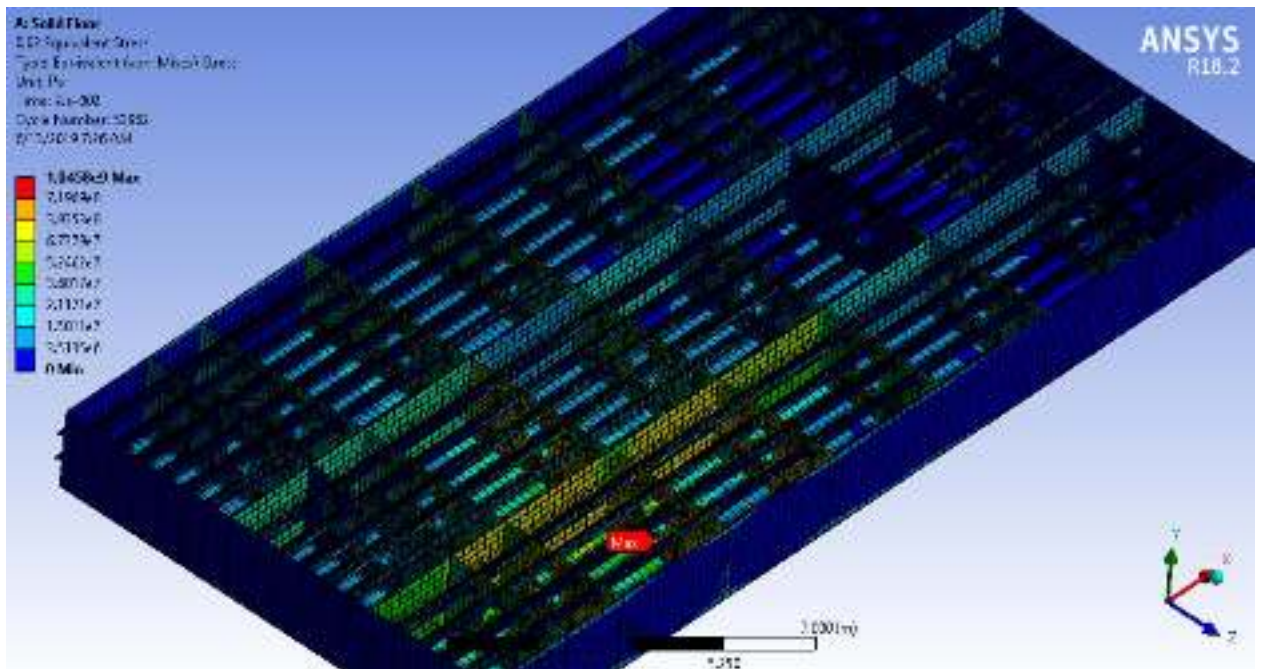
Detik 0,016



Detik 0,018

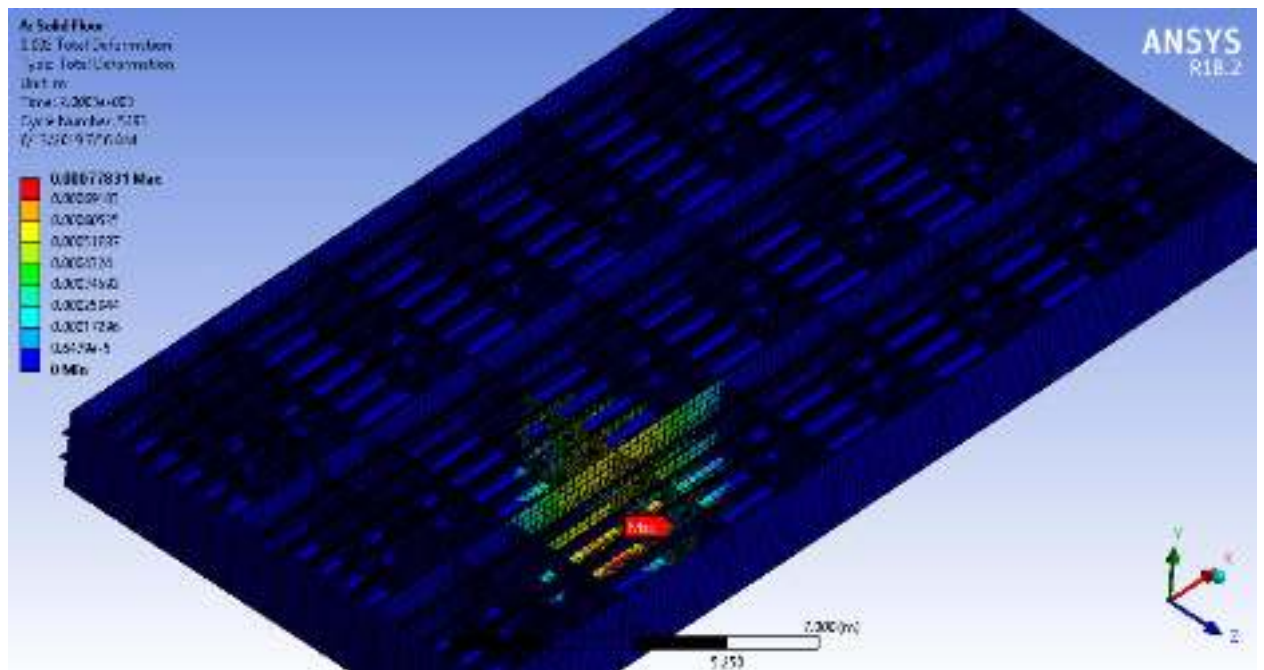


Detik 0,02

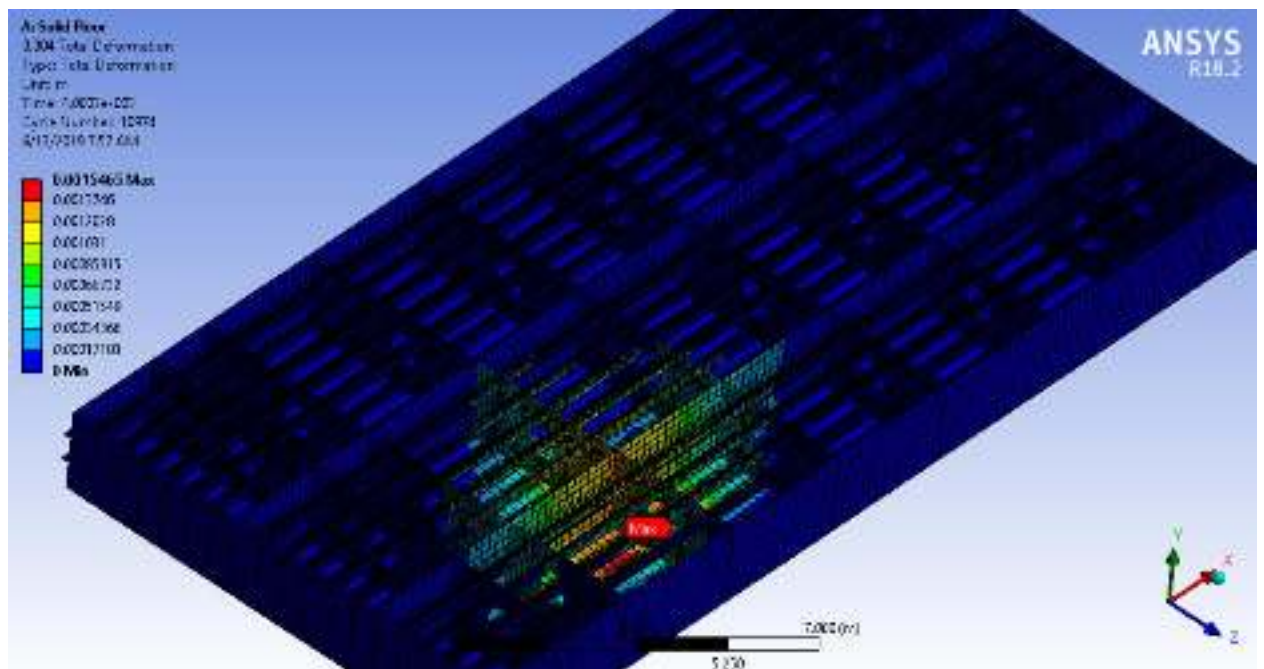


Deformasi Global (*Solid Floor*)

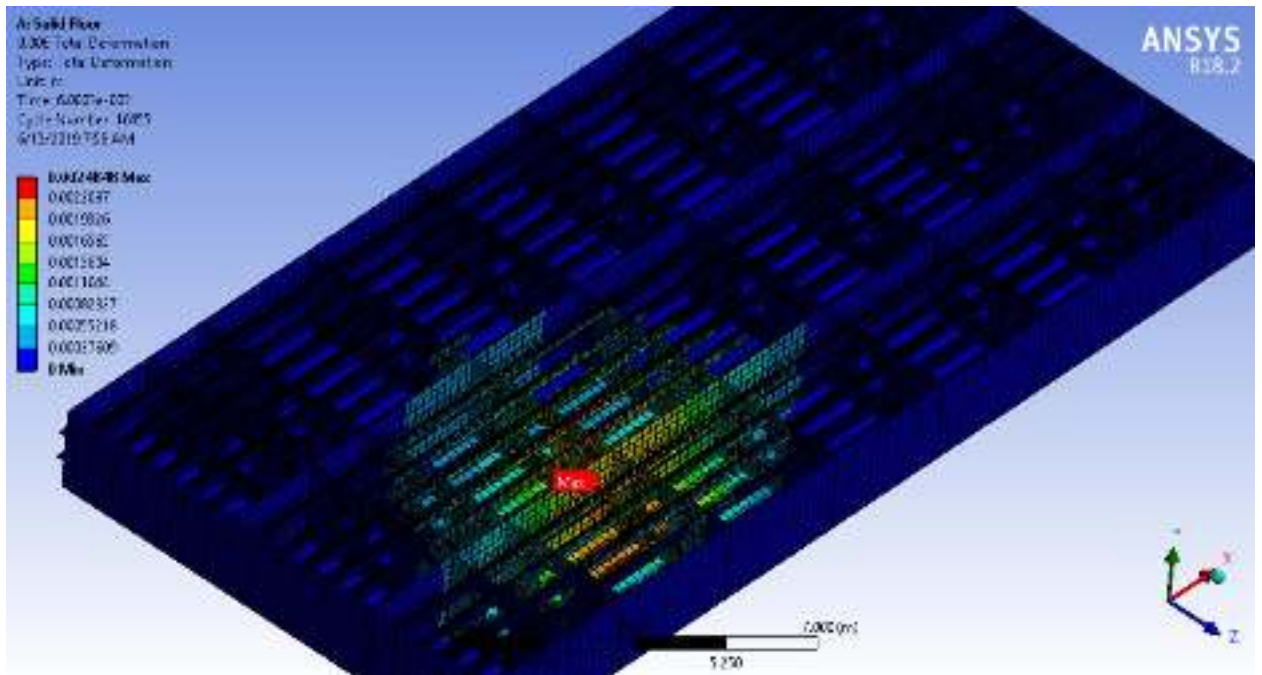
Detik 0,002



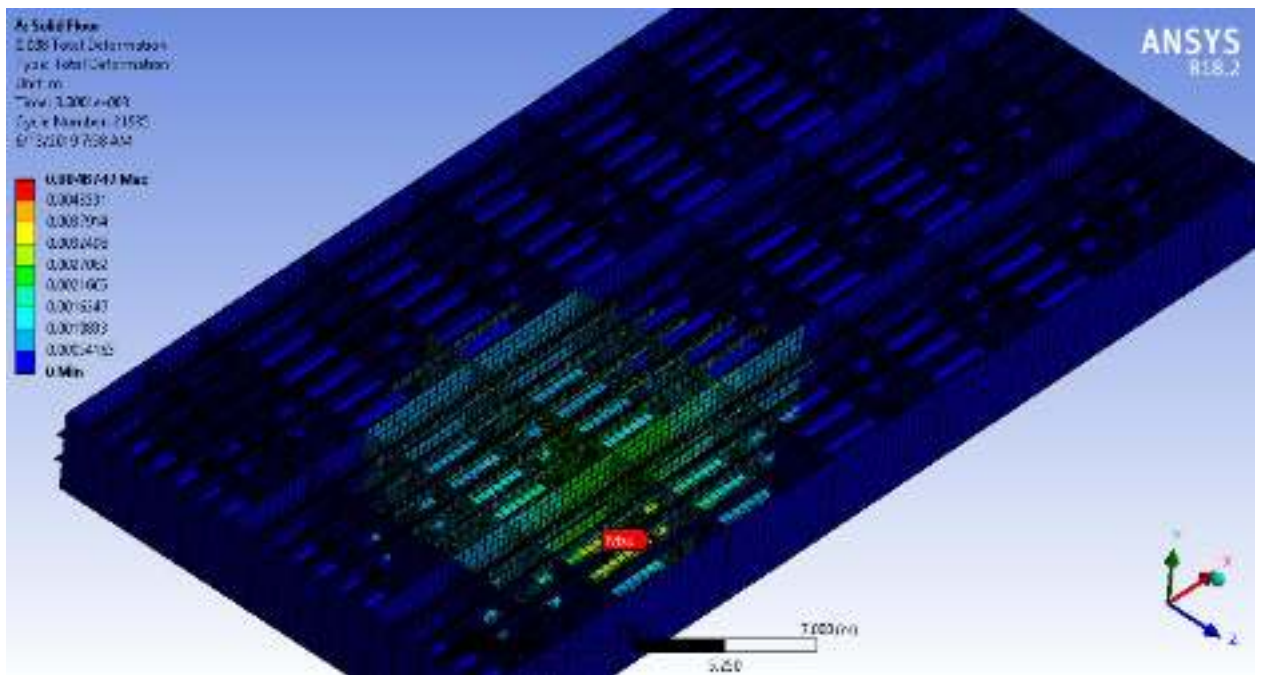
Detik 0,004



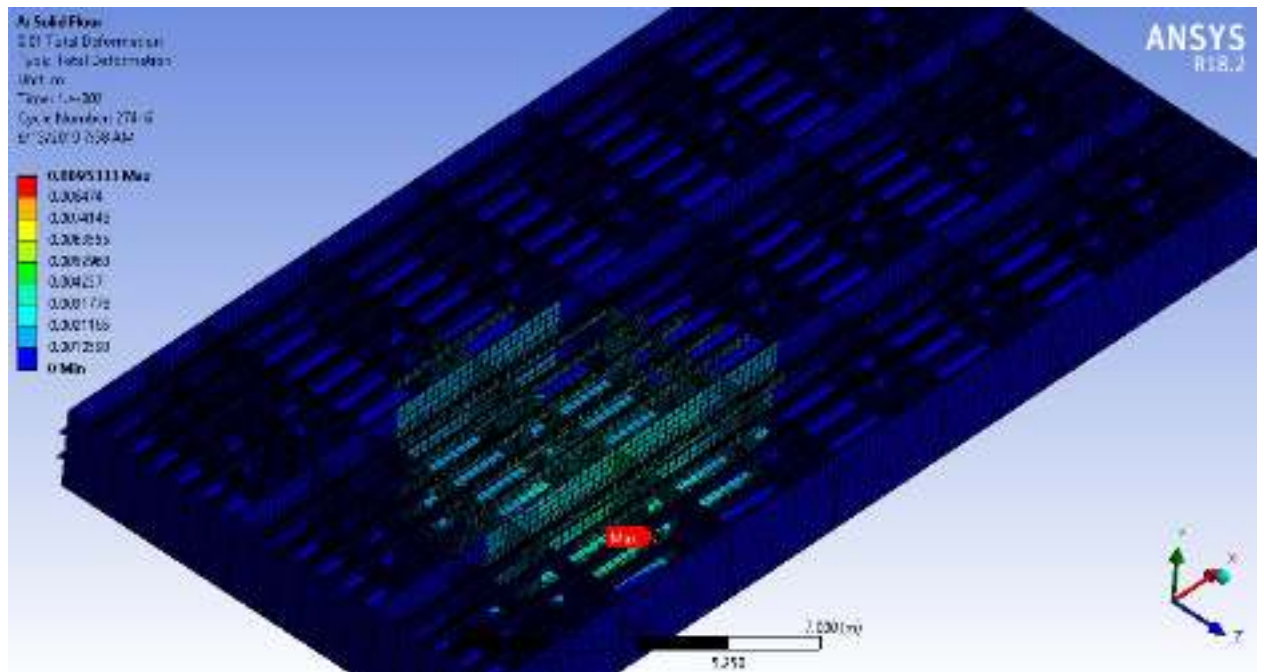
Detik 0,006



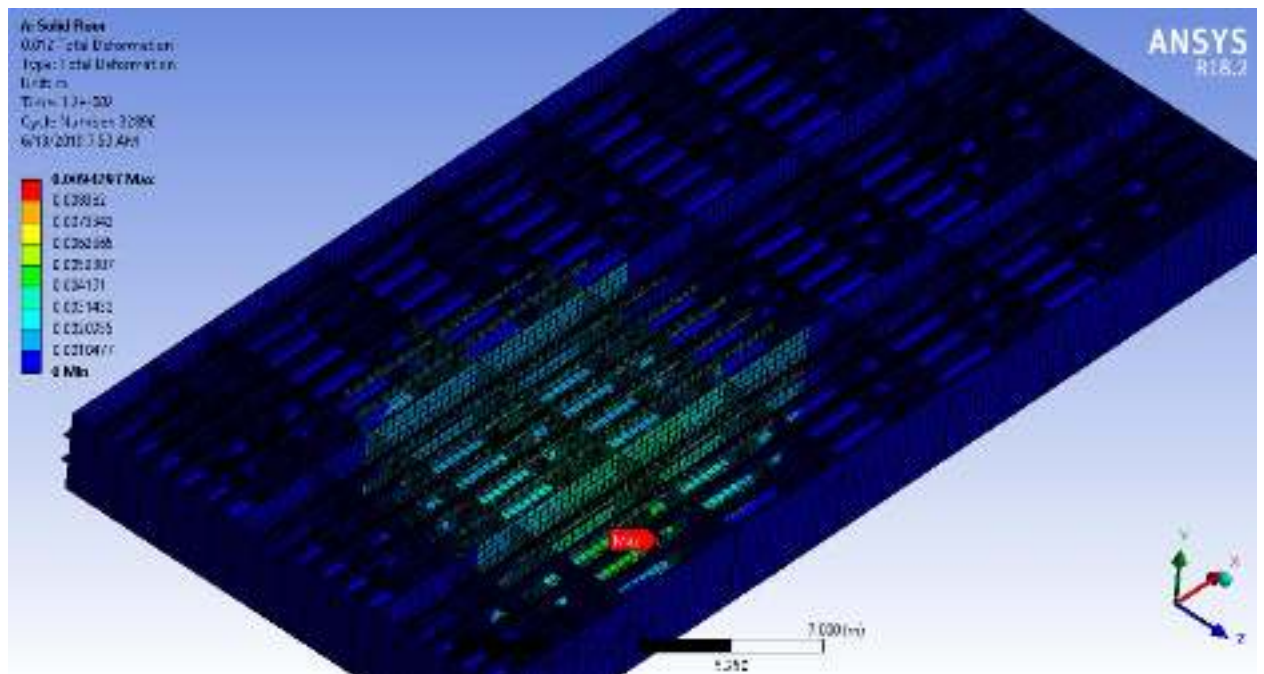
Detik 0,008



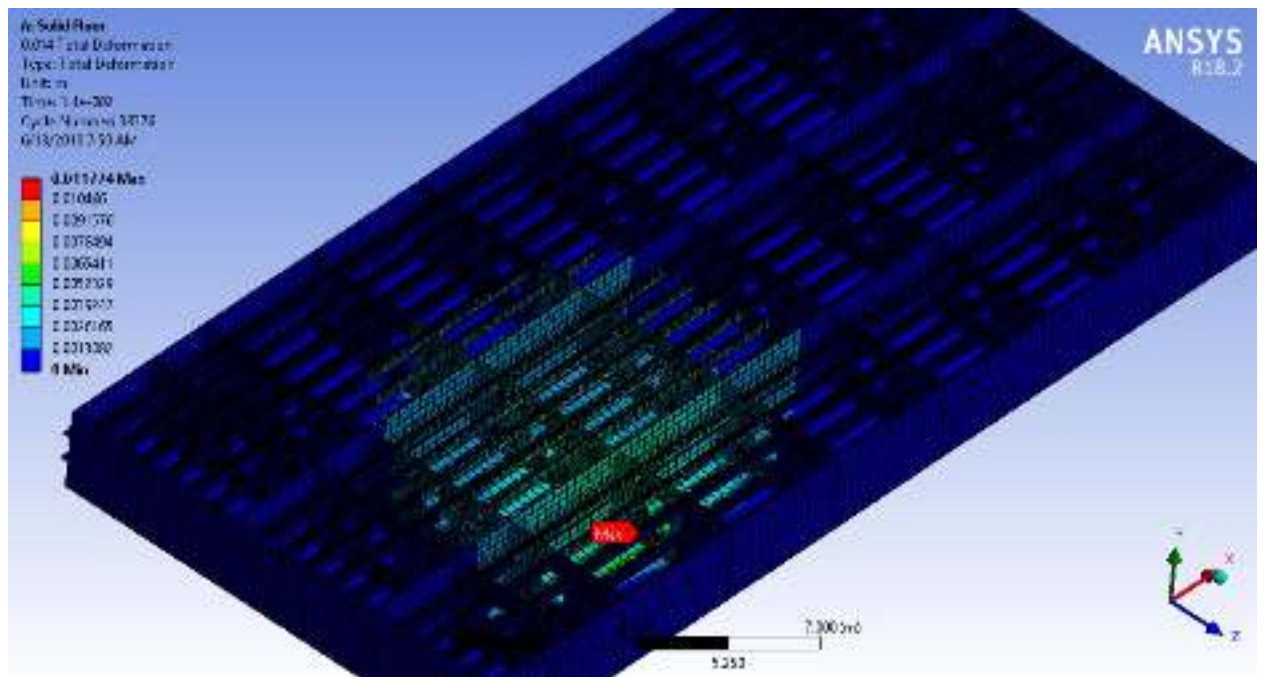
Detik 0,01



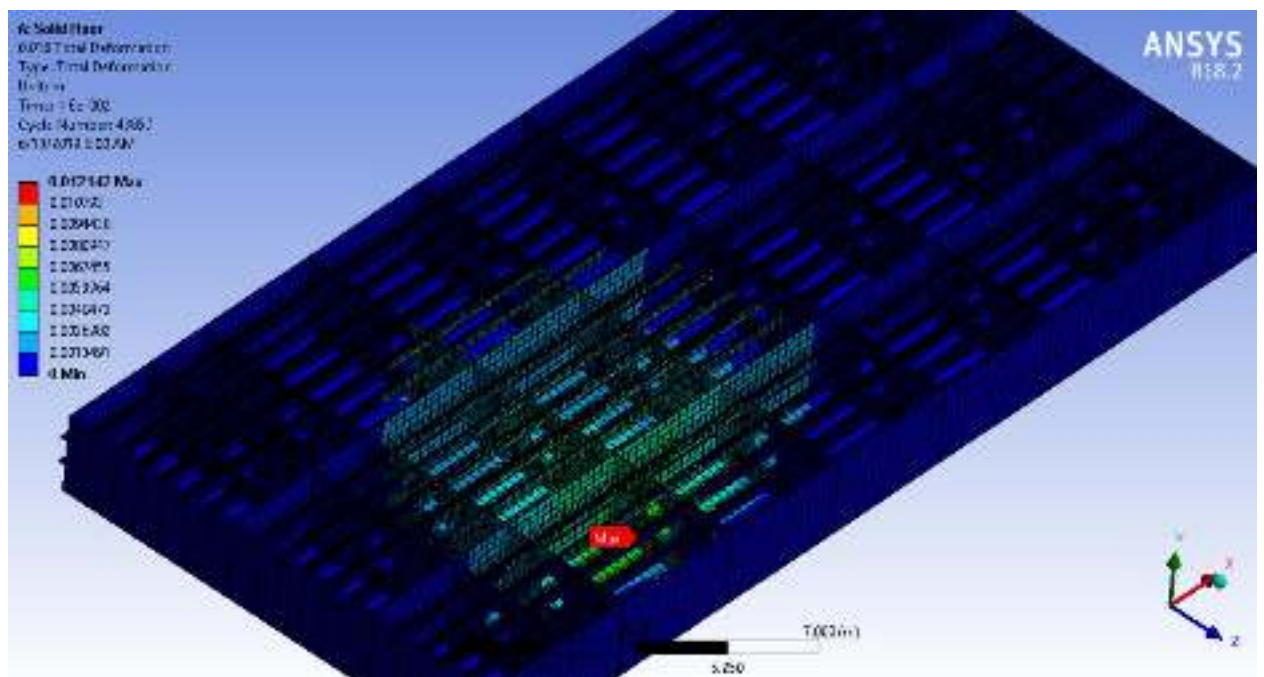
Detik 0,012



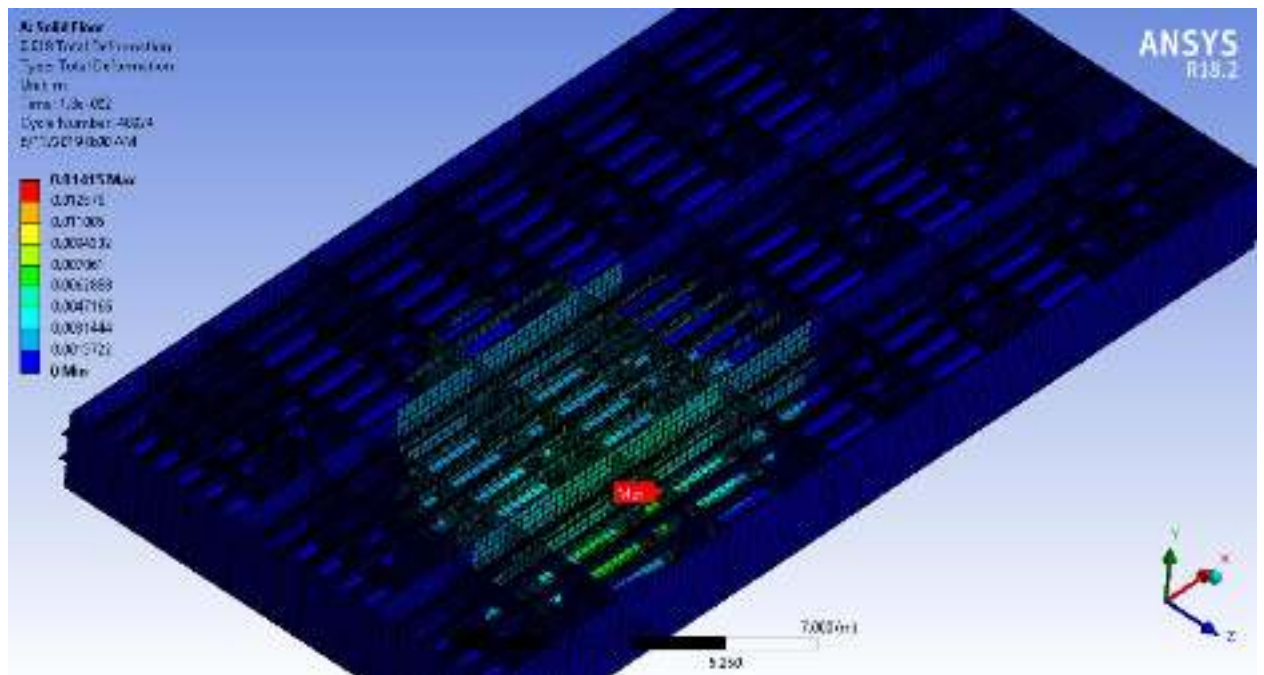
Detik 0,014



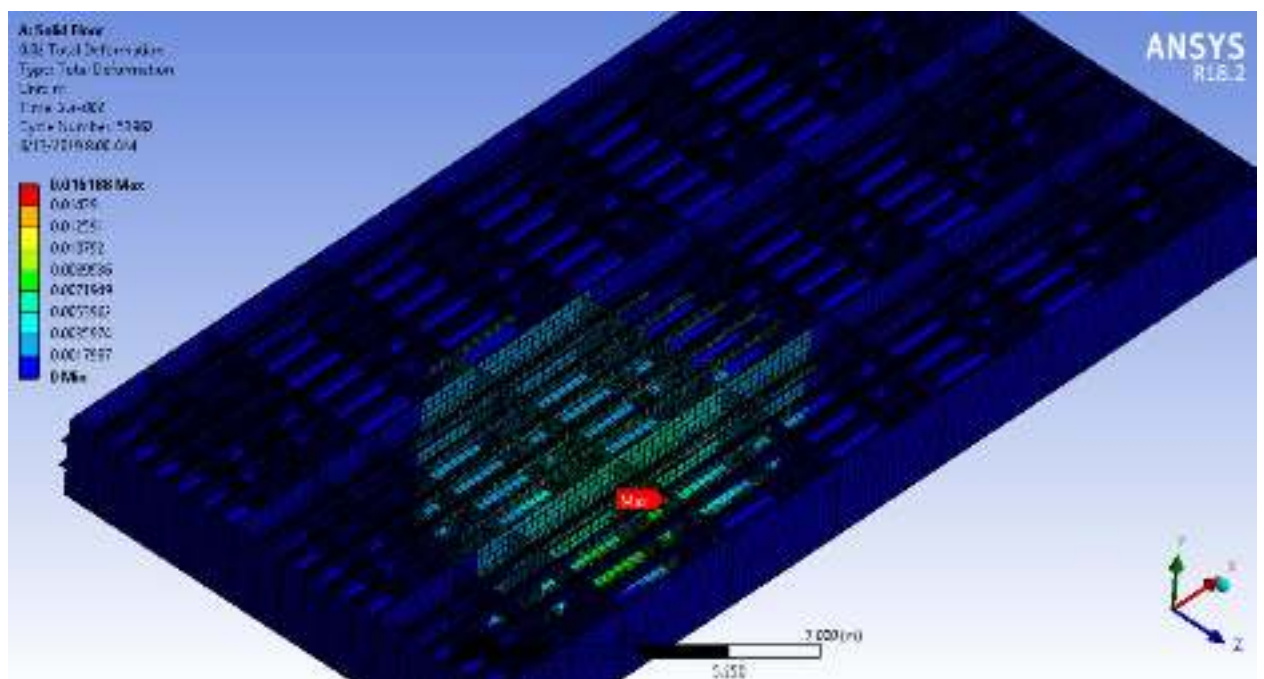
Detik 0,016



Detik 0,018

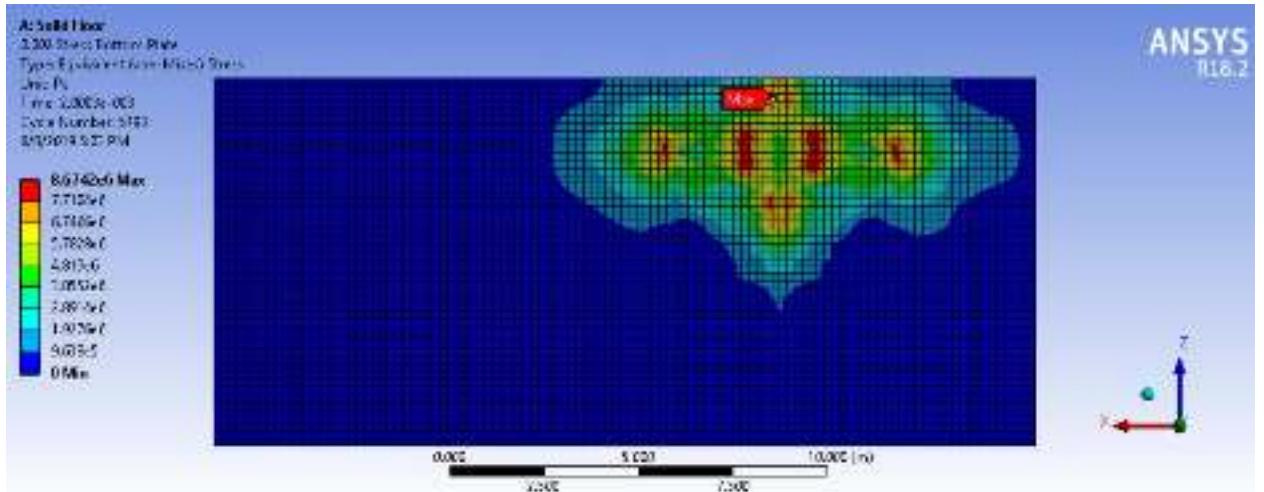


Detik 0,02

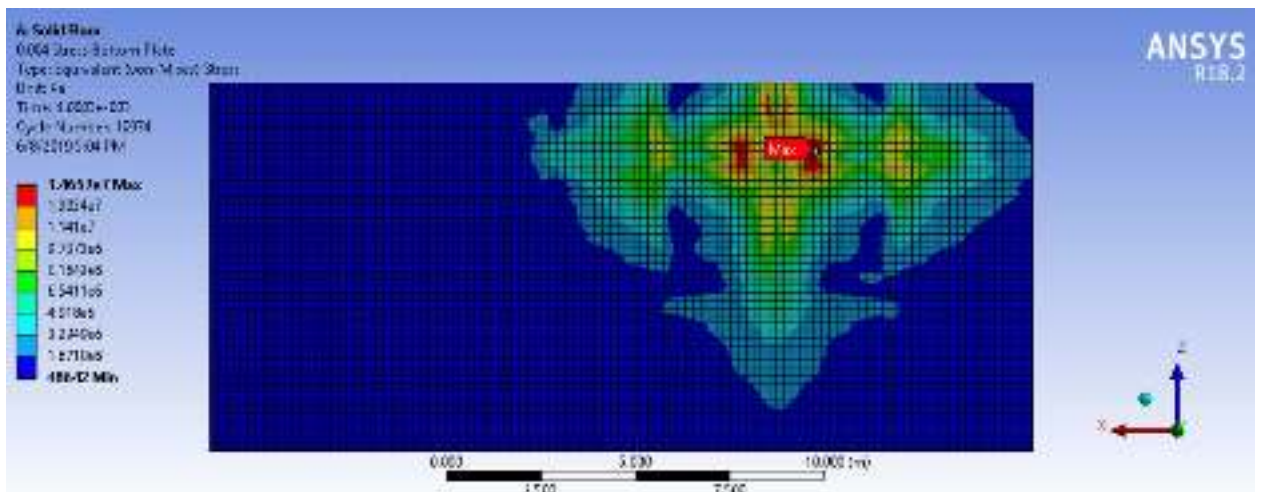


Tegangan pada *Bottom Plate (Solid Floor)*

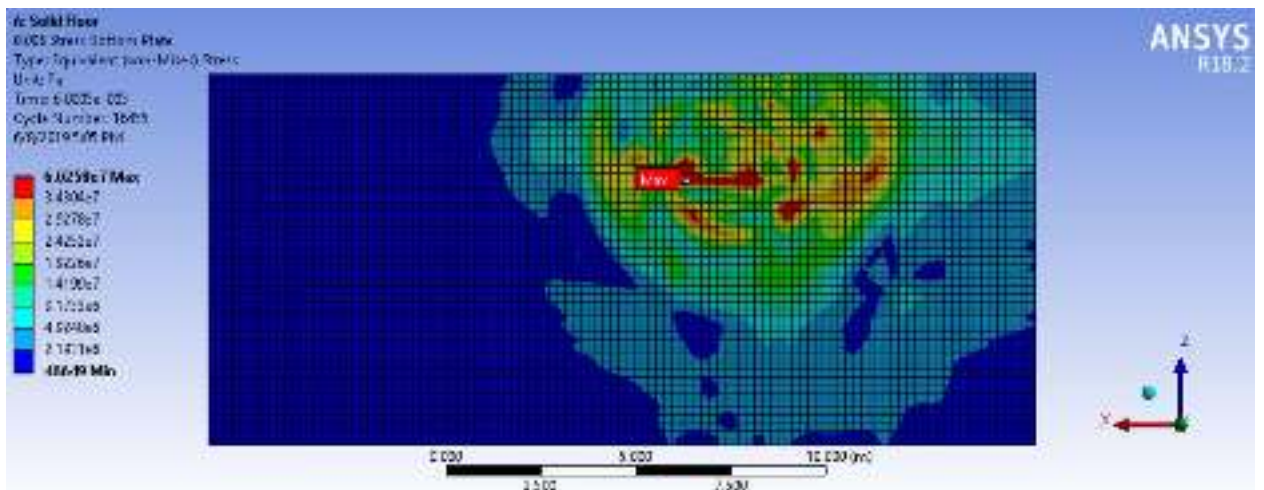
Detik 0,002



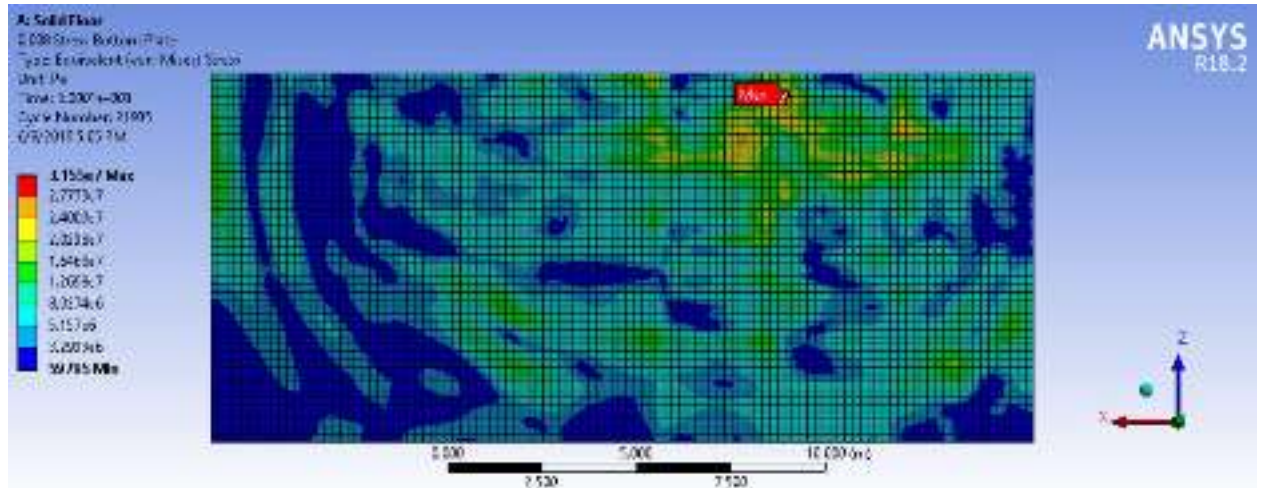
Detik 0,004



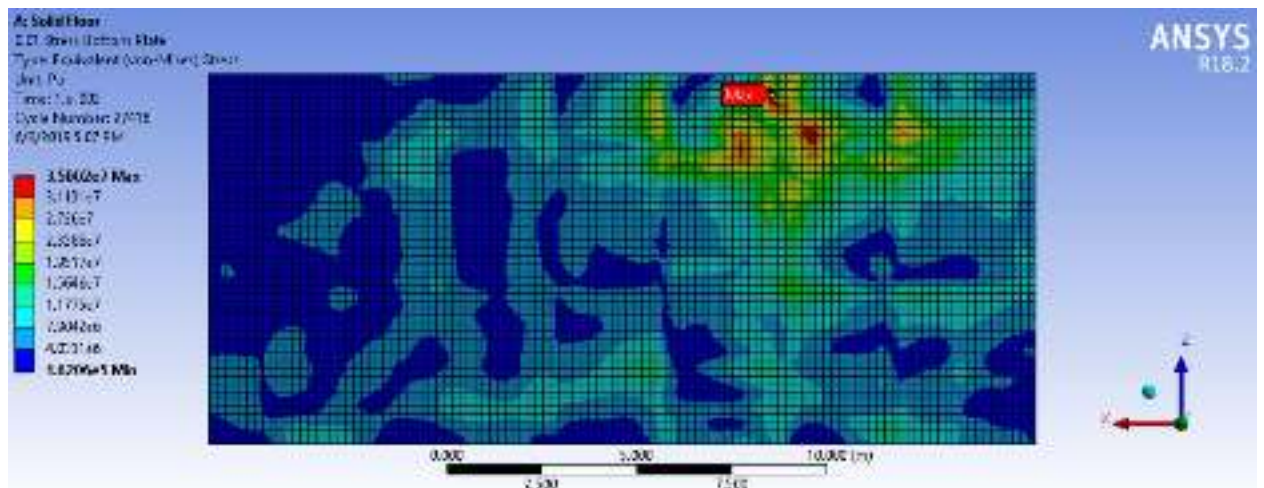
Detik 0,006



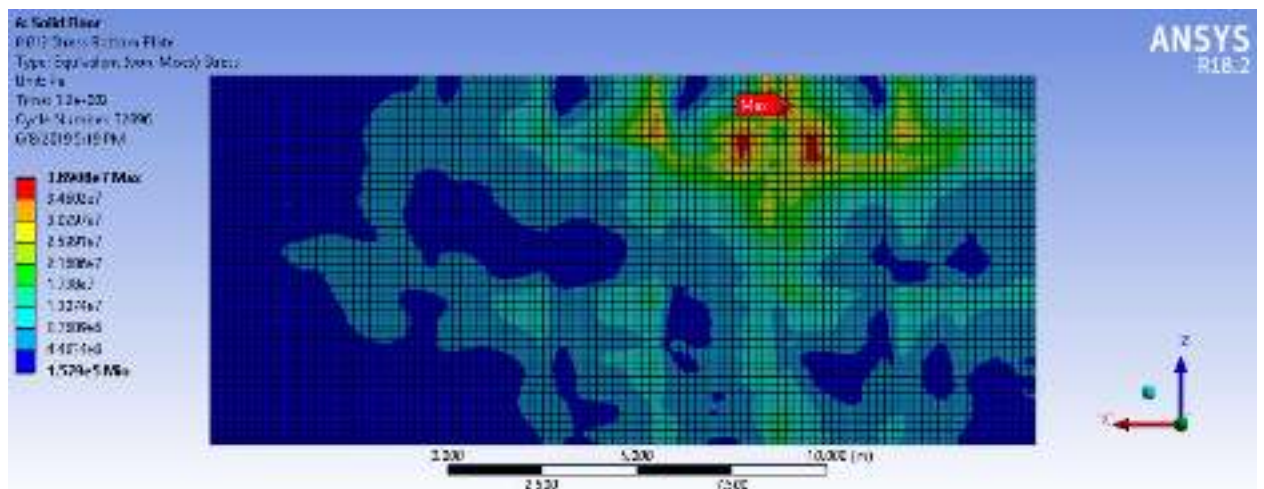
Detik 0,008



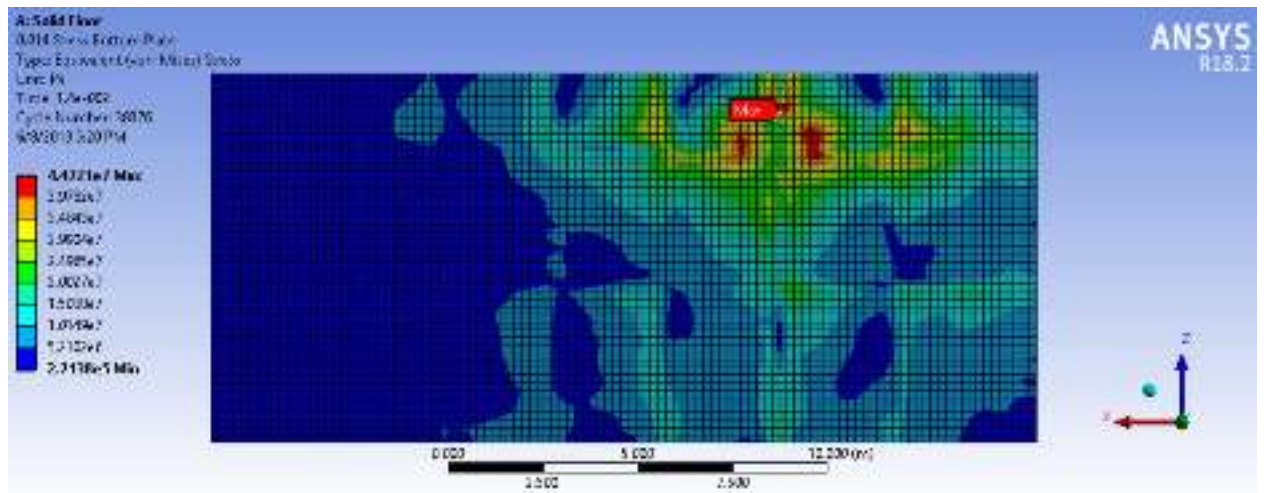
Detik 0,01



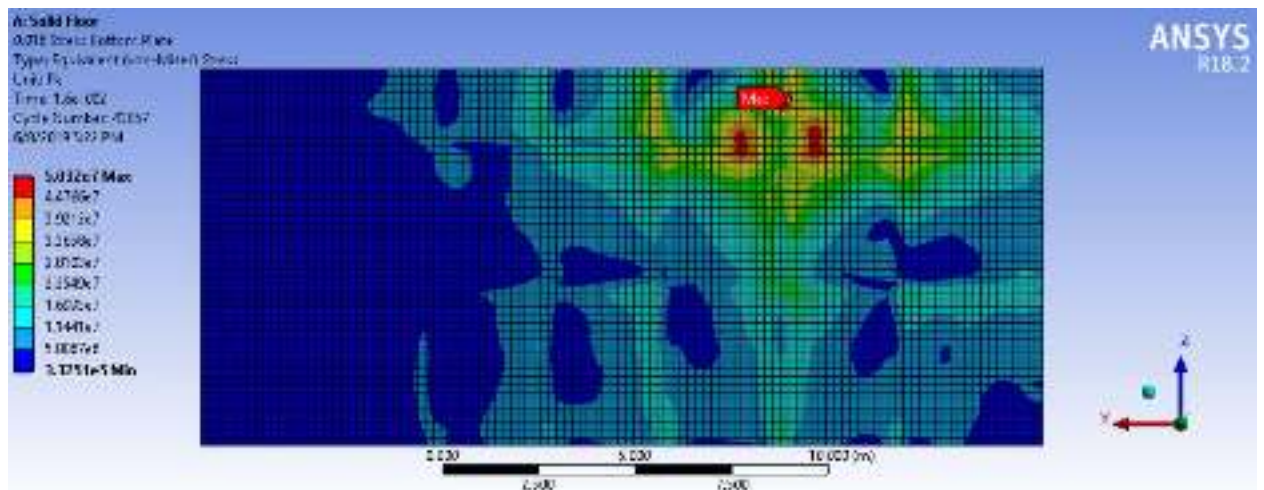
Detik 0,012



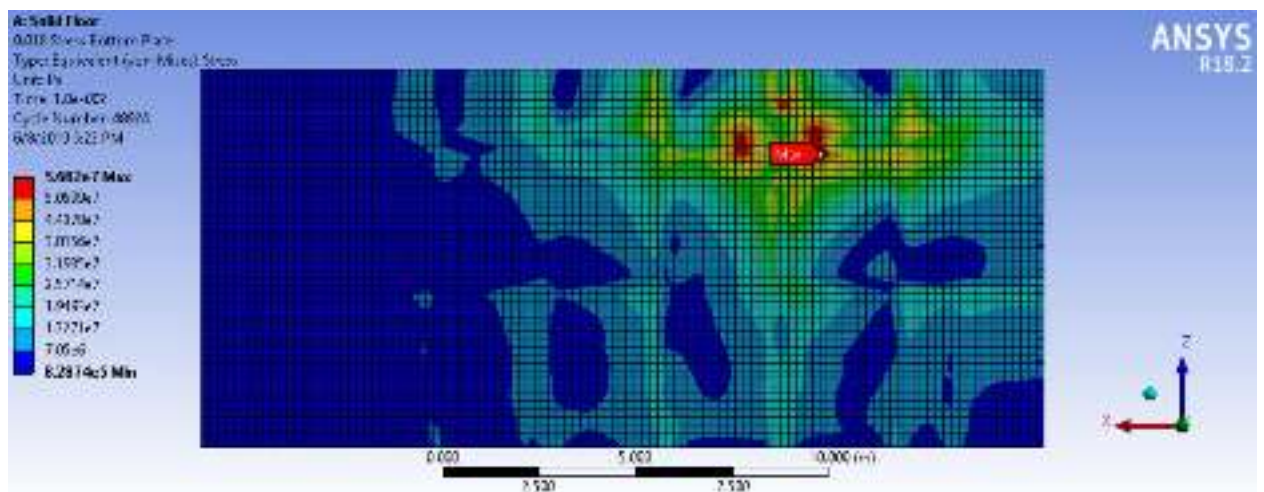
Detik 0,014



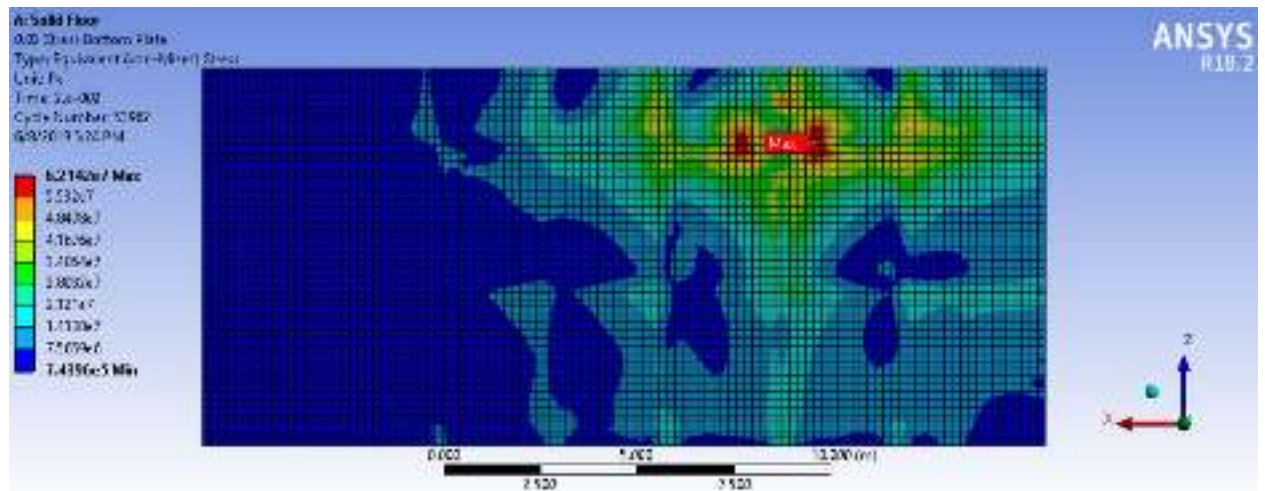
Detik 0,016



Detik 0,018

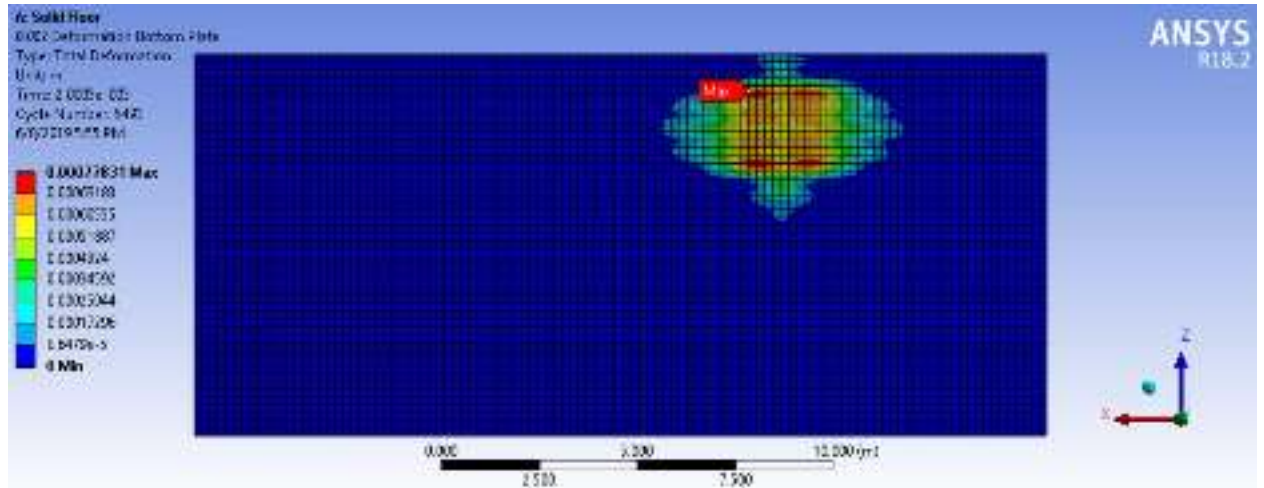


Detik 0,02

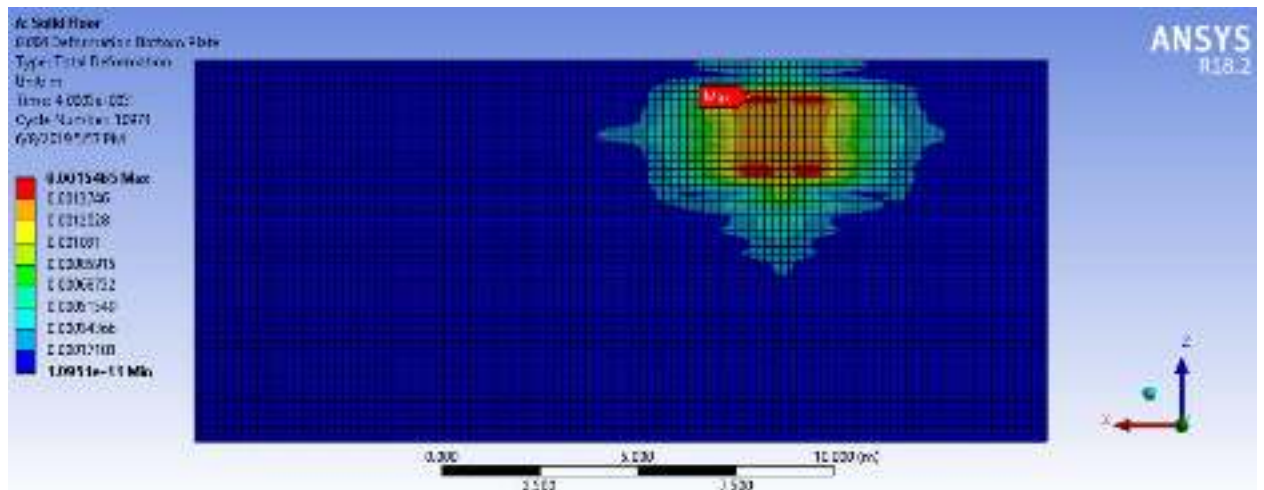


Deformasi pada *Bottom Plate (Solid Floor)*

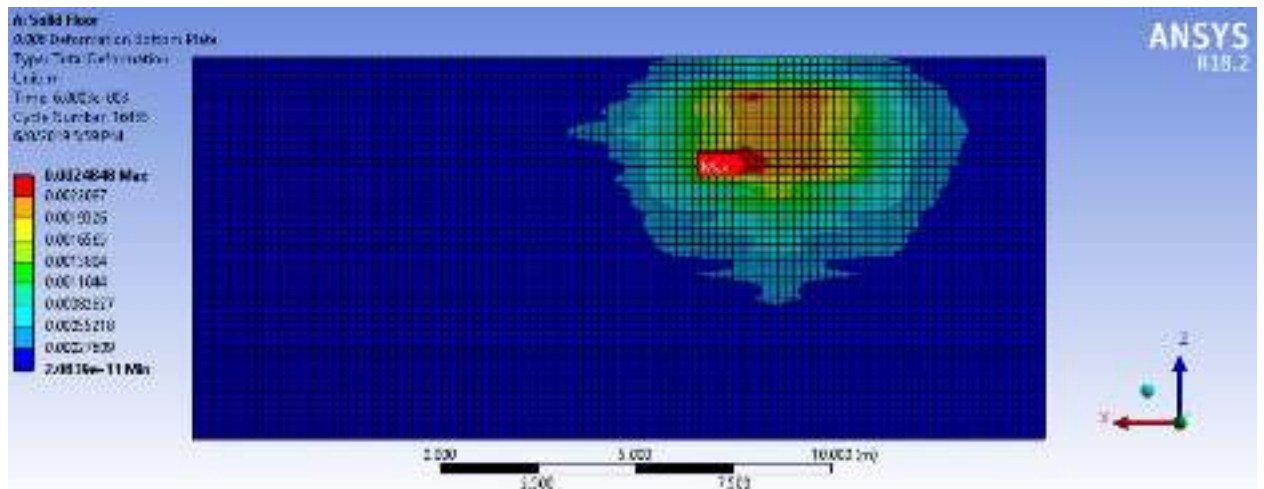
Detik 0,002



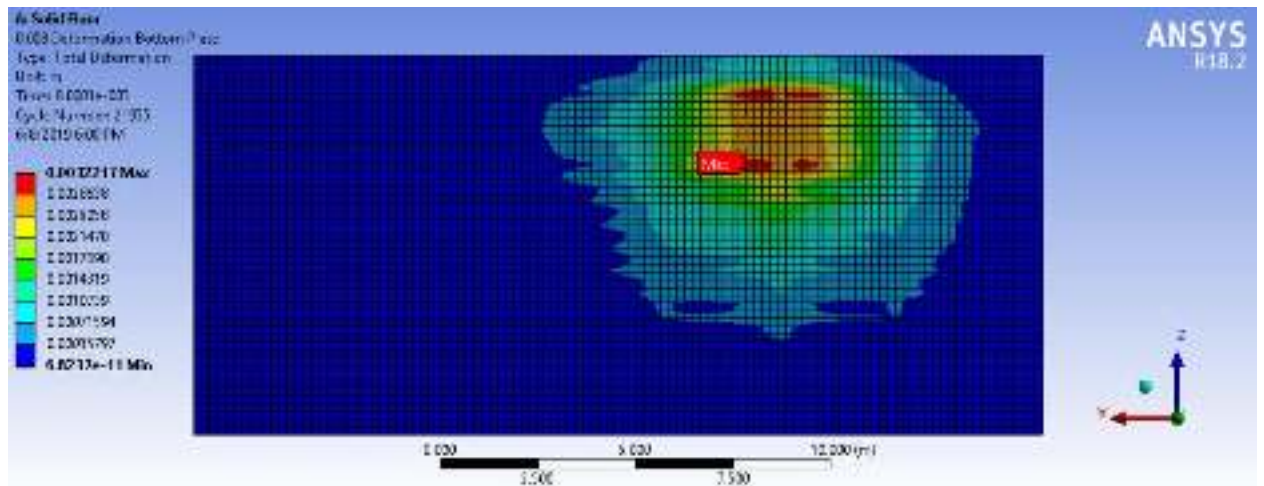
Detik 0,004



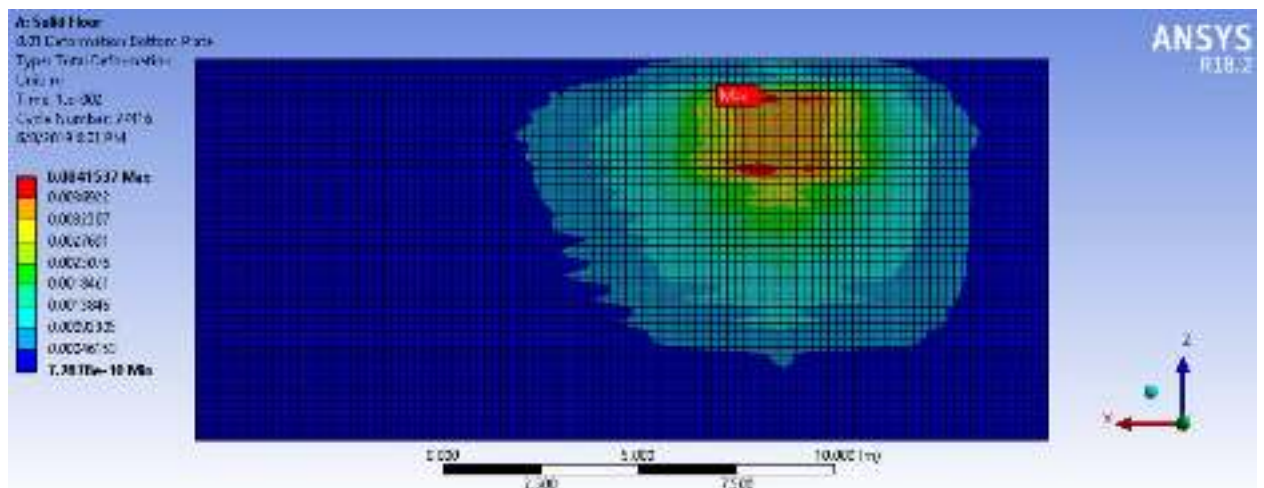
Detik 0,006



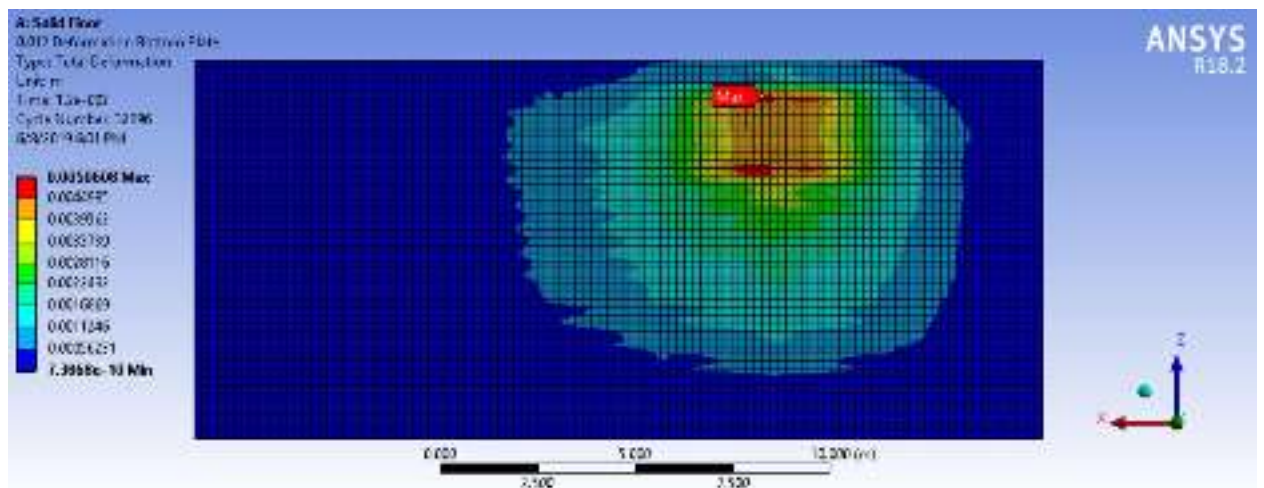
Detik 0,008



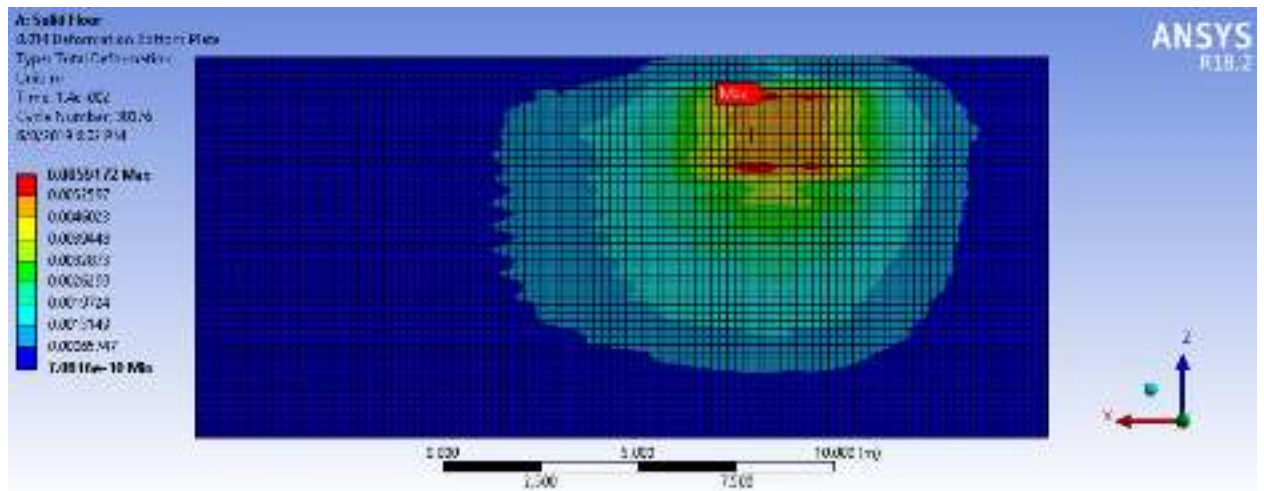
Detik 0,01



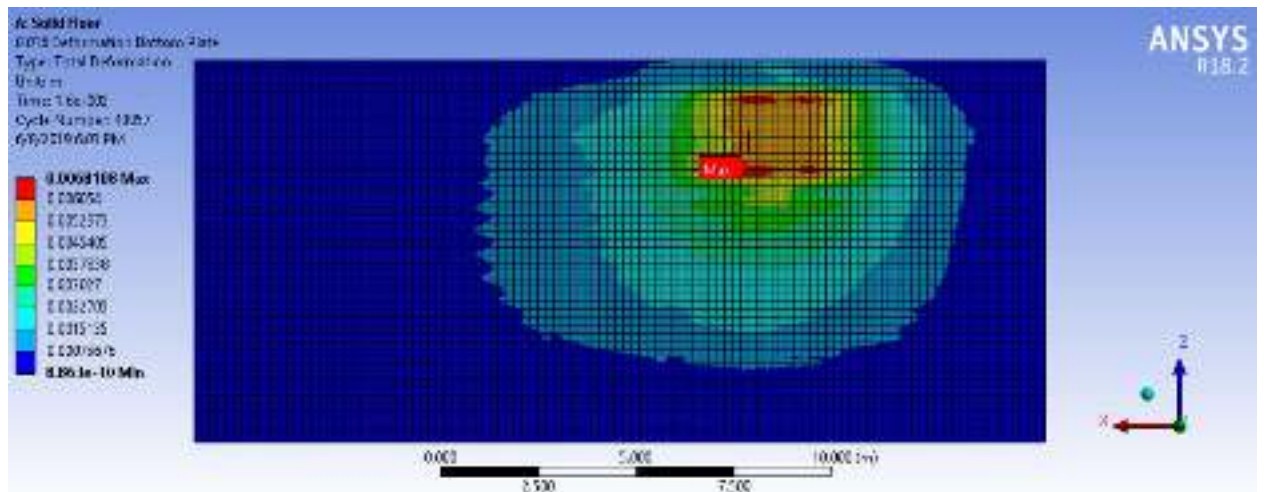
Detik 0,012



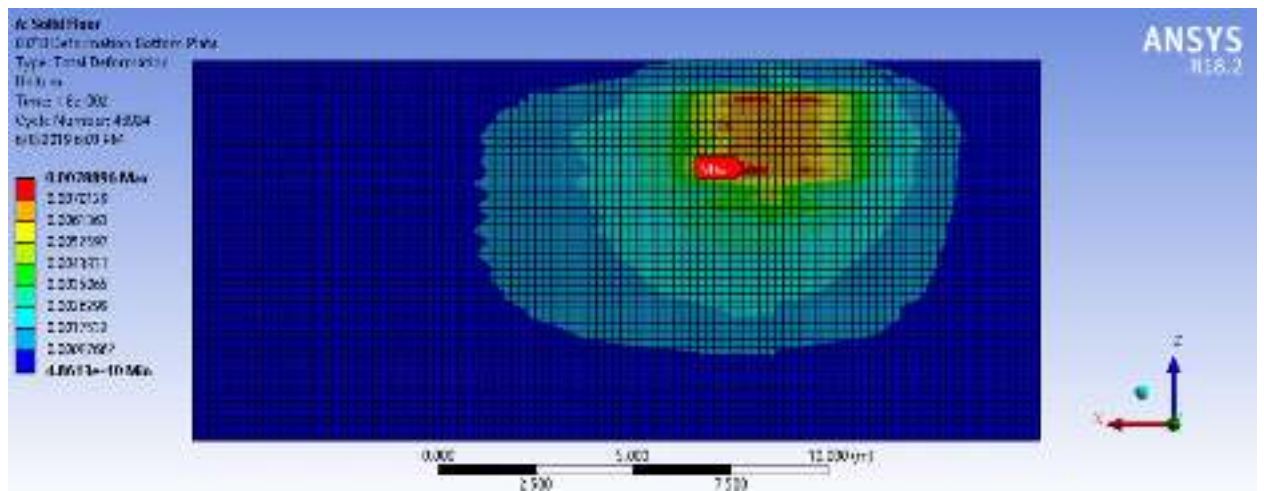
Detik 0,014



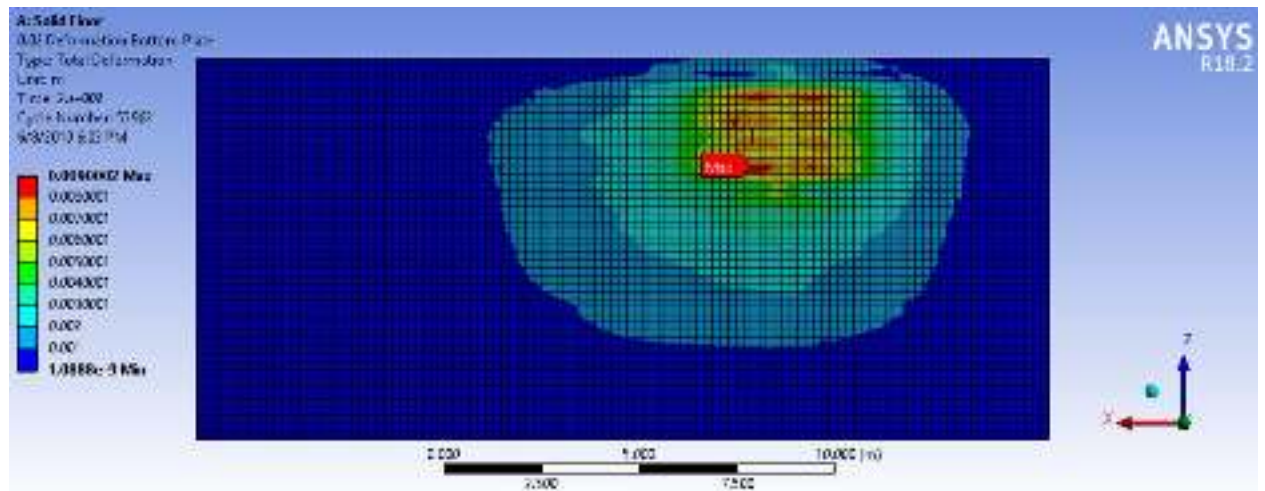
Detik 0,016



Detik 0,018

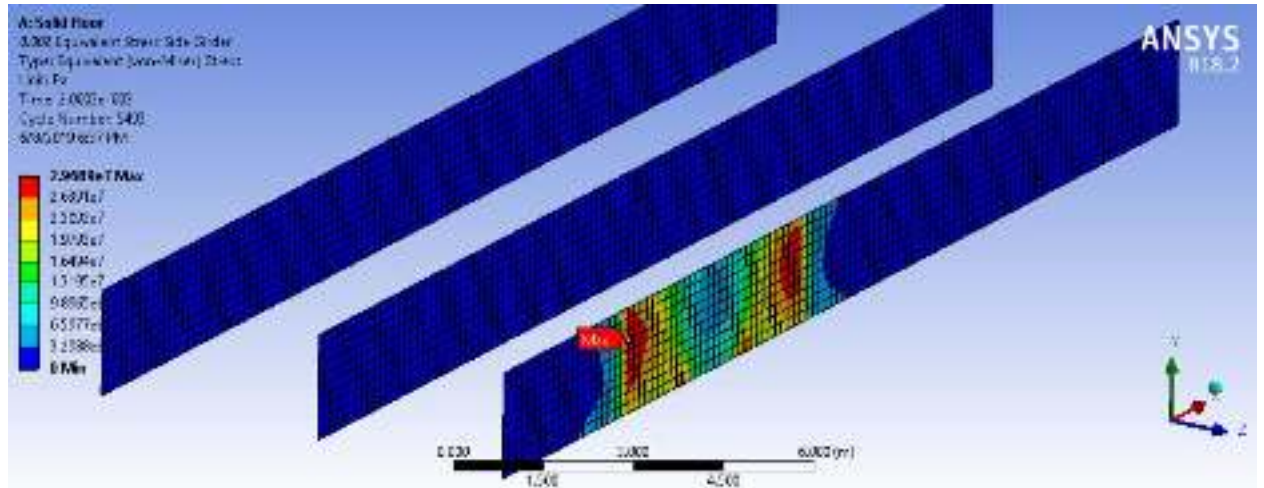


Detik 0,02

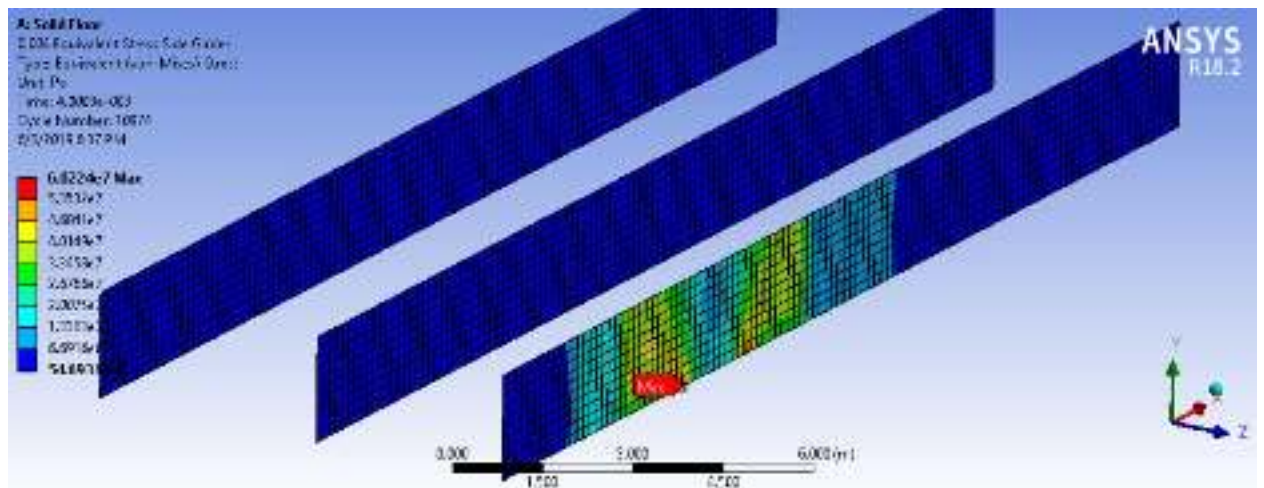


Tegangan pada *Side Girder (Solid Floor)*

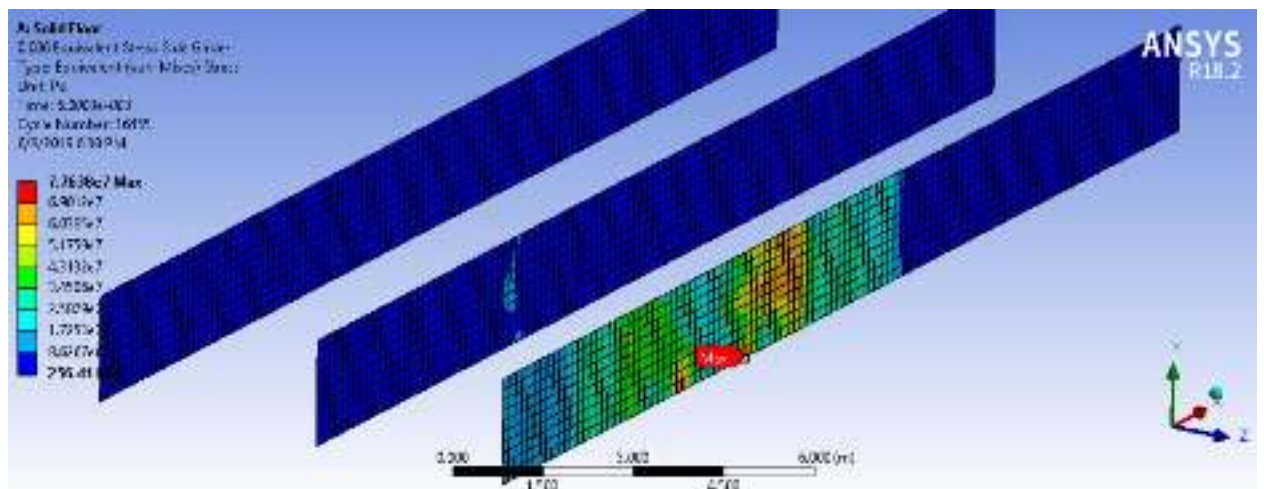
Detik 0,002



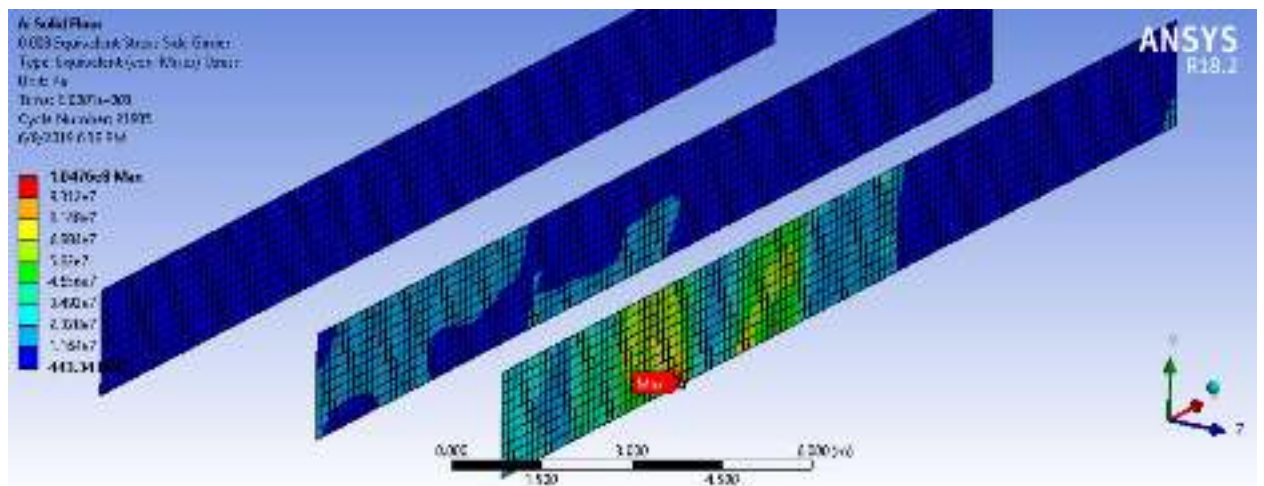
Detik 0,004



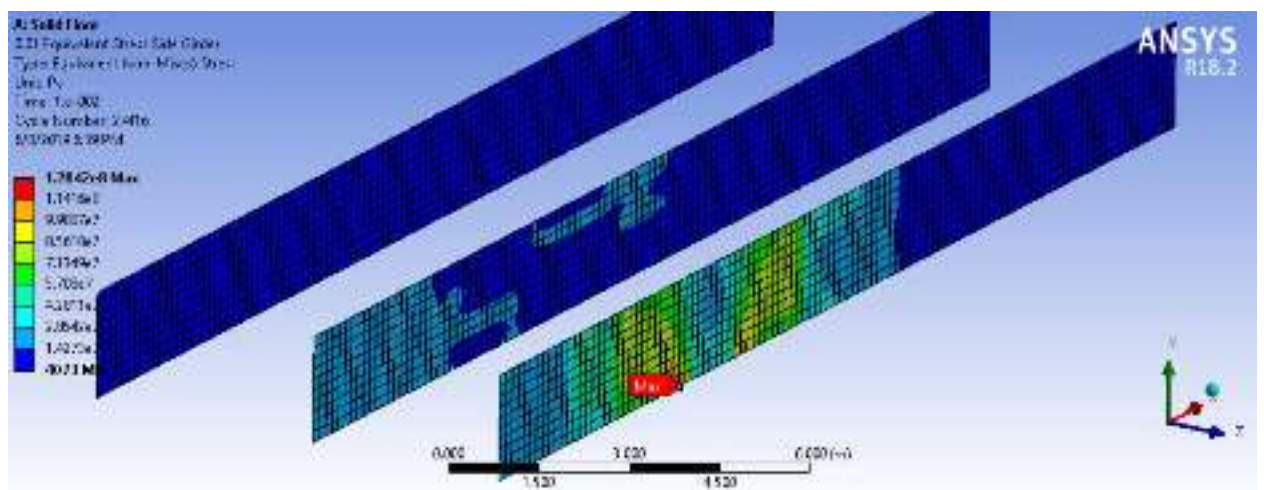
Detik 0,006



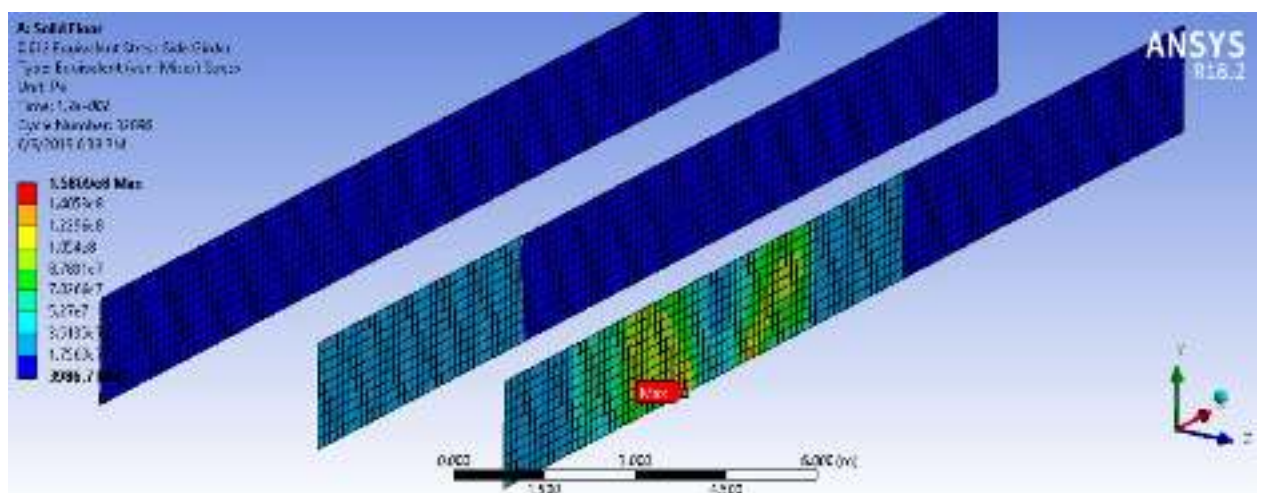
Detik 0,008



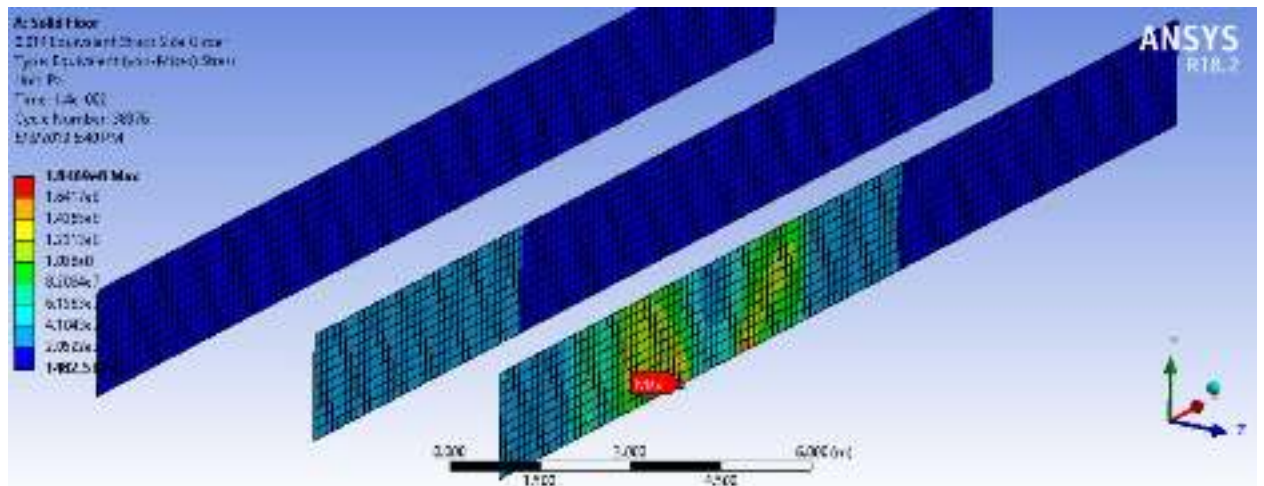
Detik 0,01



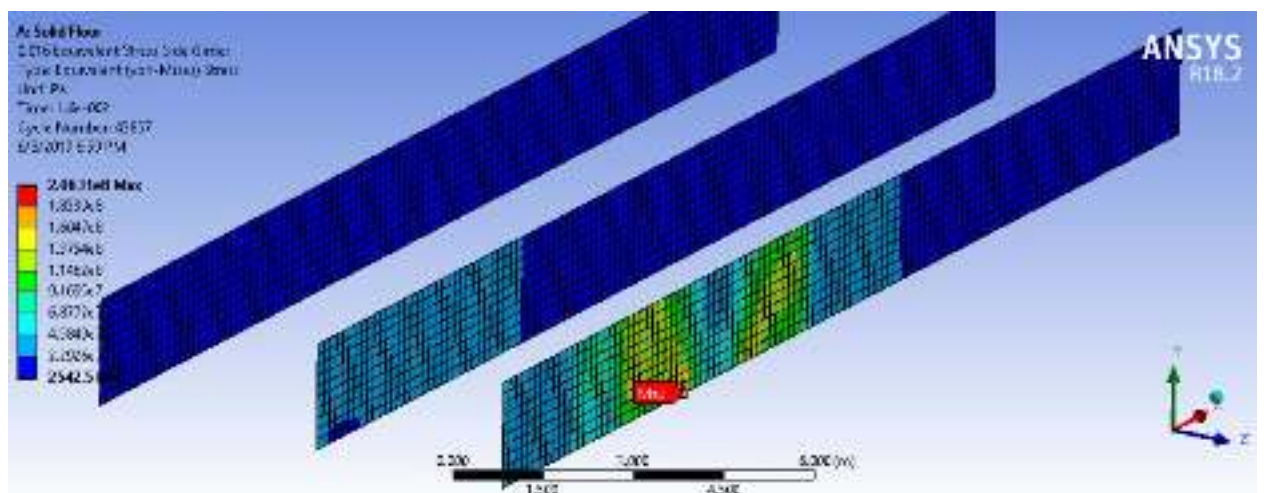
Detik 0,012



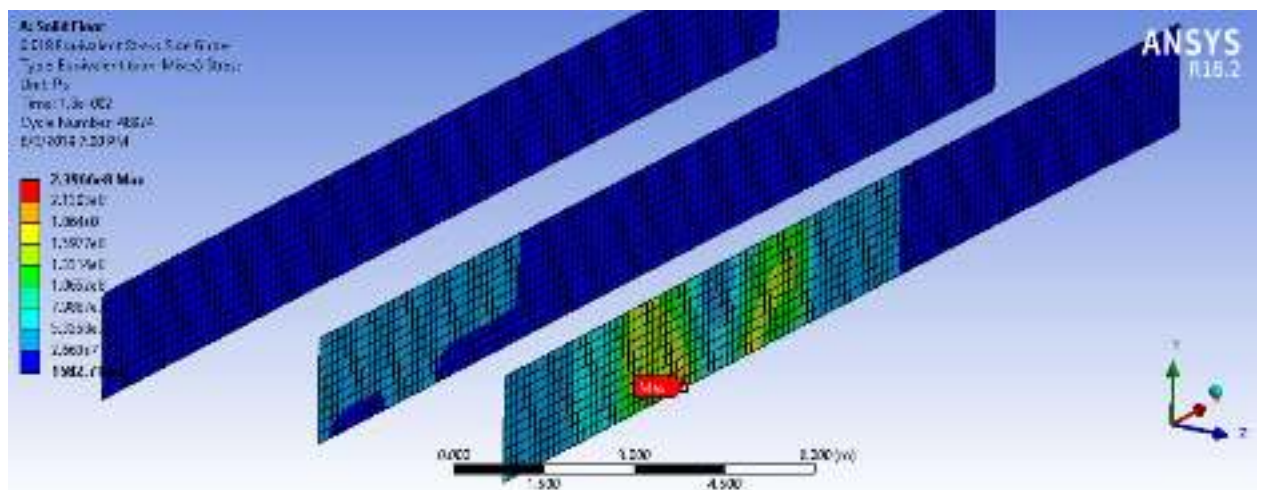
Detik 0,014



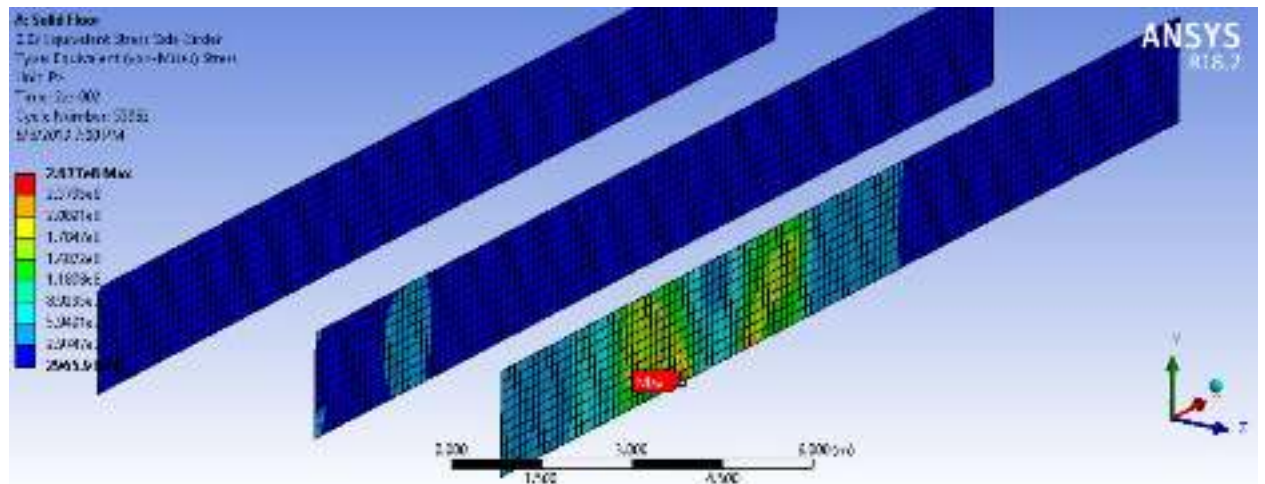
Detik 0,016



Detik 0,018

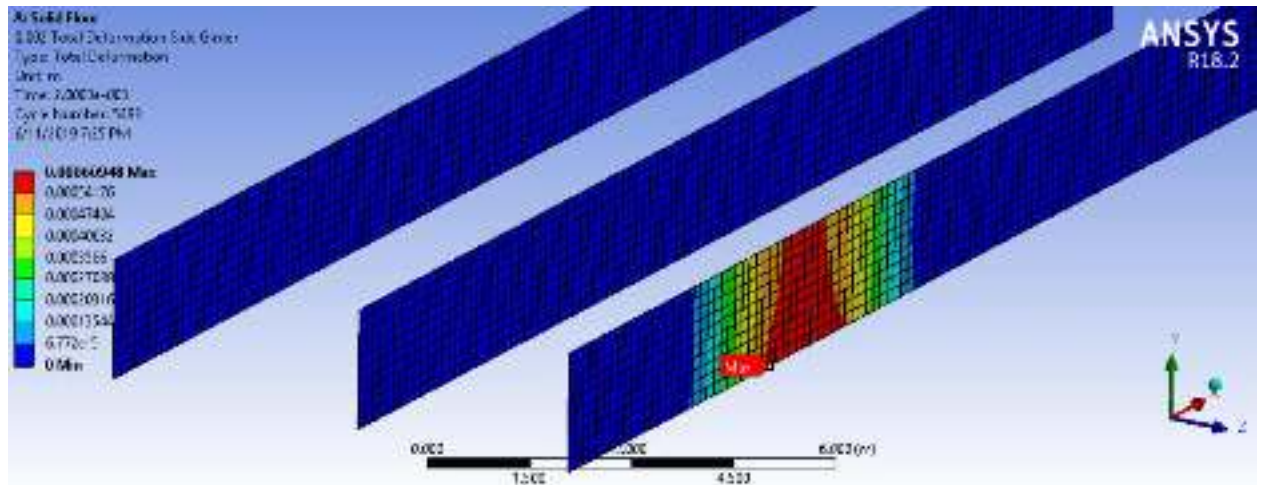


Detik 0,02

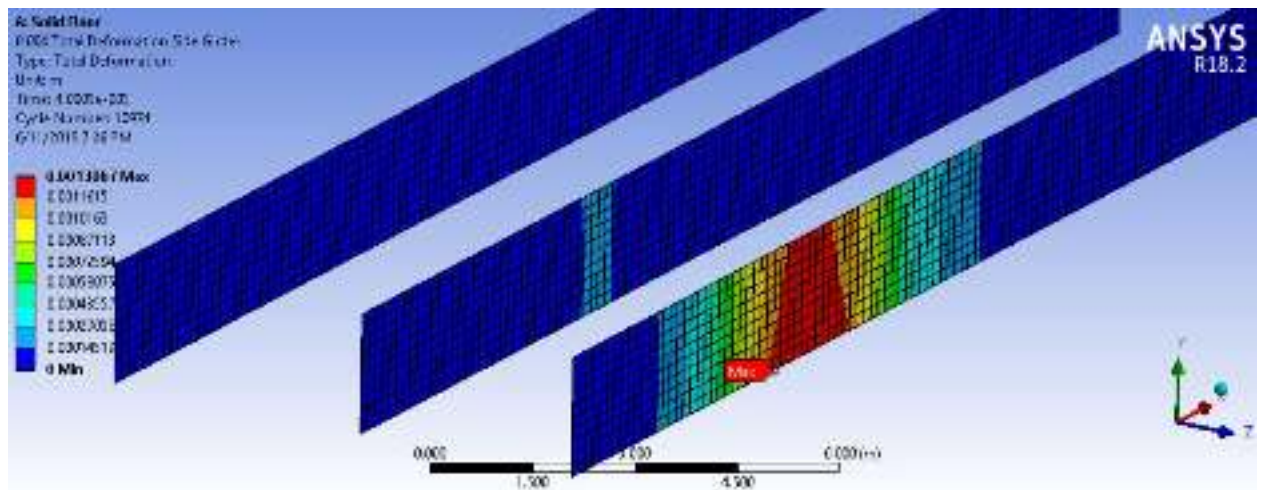


Deformasi pada *Side Girder (Solid Floor)*

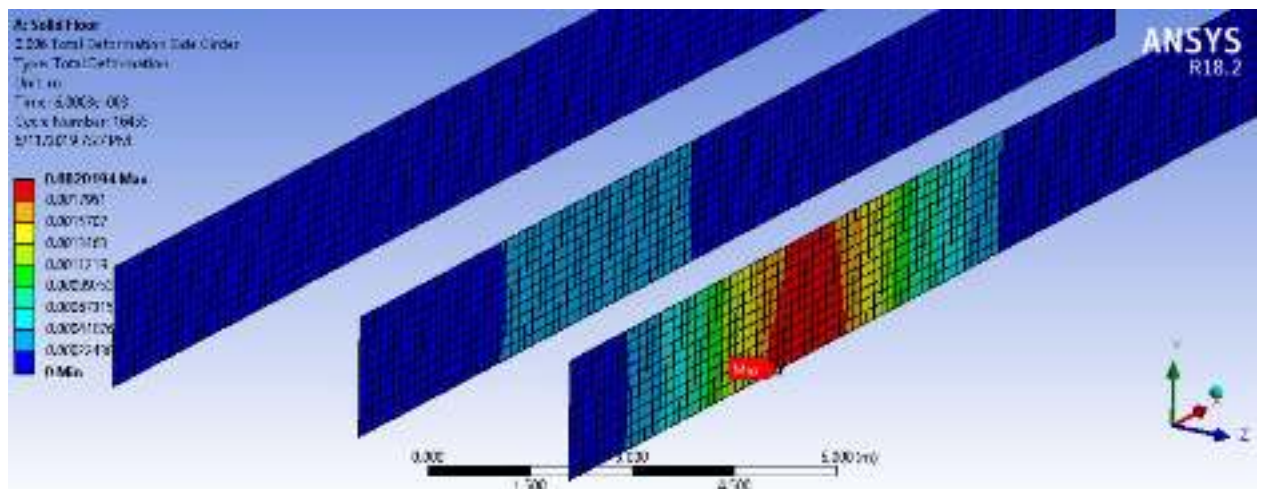
Detik 0,002



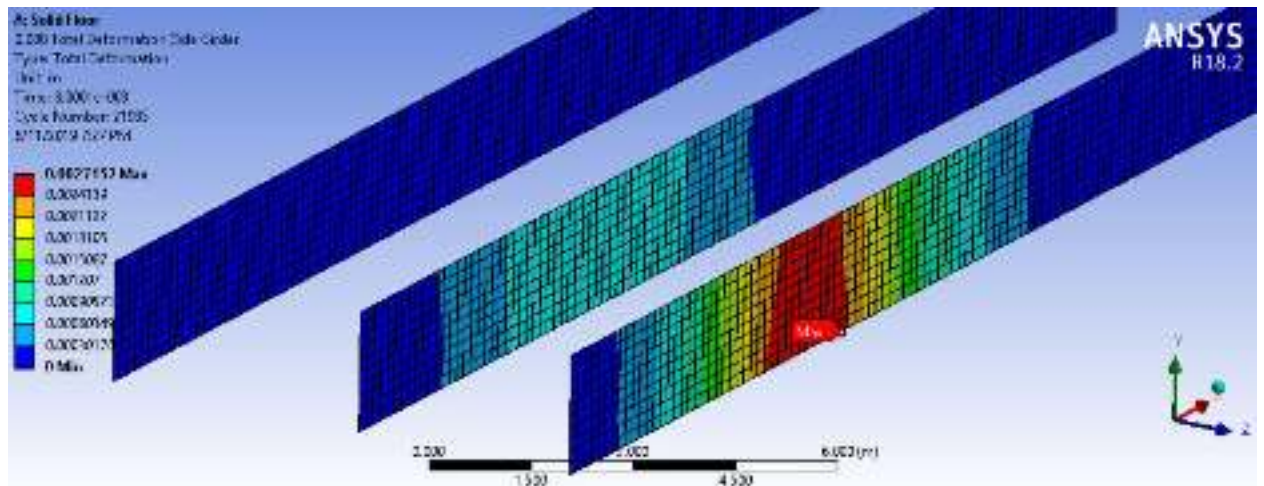
Detik 0,004



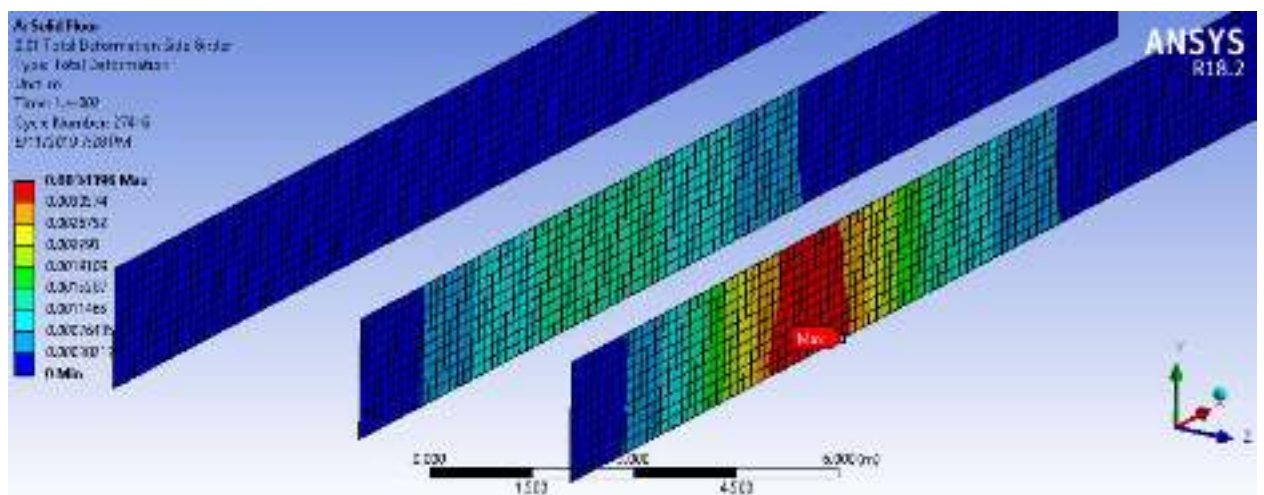
Detik 0,006



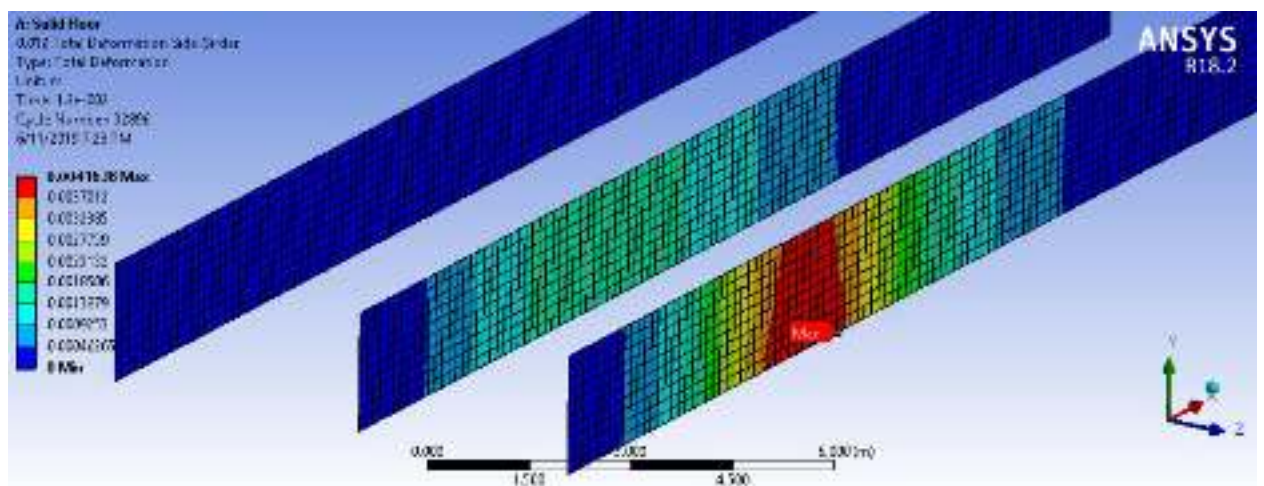
Detik 0,008



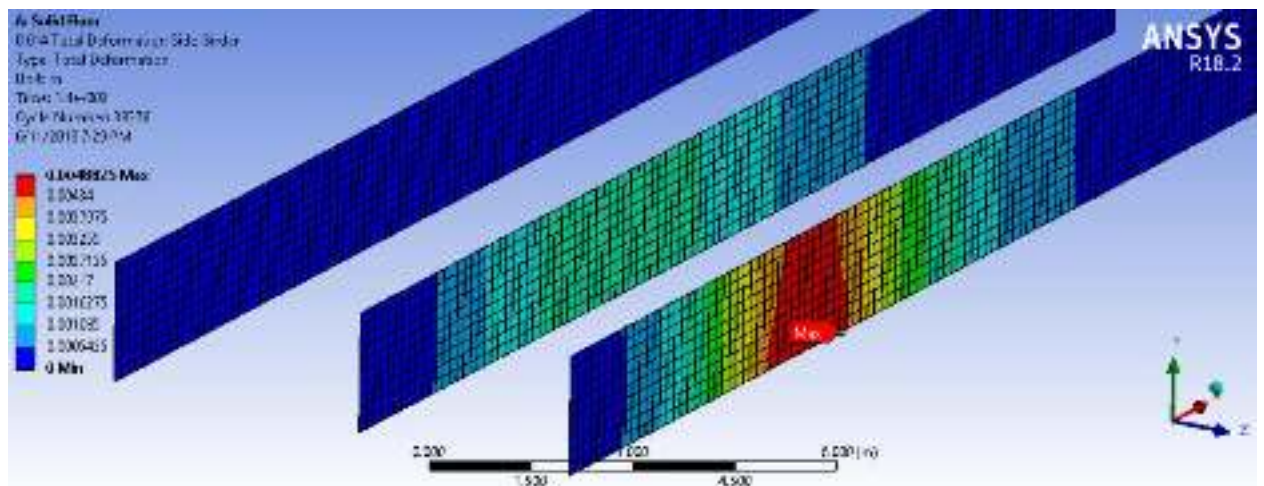
Detik 0,01



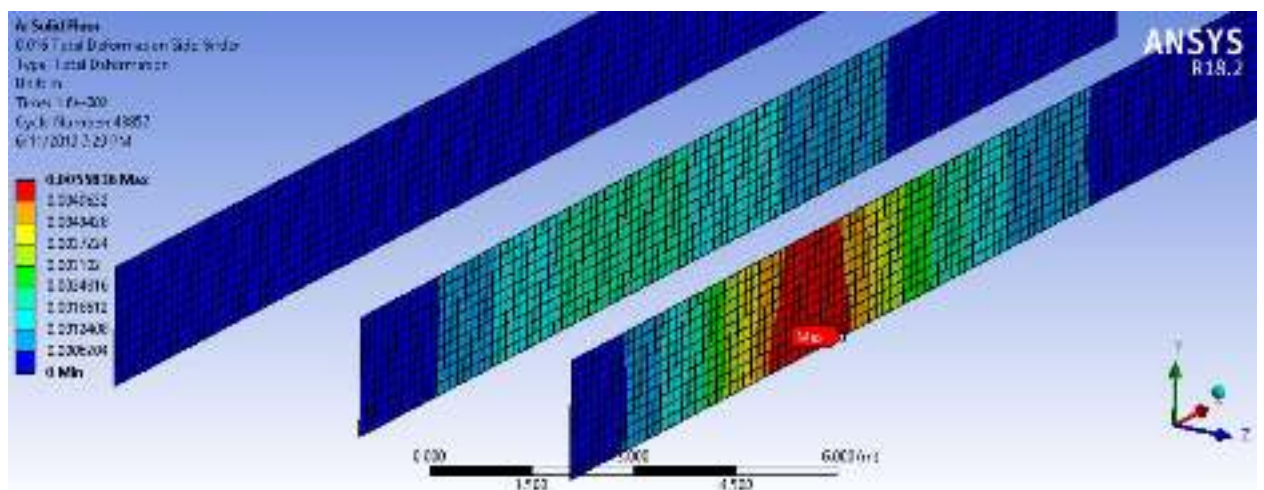
Detik 0,012



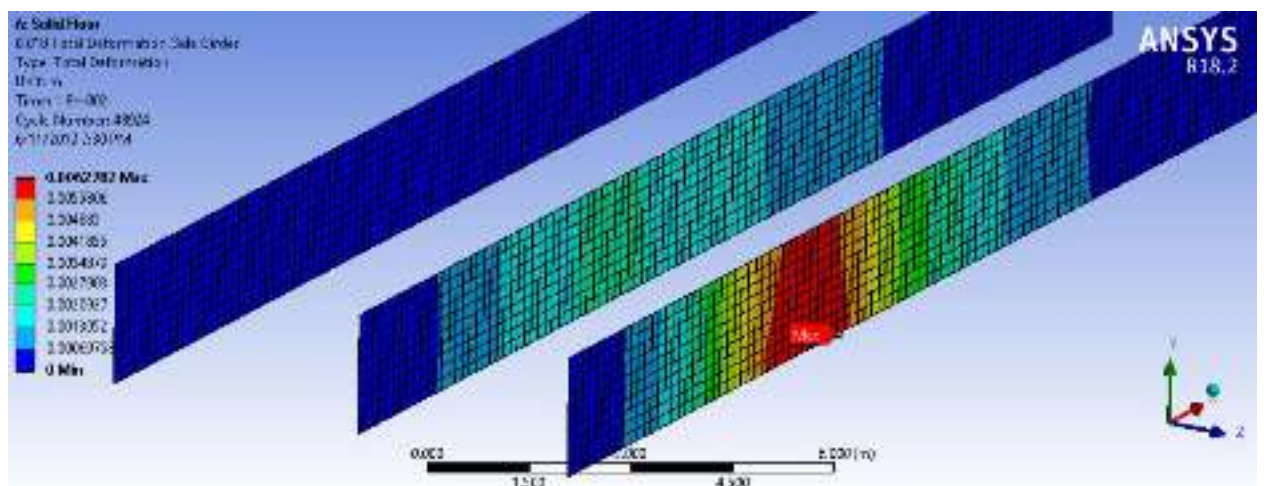
Detik 0,014



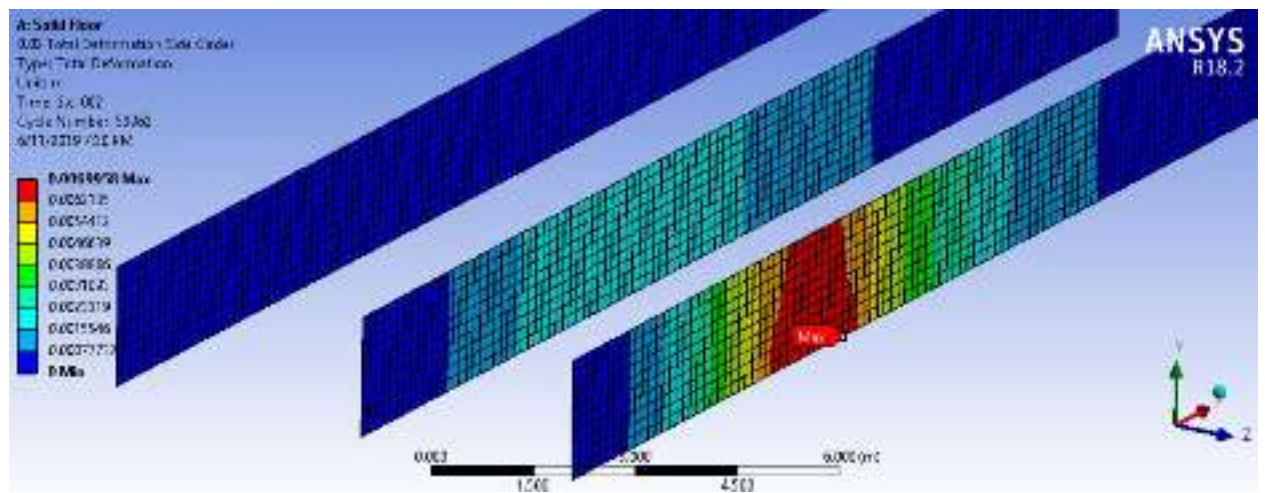
Detik 0,016



Detik 0,018

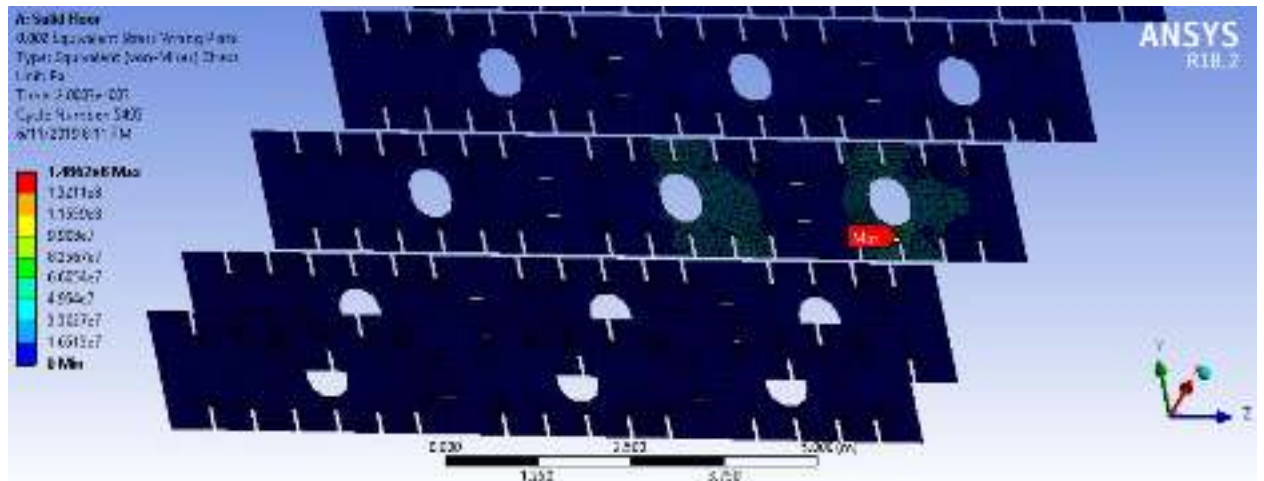


Detik 0,02

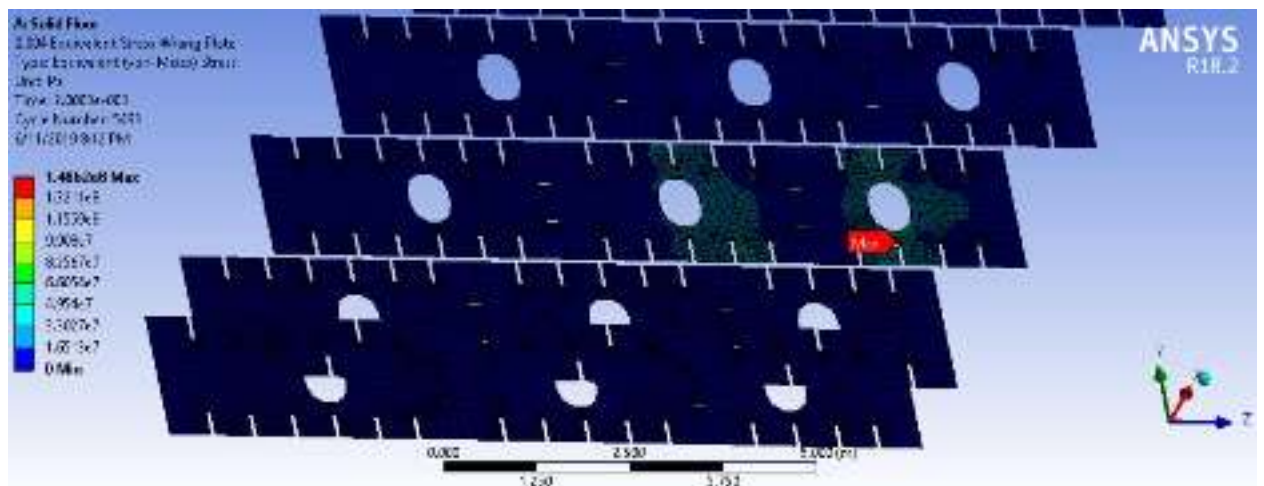


Tegangan pada *Transverse Construction (Solid Floor)*

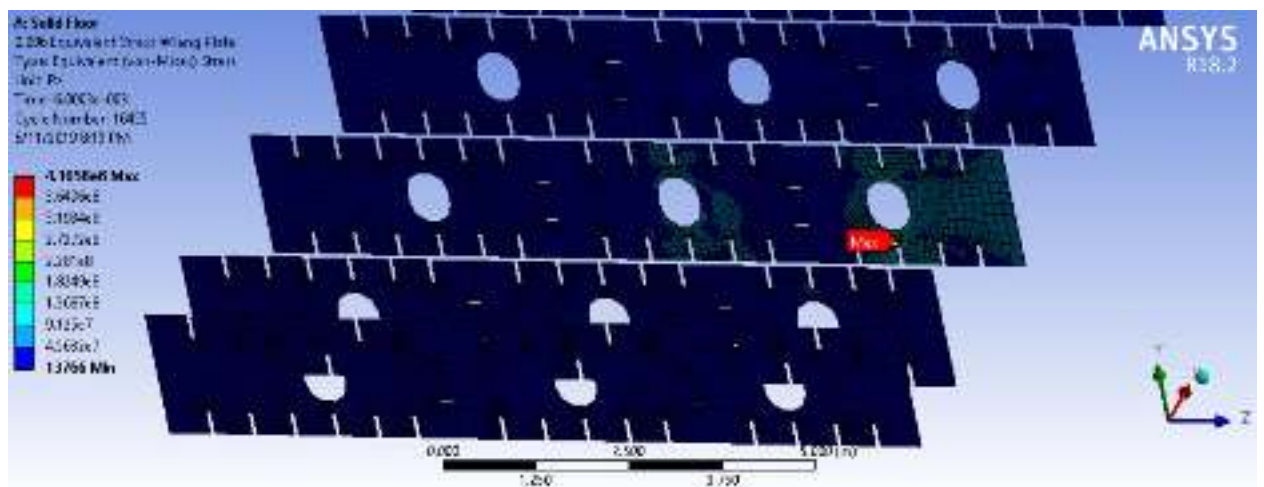
Detik 0,002



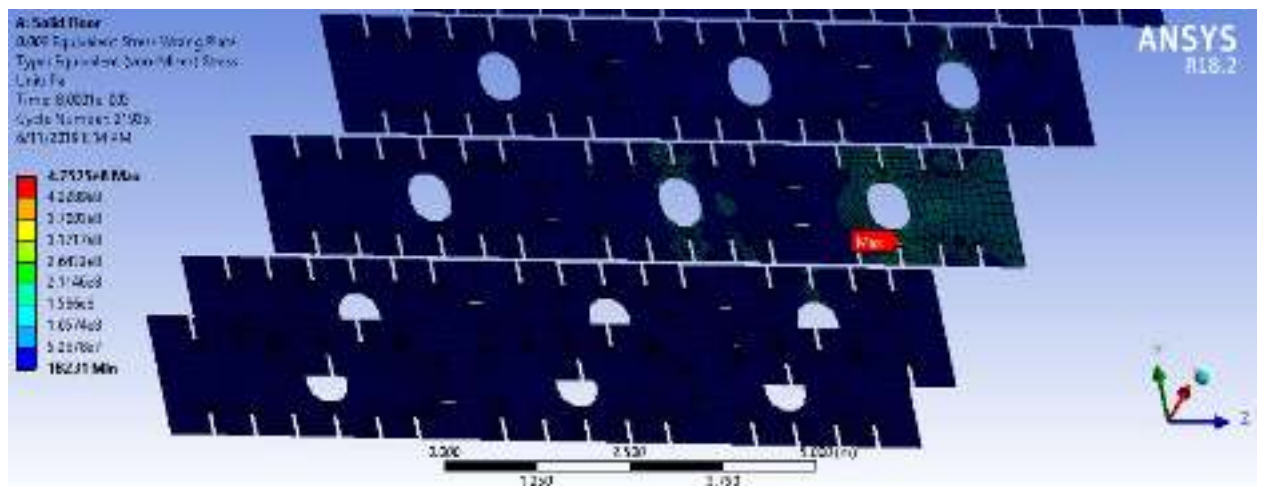
Detik 0,004



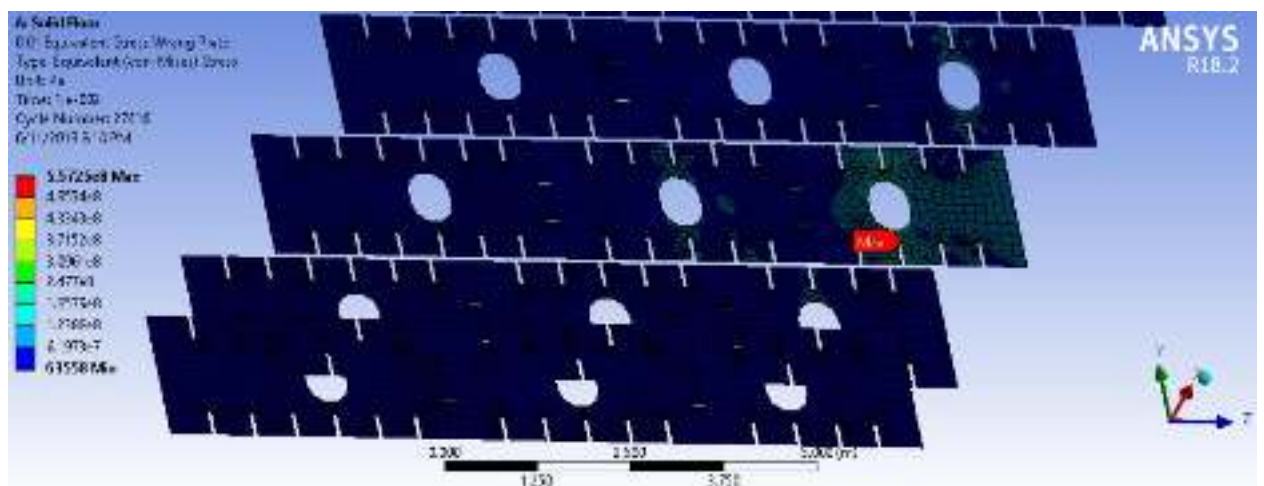
Detik 0,006



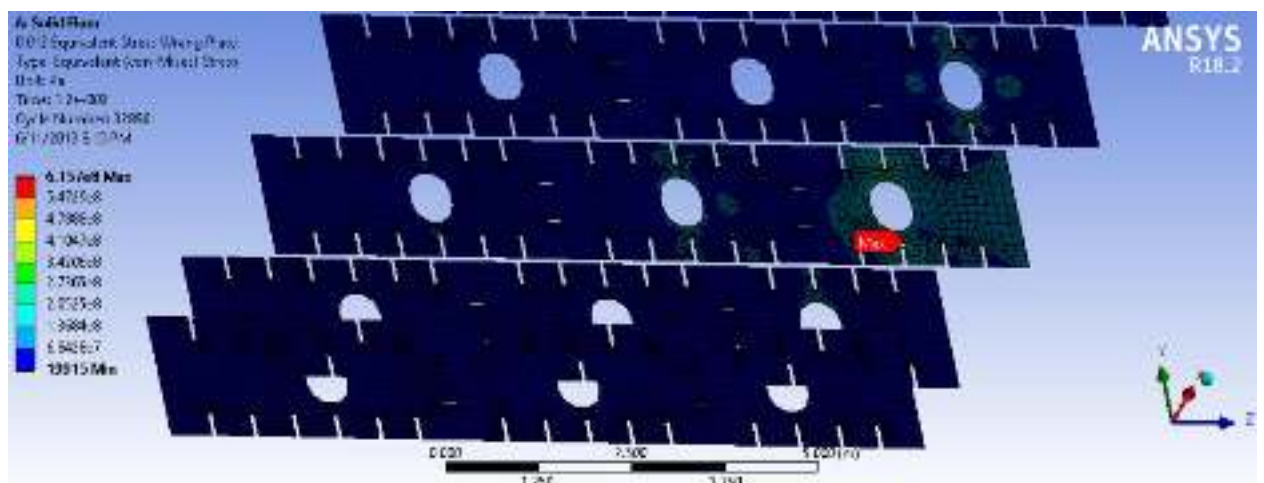
Detik 0,008



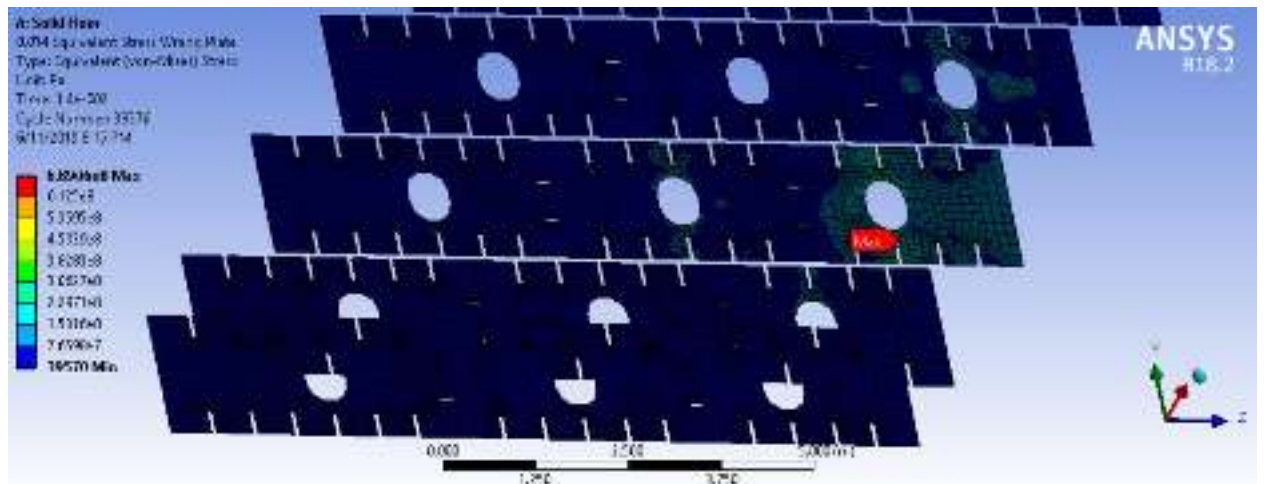
Detik 0,01



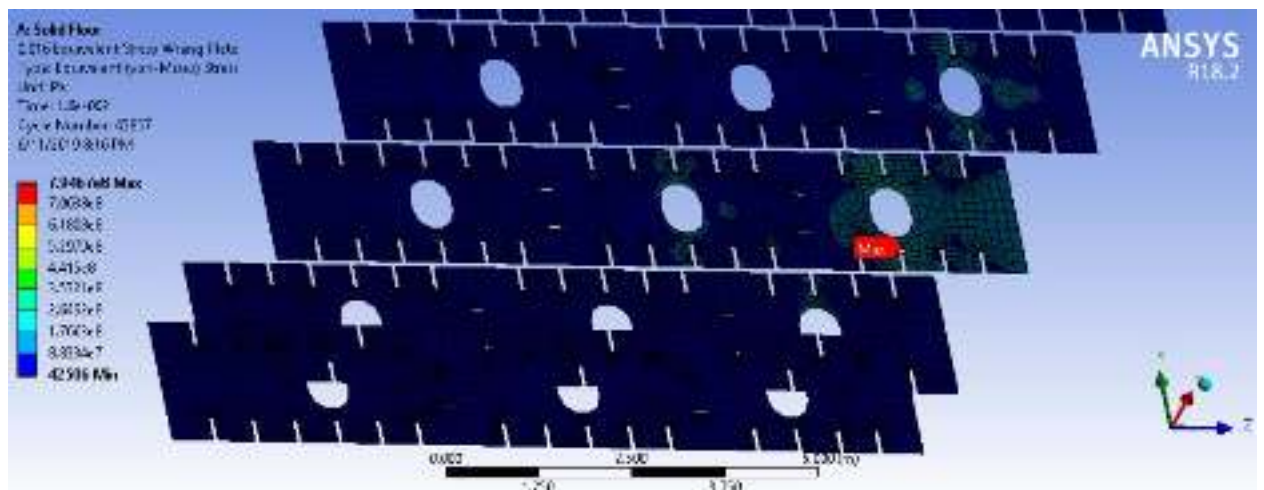
Detik 0,012



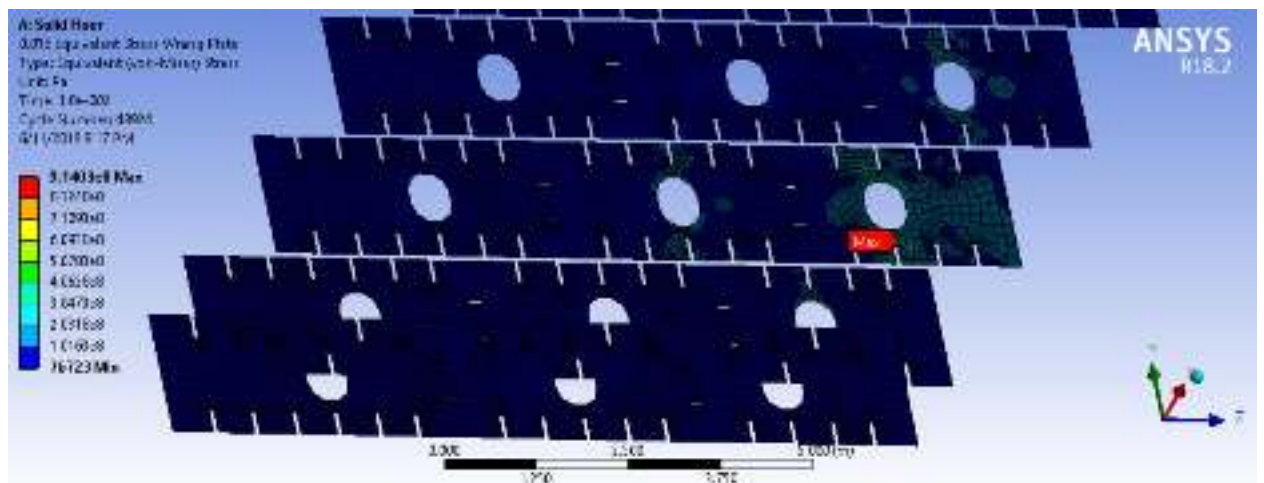
Detik 0,014



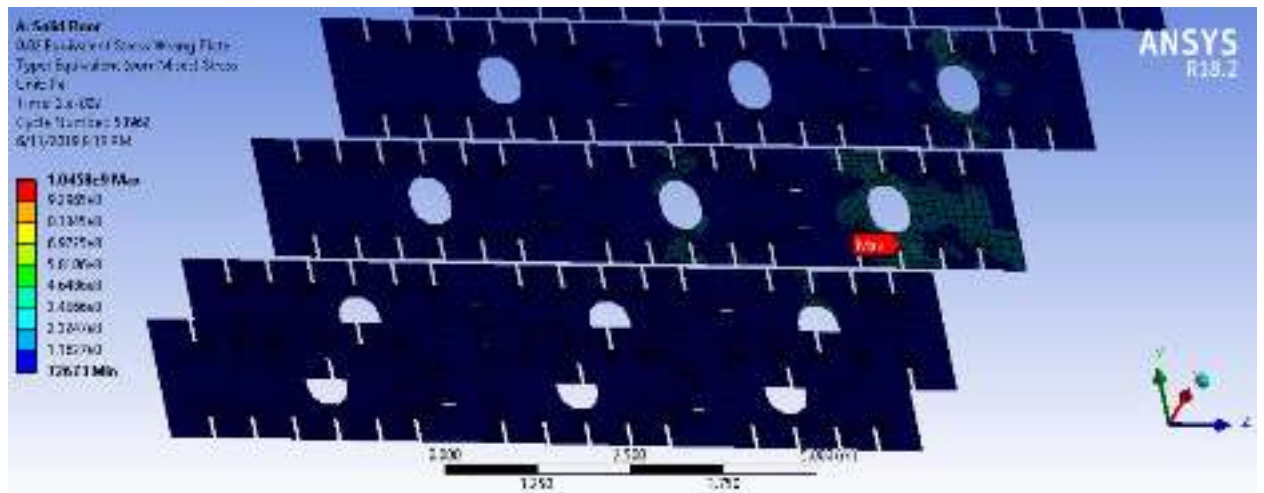
Detik 0,016



Detik 0,018

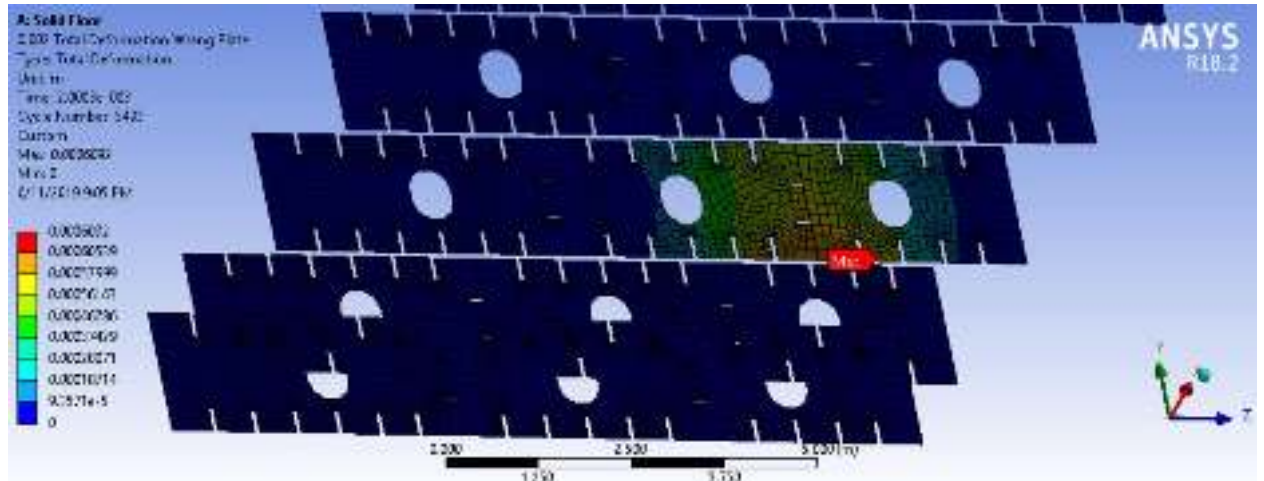


Detik 0,02

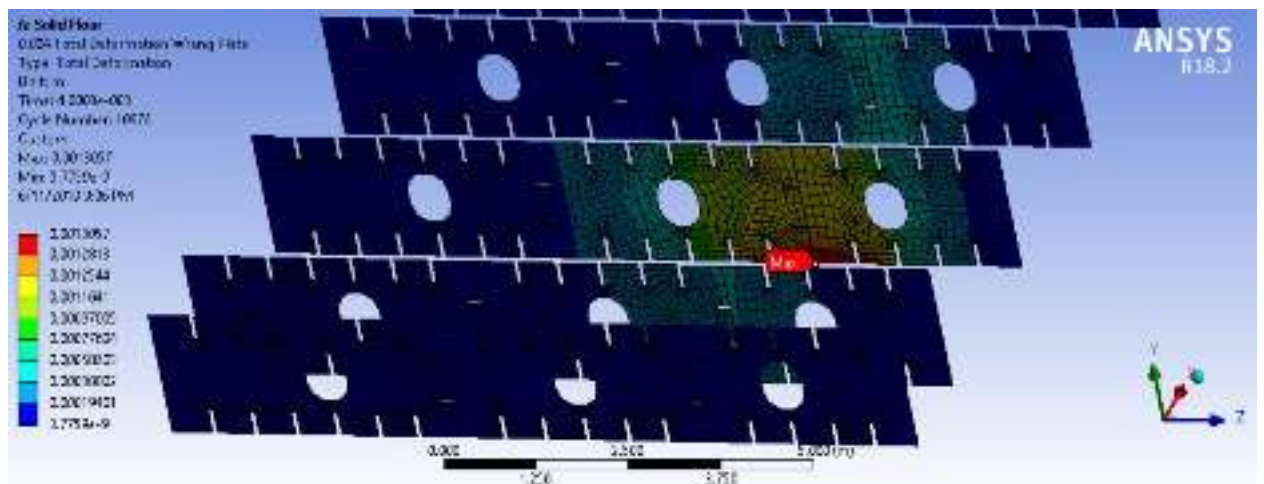


Deformasi pada *Transverse Construction (Solid Floor)*

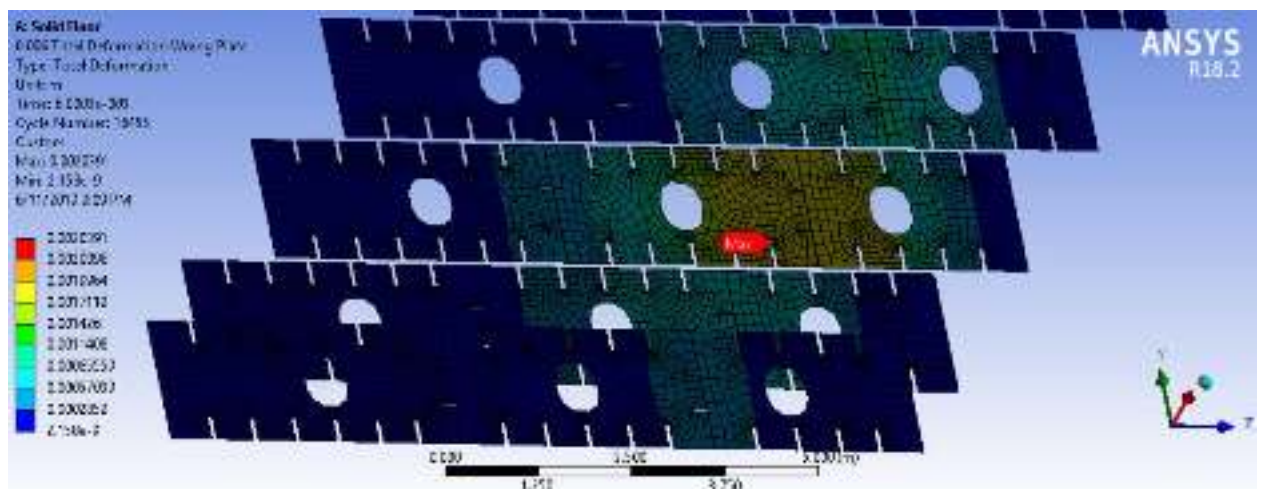
Detik 0,002



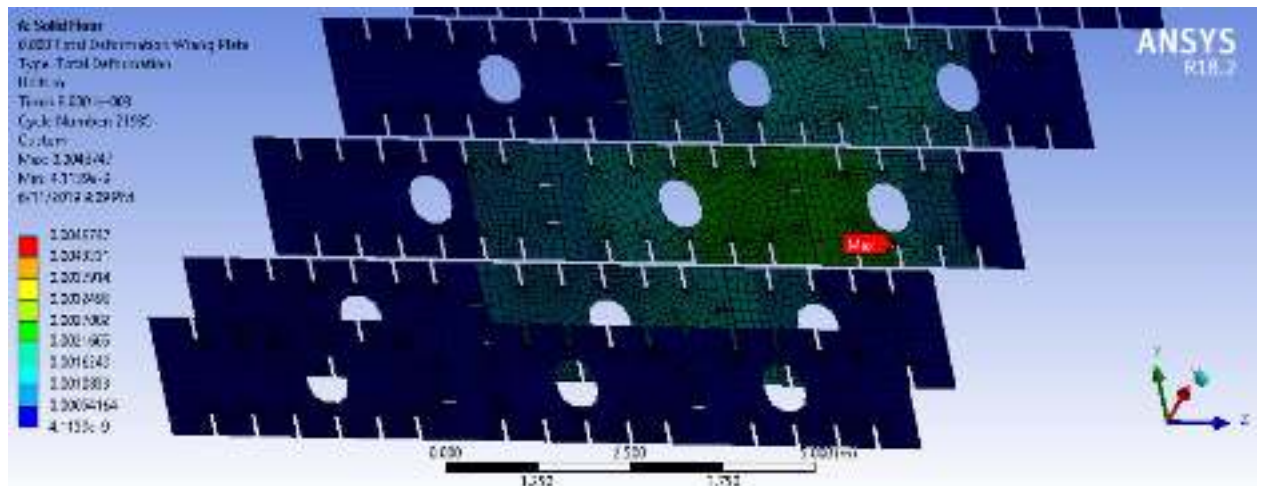
Detik 0,004



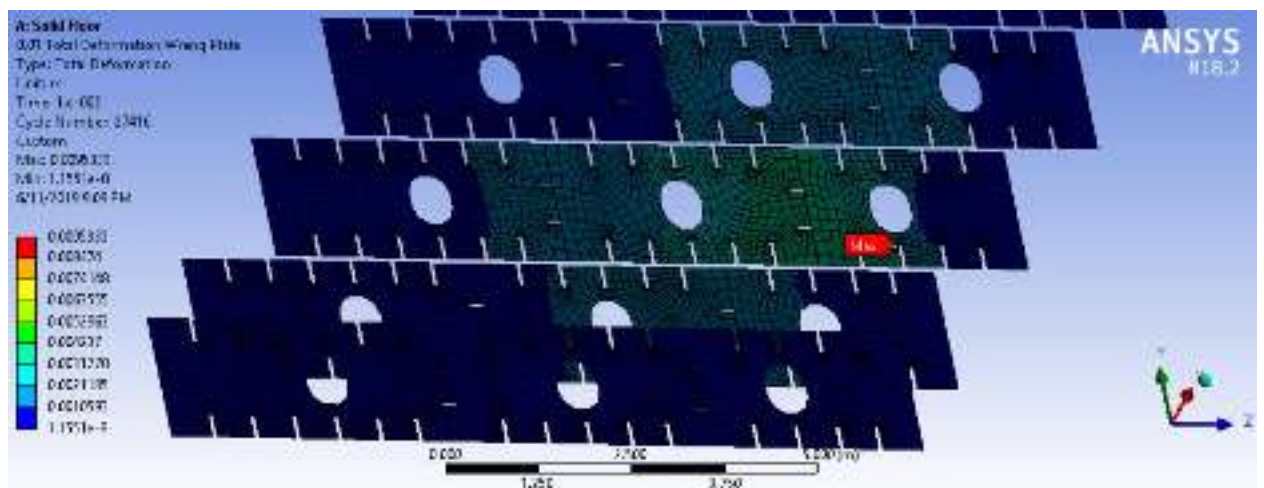
Detik 0,006



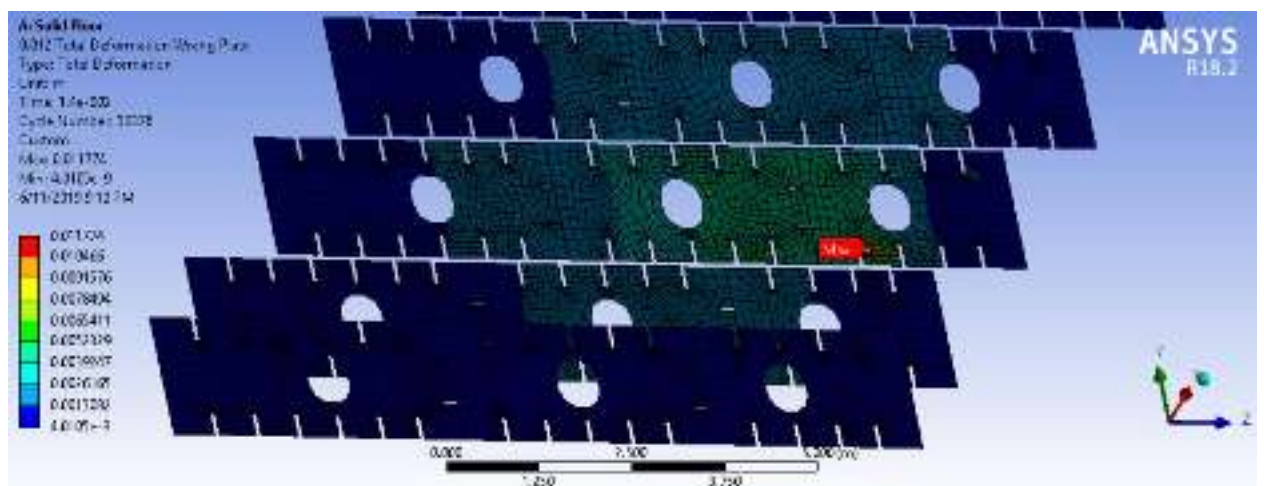
Detik 0,008



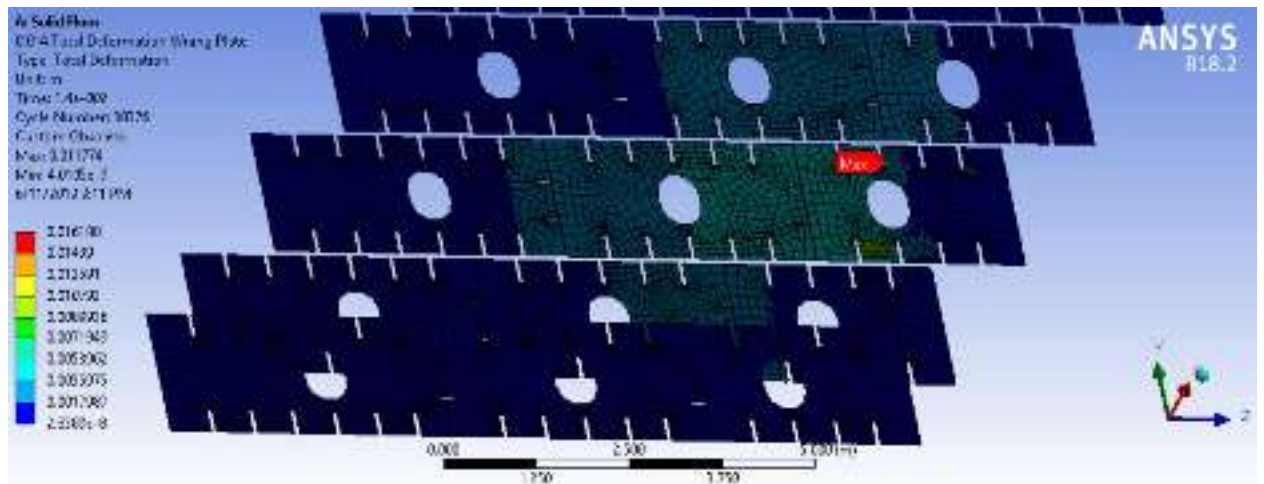
Detik 0,01



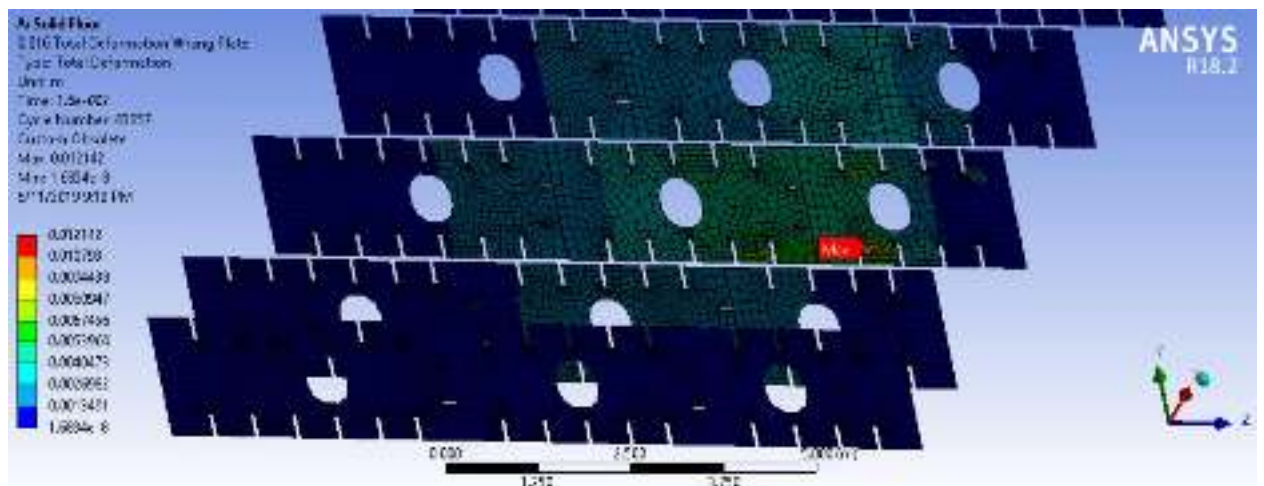
Detik 0,012



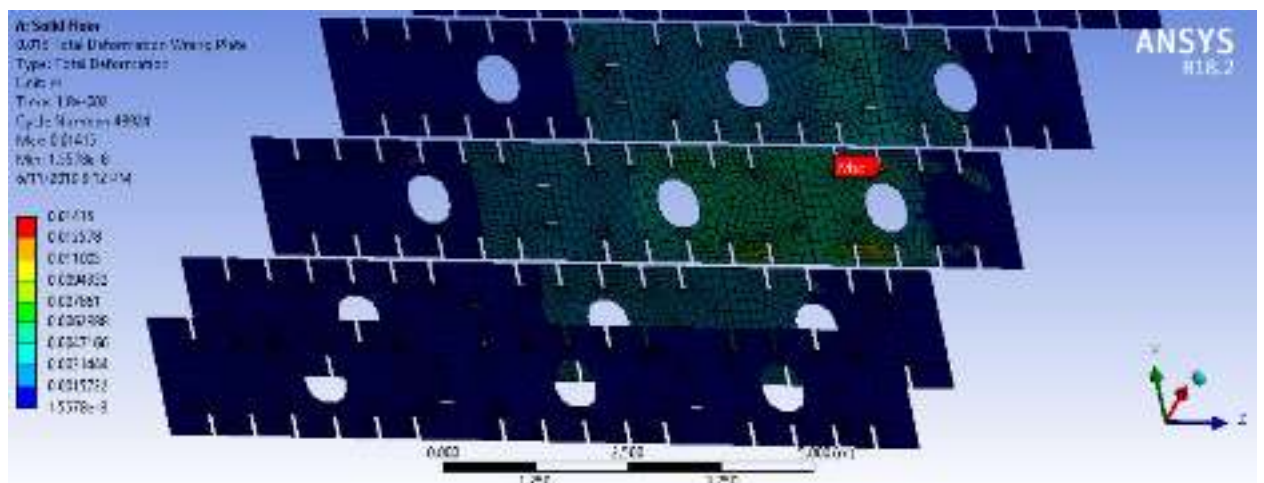
Detik 0,014



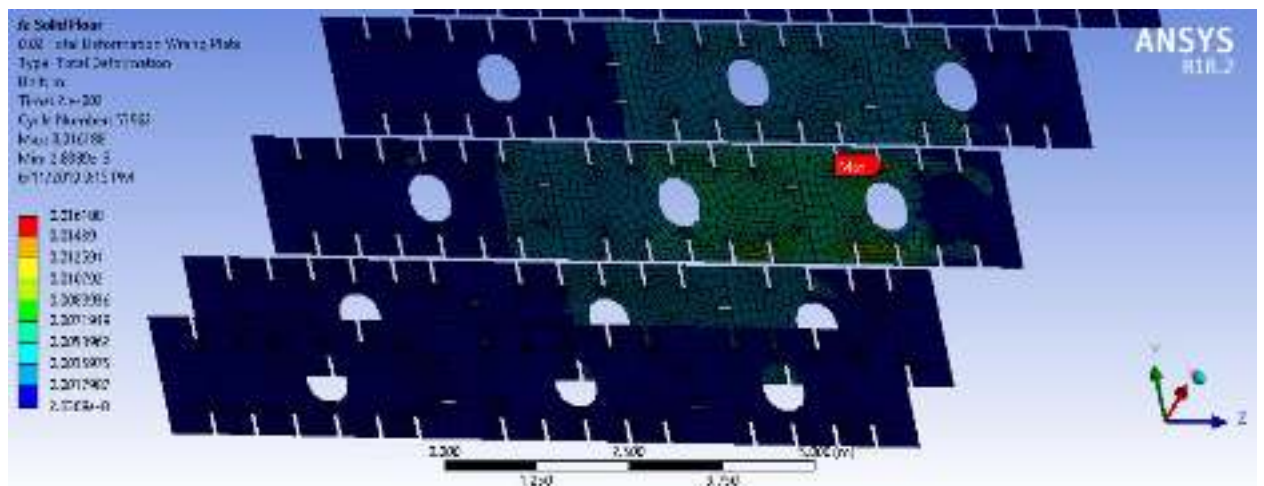
Detik 0,016



Detik 0,018



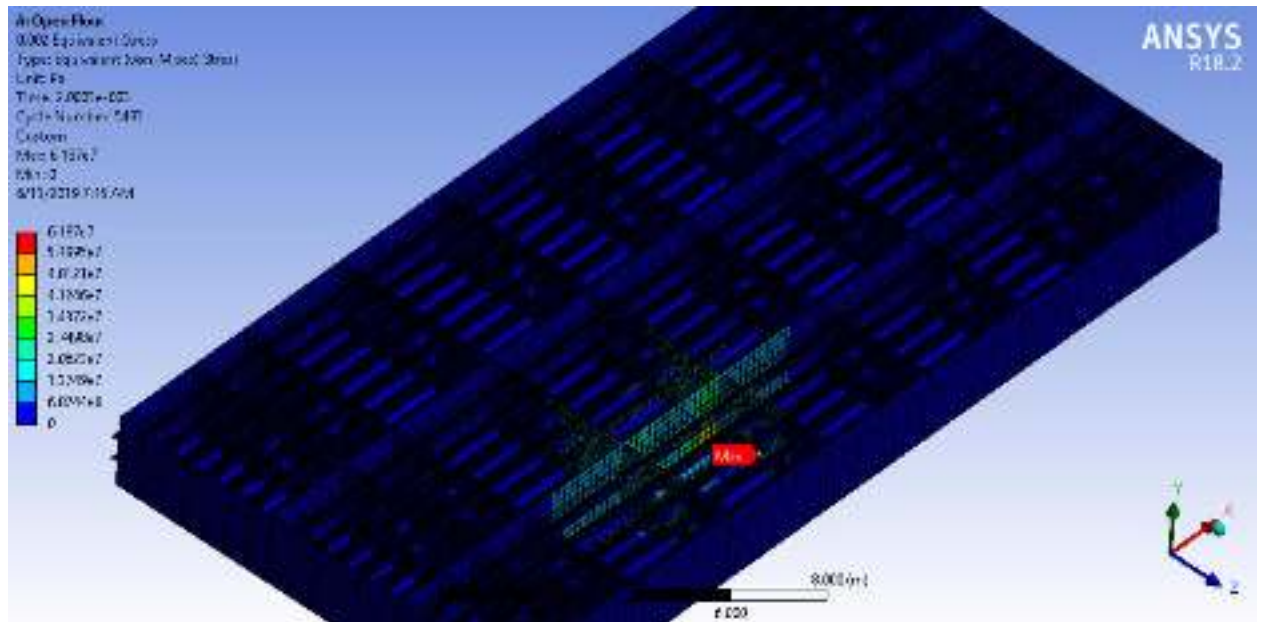
Detik 0,02



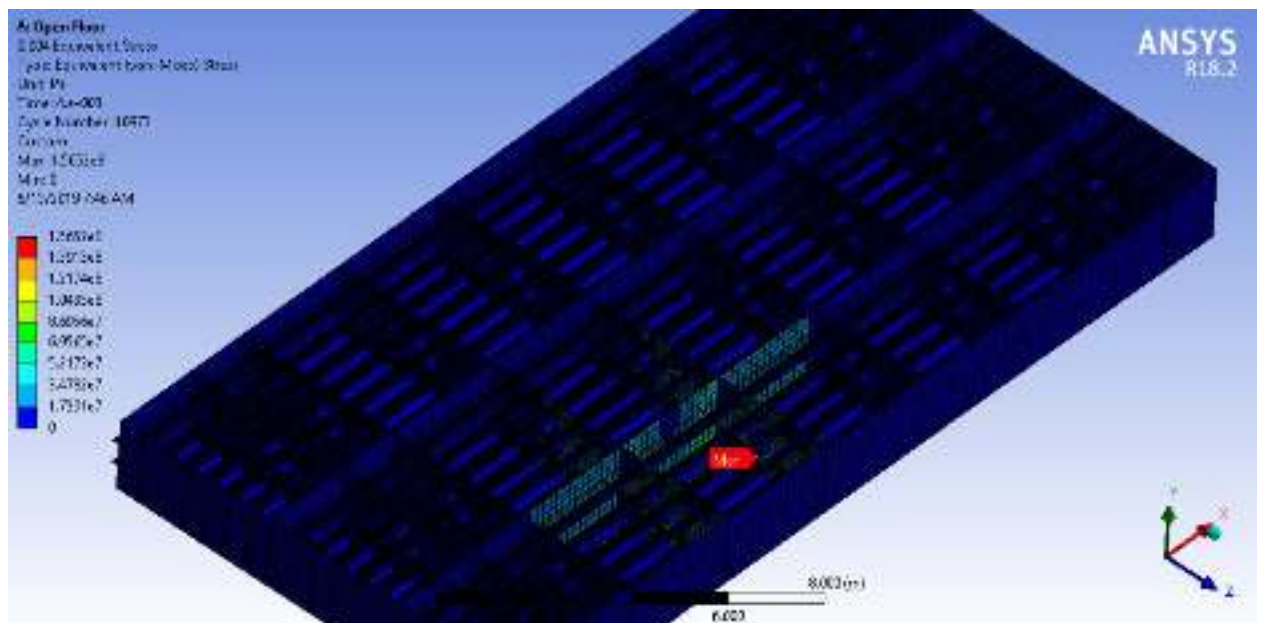
LAMPIRAN B
TEGANGAN DAN DEFORMASI SKENARIO 2

Tegangan Global (*Open Floor*)

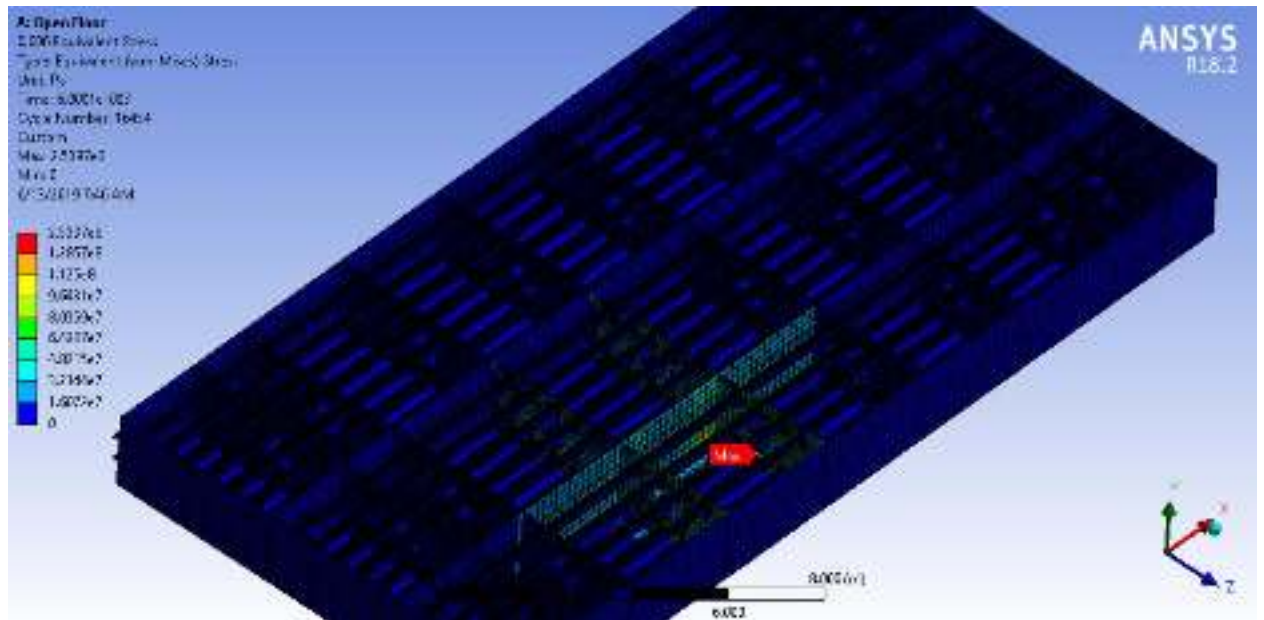
Detik 0,002



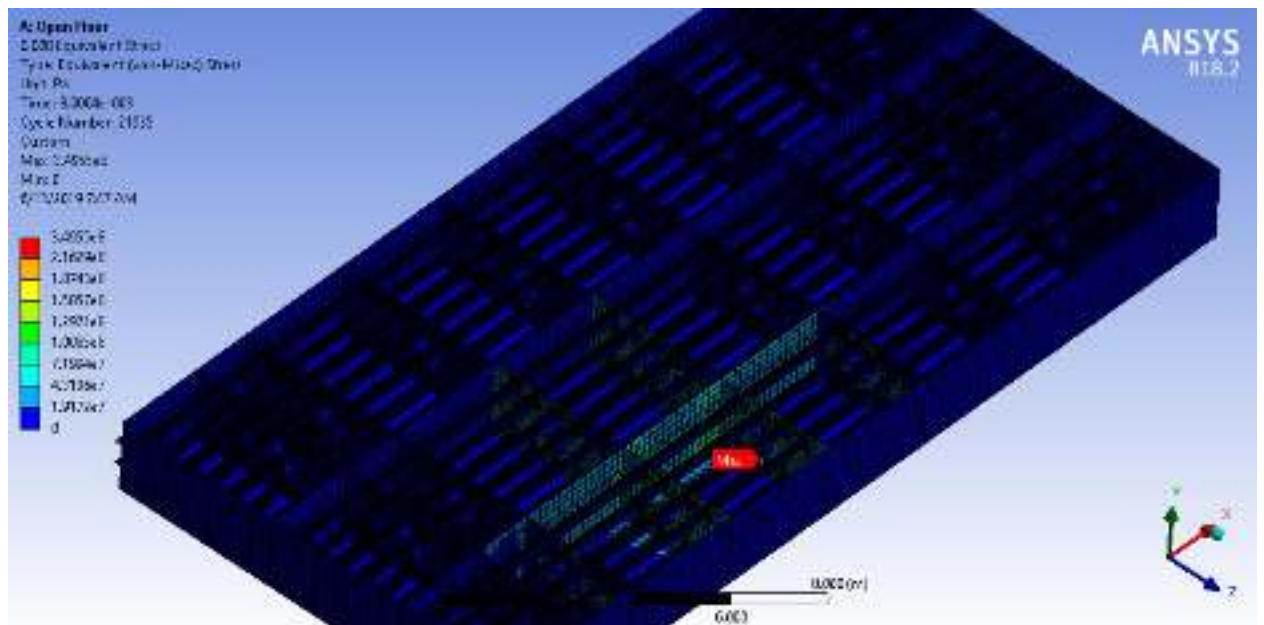
Detik 0,004



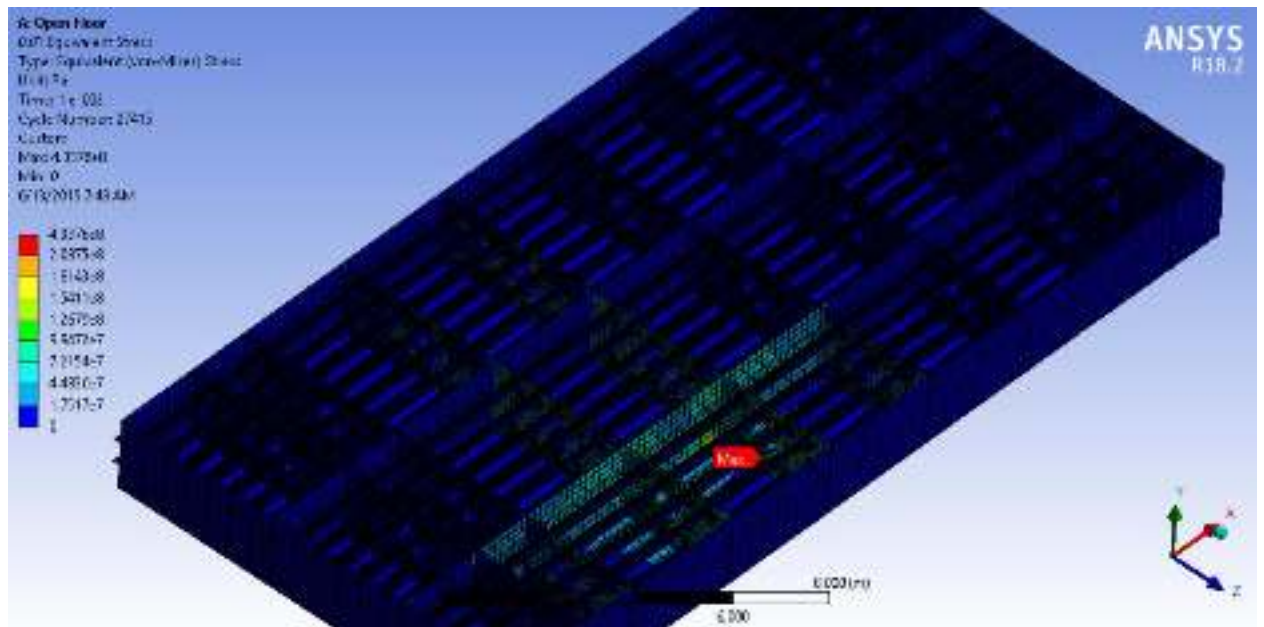
Detik 0,006



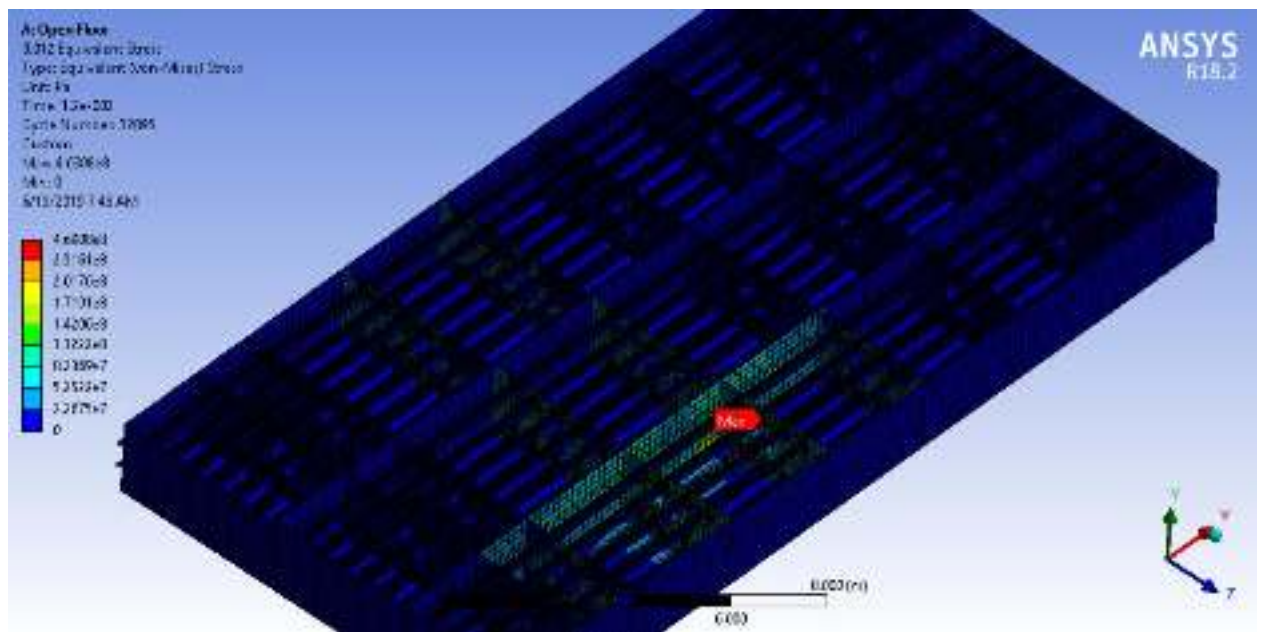
Detik 0,008



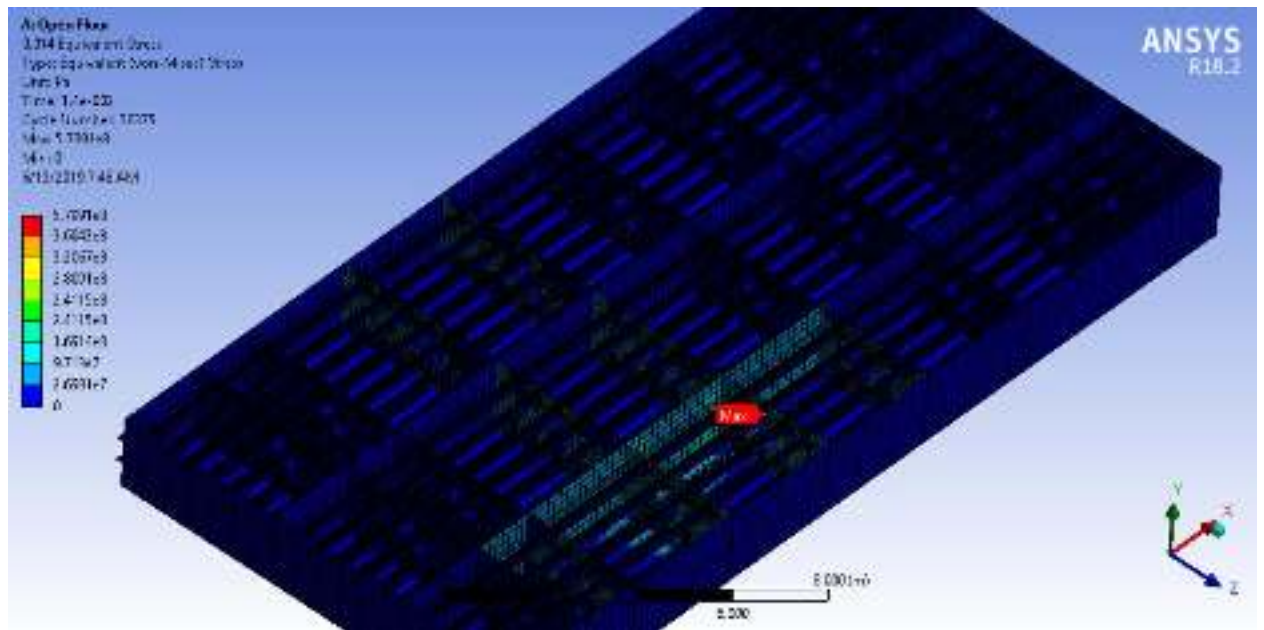
Detik 0,01



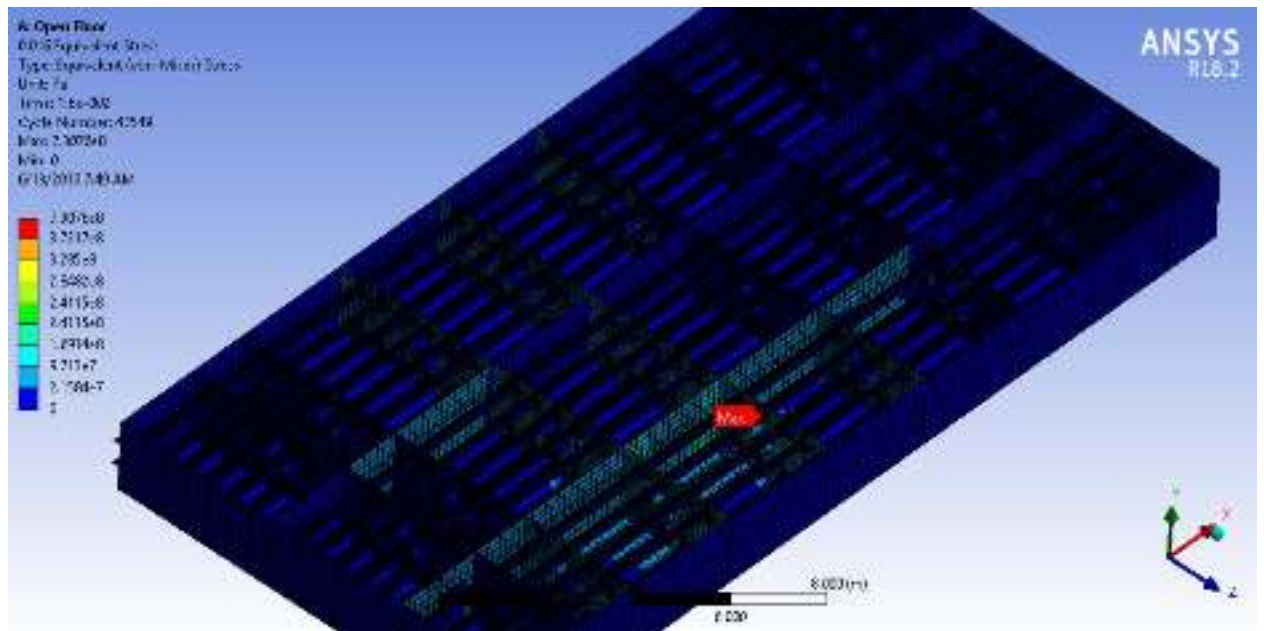
Detik 0,012



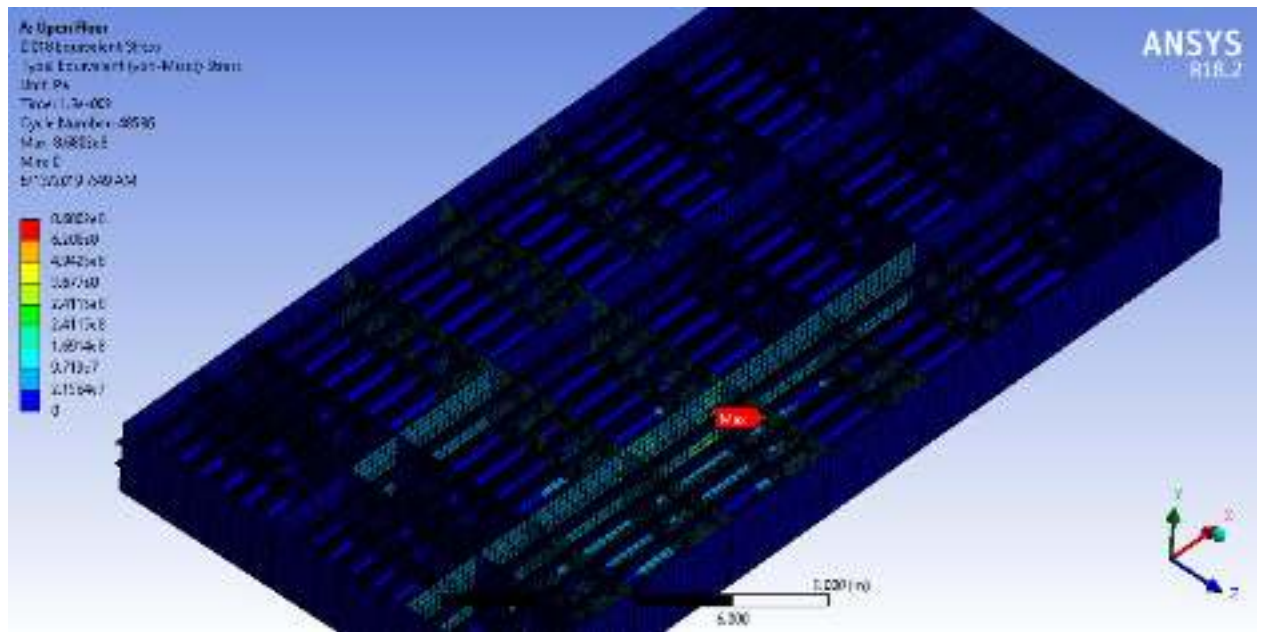
Detik 0,014



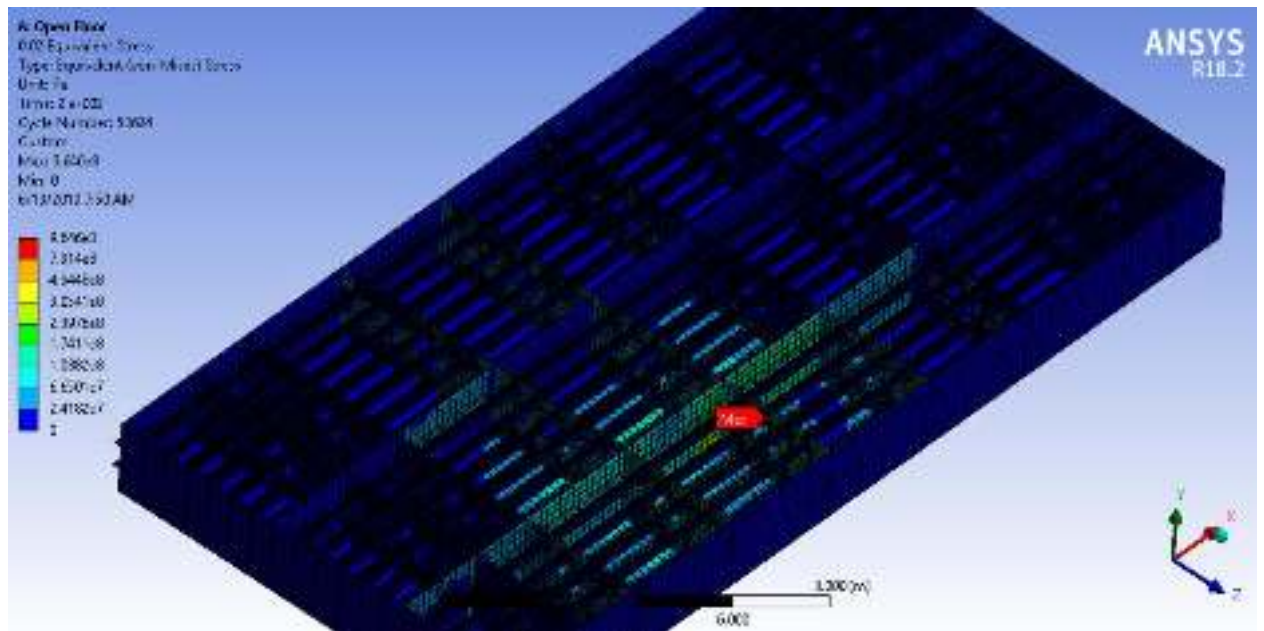
Detik 0,016



Detik 0,018

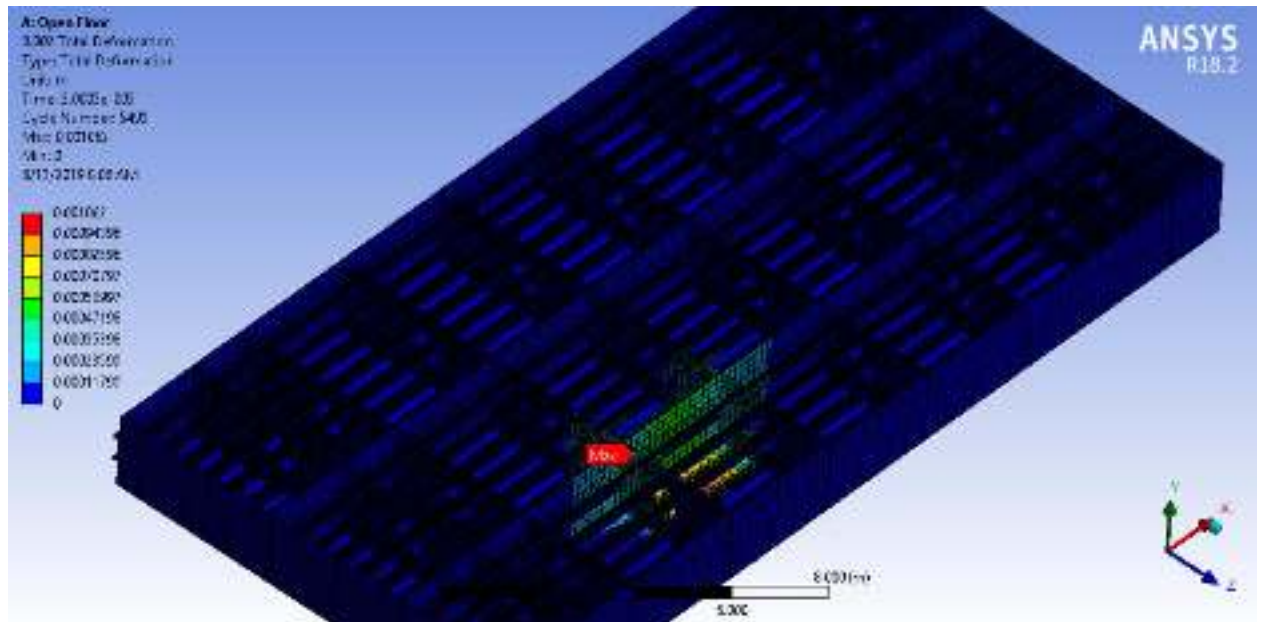


Detik 0,02

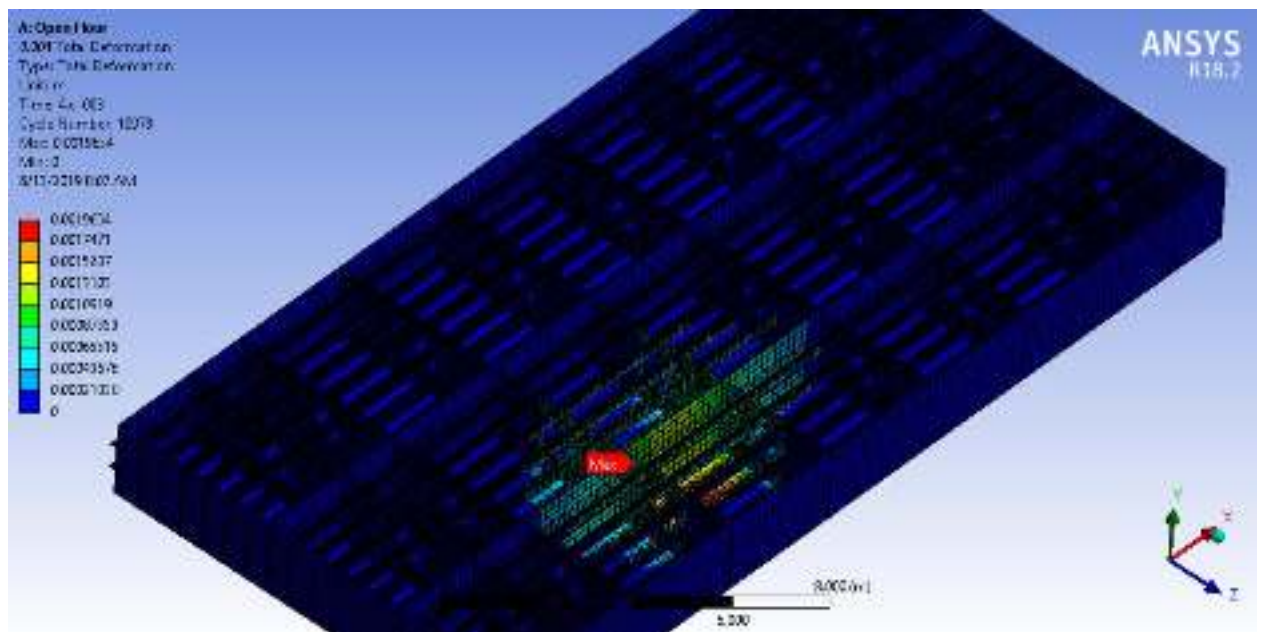


Deformasi Global (*Open Floor*)

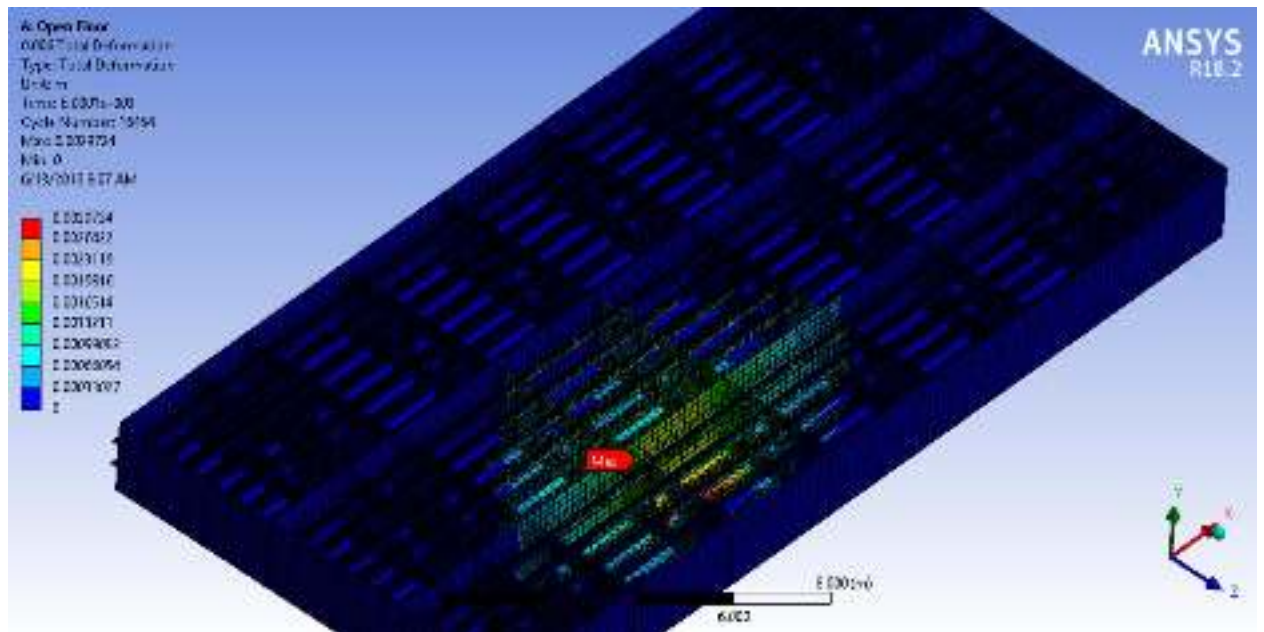
Detik 0,002



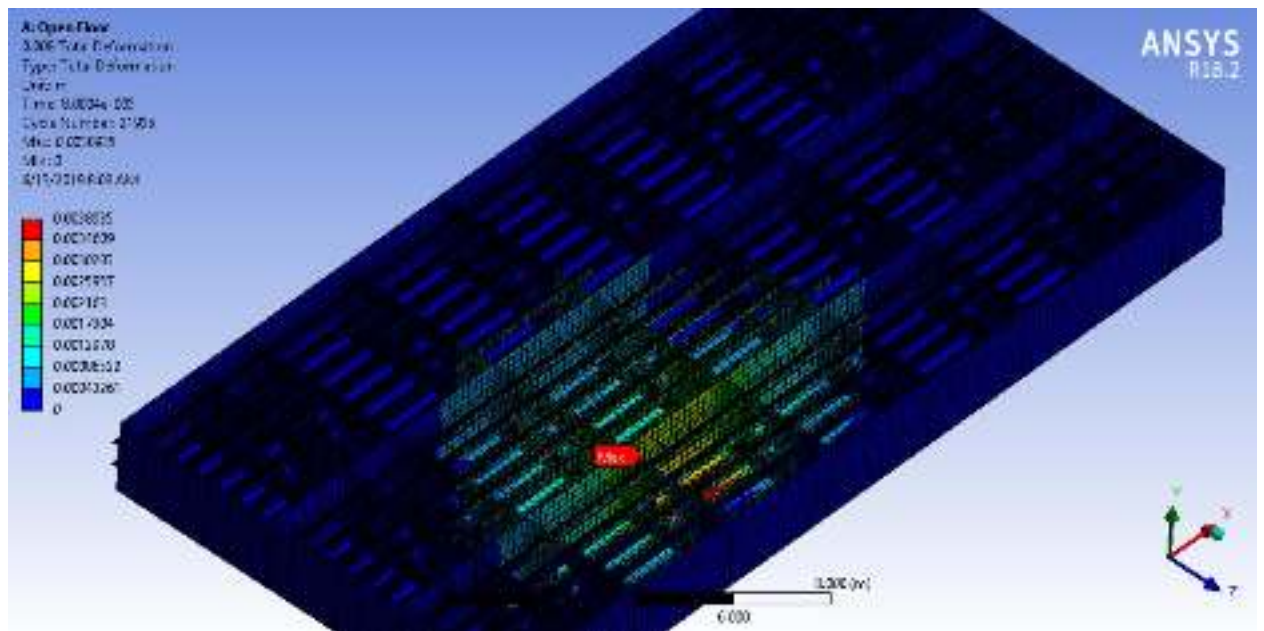
Detik 0,004



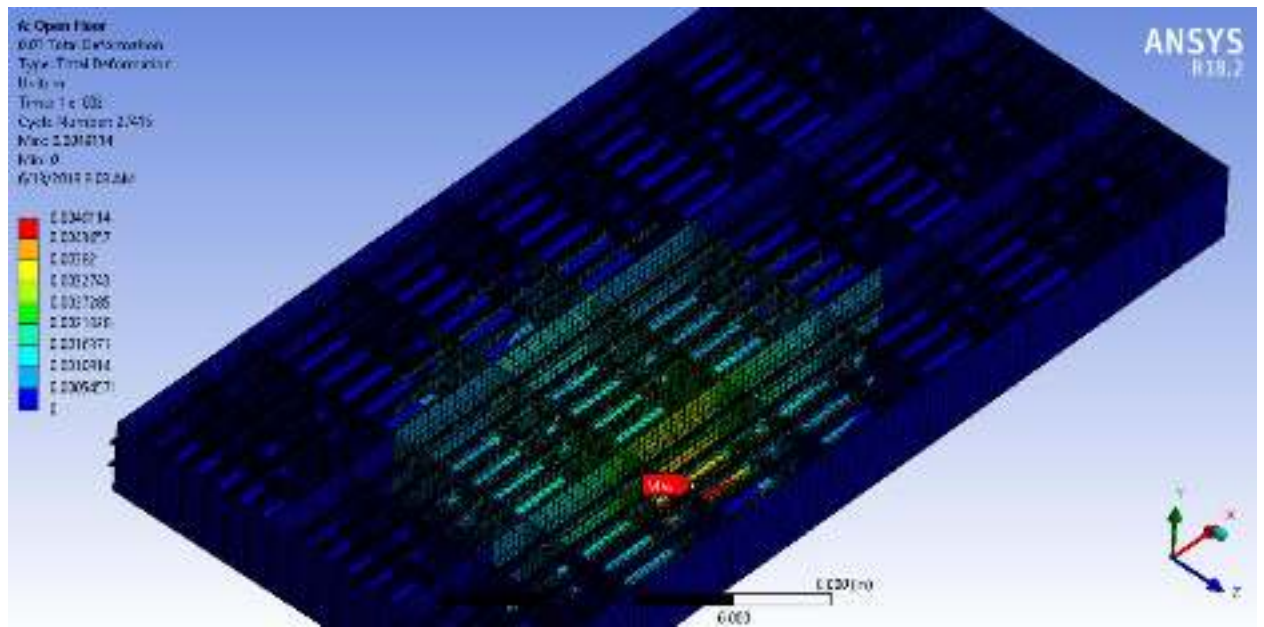
Detik 0,006



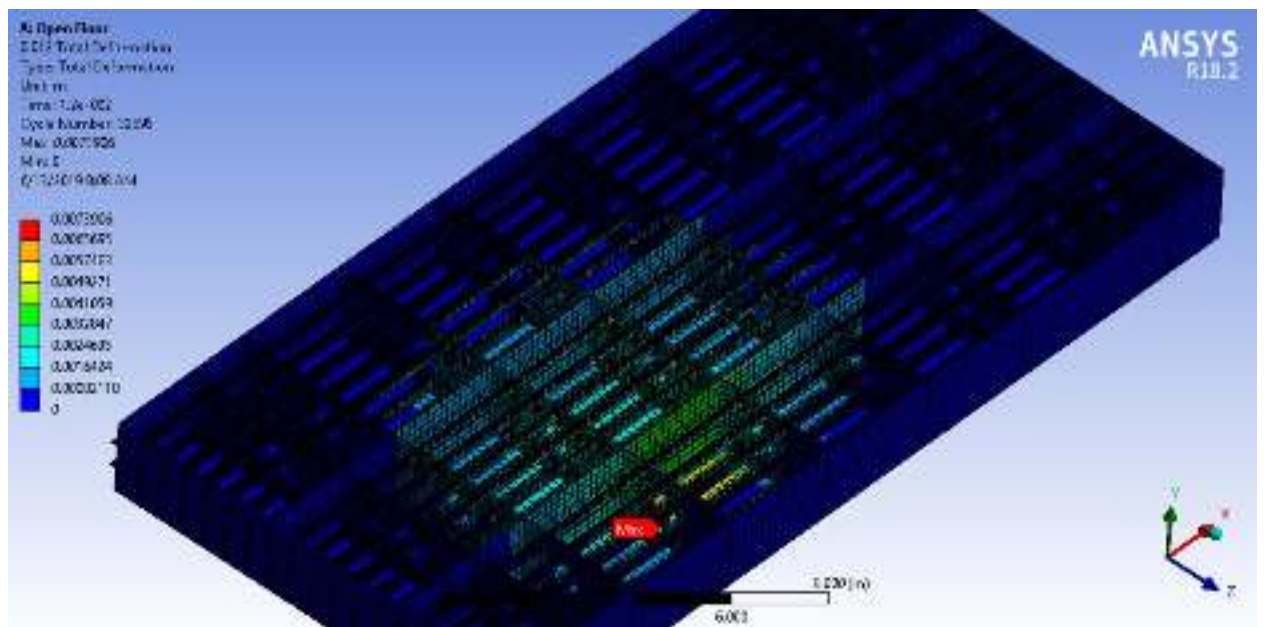
Detik 0,008



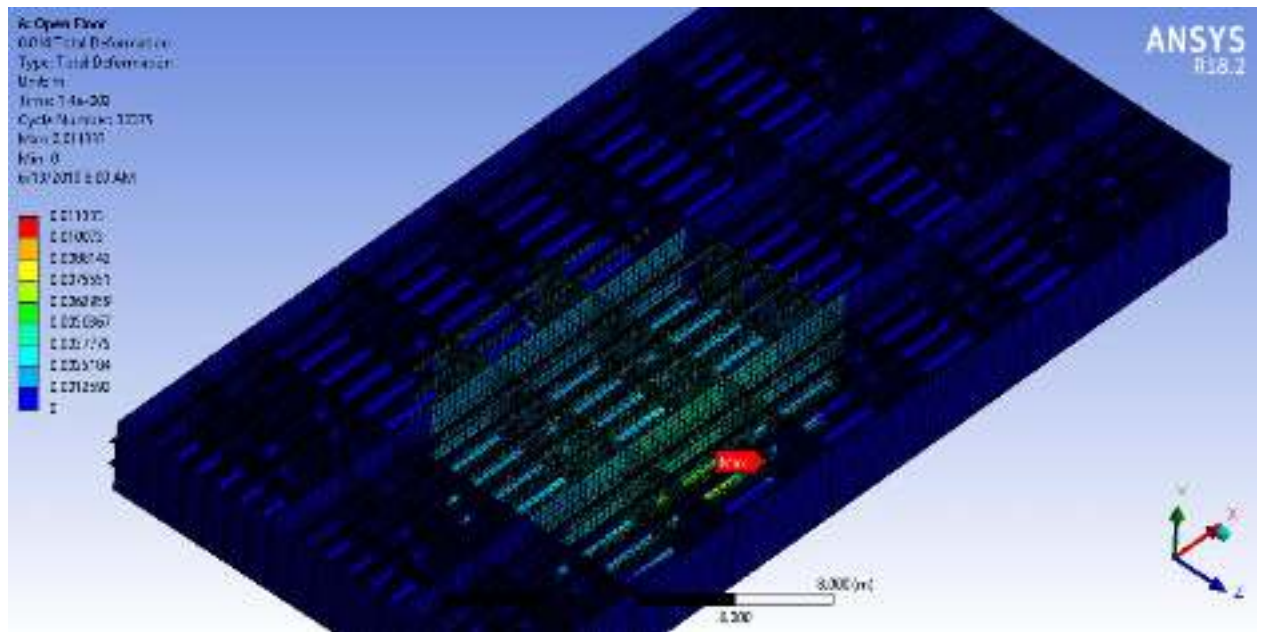
Detik 0,01



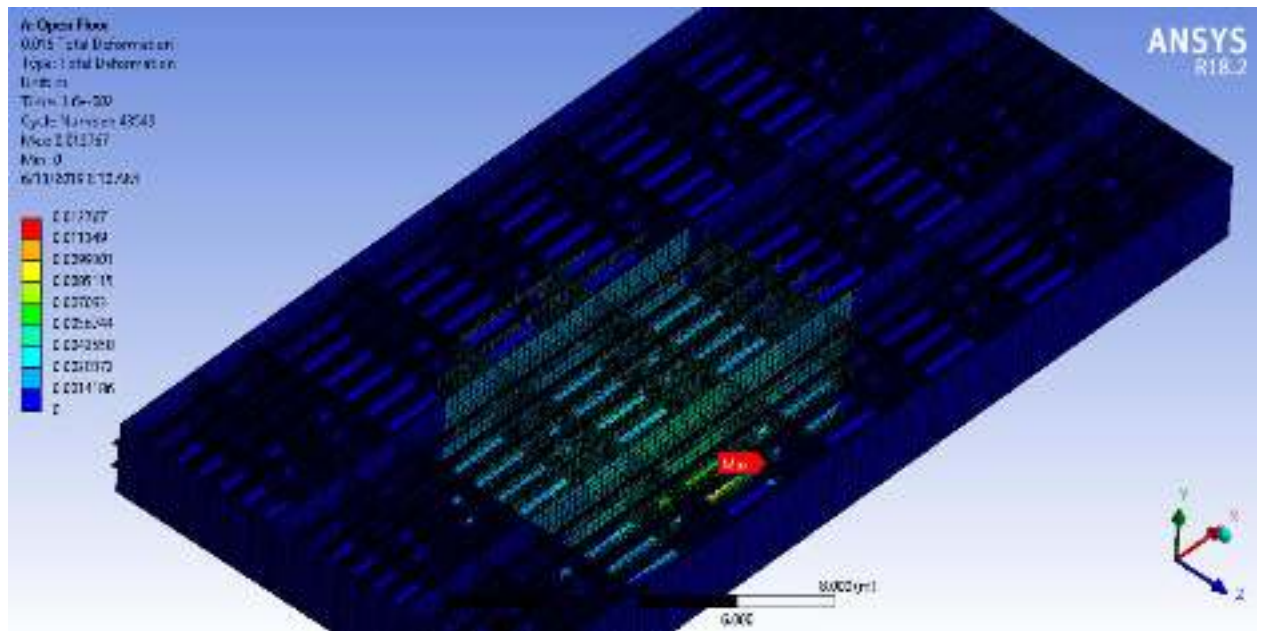
Detik 0,012



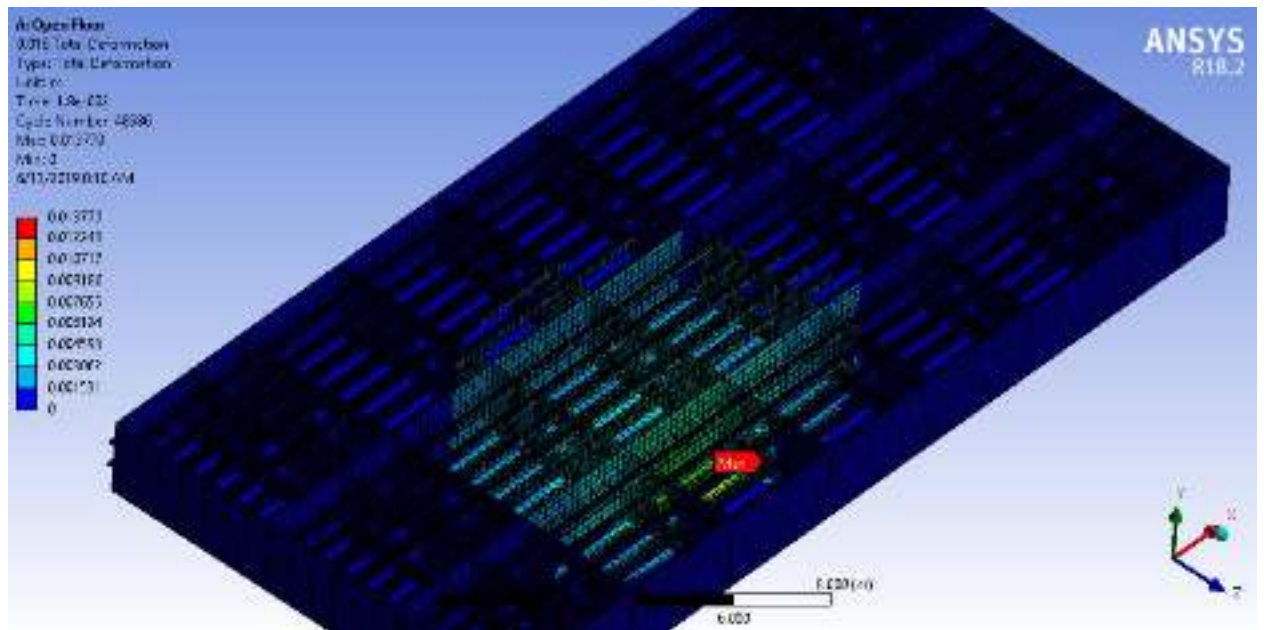
Detik 0,014



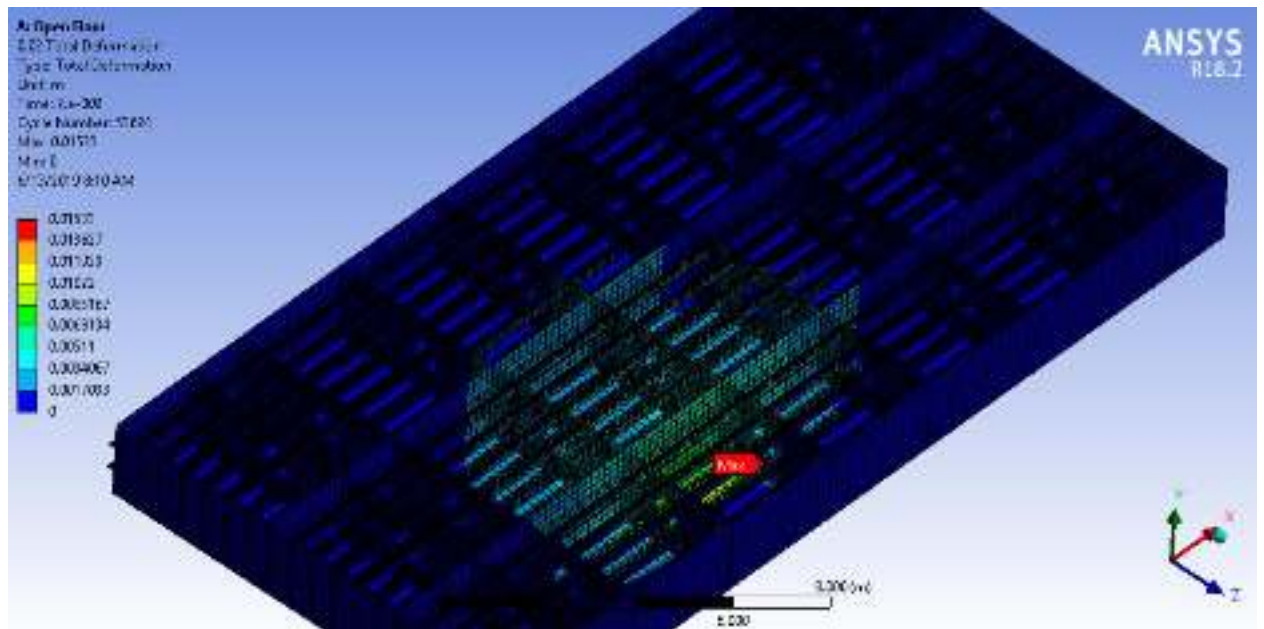
Detik 0,016



Detik 0,018

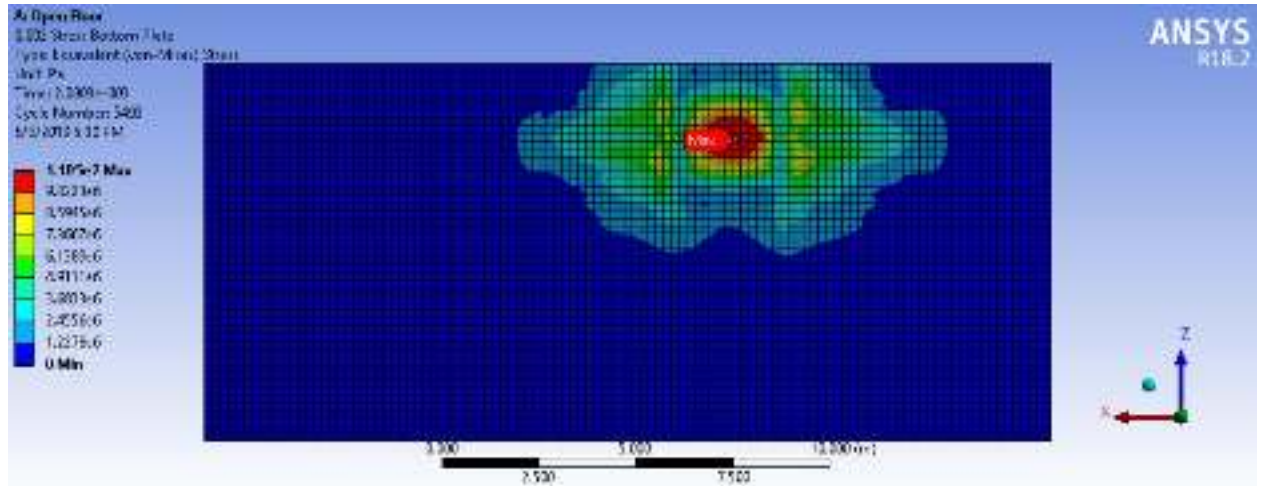


Detik 0,02

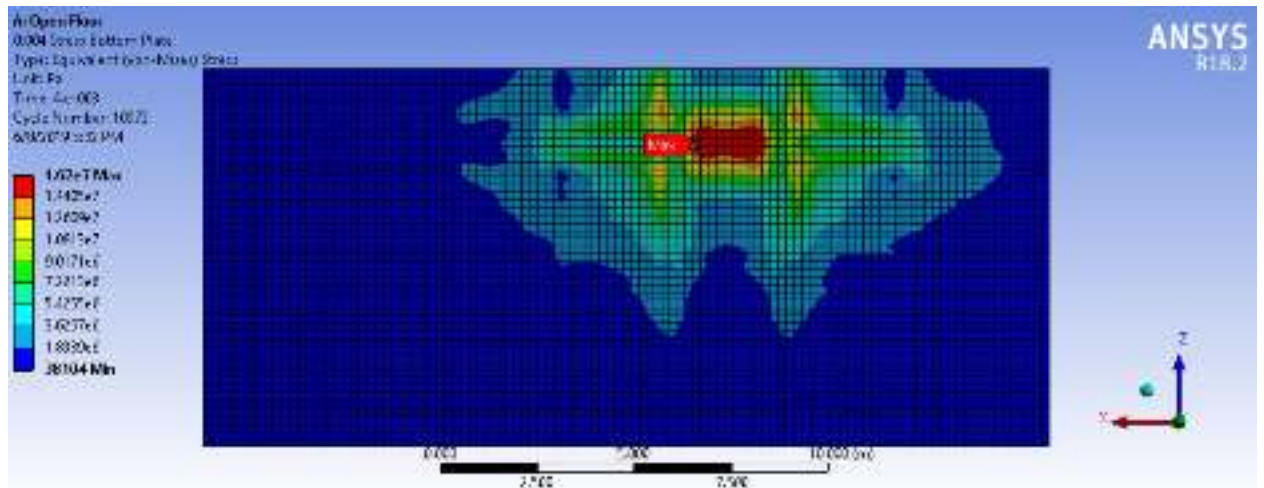


Tegangan pada *Bottom Plate (Open Floor)*

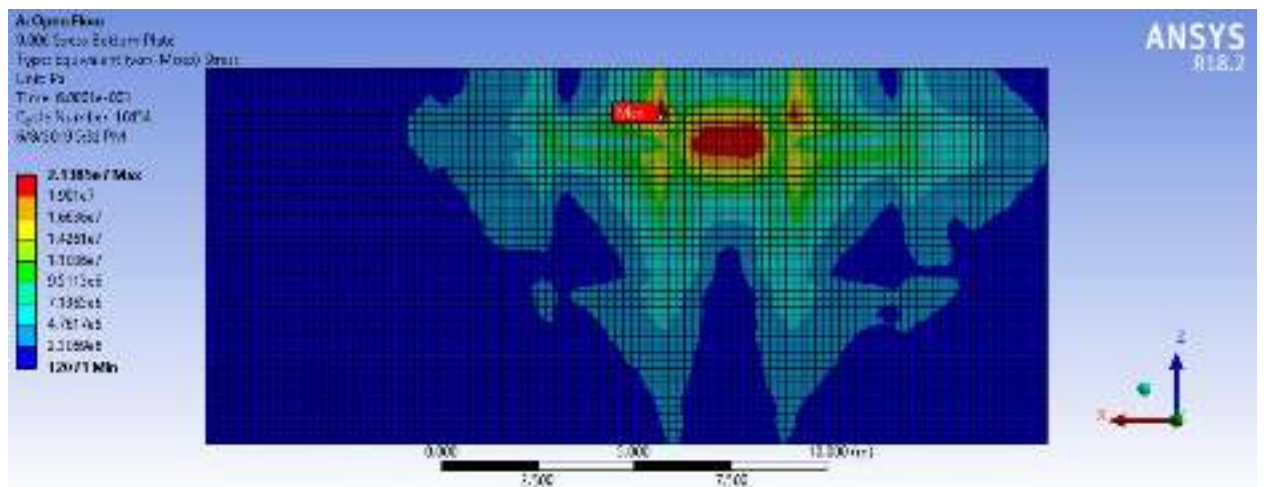
Detik 0,002



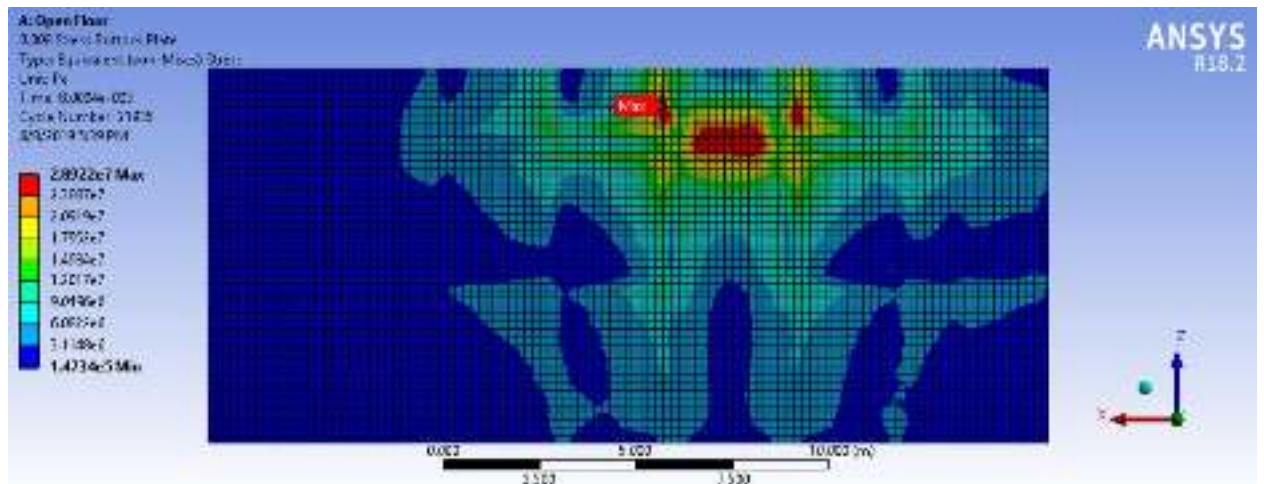
Detik 0,004



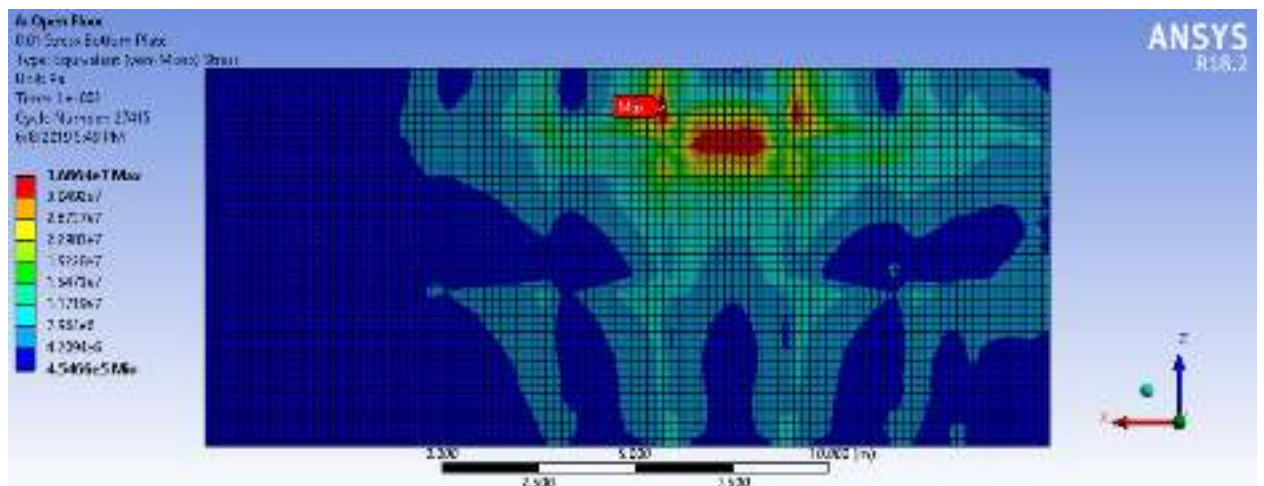
Detik 0,006



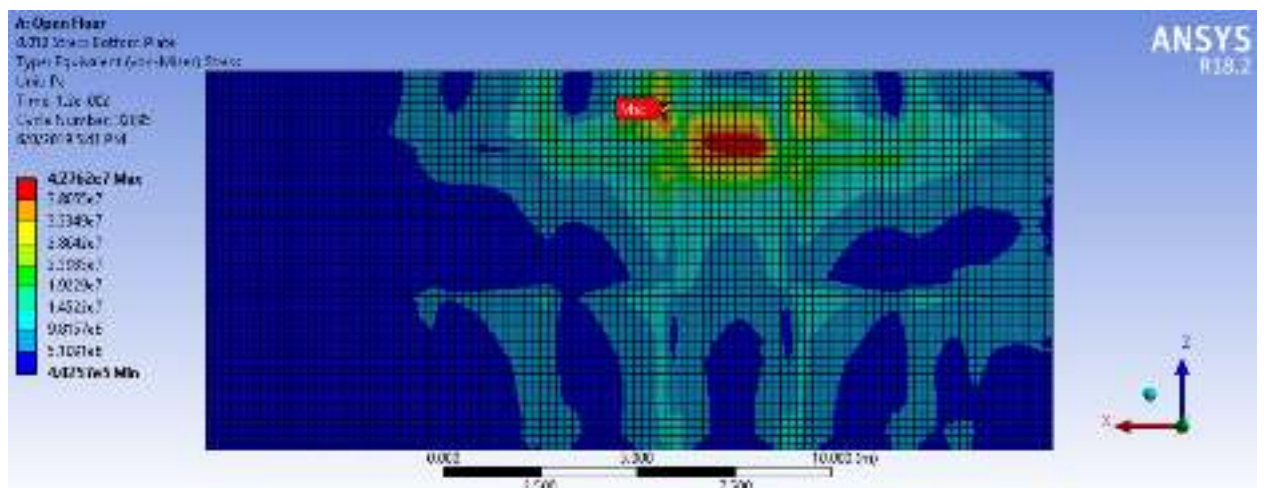
Detik 0,008



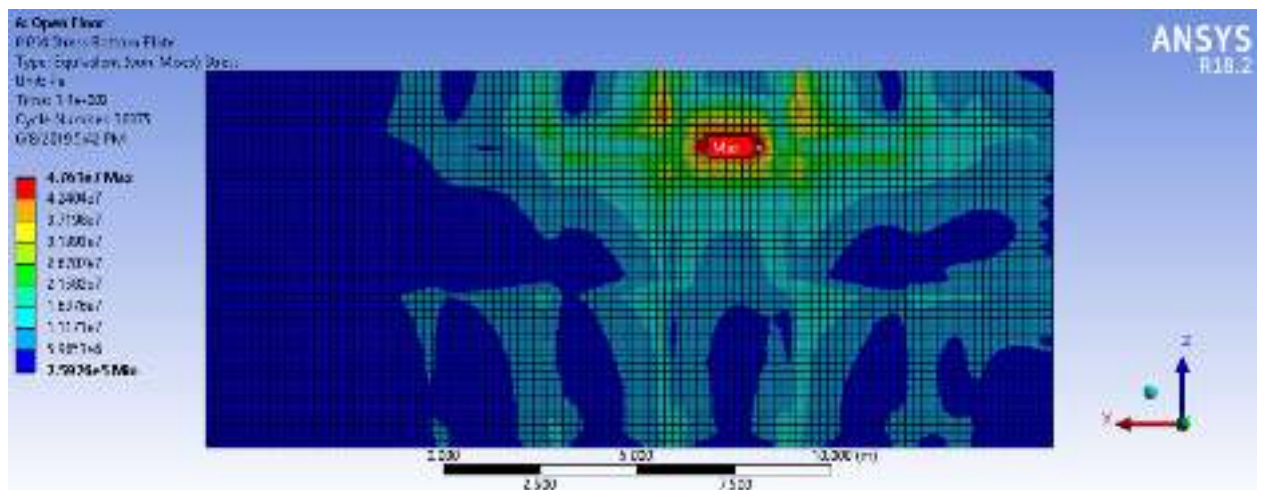
Detik 0,01



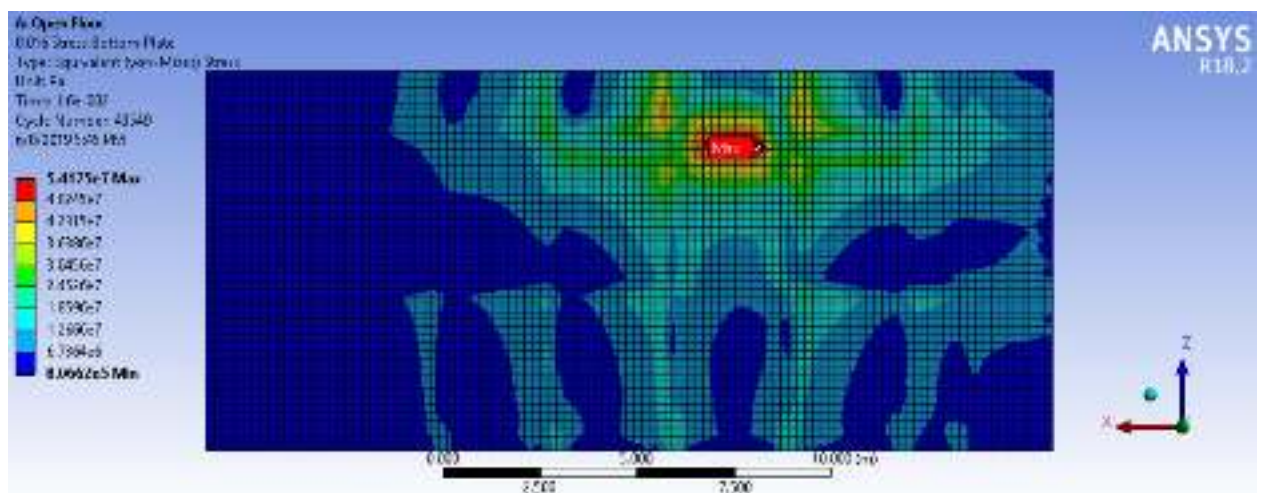
Detik 0,012



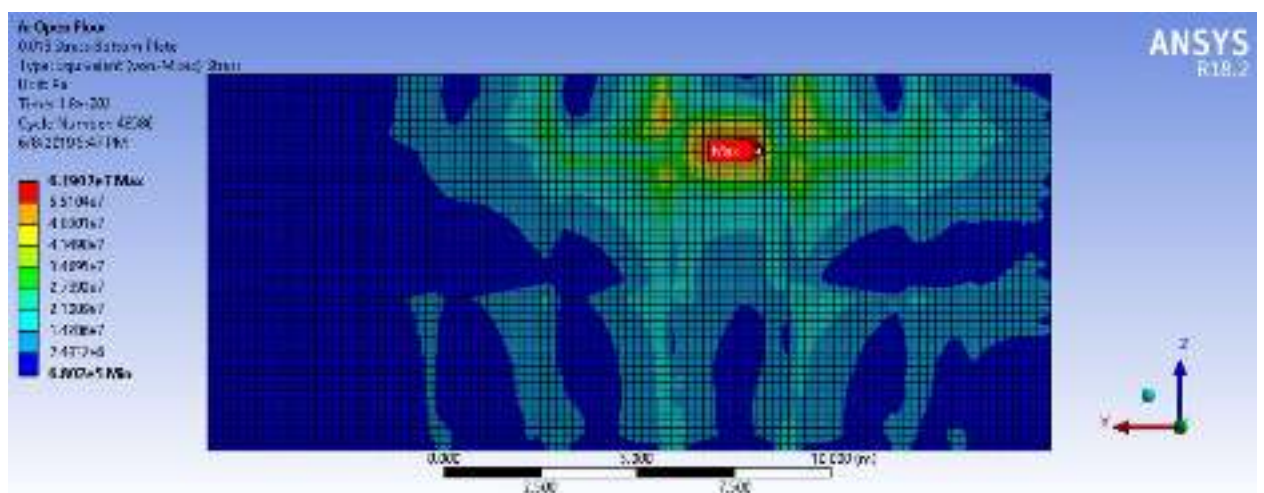
Detik 0,014



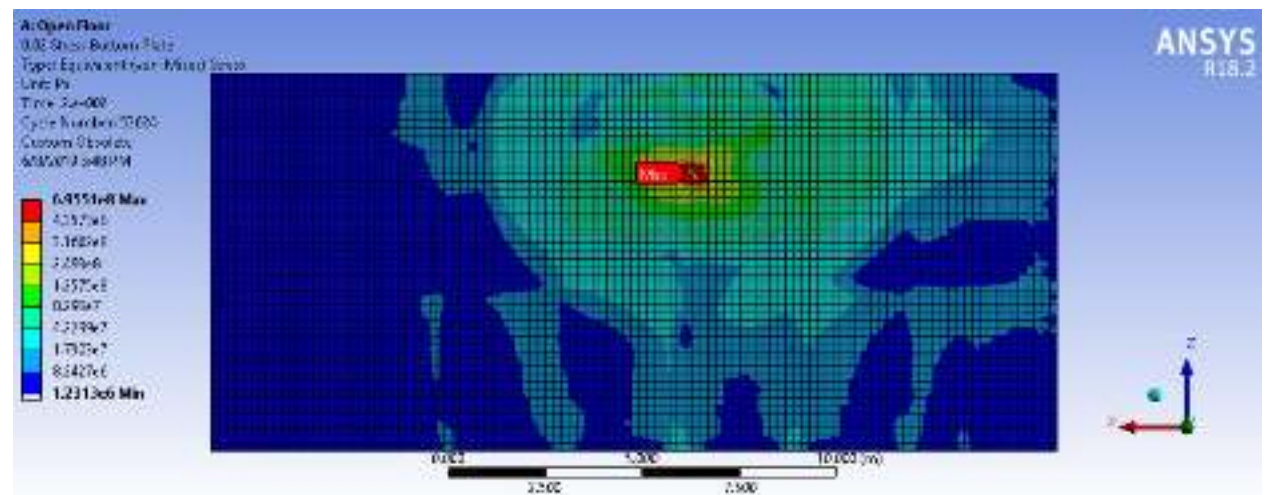
Detik 0,016



Detik 0,018

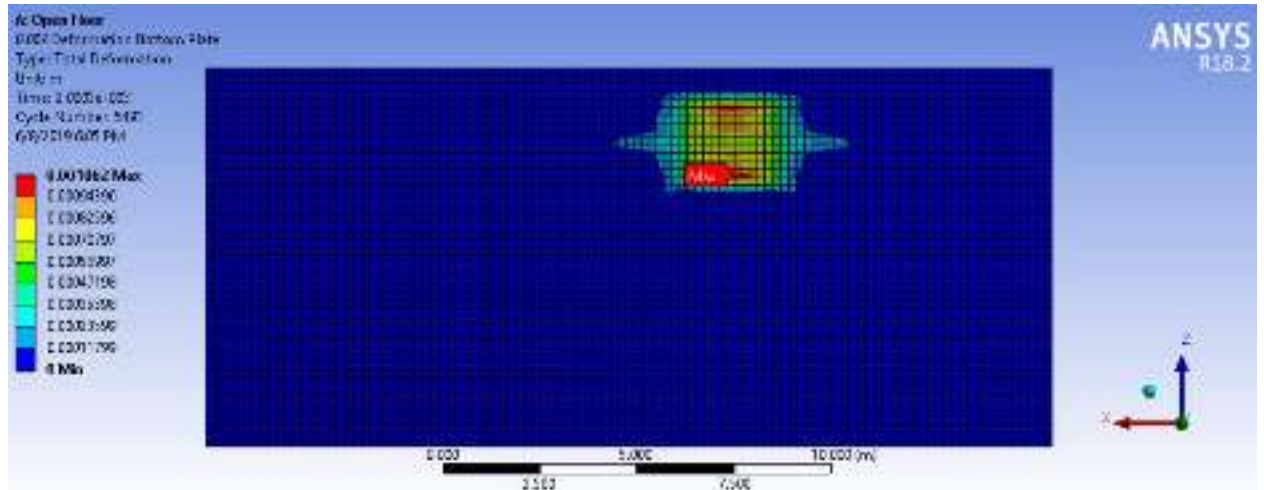


Detik 0,02

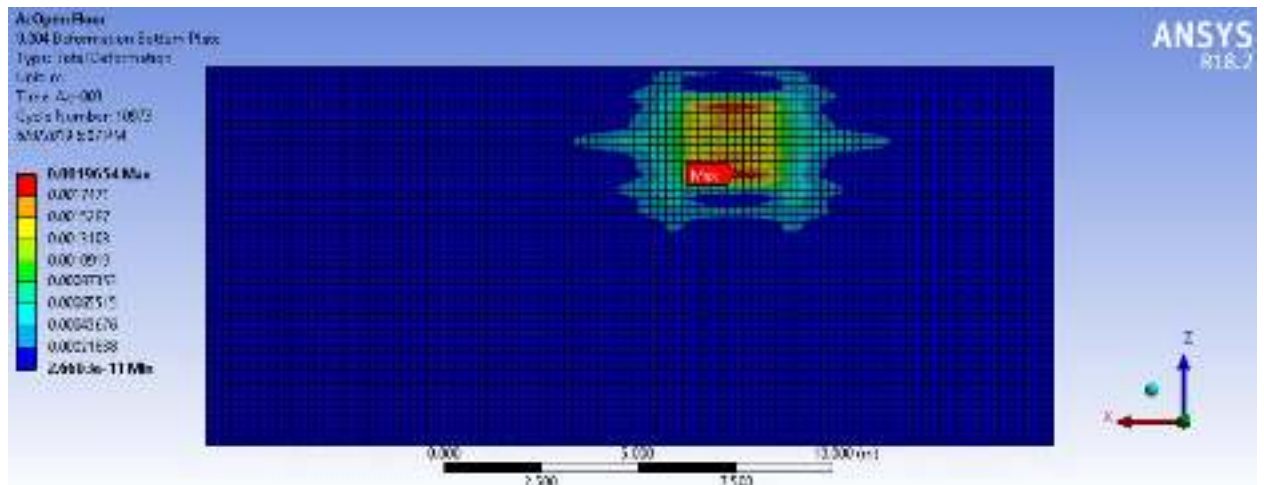


Deformasi pada *Bottom Plate (Open Floor)*

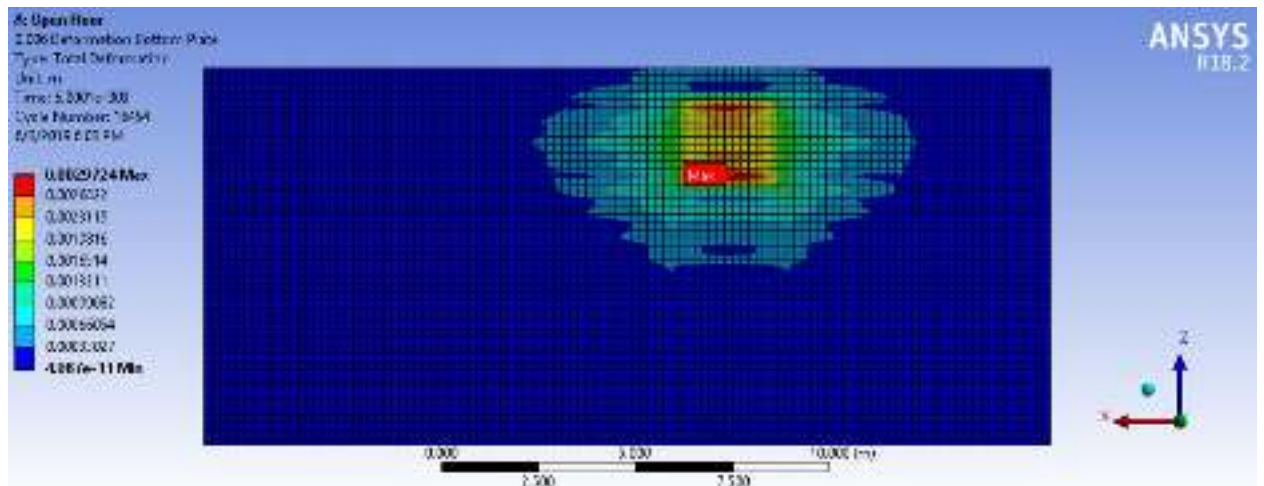
Detik 0,002



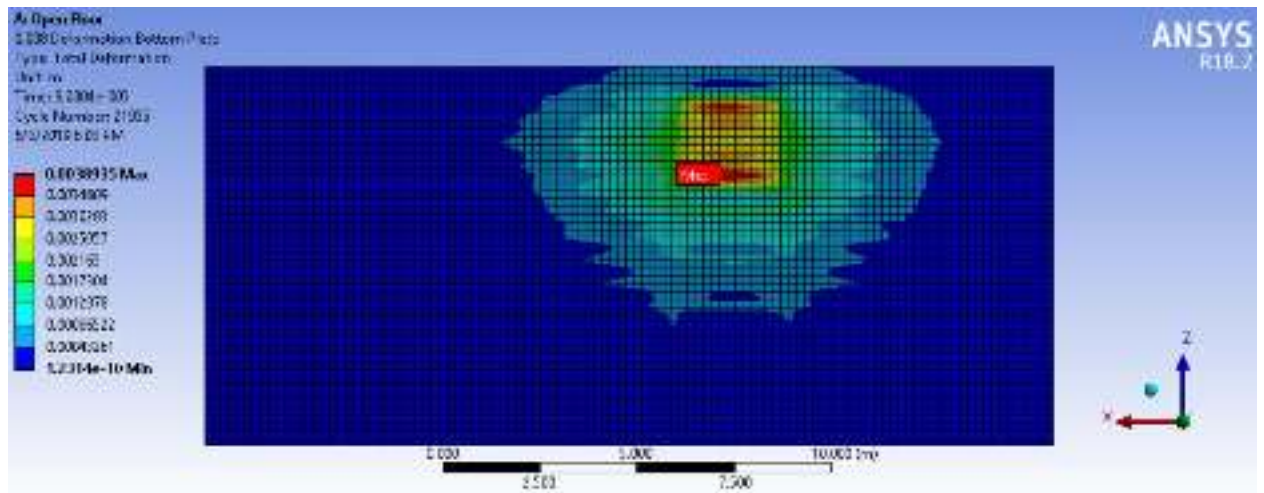
Detik 0,004



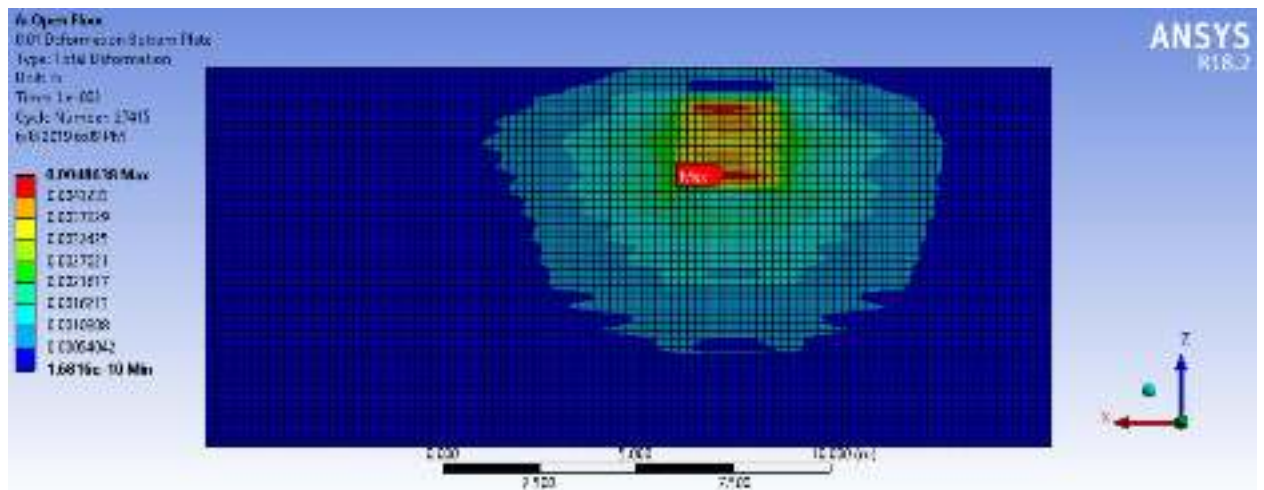
Detik 0,006



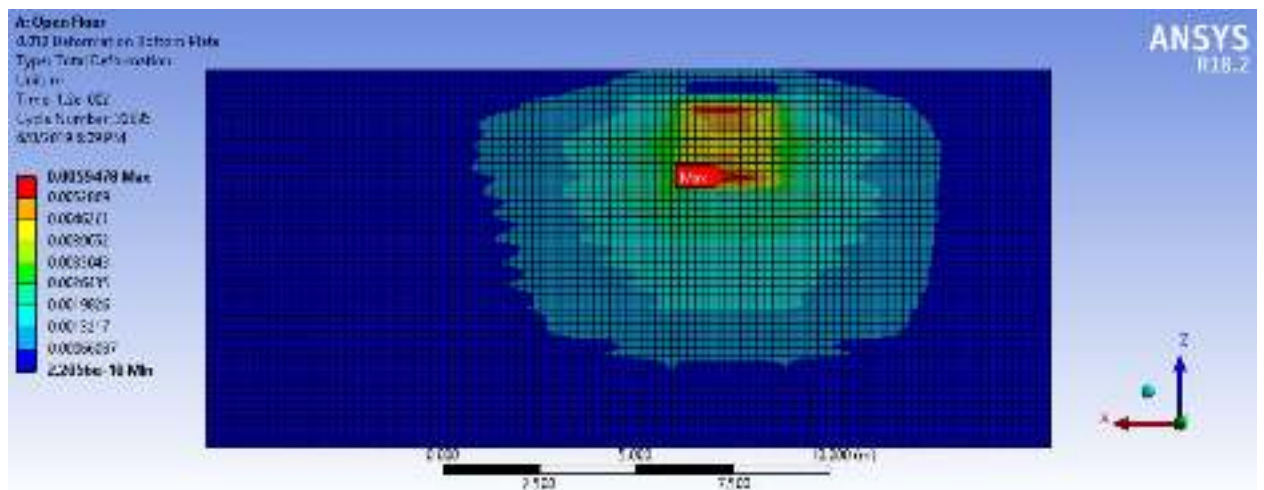
Detik 0,008



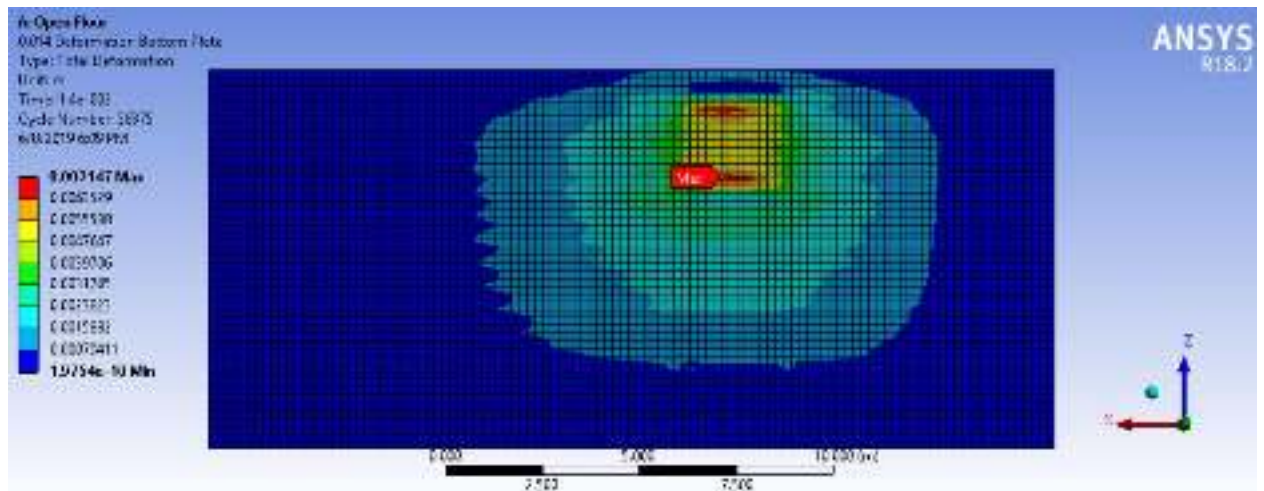
Detik 0,01



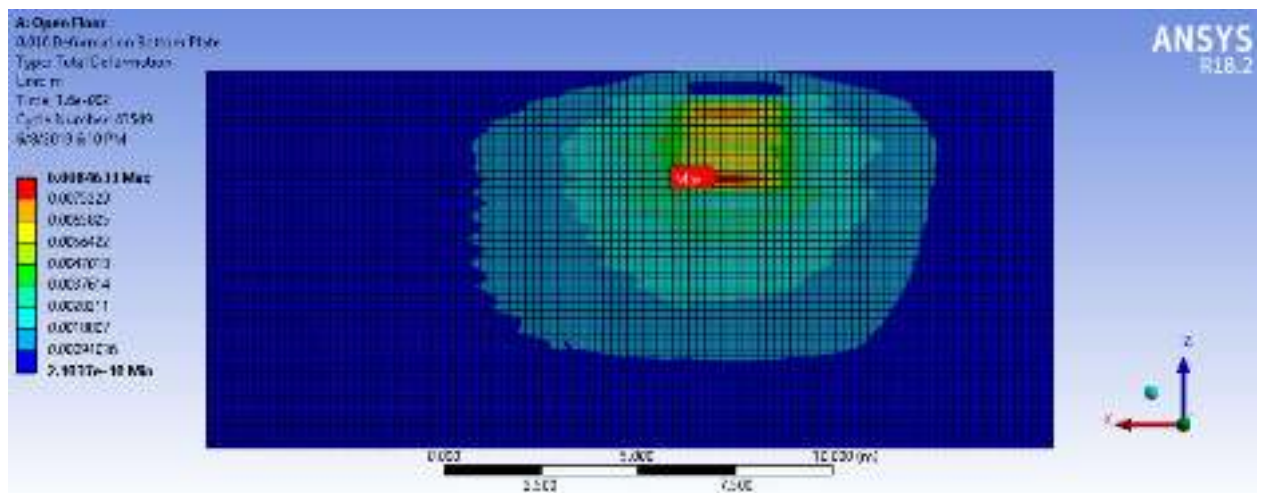
Detik 0,012



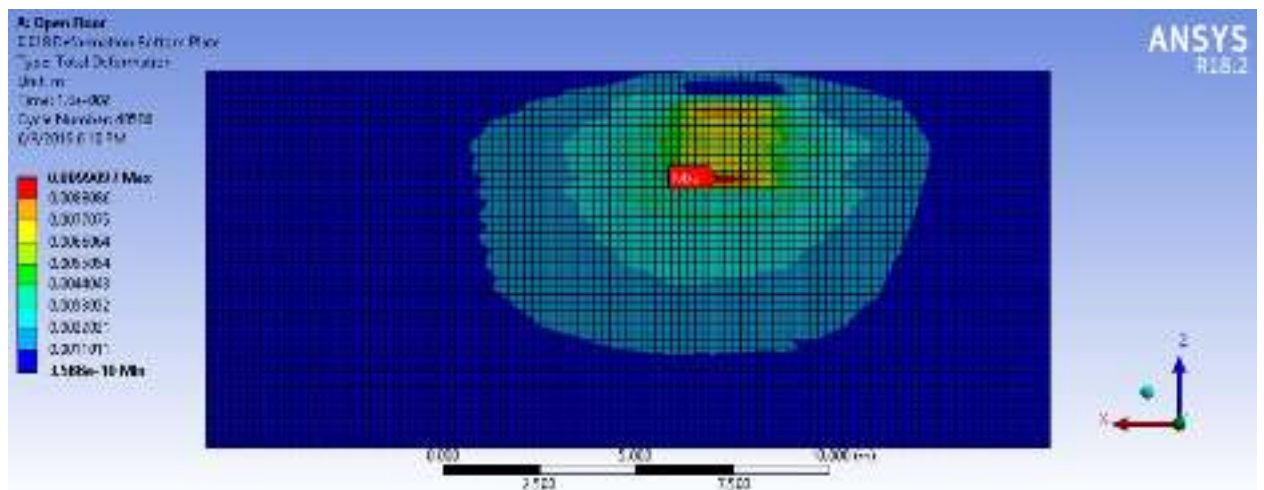
Detik 0,014



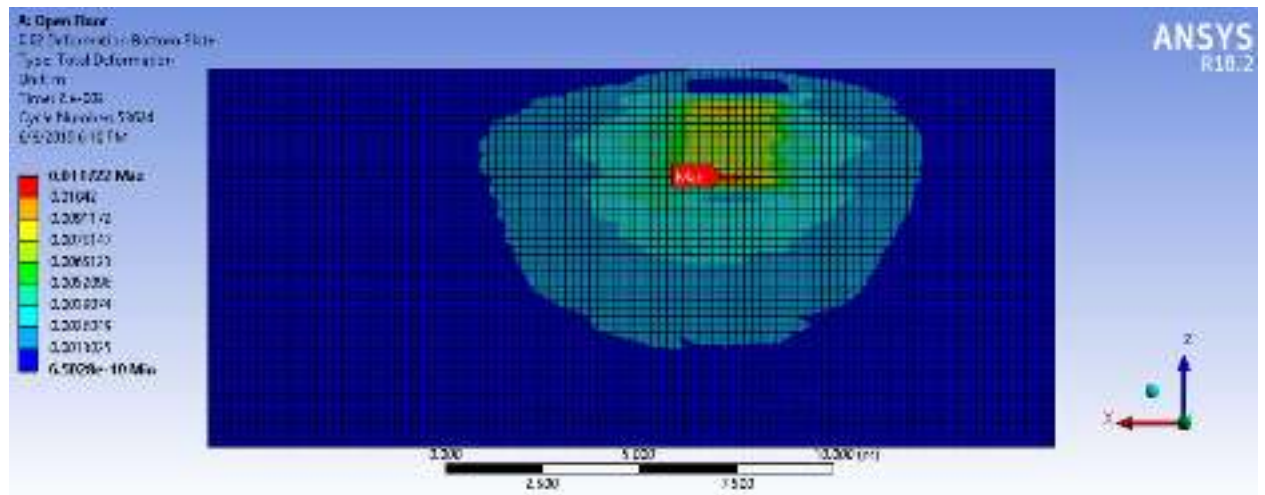
Detik 0,016



Detik 0,018

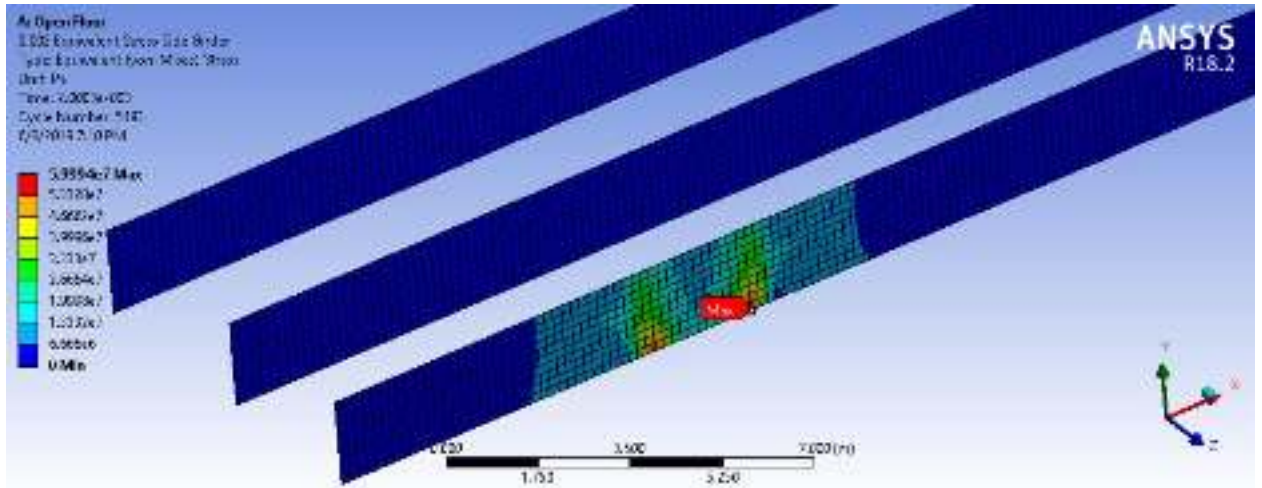


Detik 0,02

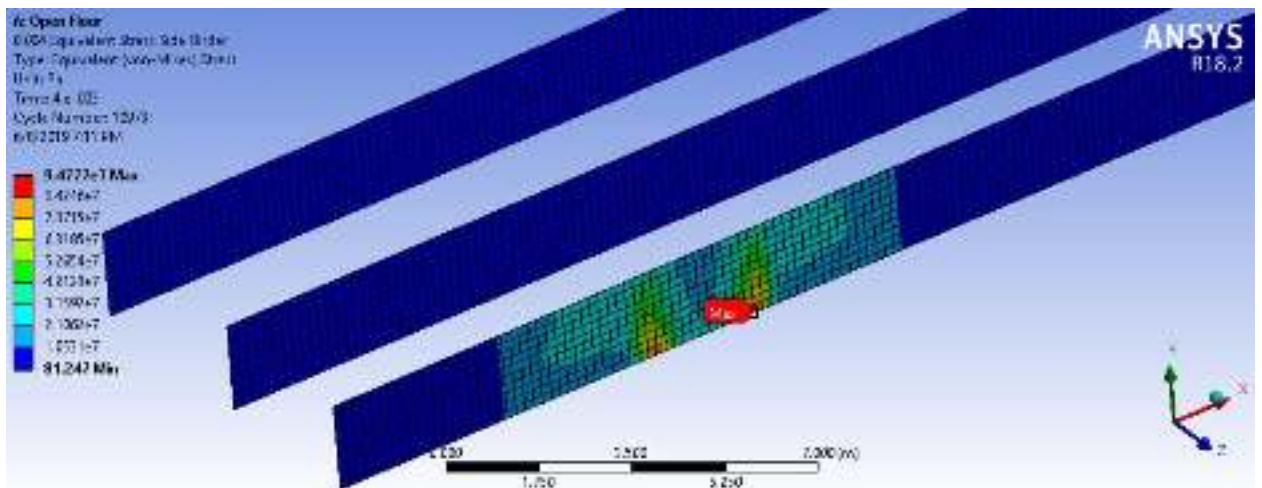


Tegangan pada *Side Girder (Open Floor)*

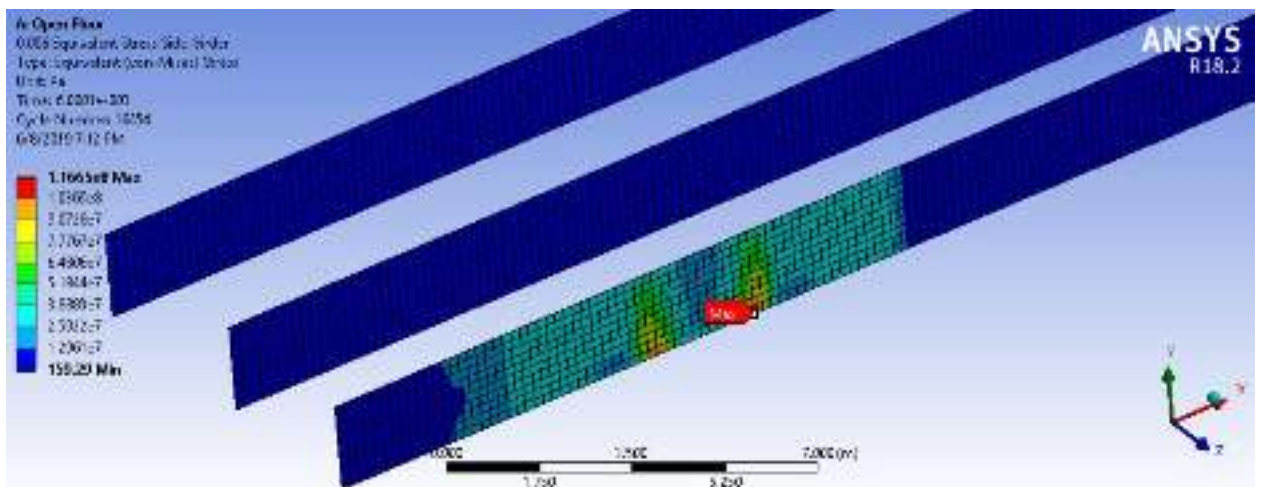
Detik 0,002



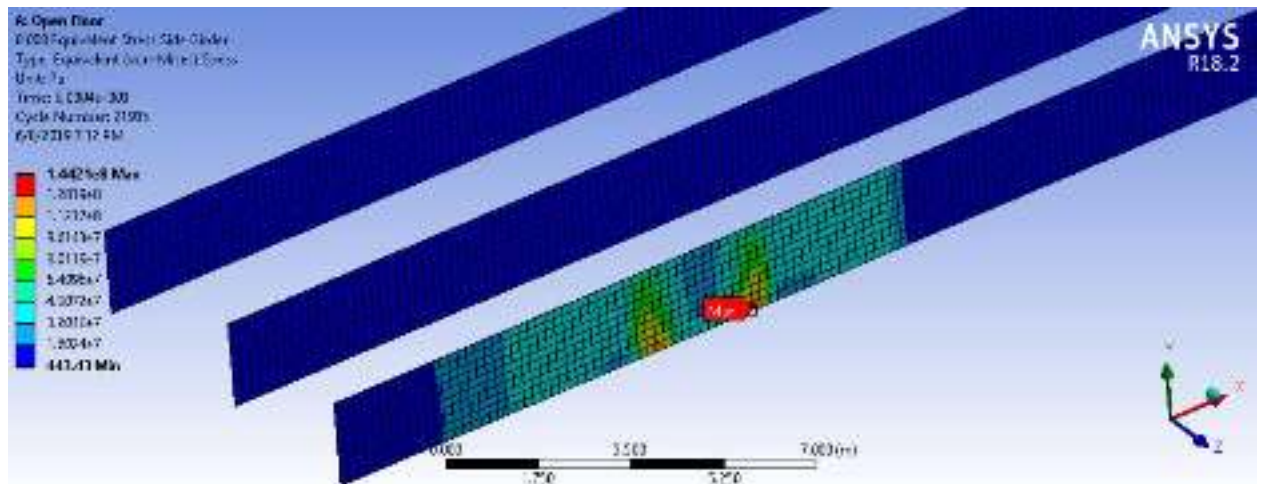
Detik 0,004



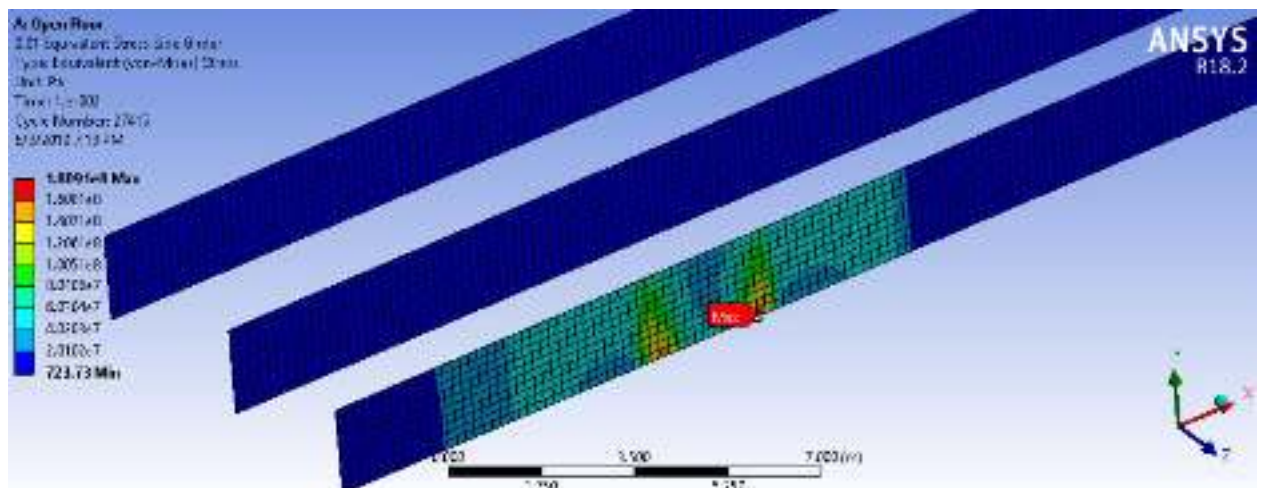
Detik 0,006



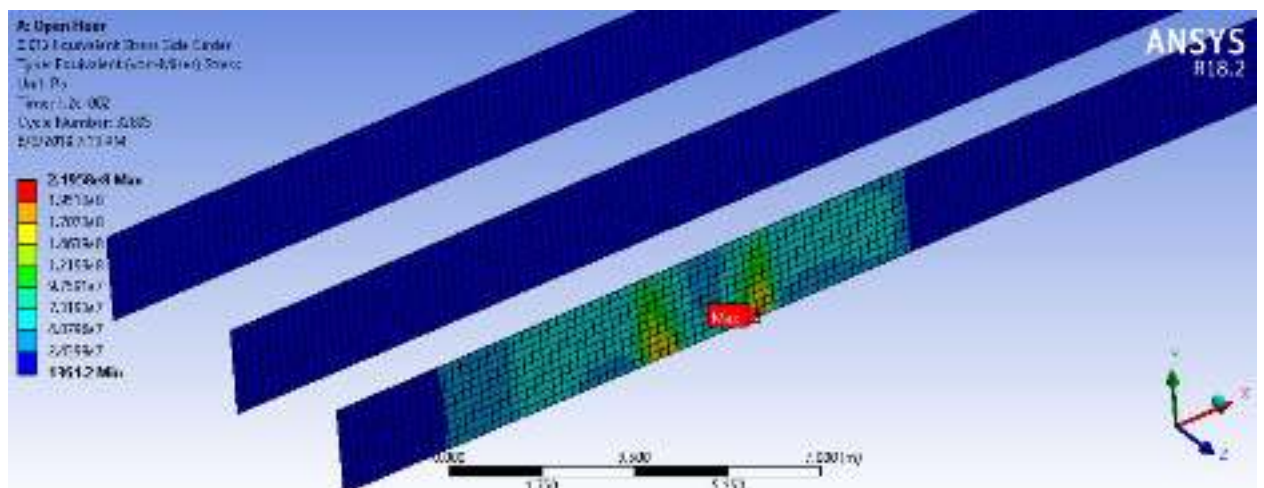
Detik 0,008



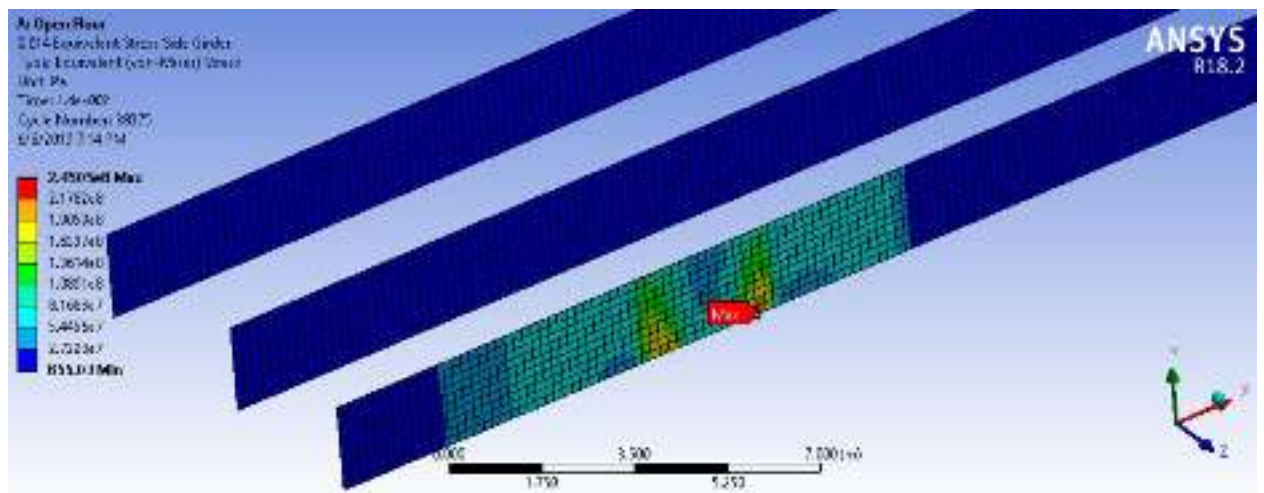
Detik 0,01



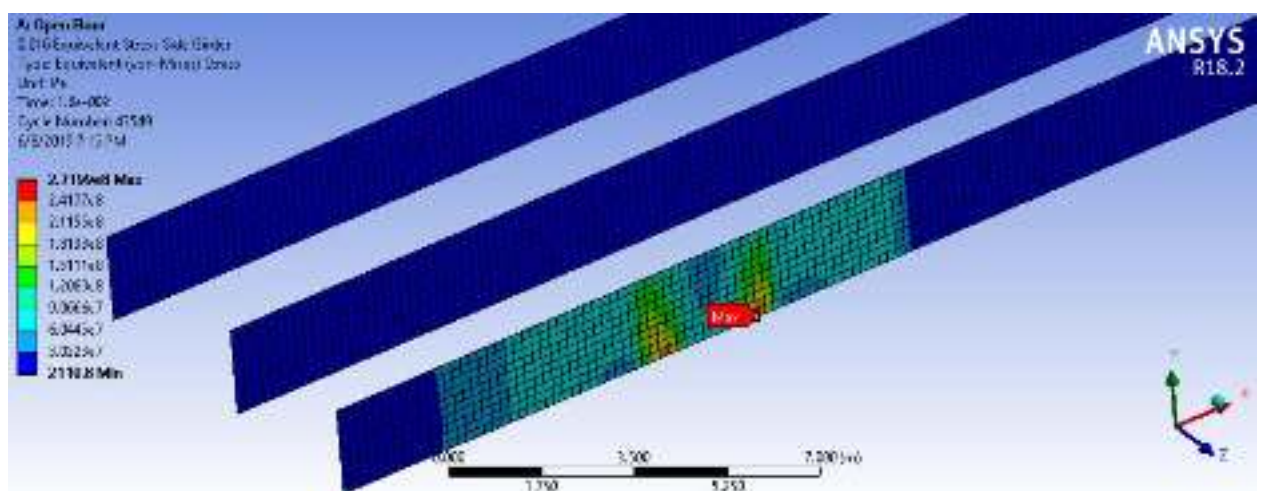
Detik 0,012



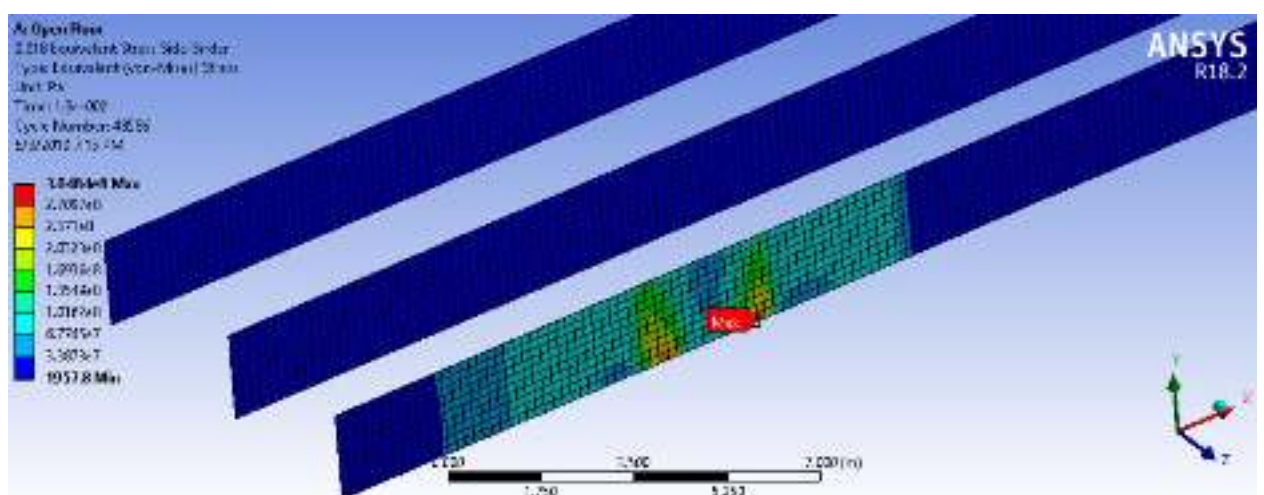
Detik 0,014



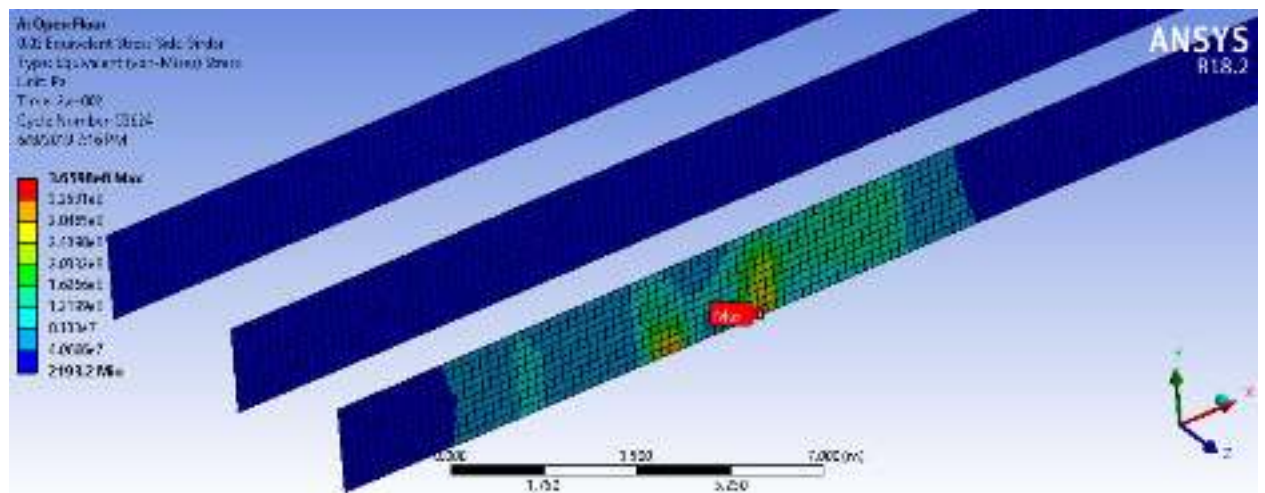
Detik 0,016



Detik 0,018

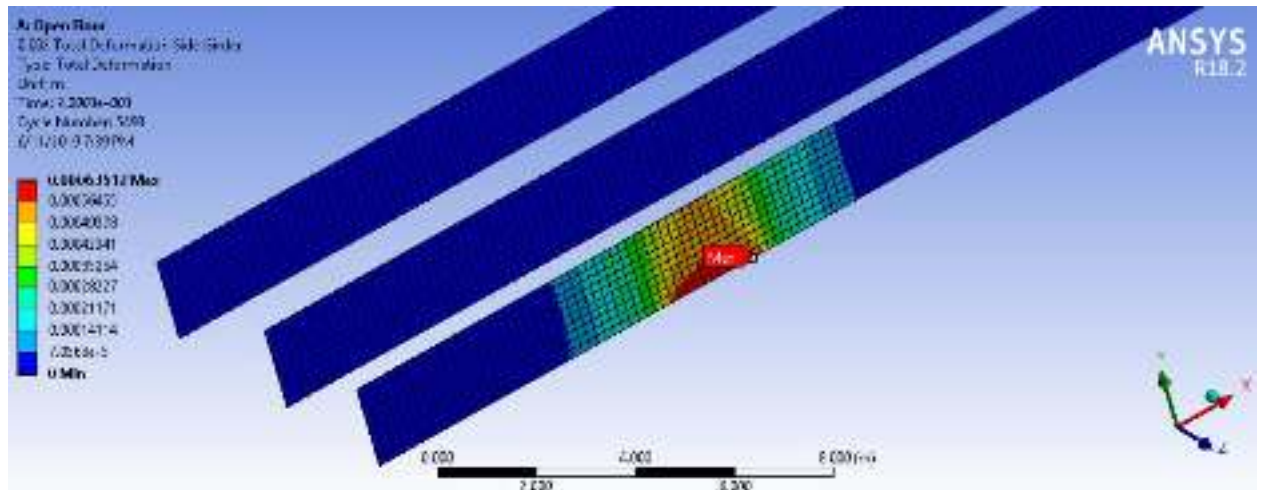


Detik 0,02

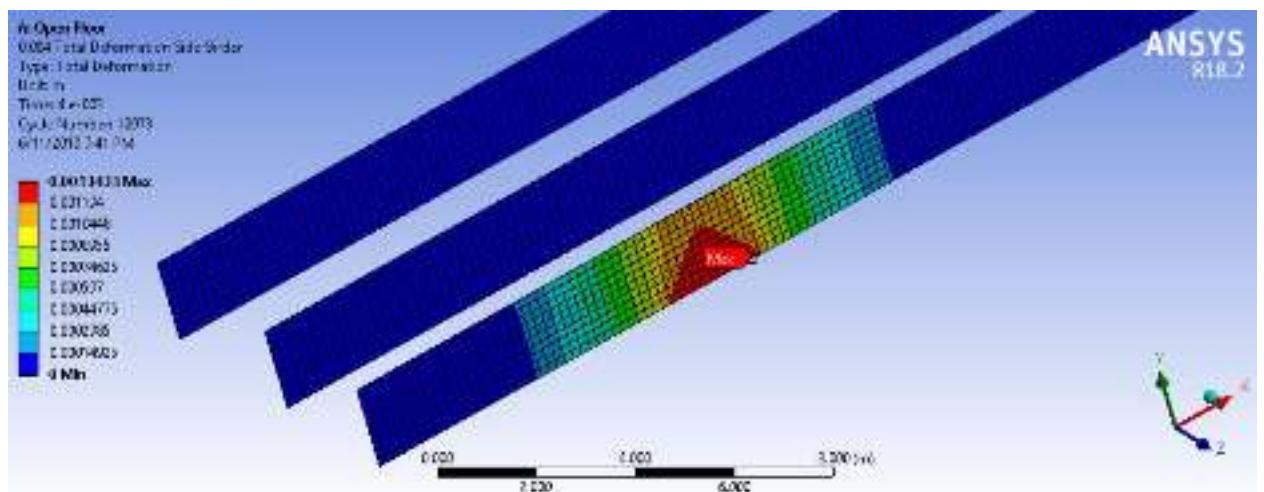


Deformasi pada *Side Girder (Open Floor)*

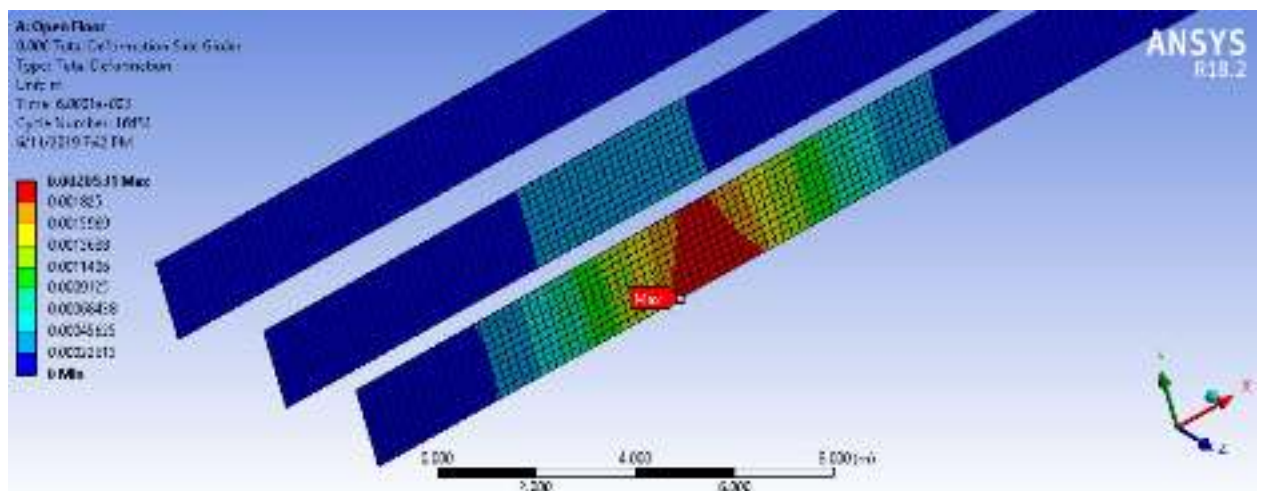
Detik 0,002



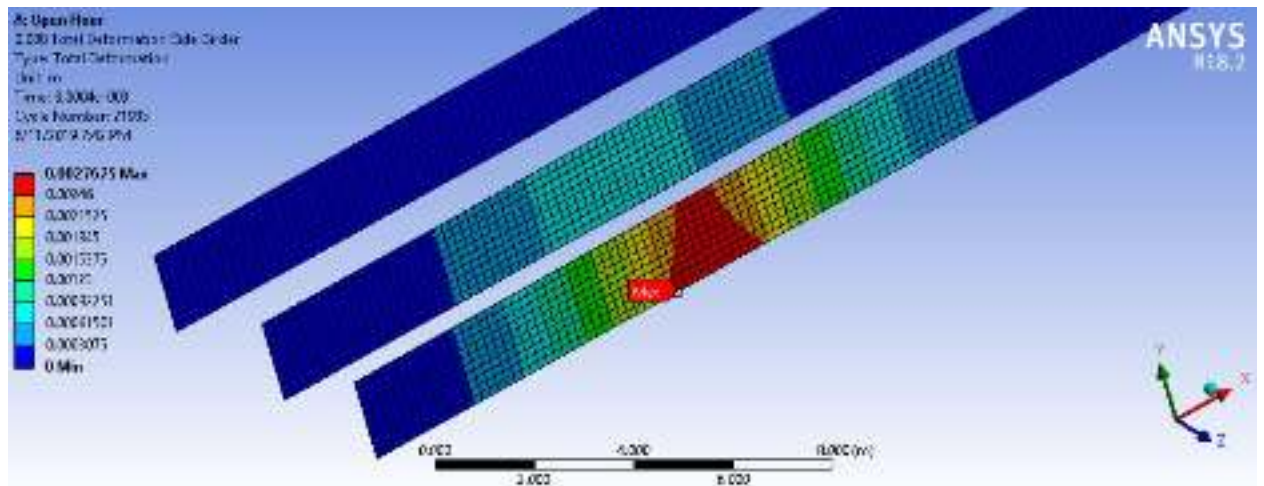
Detik 0,004



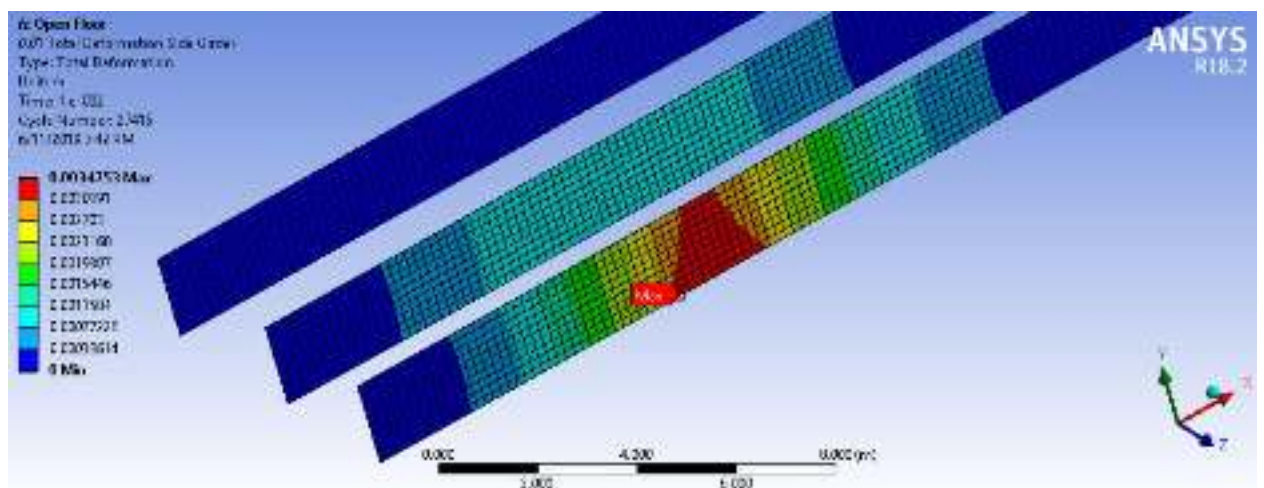
Detik 0,006



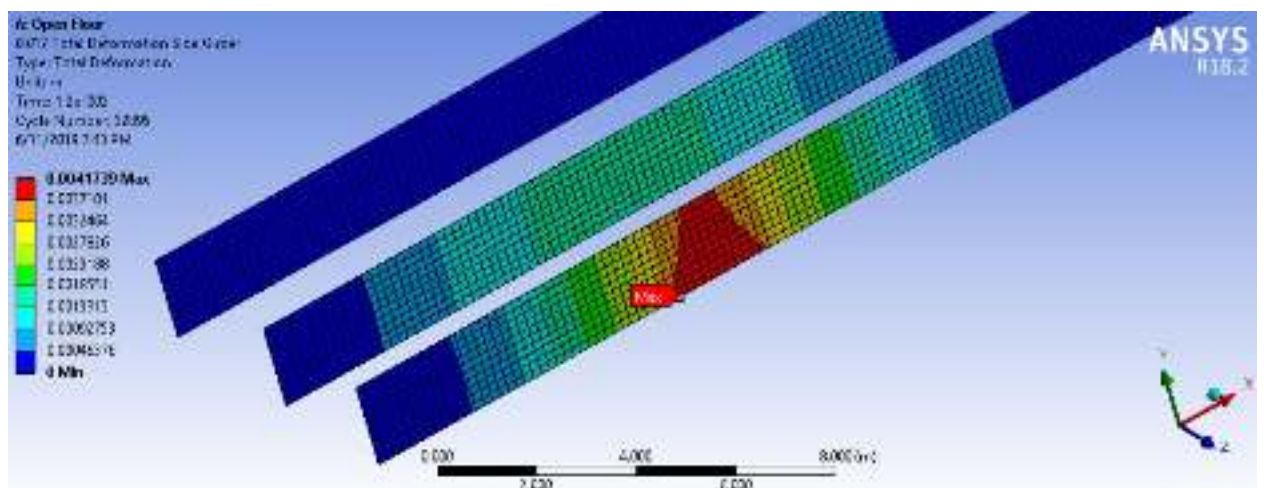
Detik 0,008



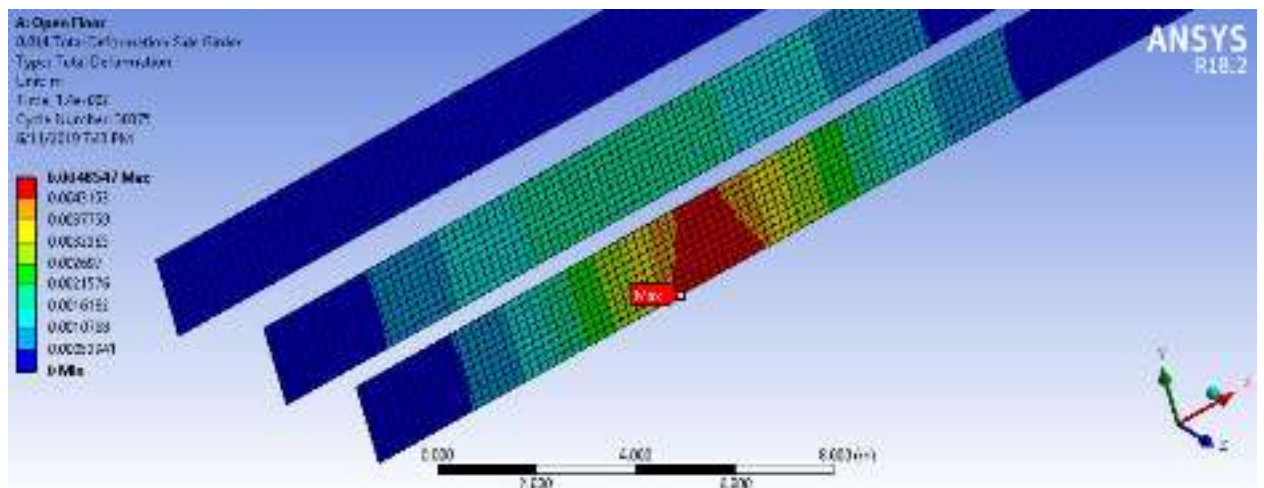
Detik 0,01



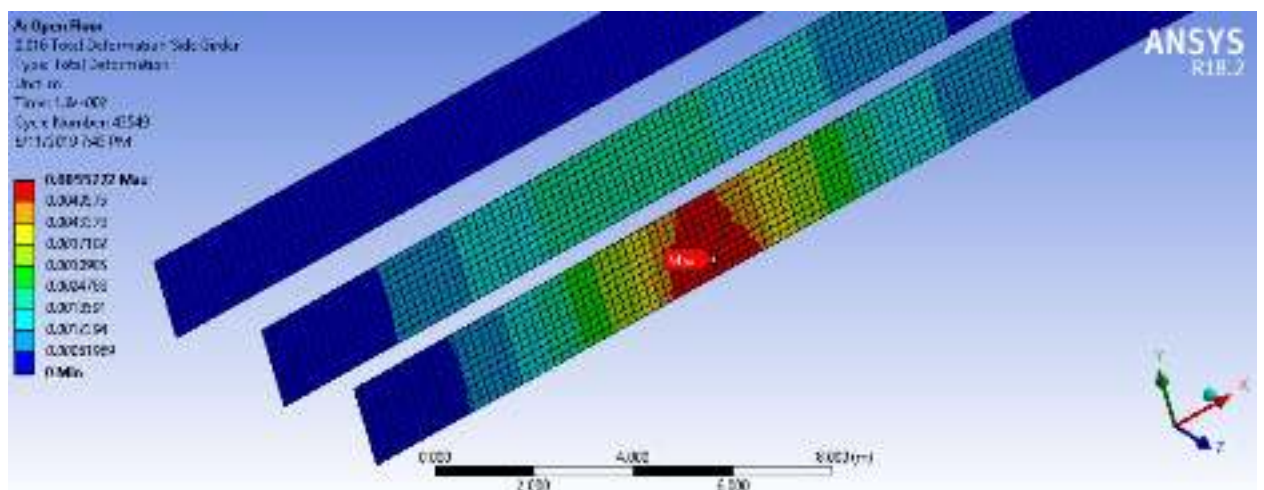
Detik 0,012



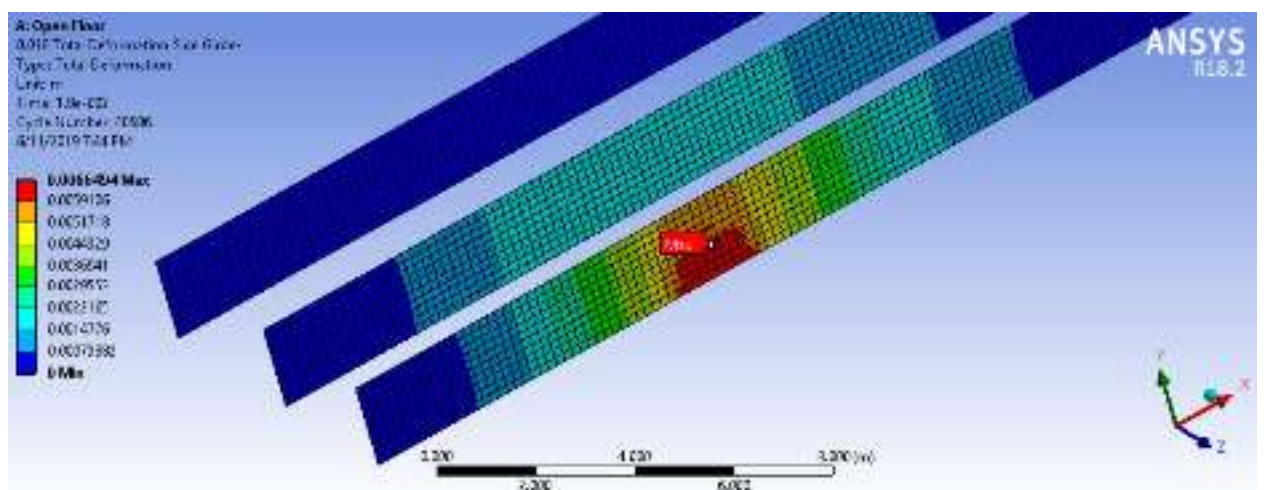
Detik 0,014



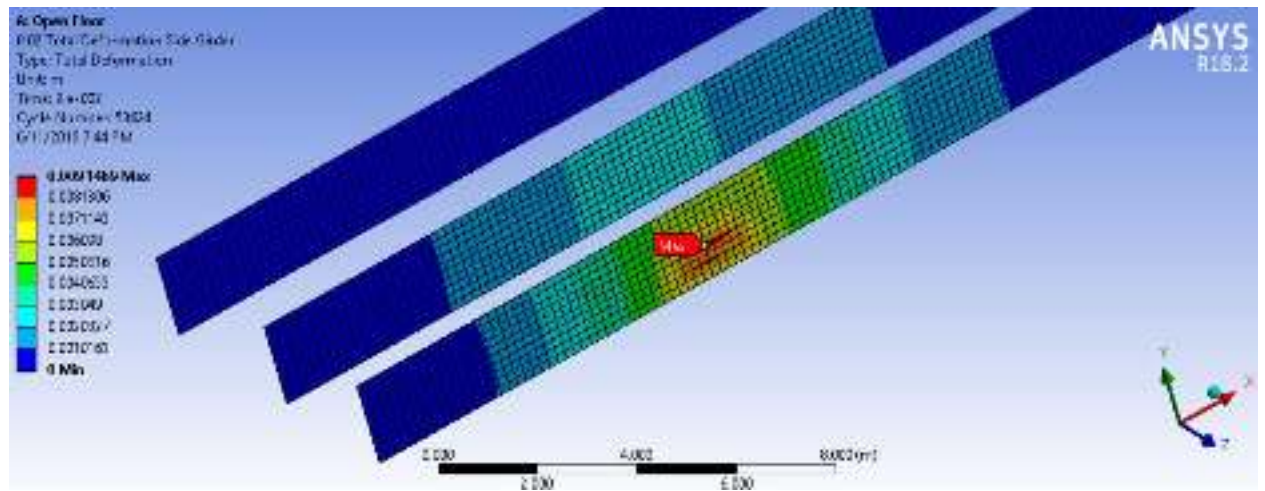
Detik 0,016



Detik 0,018

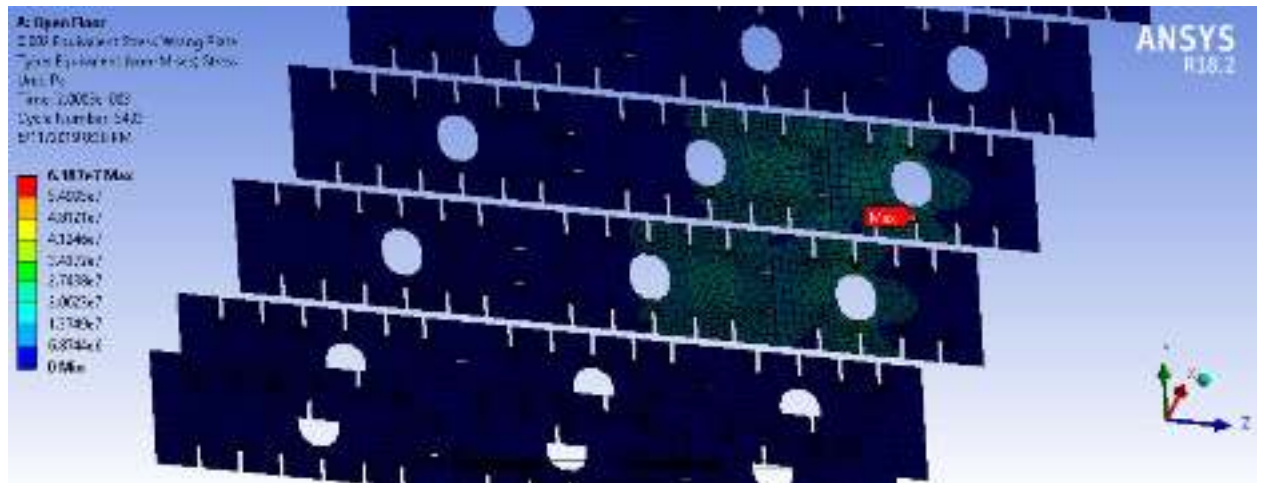


Detik 0,02

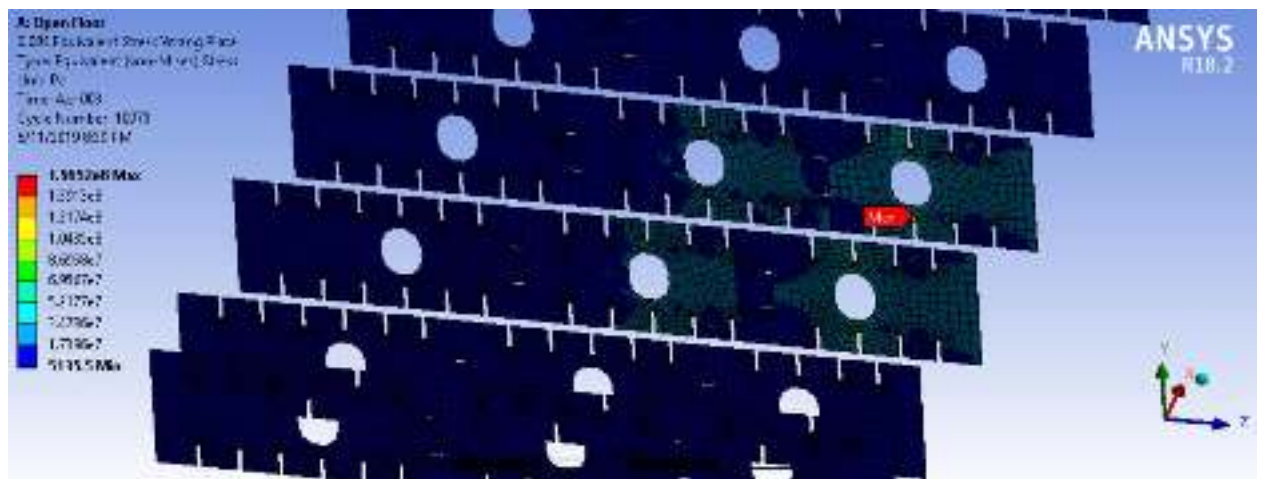


Tegangan pada *Transverse Construction (Open Floor)*

Detik 0,002



Detik 0,004



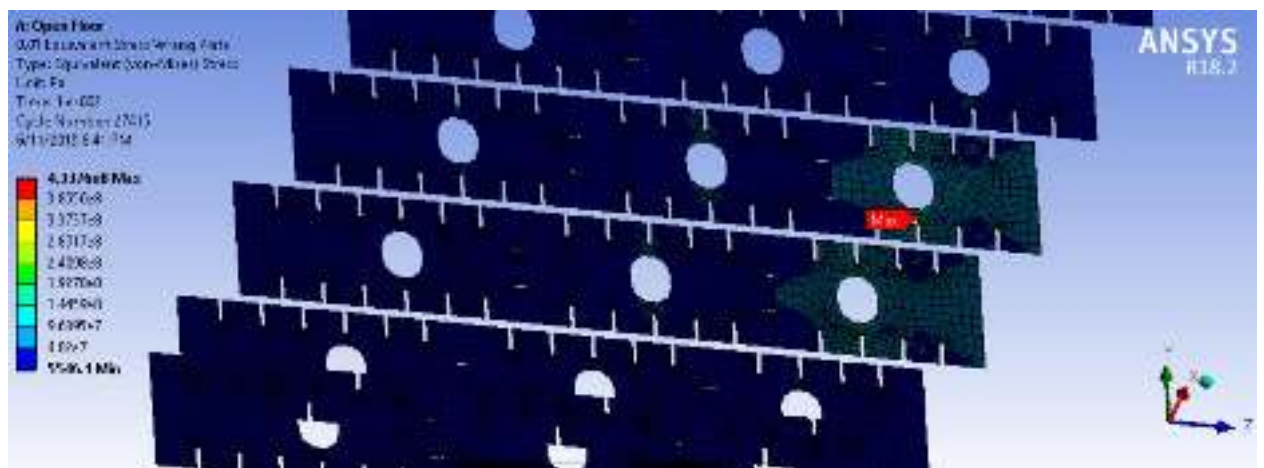
Detik 0,006



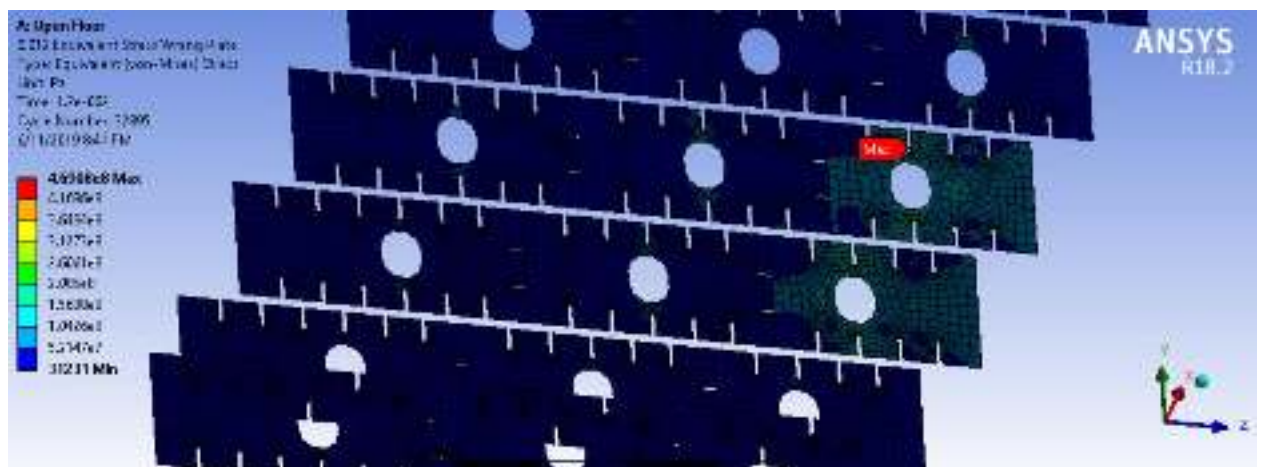
Detik 0,008



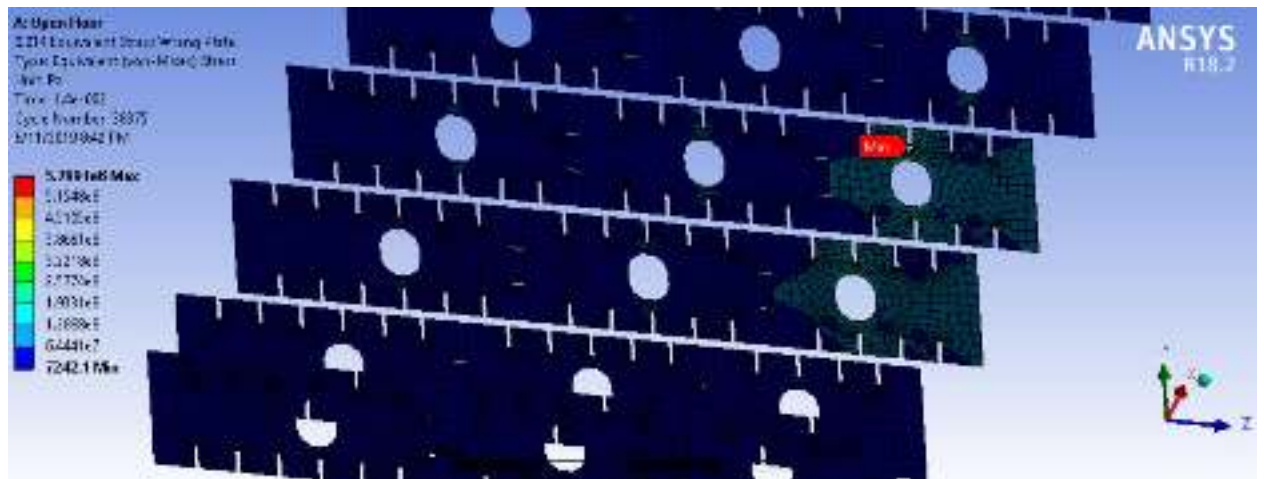
Detik 0,01



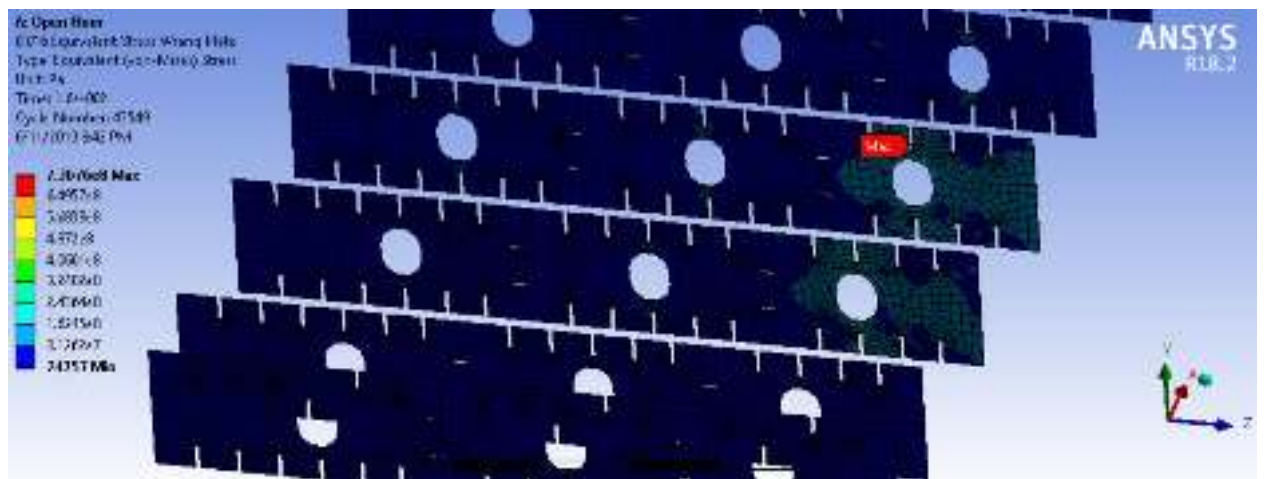
Detik 0,012



Detik 0,014



Detik 0,016



Detik 0,018

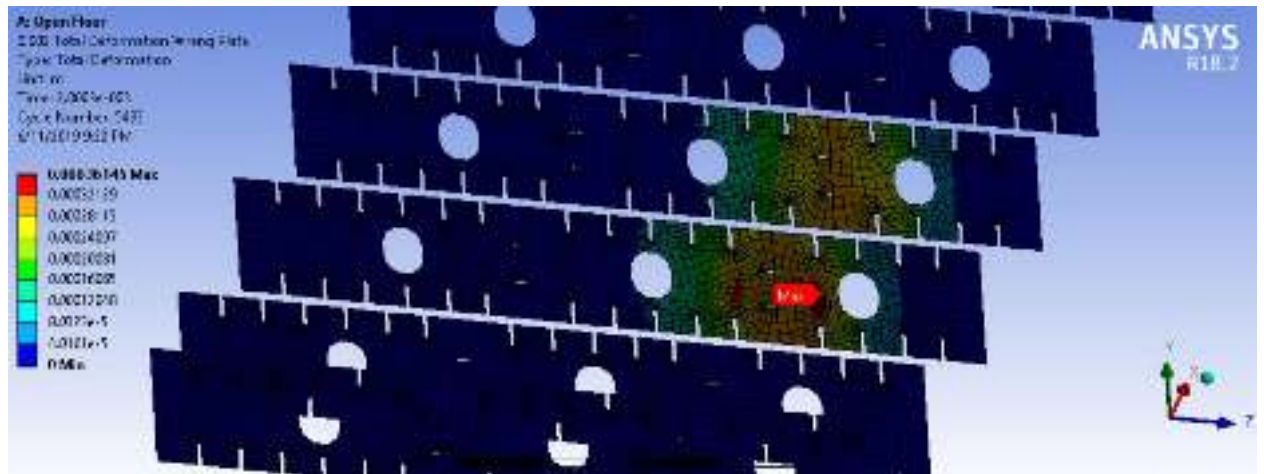


Detik 0,02

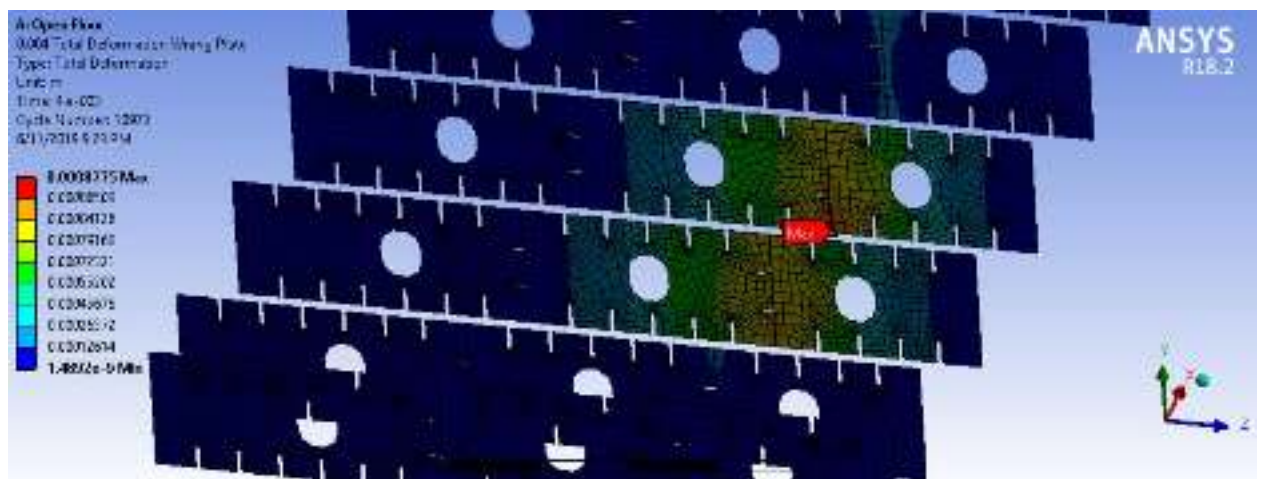


Deformasi pada *Transverse Construction (Open Floor)*

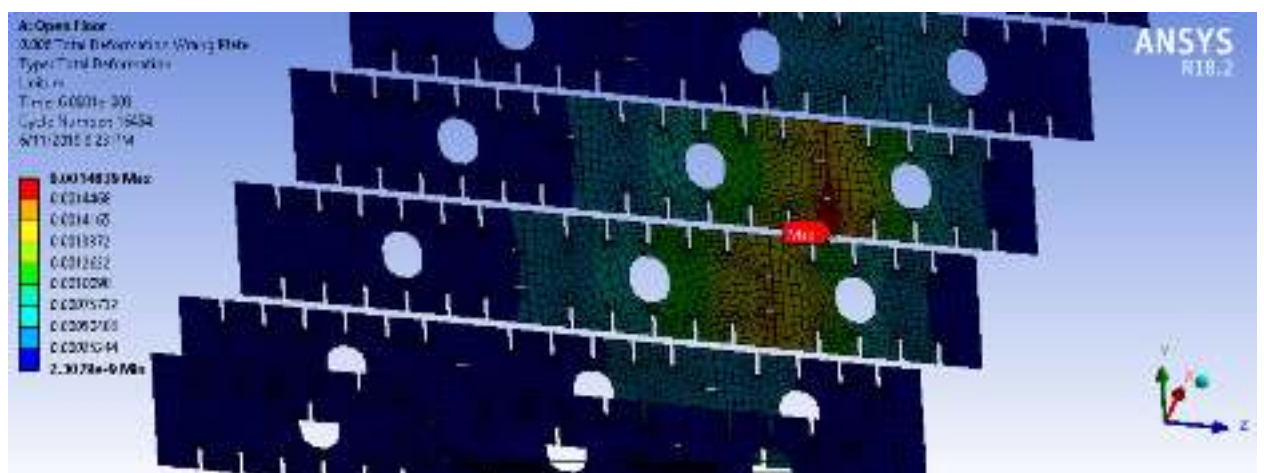
Detik 0,002



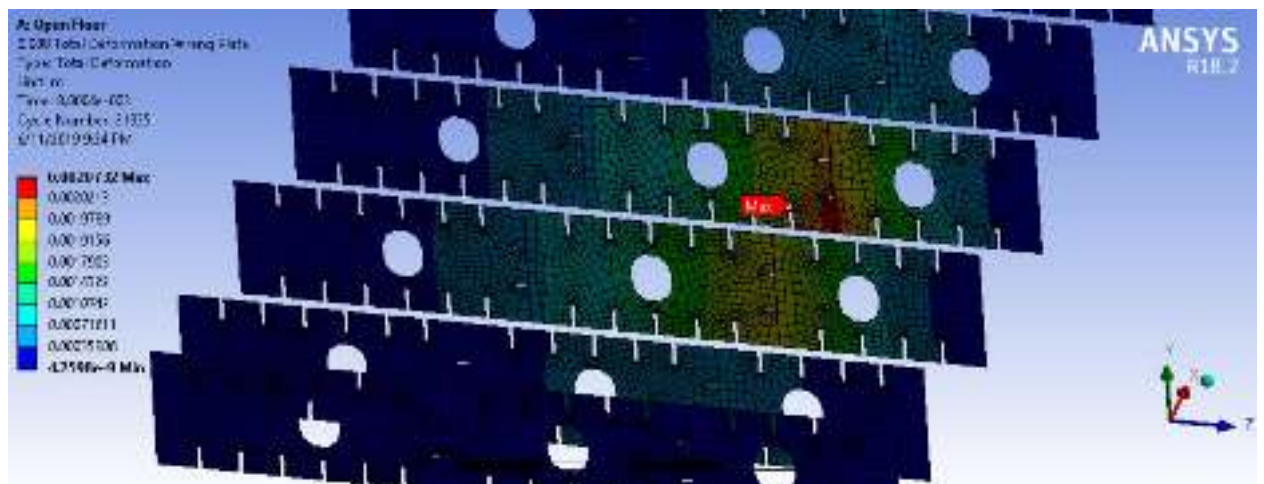
Detik 0,004



Detik 0,006



Detik 0,008



Detik 0,01



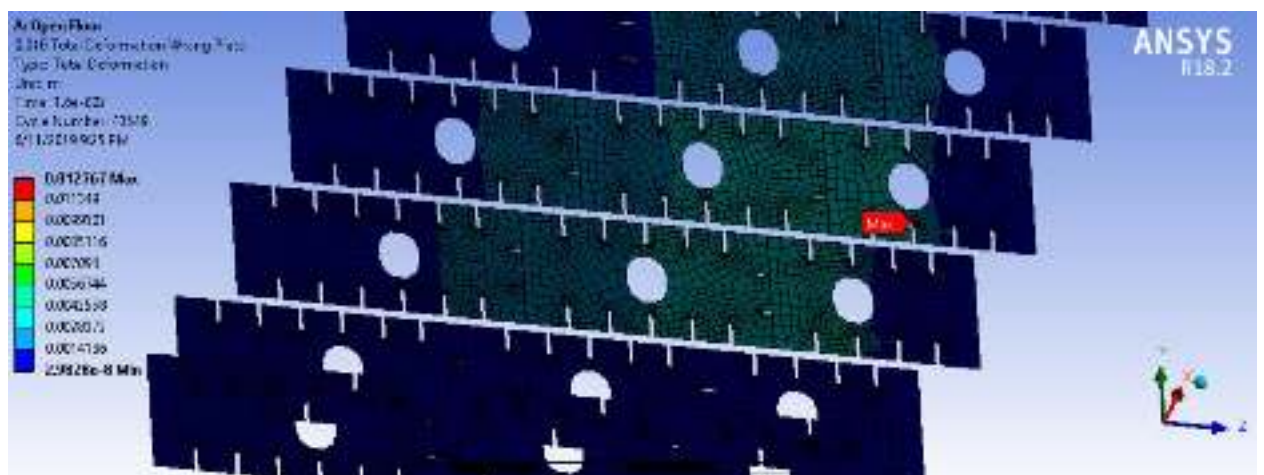
Detik 0,012



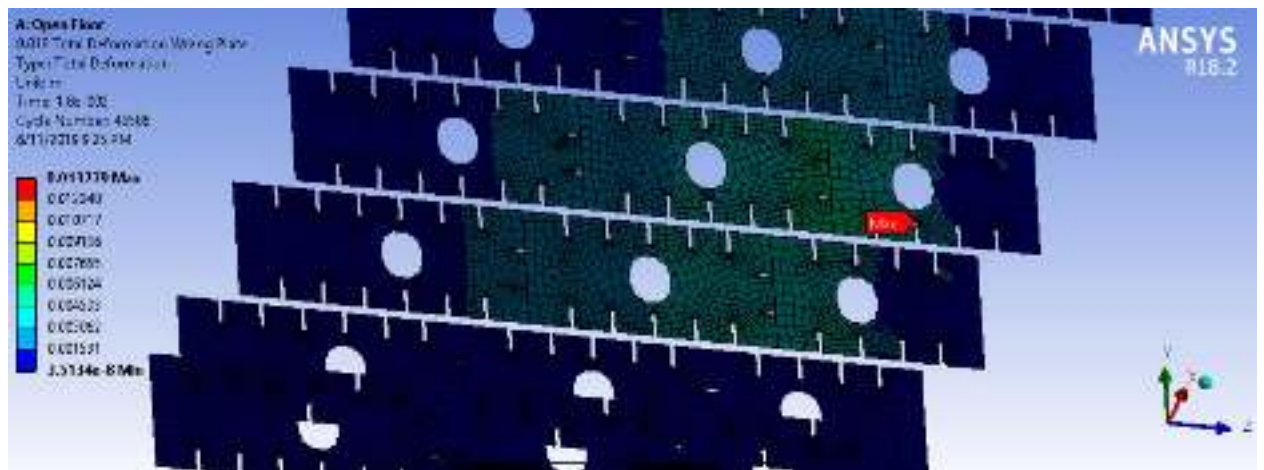
Detik 0,014



Detik 0,016



Detik 0,018



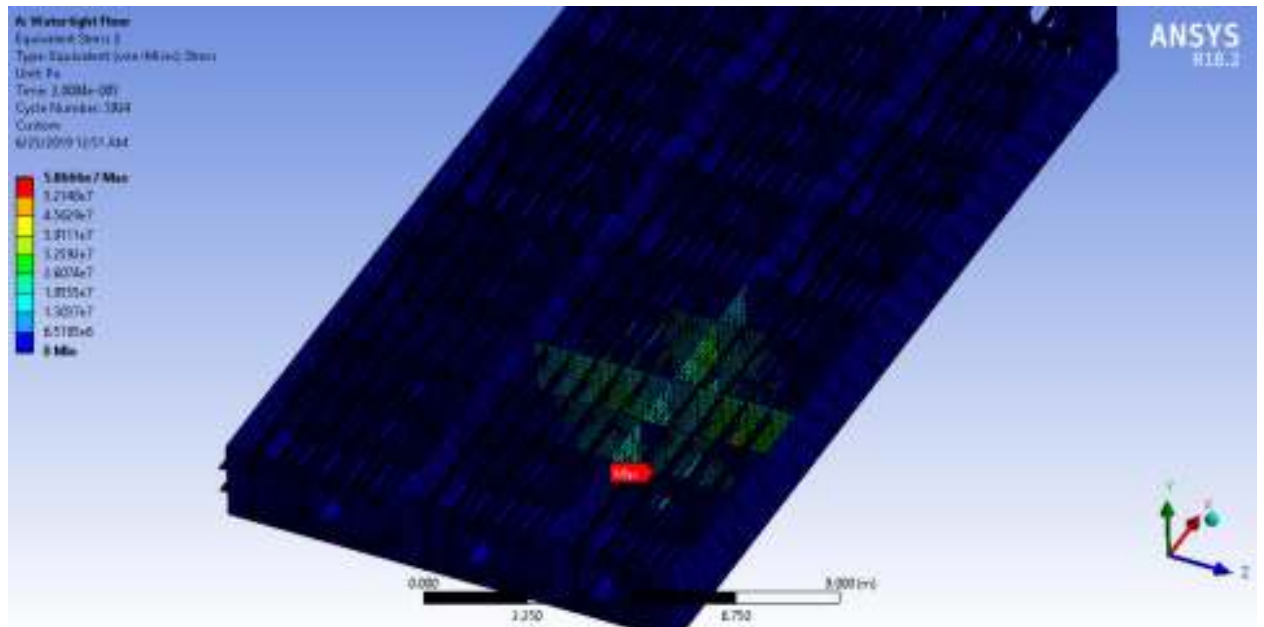
Detik 0,02



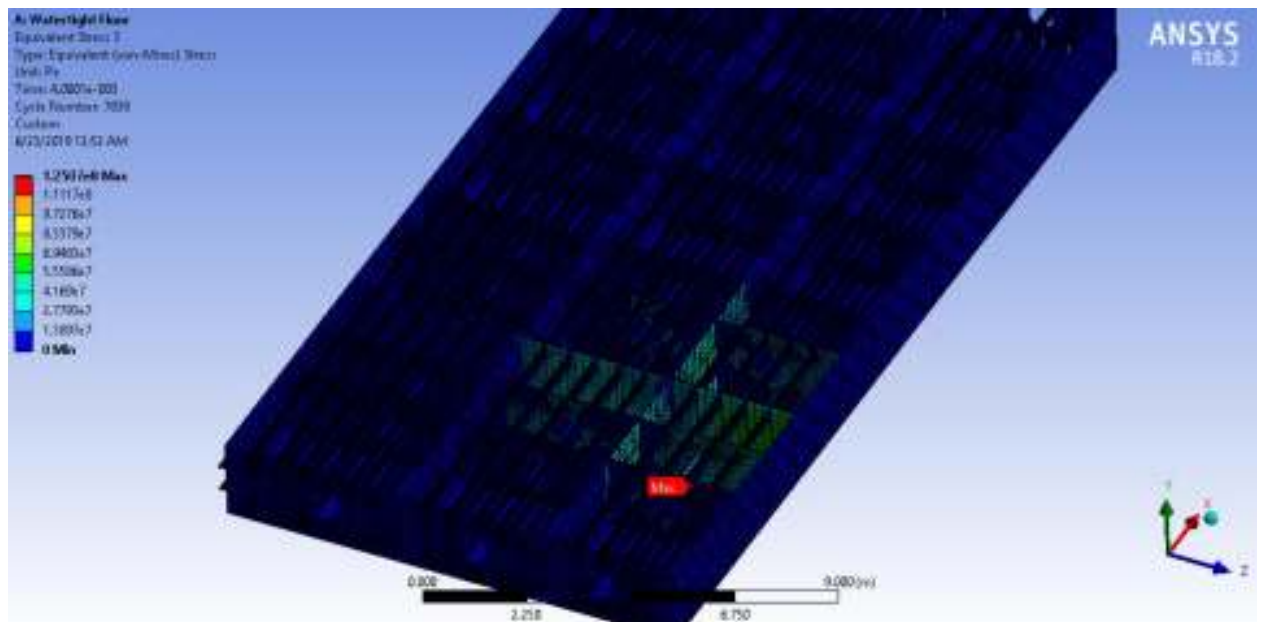
LAMPIRAN C
TEGANGAN DAN DEFORMASI SKENARIO 3

Stress Global (*Watertight floor*)

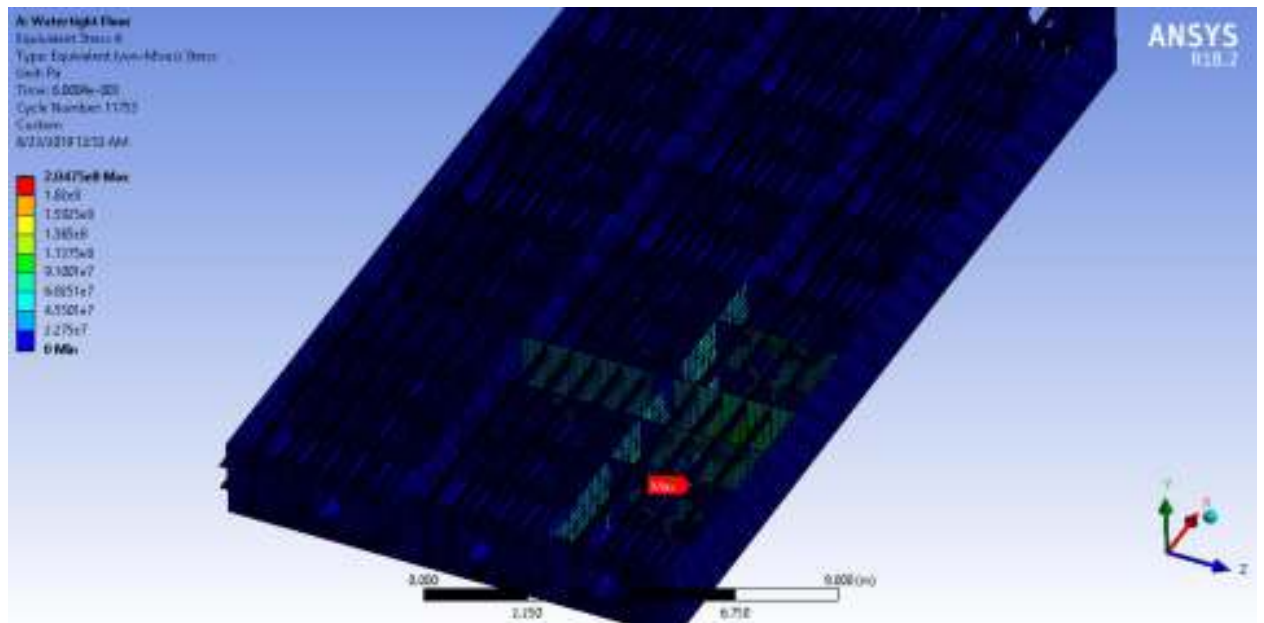
Detik 0,002



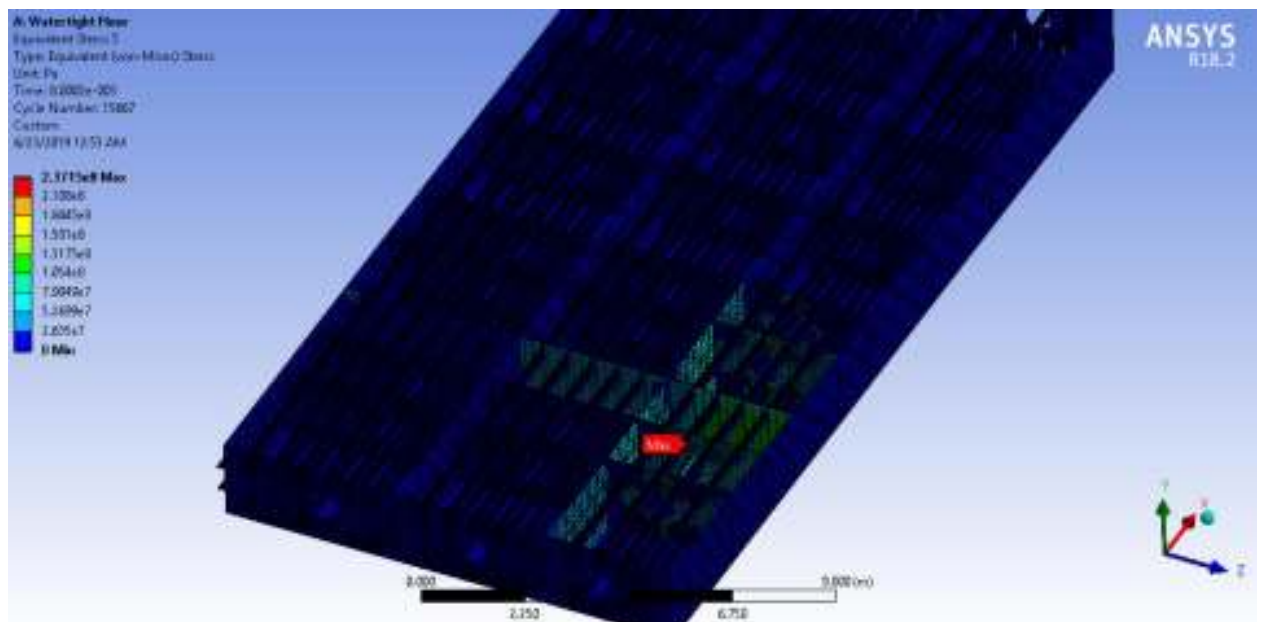
Detik 0,004



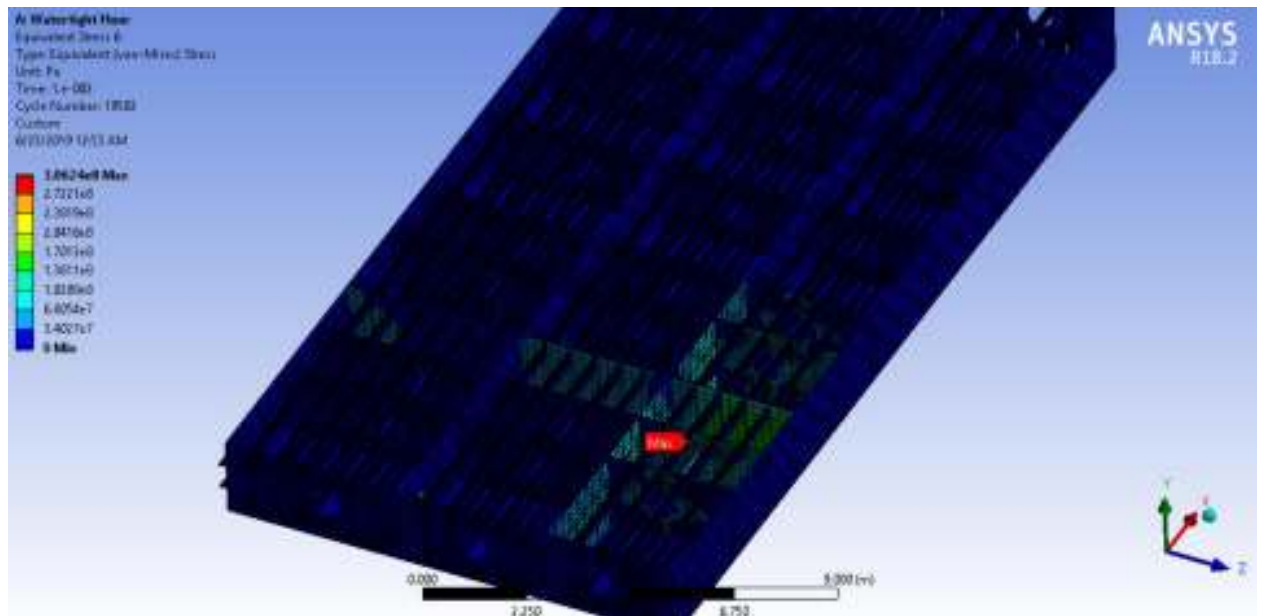
Detik 0,006



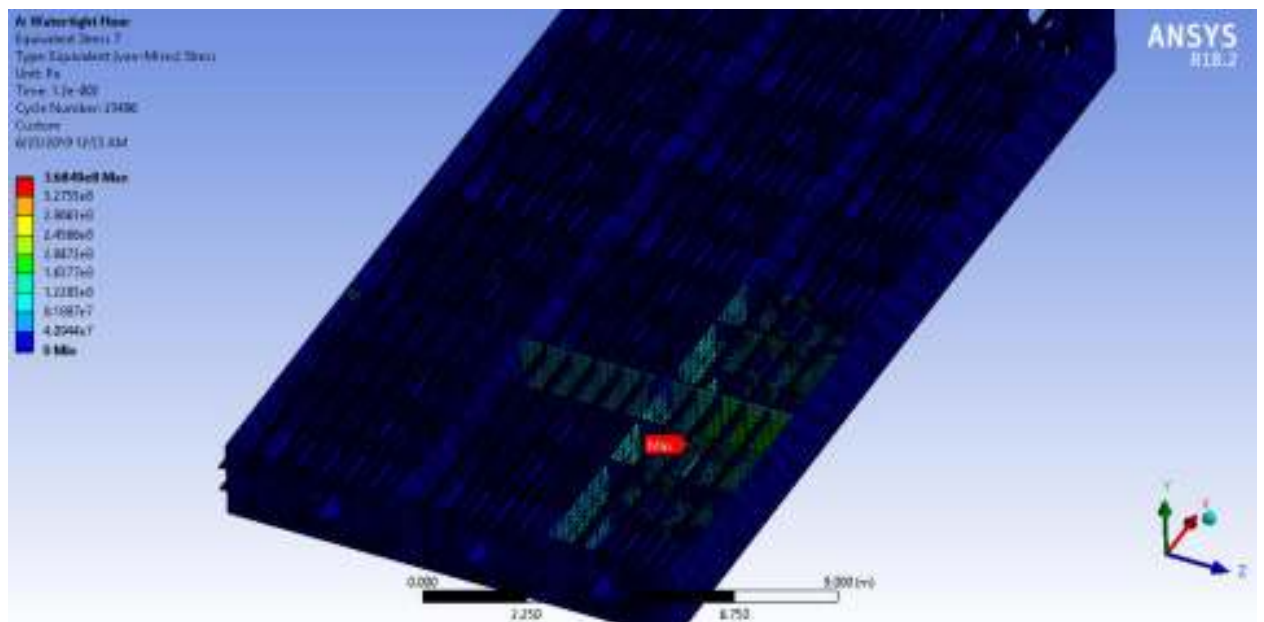
Detik 0,008



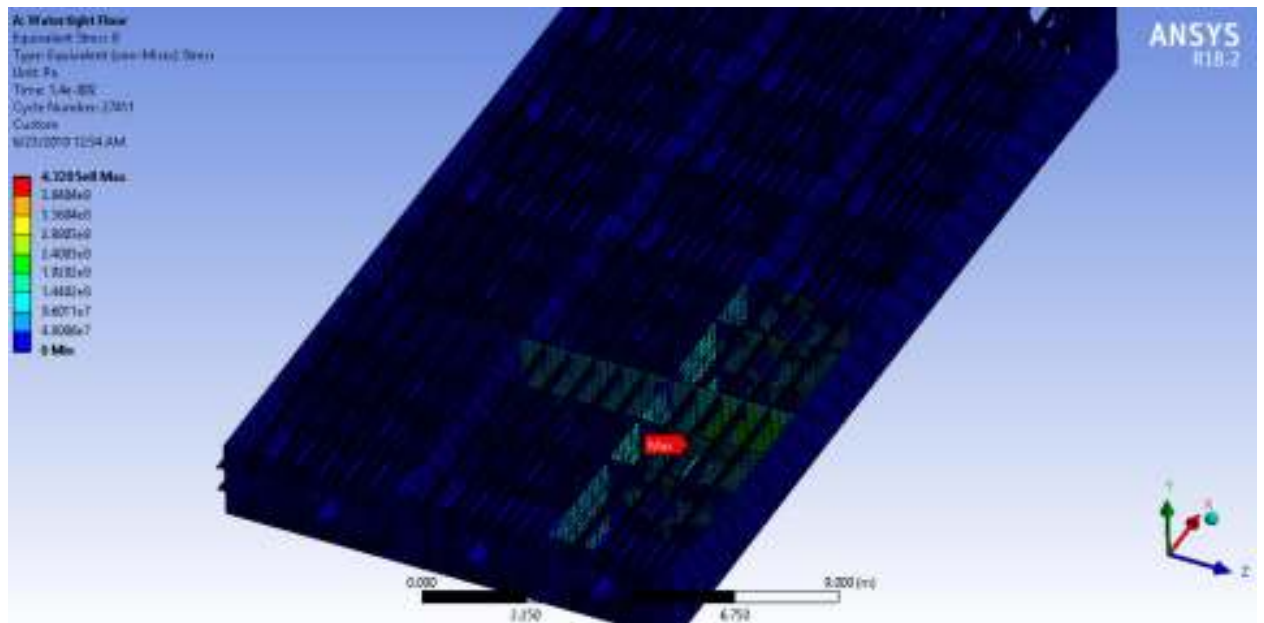
Detik 0,01



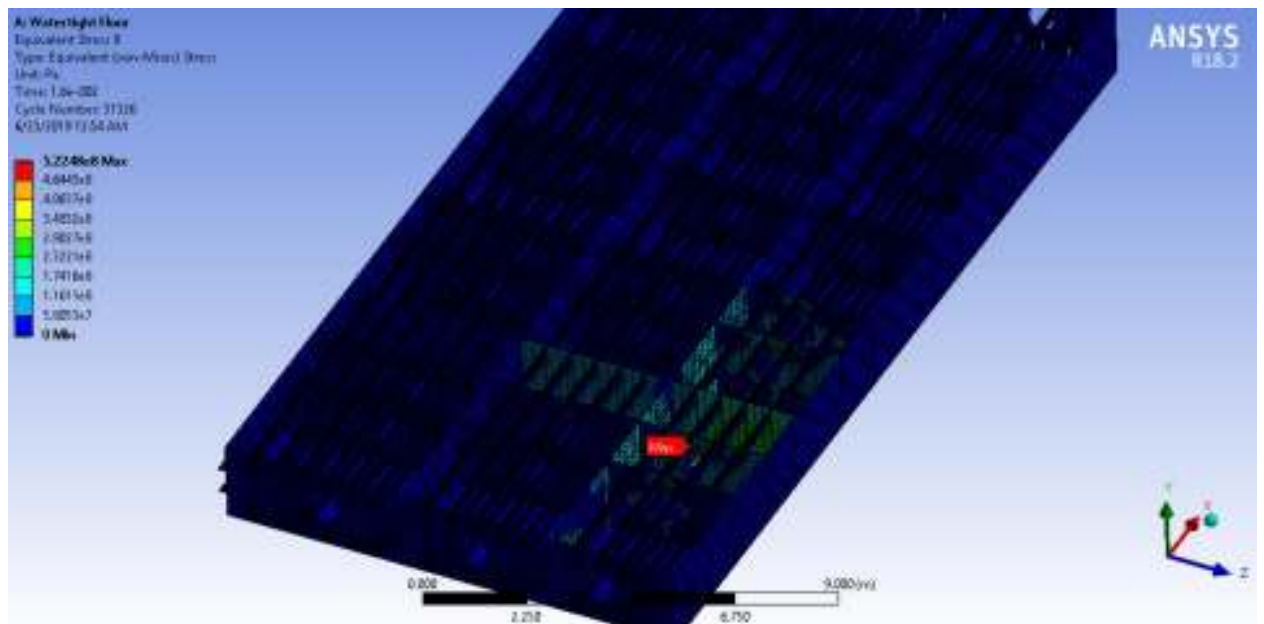
Detik 0,012



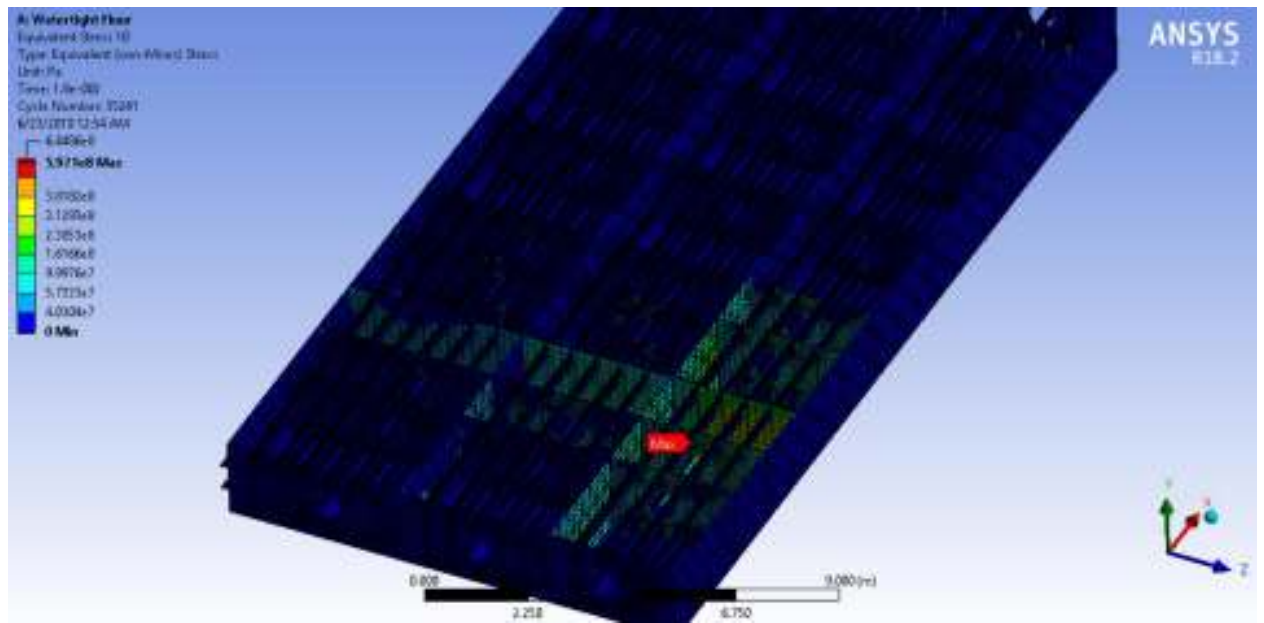
Detik 0,014



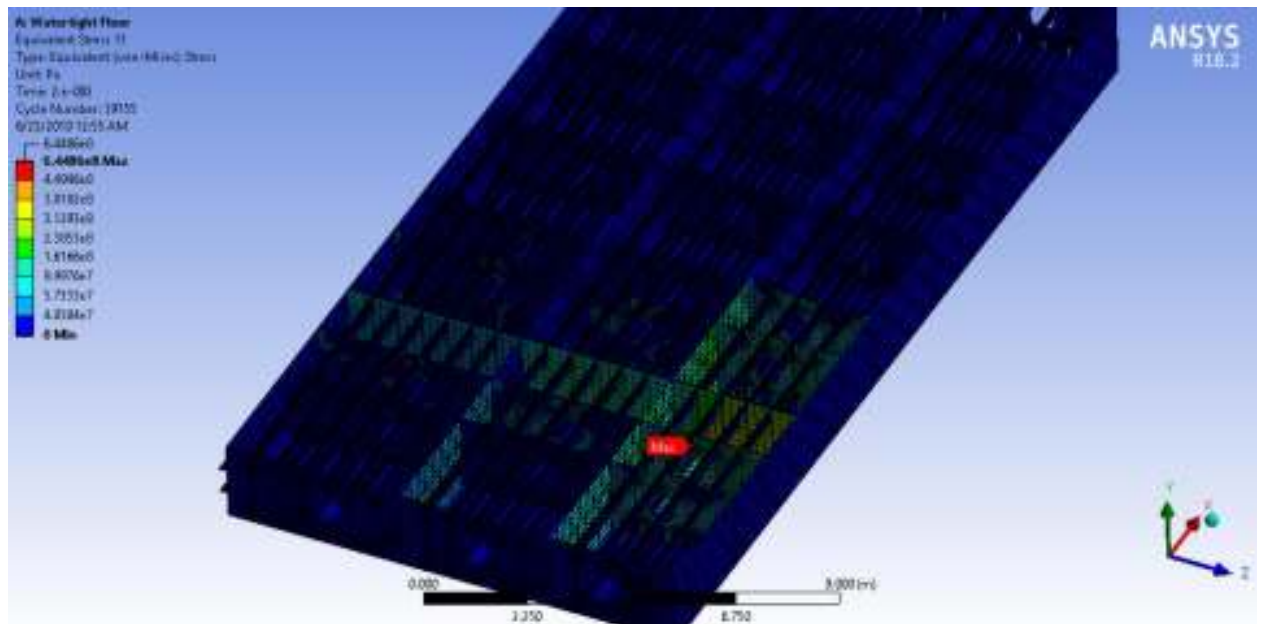
Detik 0,016



Detik 0,018

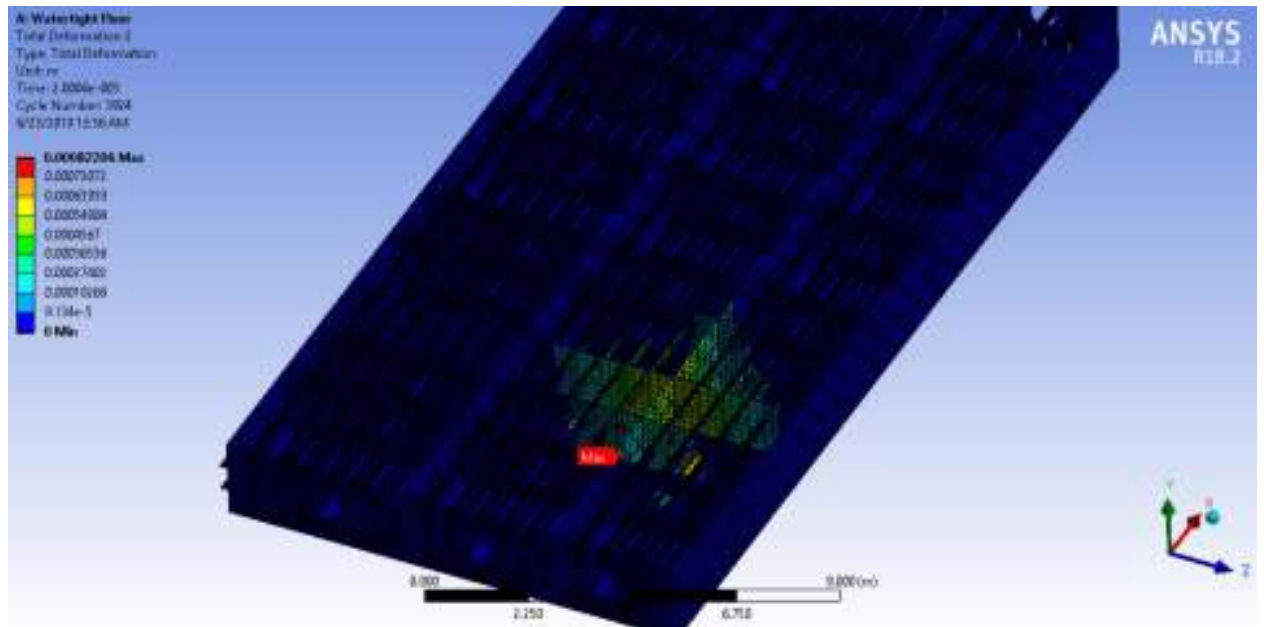


Detik 0,02

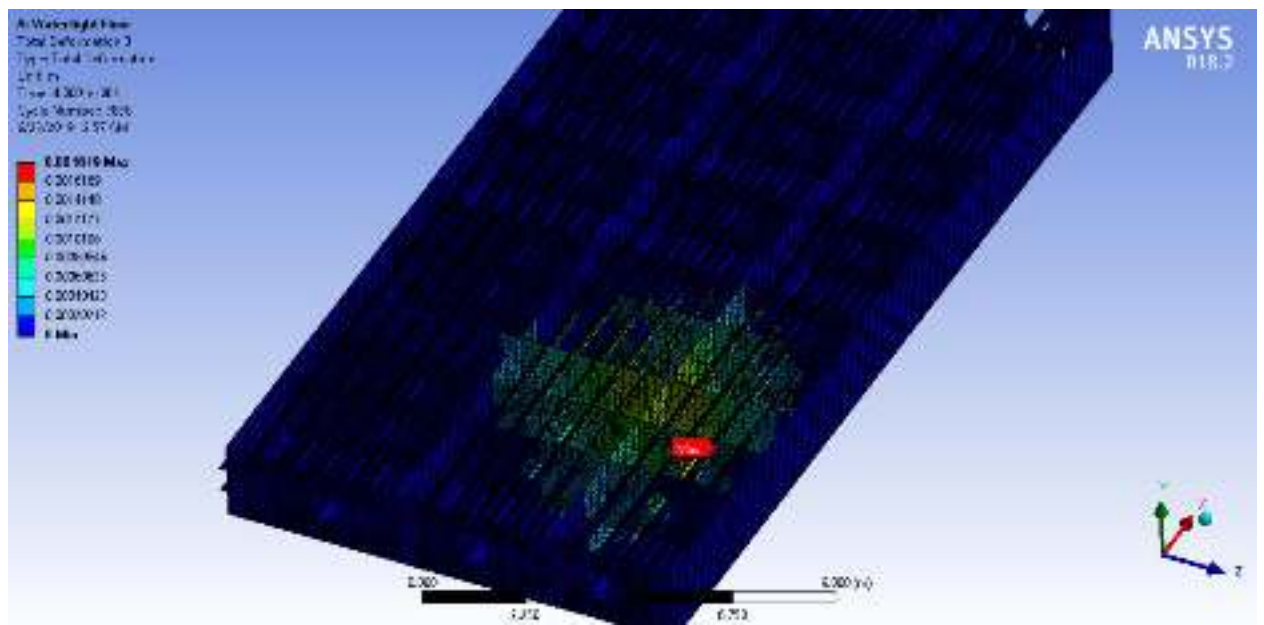


Deformasi Global (*Watertight floor*)

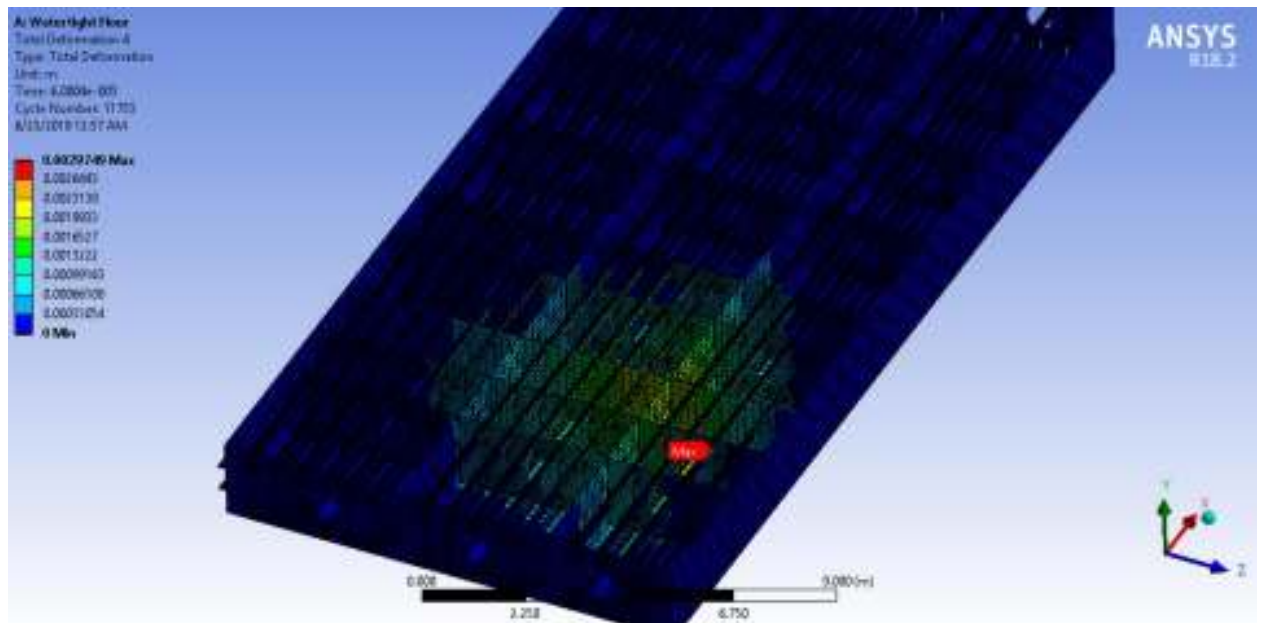
Detik 0,002



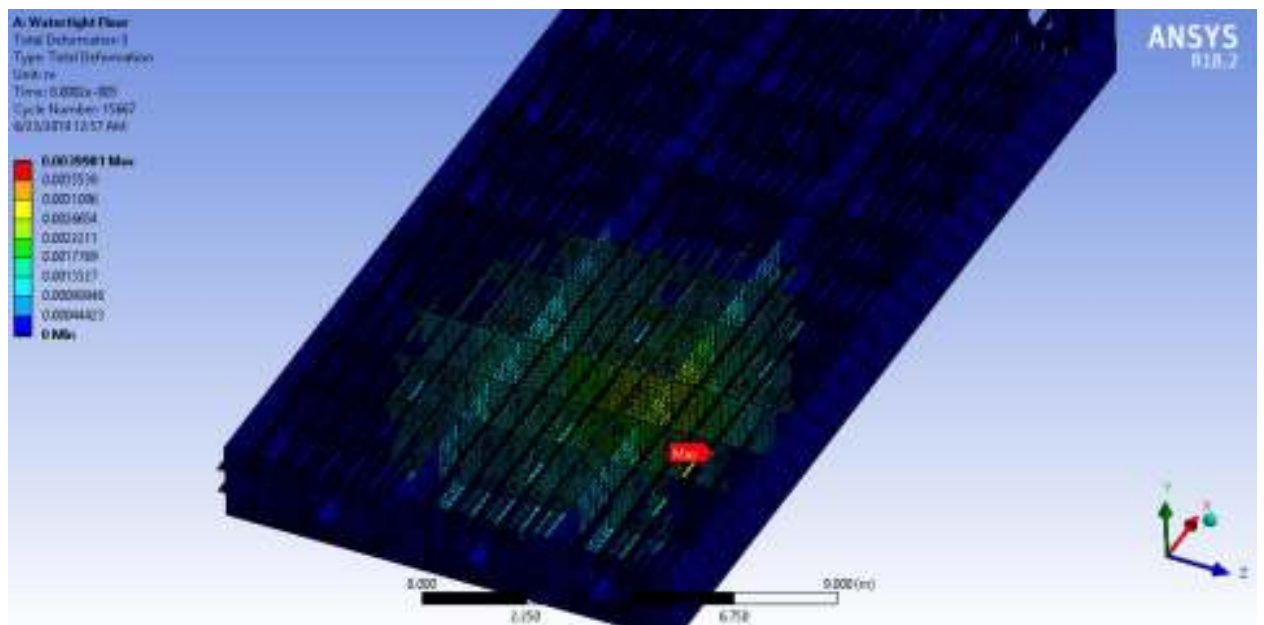
Detik 0,004



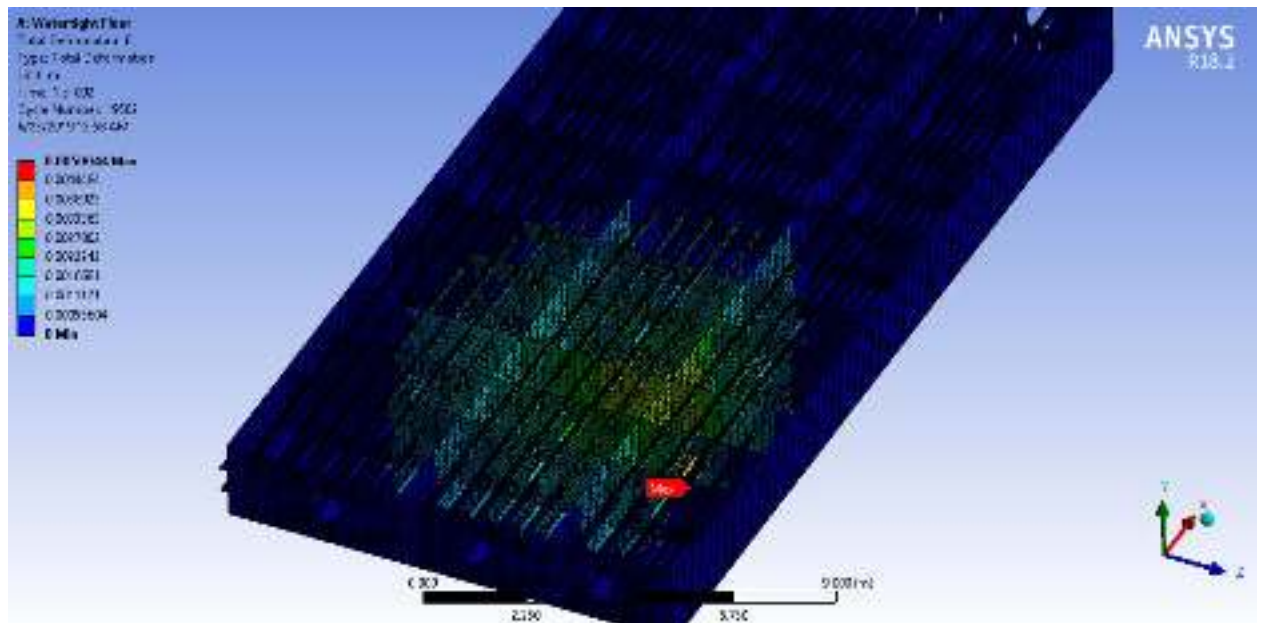
Detik 0,006



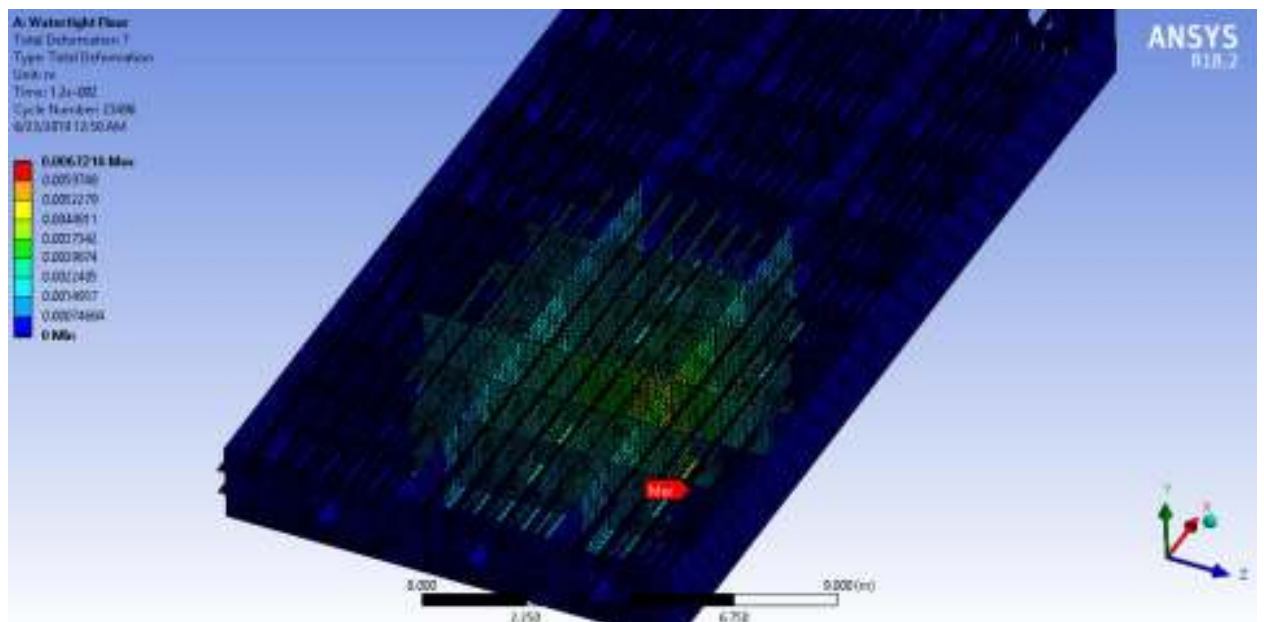
Detik 0,008



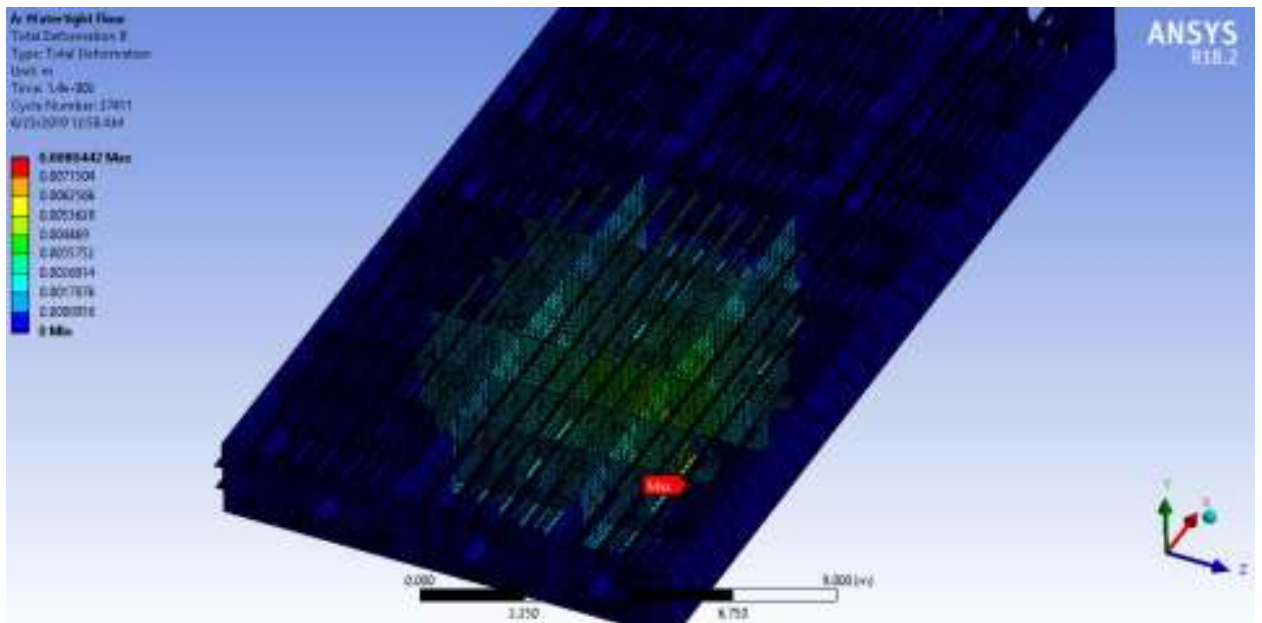
Detik 0,01



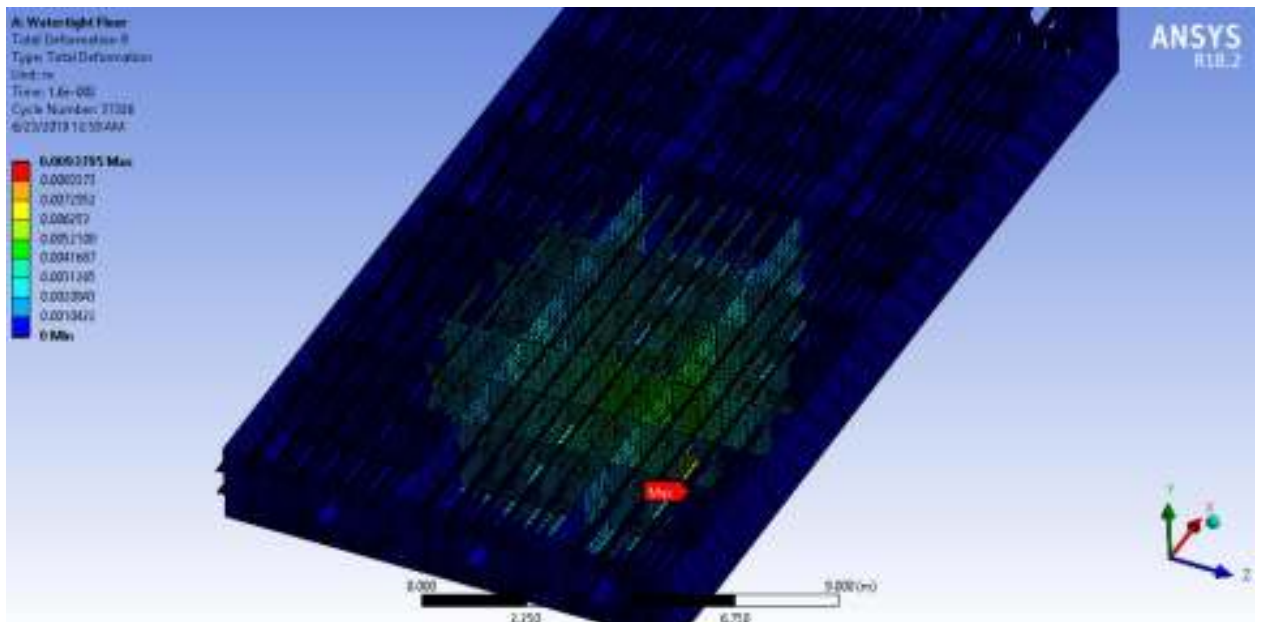
Detik 0,012



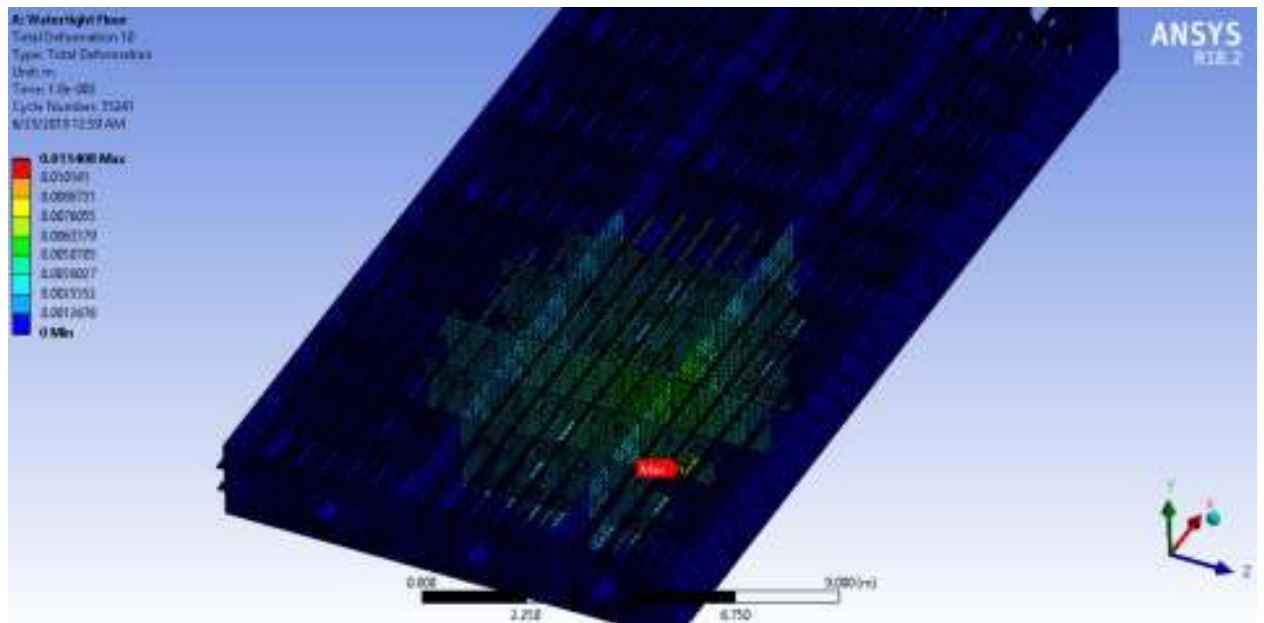
Detik 0,014



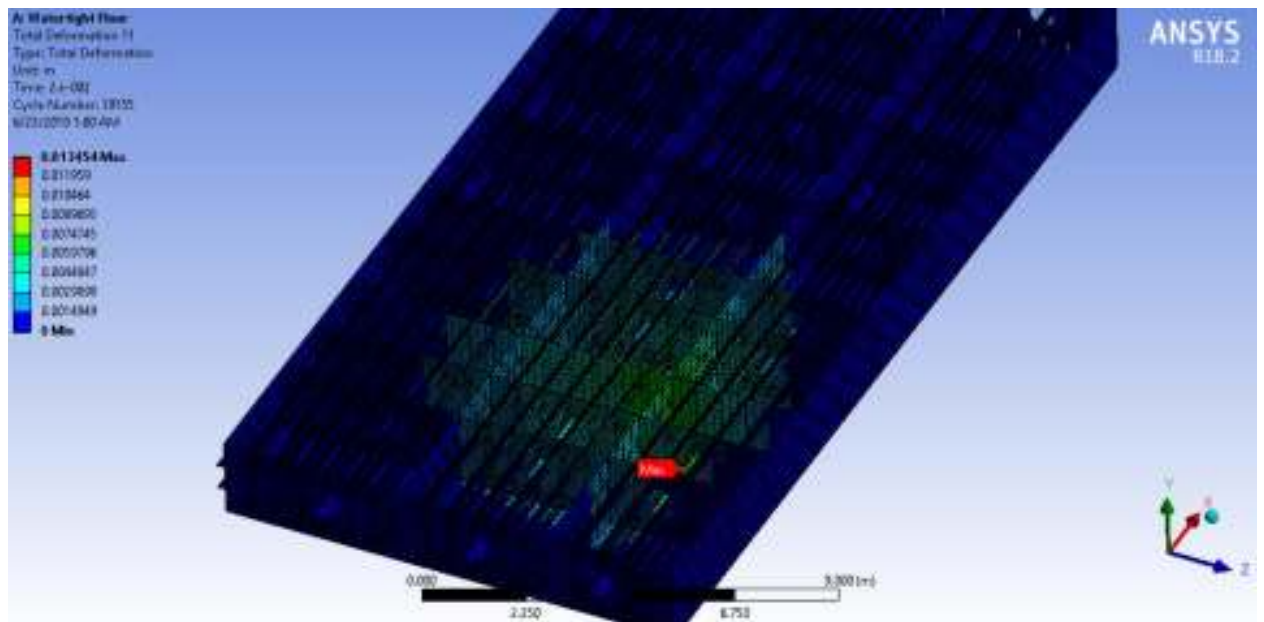
Detik 0,016



Detik 0,018

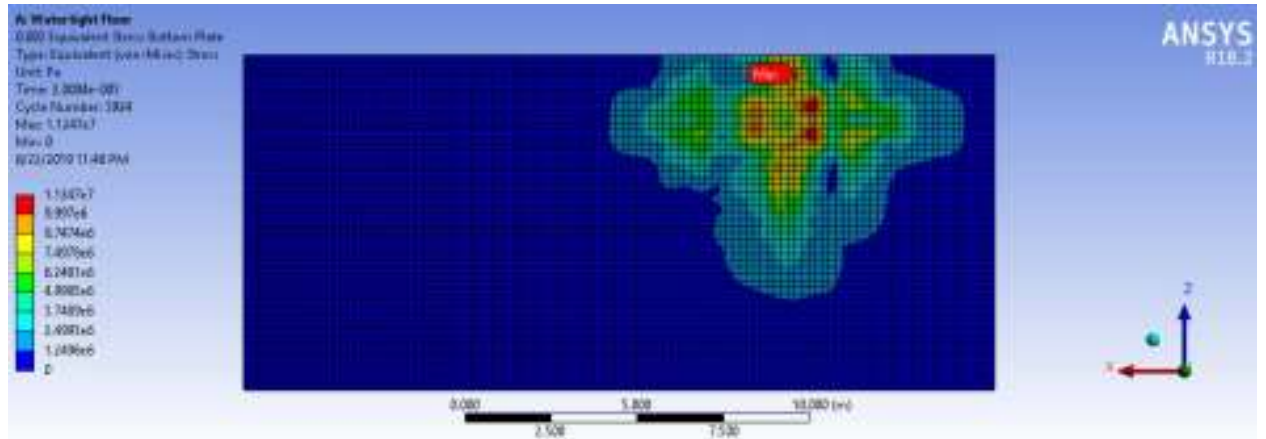


Detik 0,02

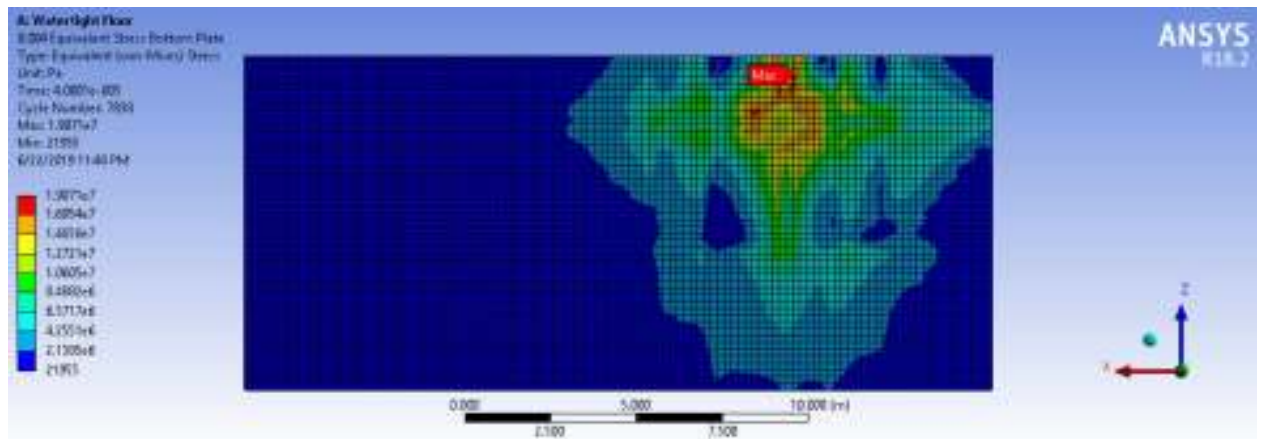


Stress pada *Bottom Plate (Watertight floor)*

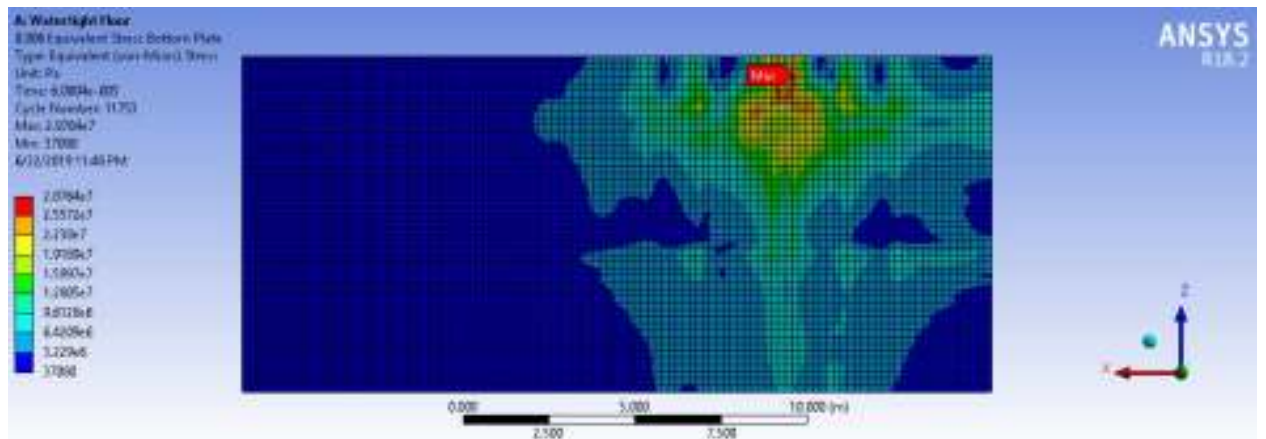
Detik 0,002



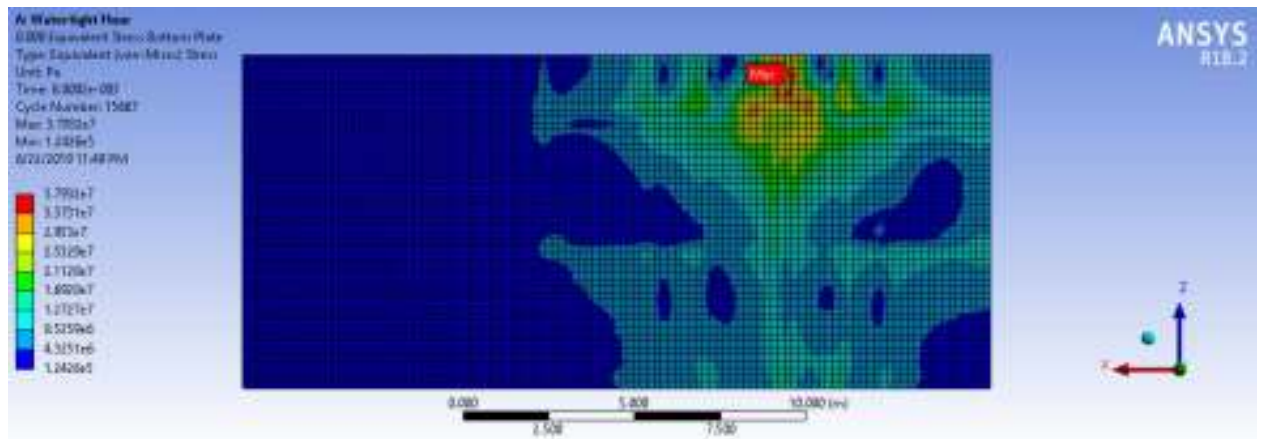
Detik 0,004



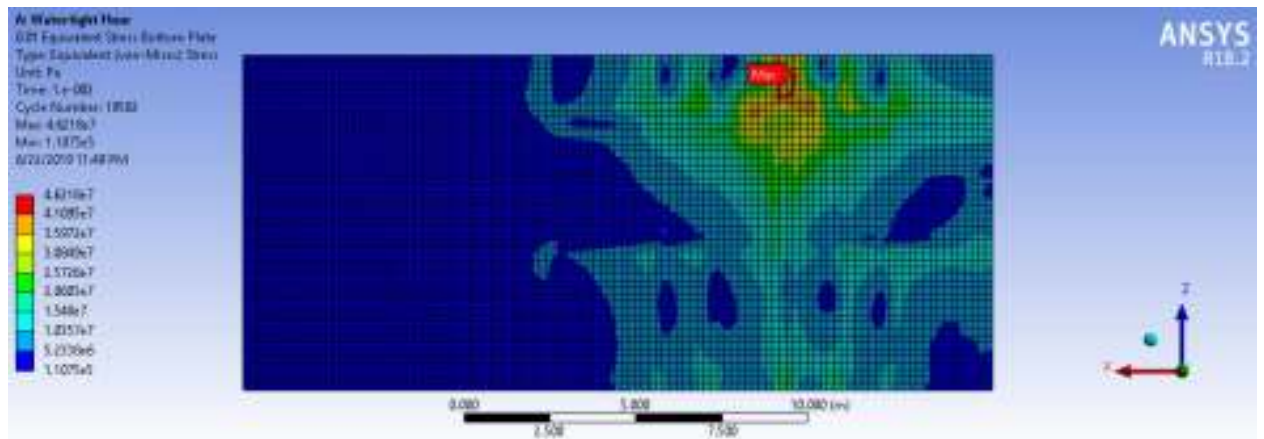
Detik 0,006



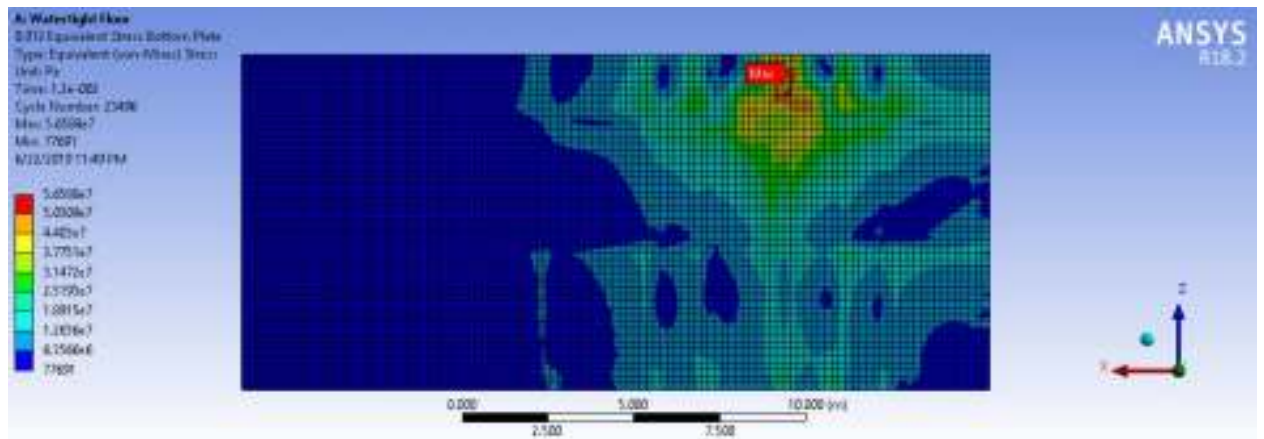
Detik 0,008



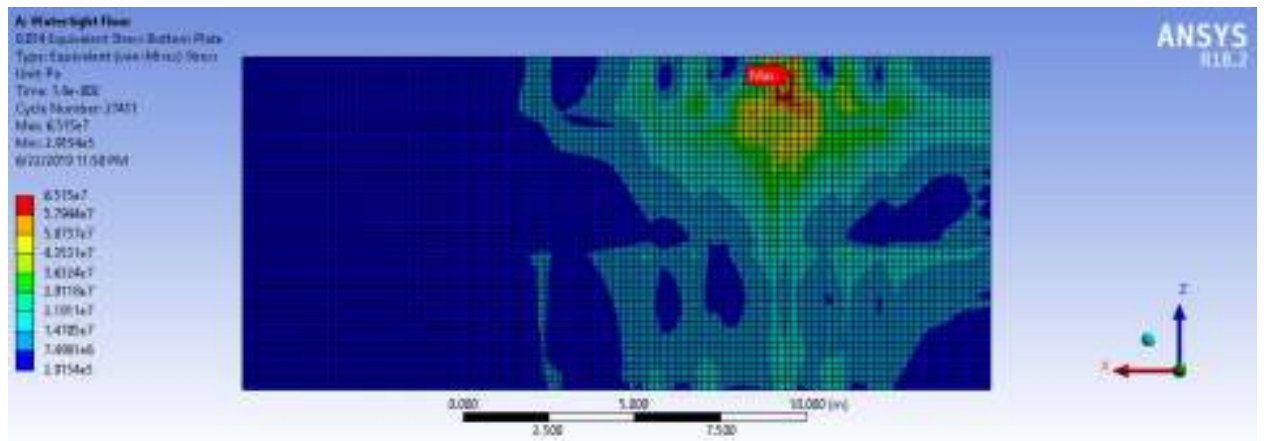
Detik 0,01



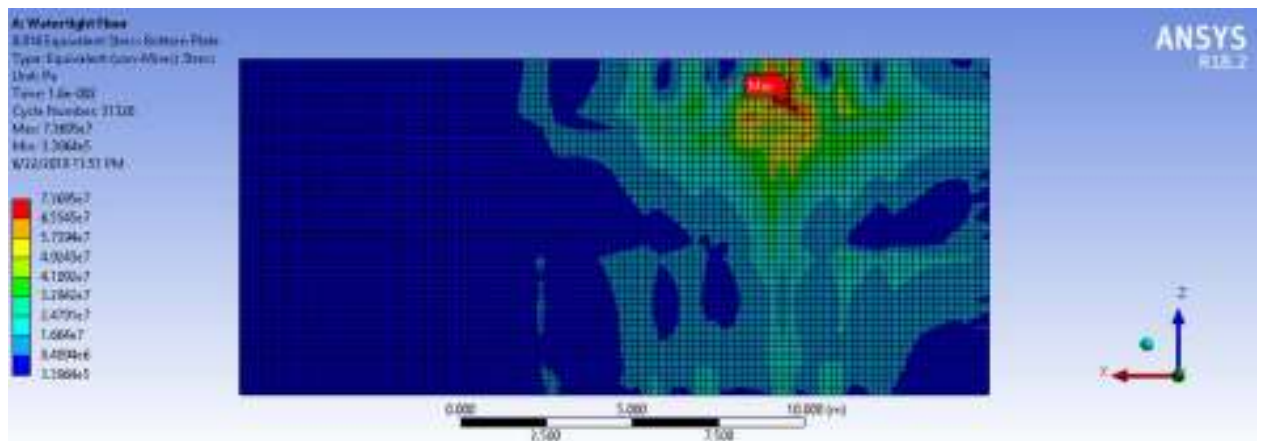
Detik 0,012



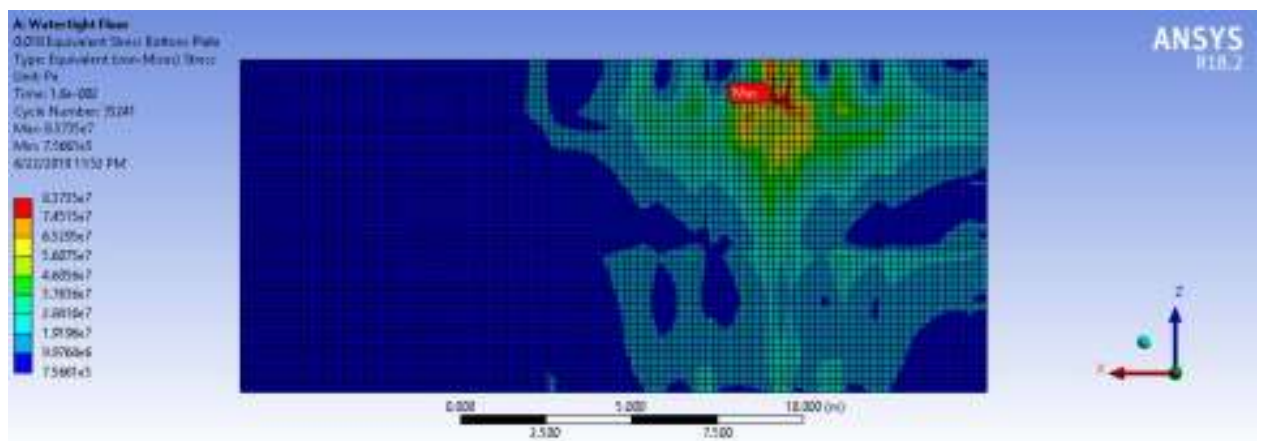
Detik 0,014



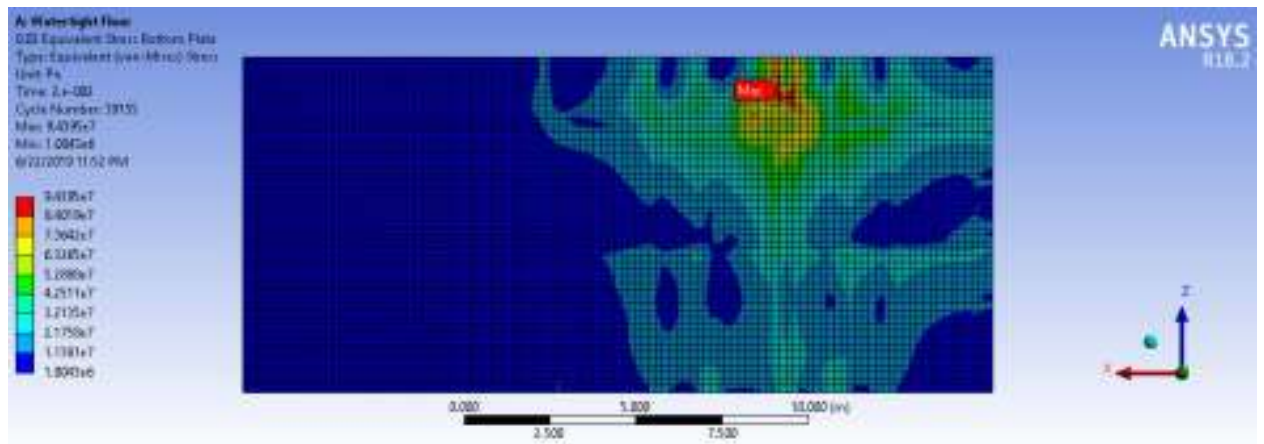
Detik 0,016



Detik 0,018

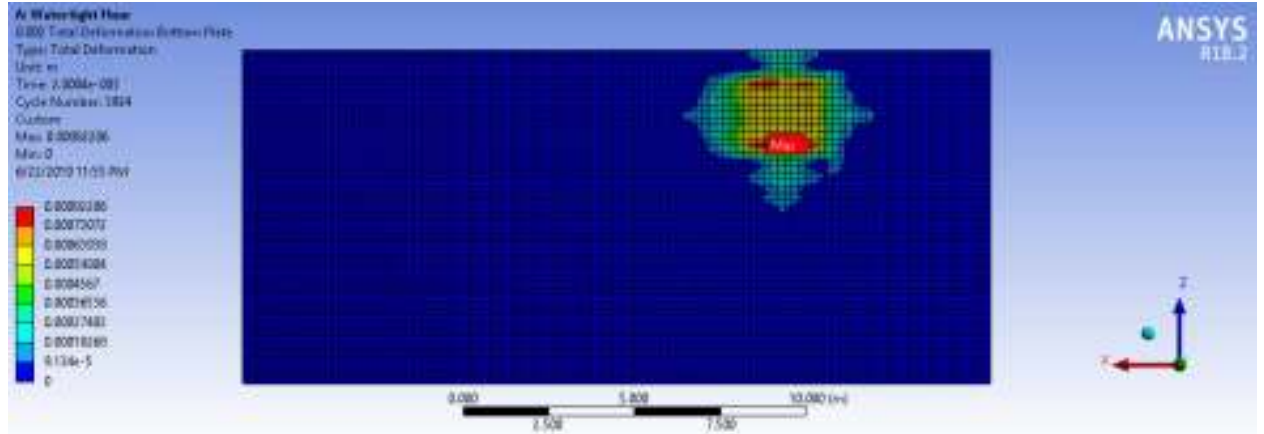


Detik 0,02

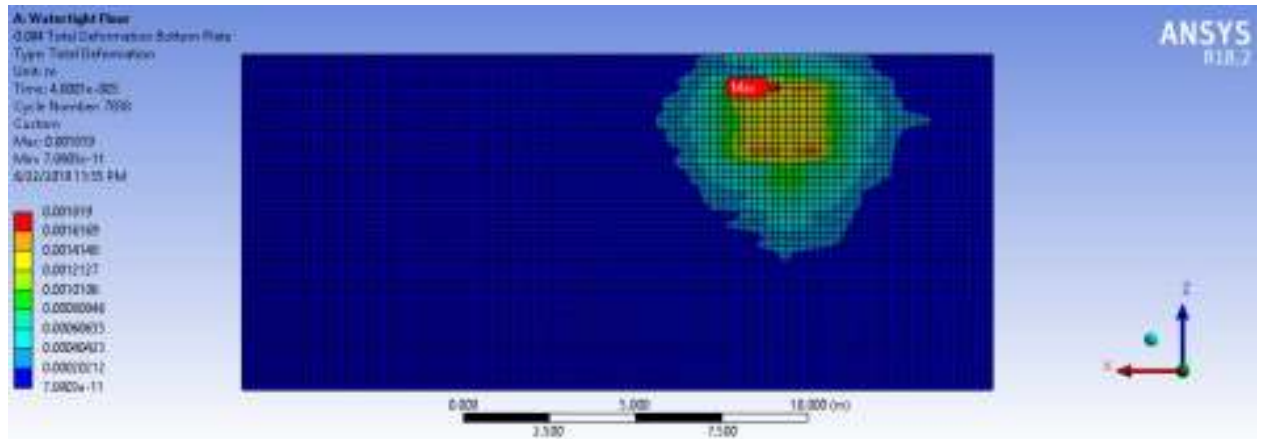


Deformasi pada *Bottom Plate (Watertight floor)*

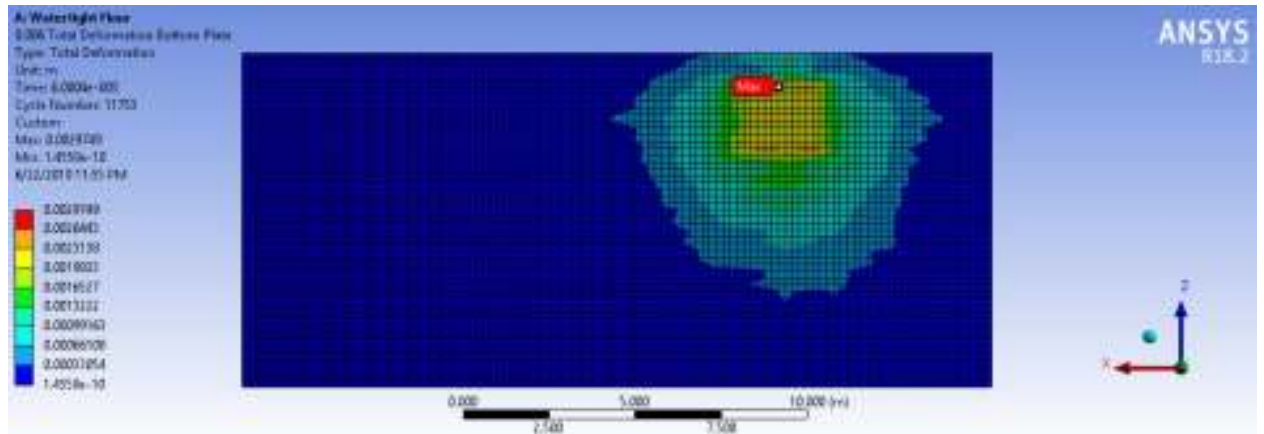
Detik 0,002



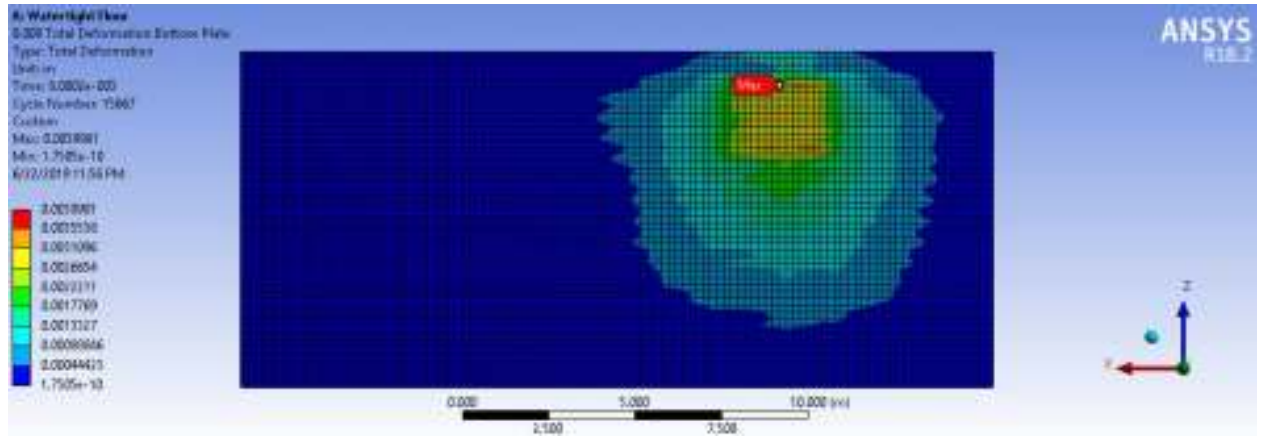
Detik 0,004



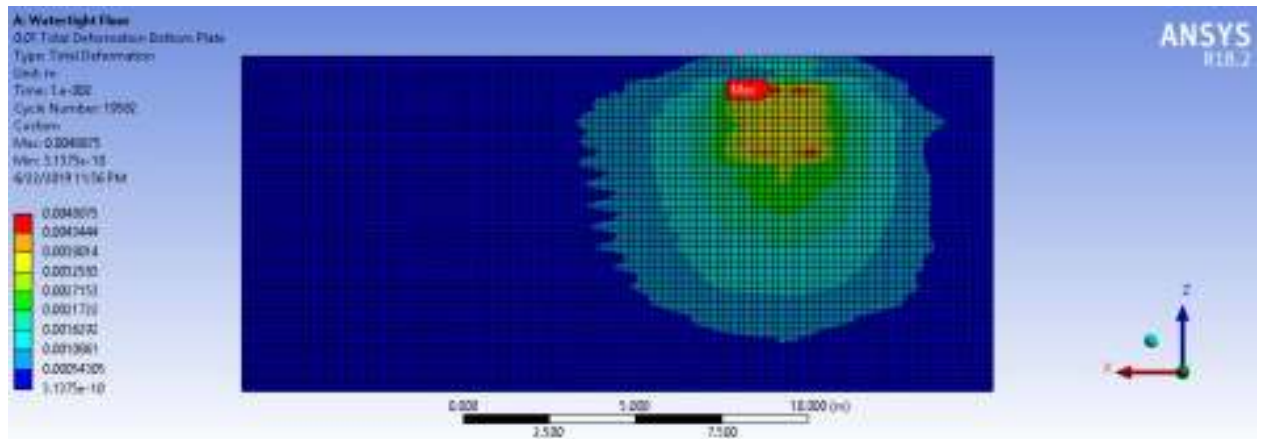
Detik 0,006



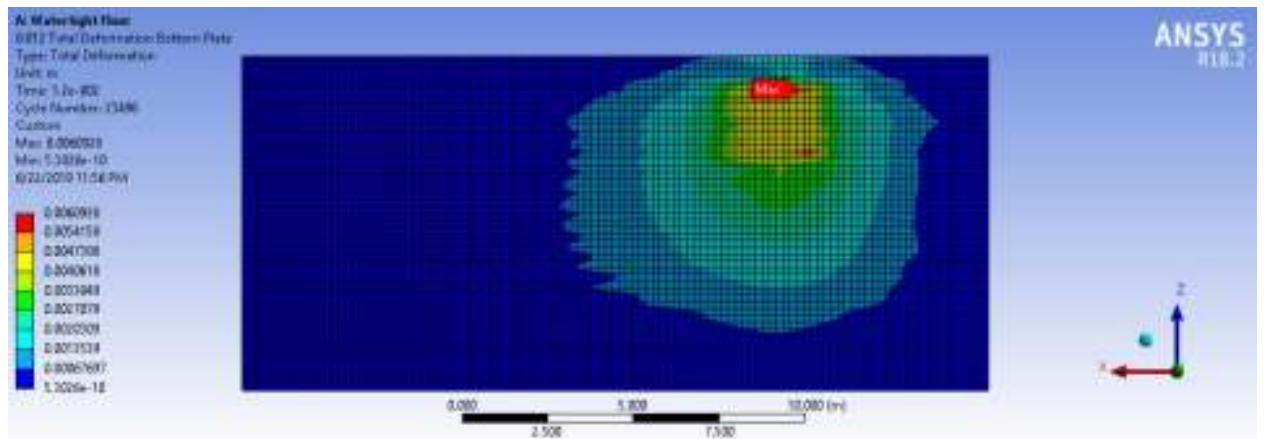
Detik 0,008



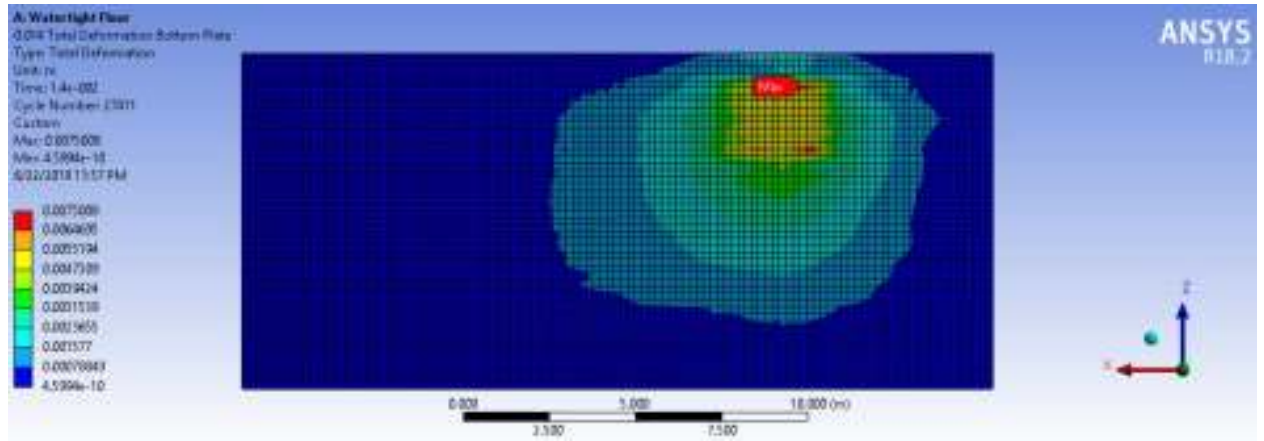
Detik 0,01



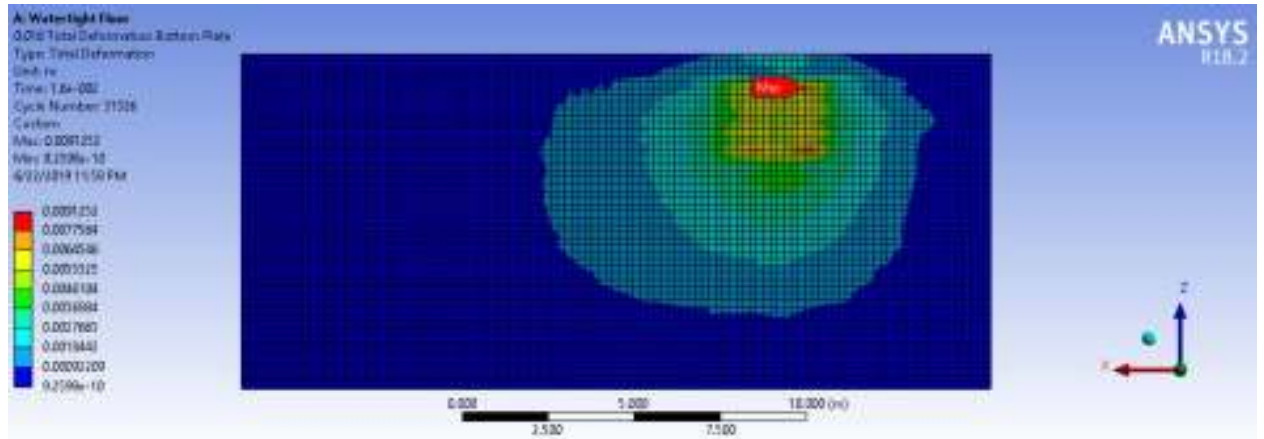
Detik 0,012



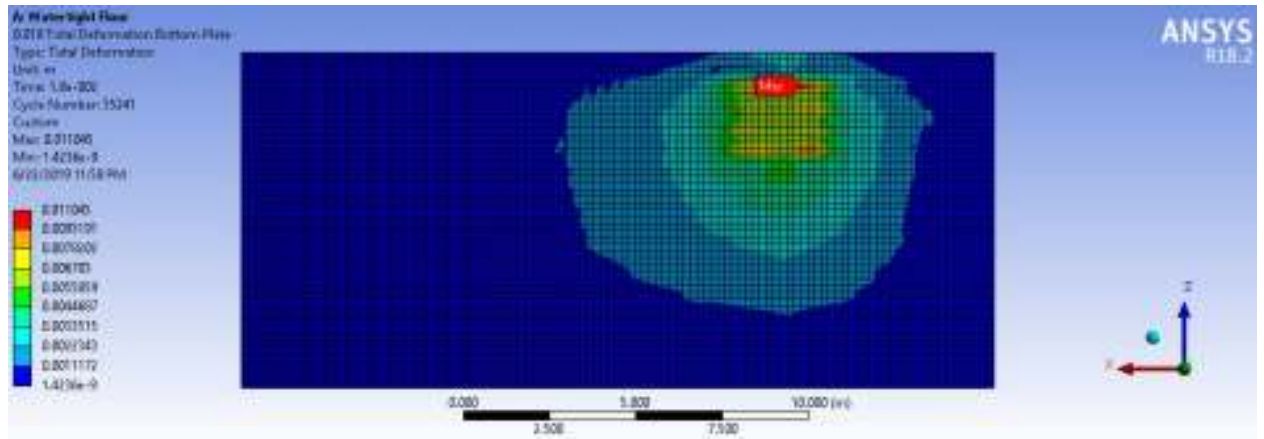
Detik 0,014



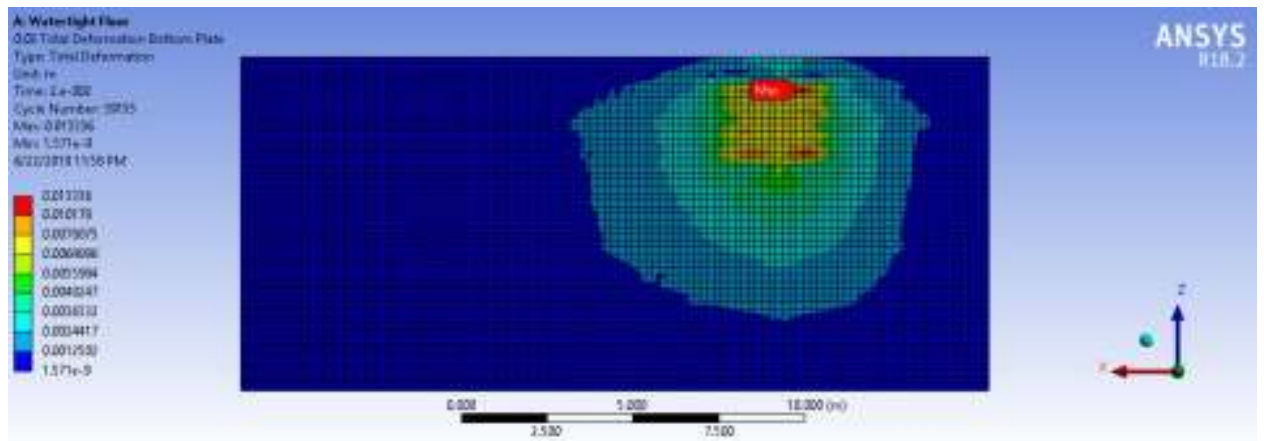
Detik 0,016



Detik 0,018

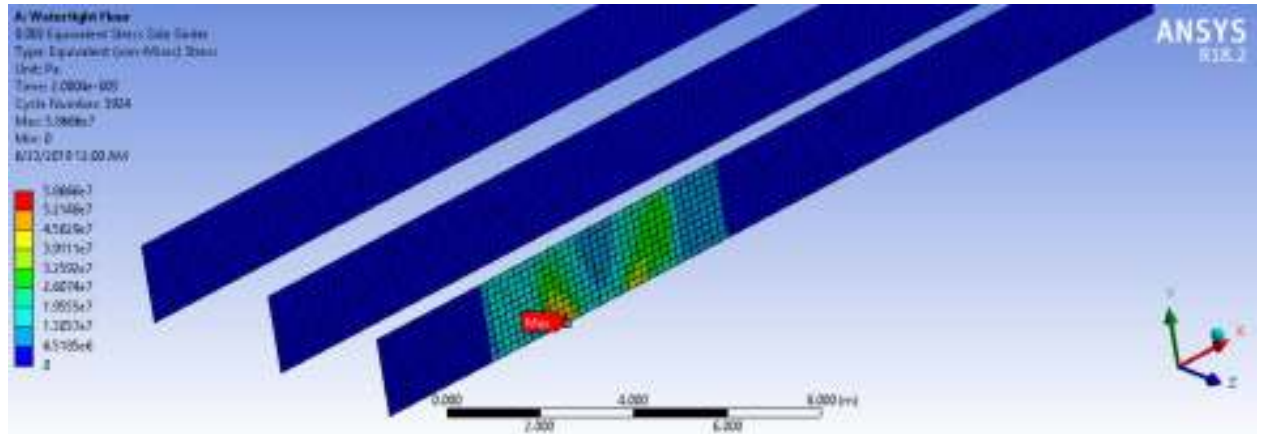


Detik 0,02

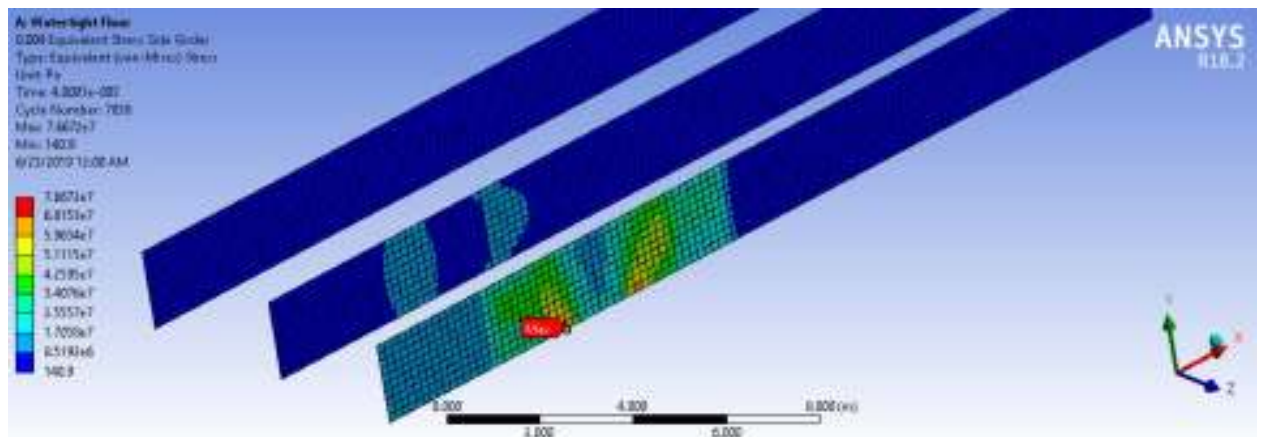


Stress pada *Side Girder (Watertight floor)*

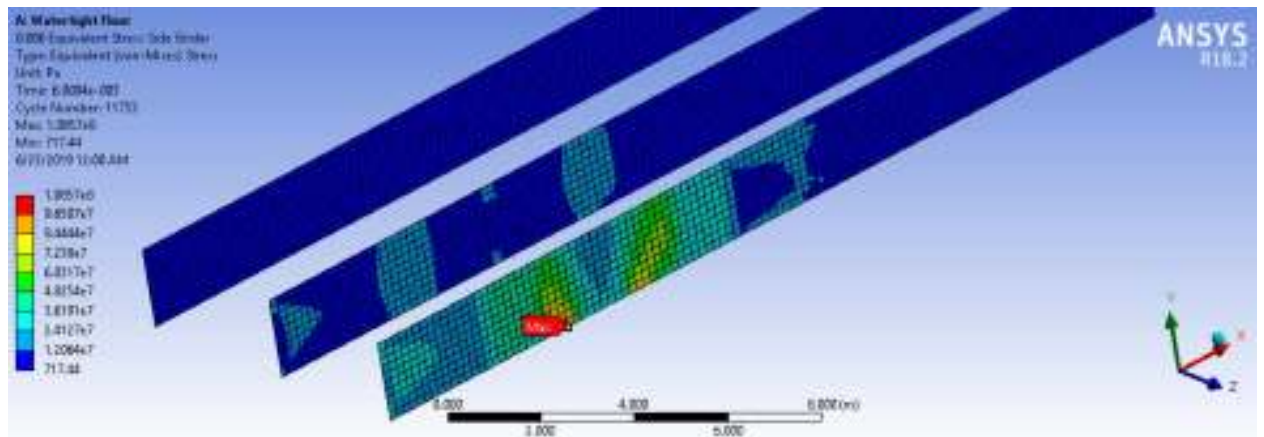
Detik 0,002



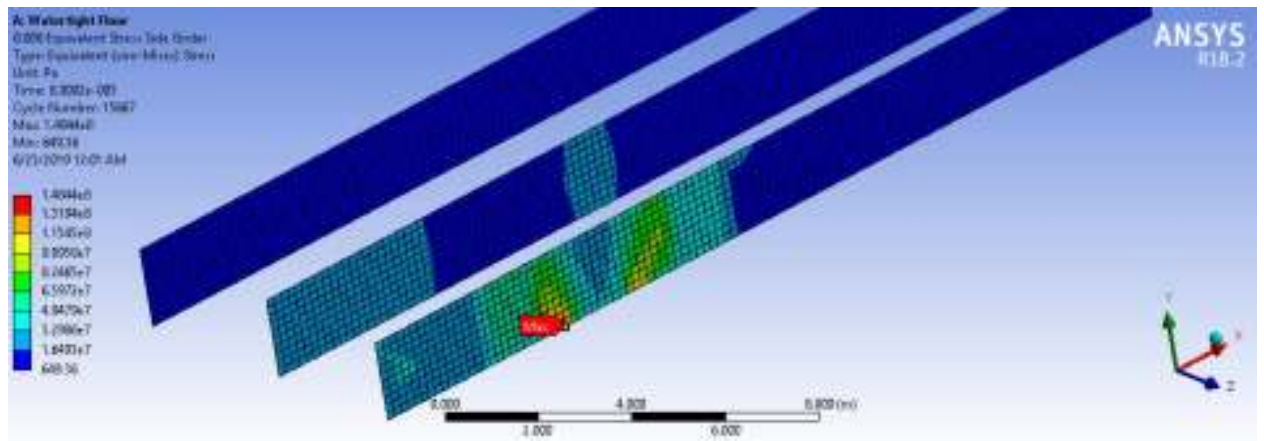
Detik 0,004



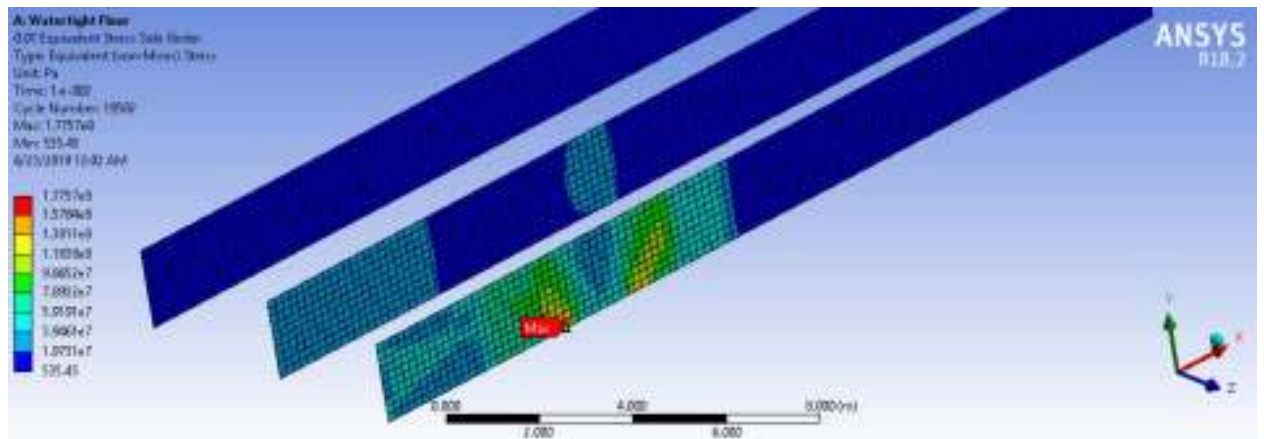
Detik 0,006



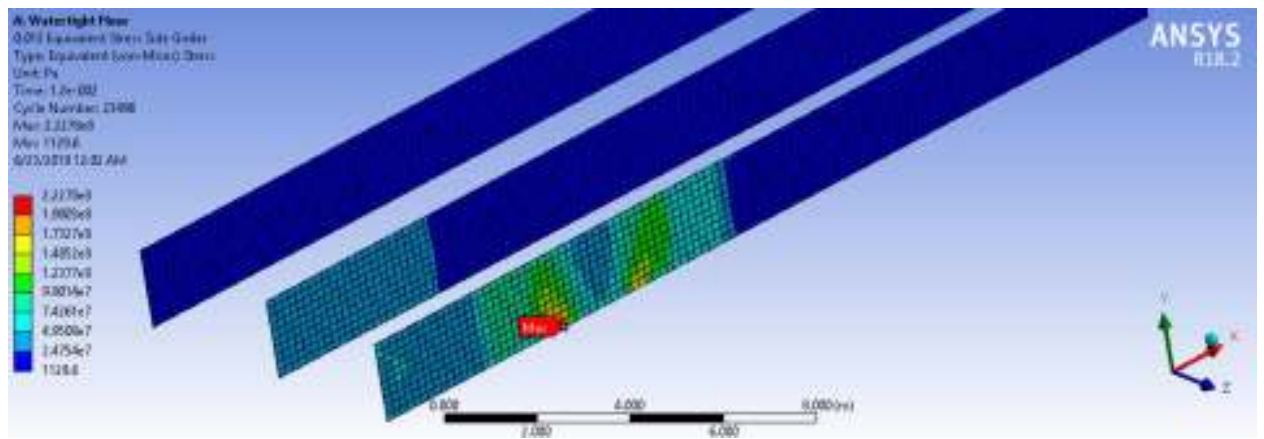
Detik 0,008



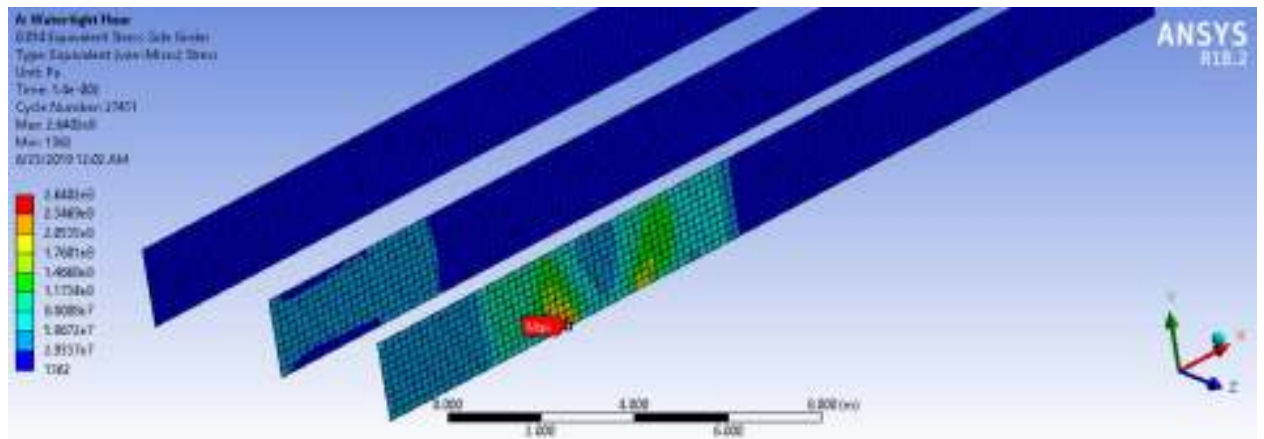
Detik 0,01



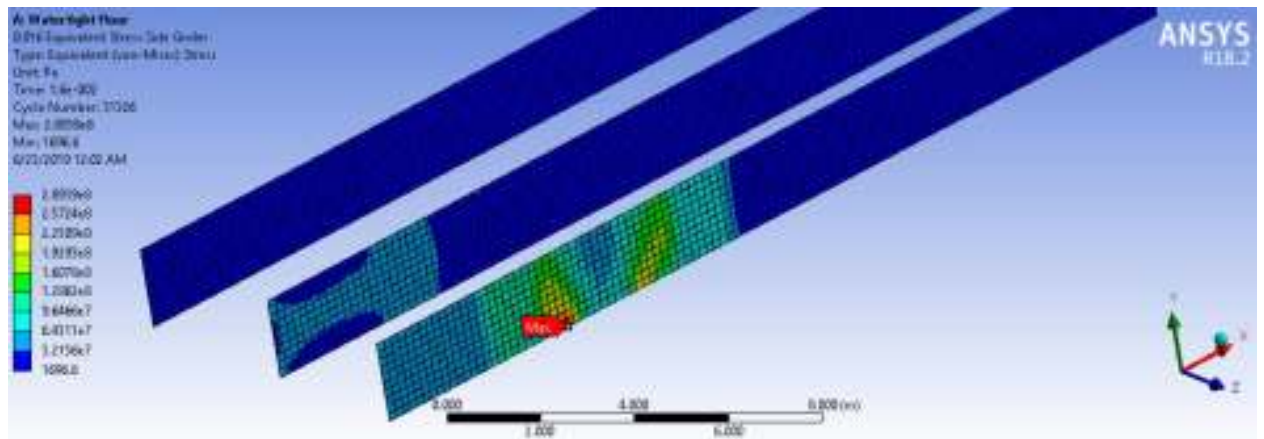
Detik 0,012



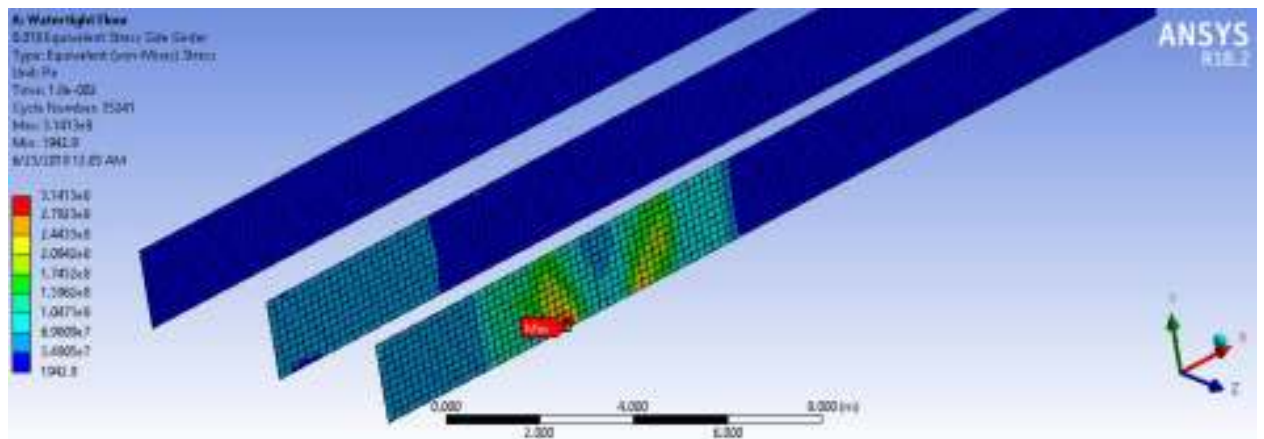
Detik 0,014



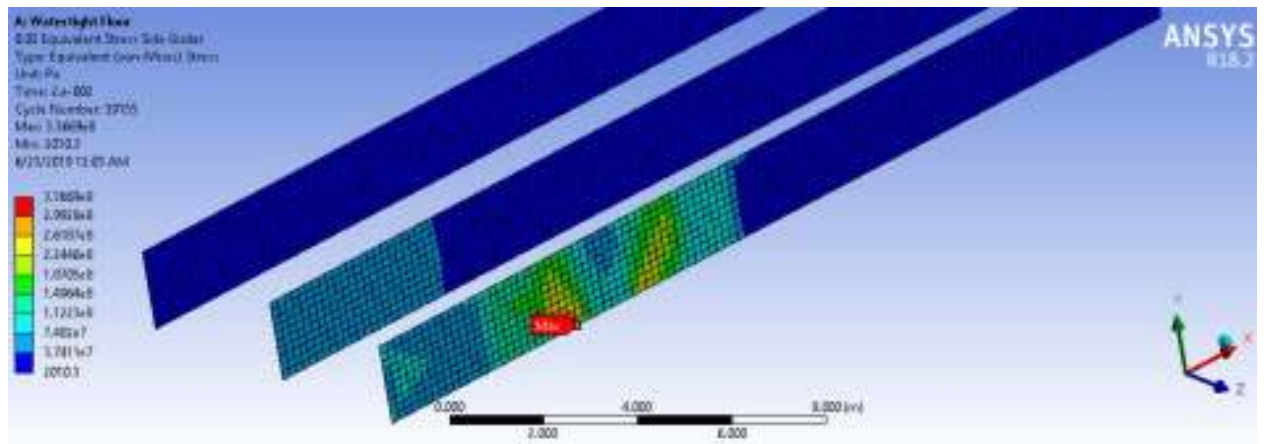
Detik 0,016



Detik 0,018

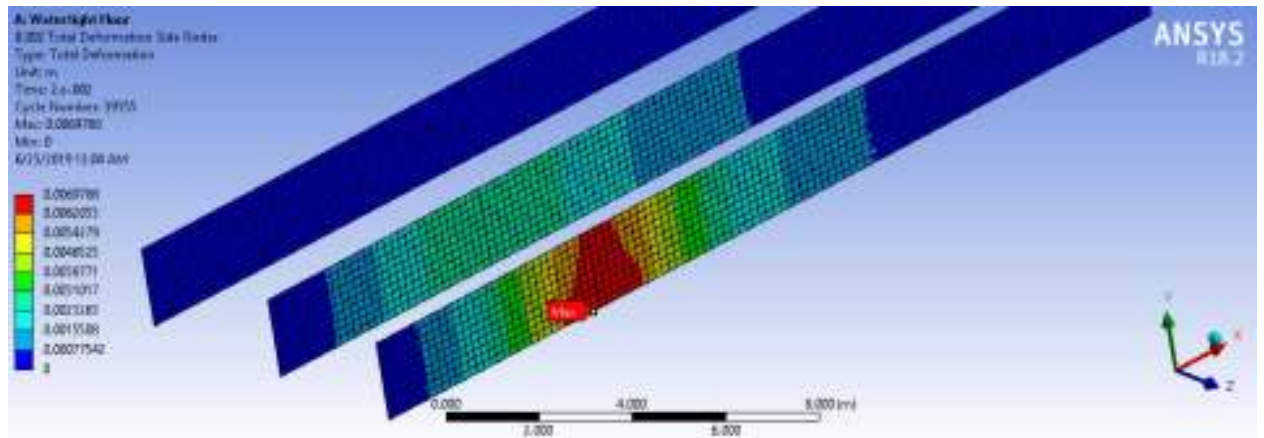


Detik 0,02

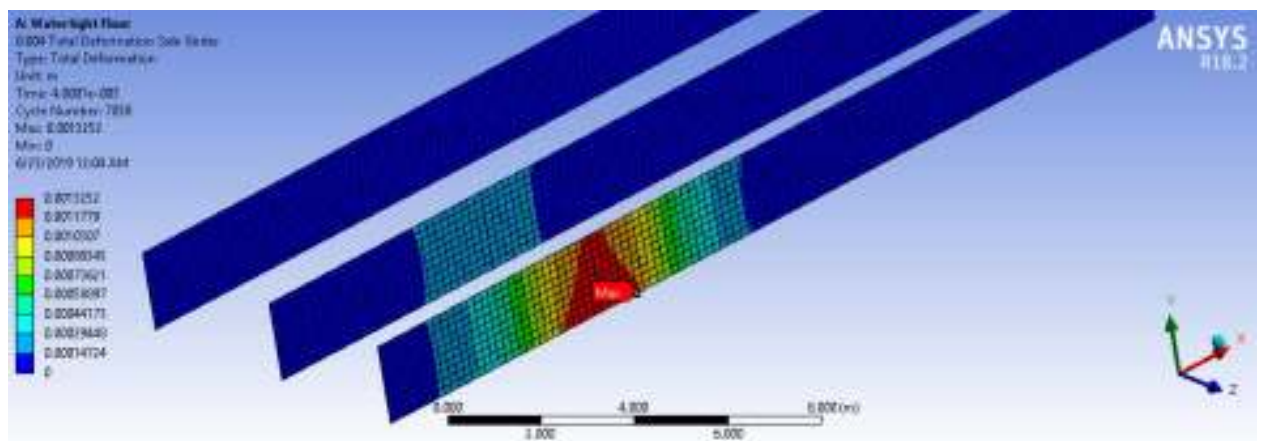


Deformasi pada *Side Girder (Watertight floor)*

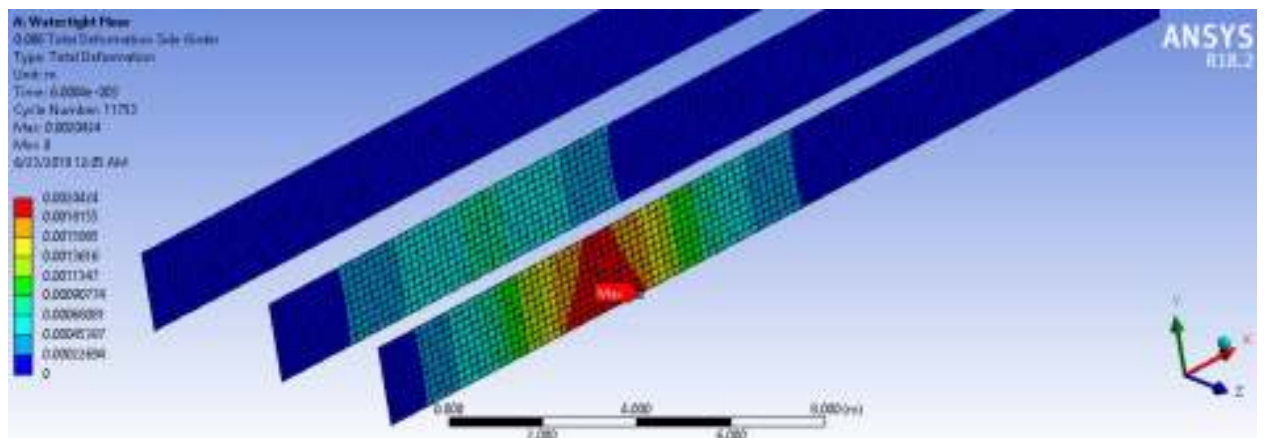
Detik 0,002



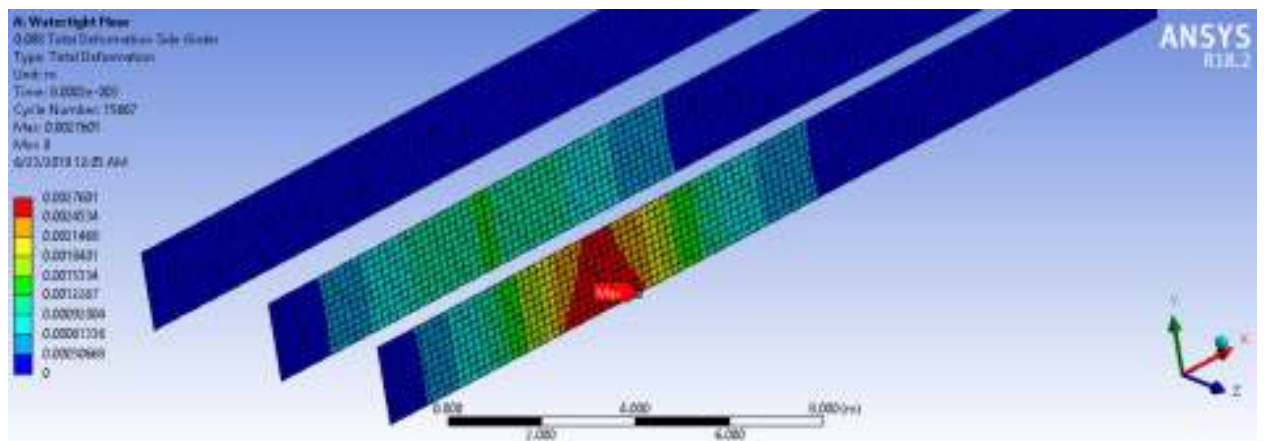
Detik 0,004



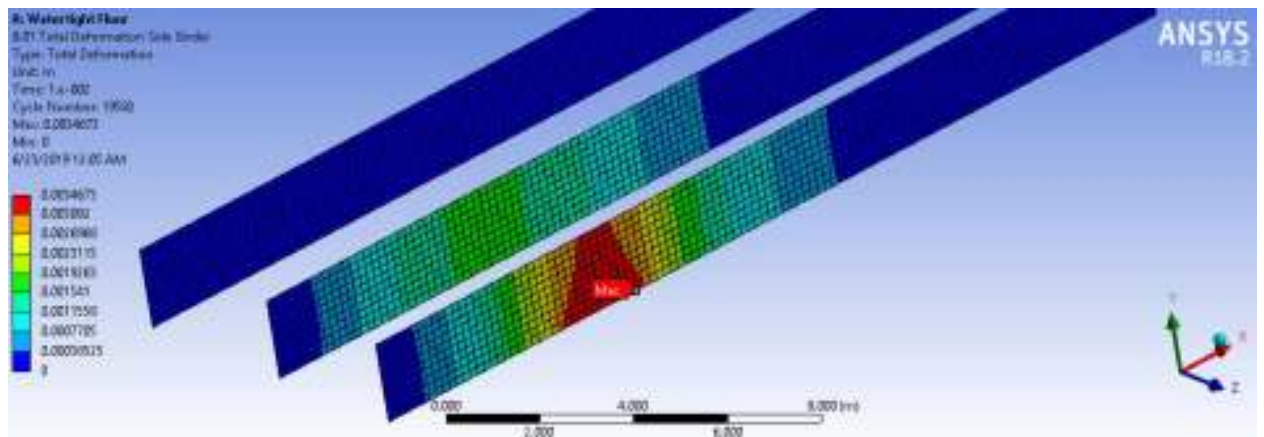
Detik 0,006



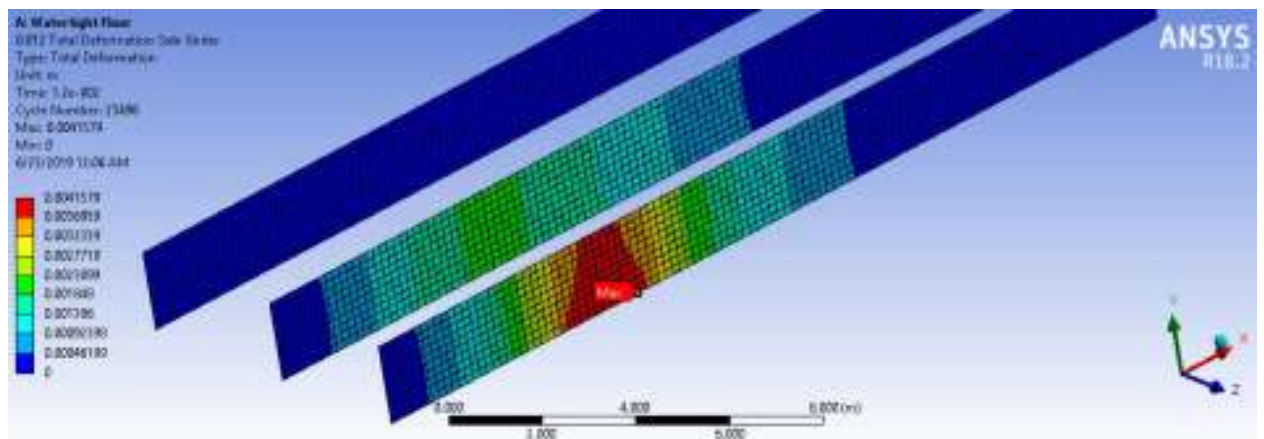
Detik 0,008



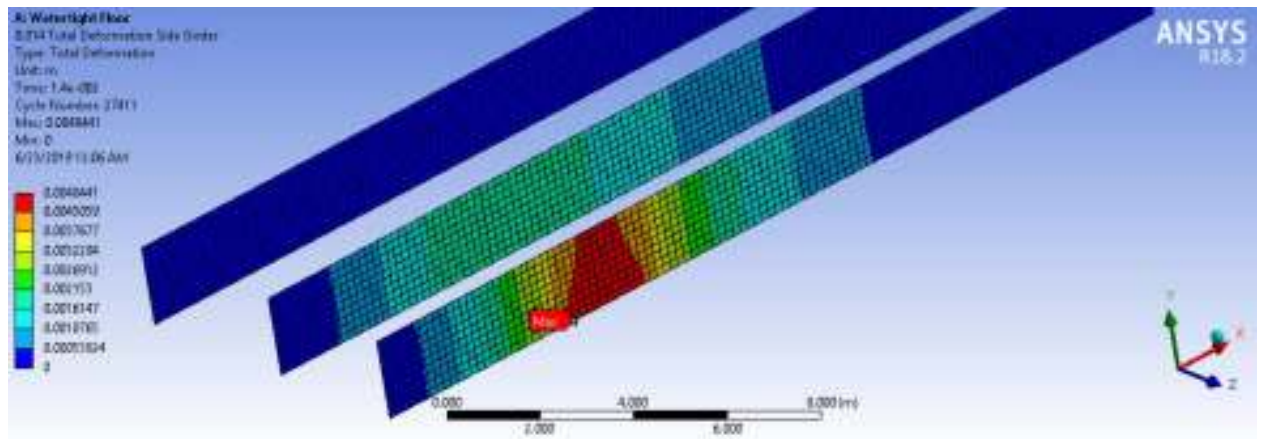
Detik 0,01



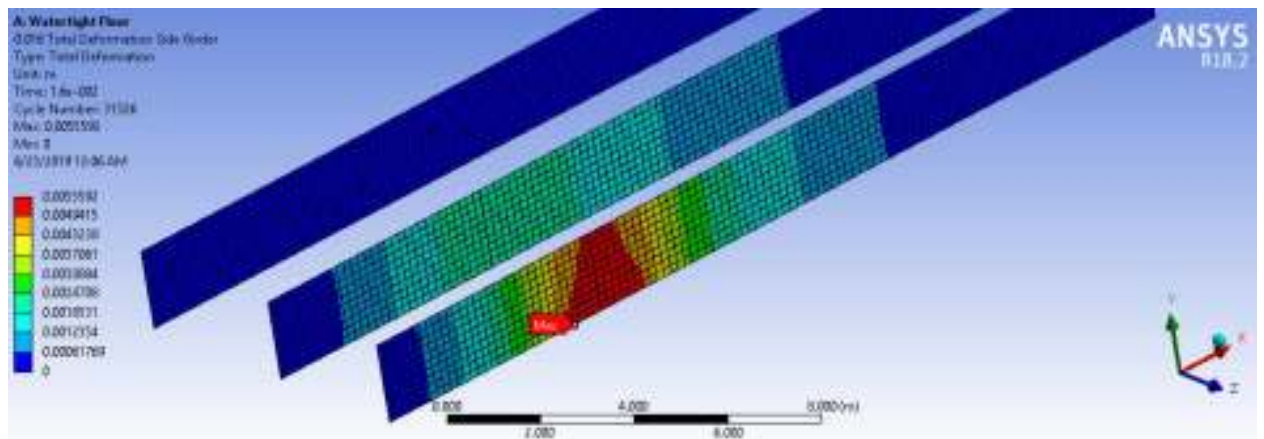
Detik 0,012



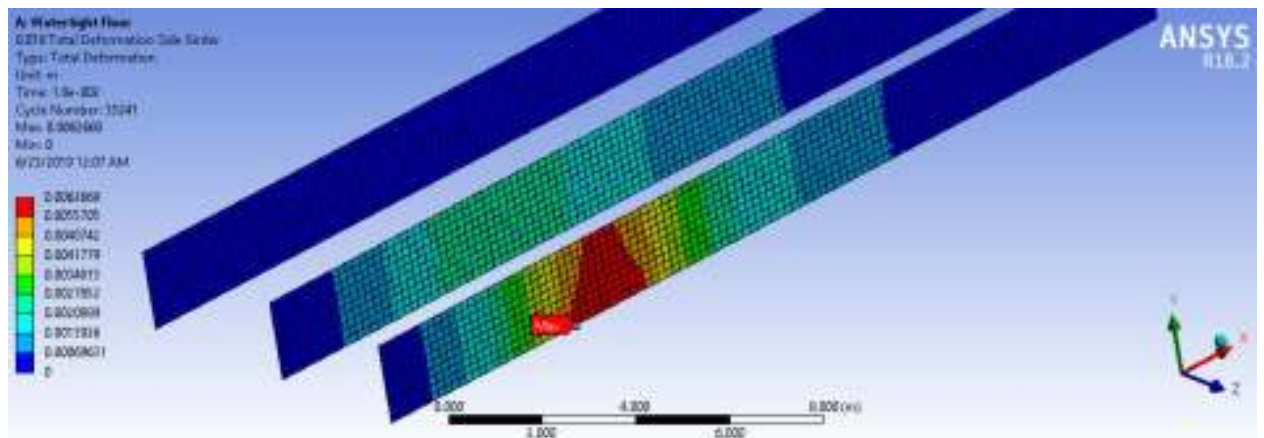
Detik 0,014



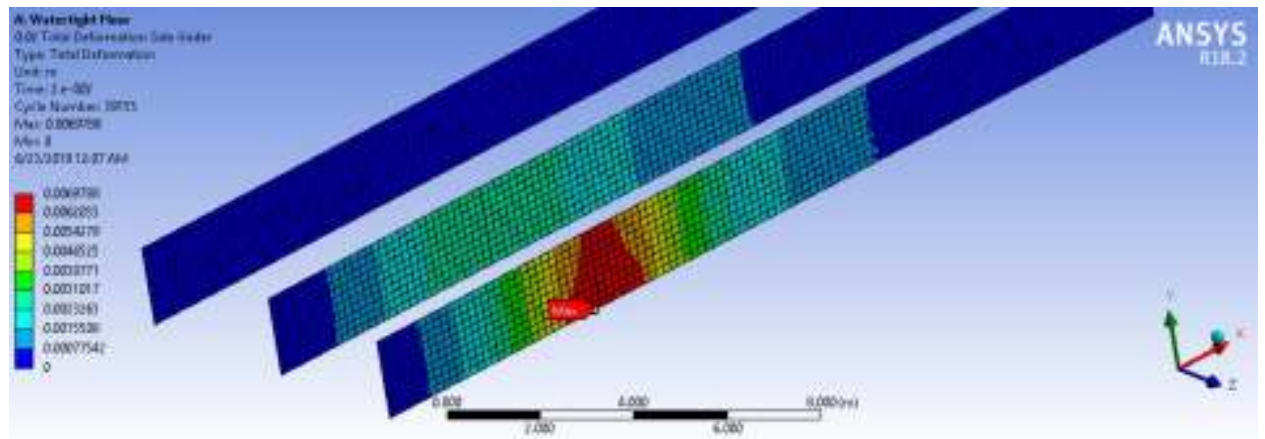
Detik 0,016



Detik 0,018

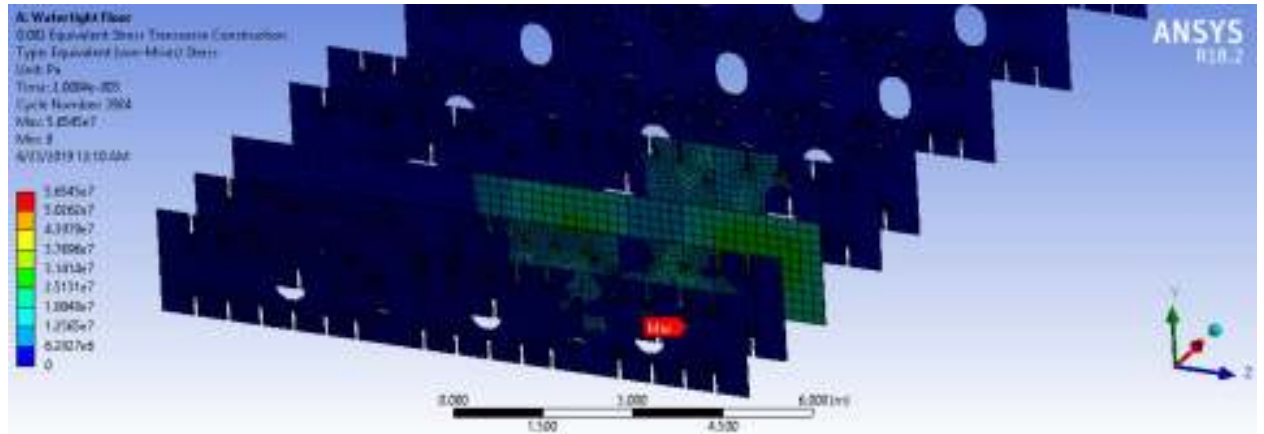


Detik 0,02

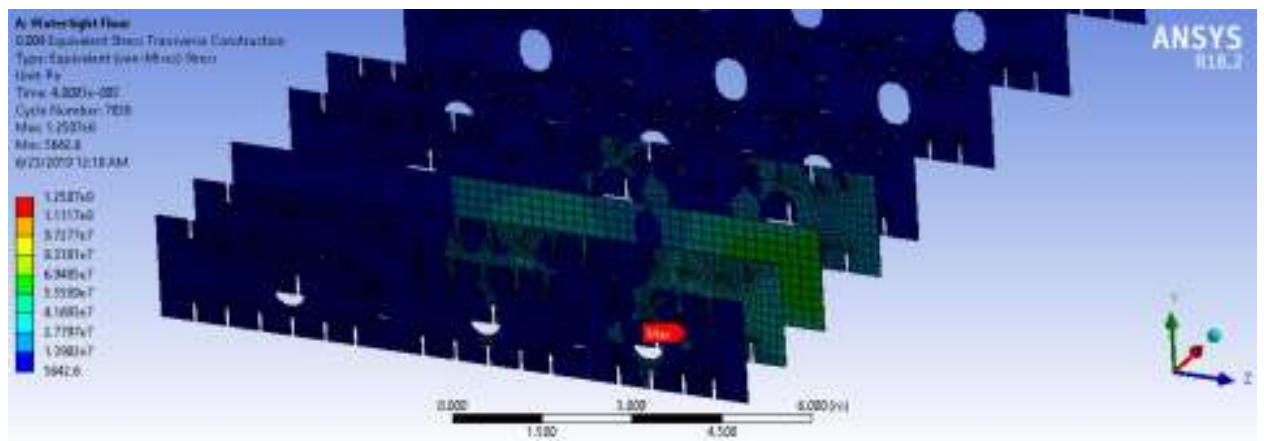


Stress pada *Transverse Construction (Watertight floor)*

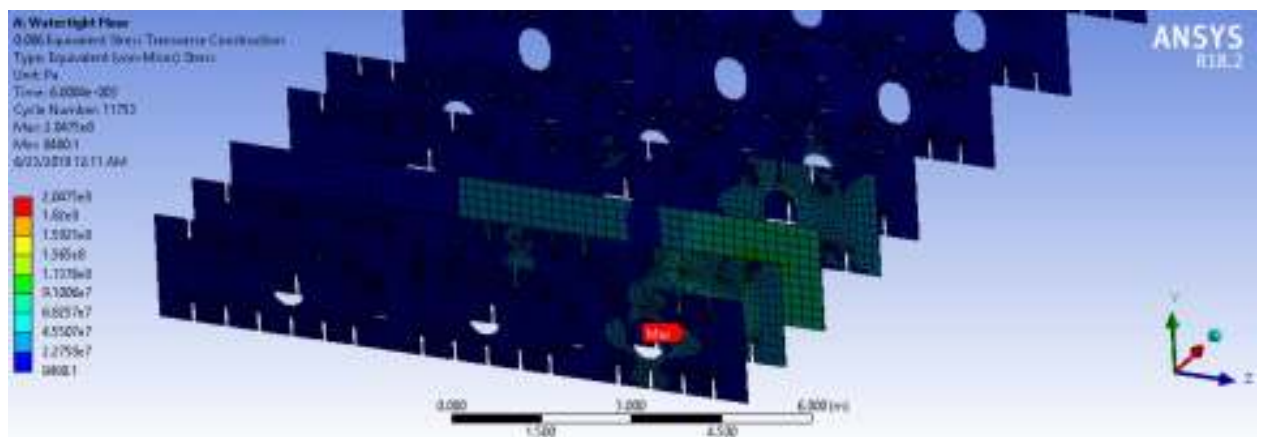
Detik 0,002



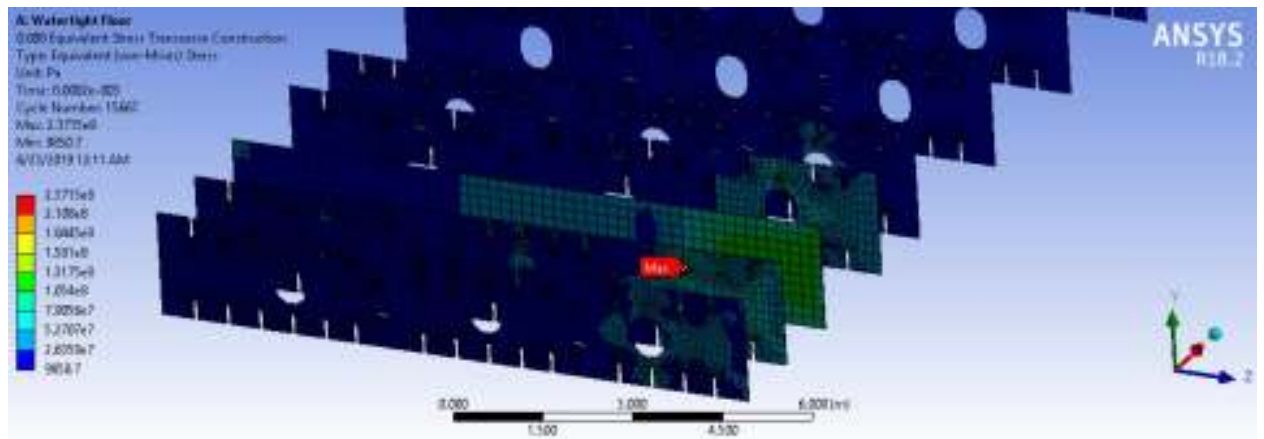
Detik 0,004



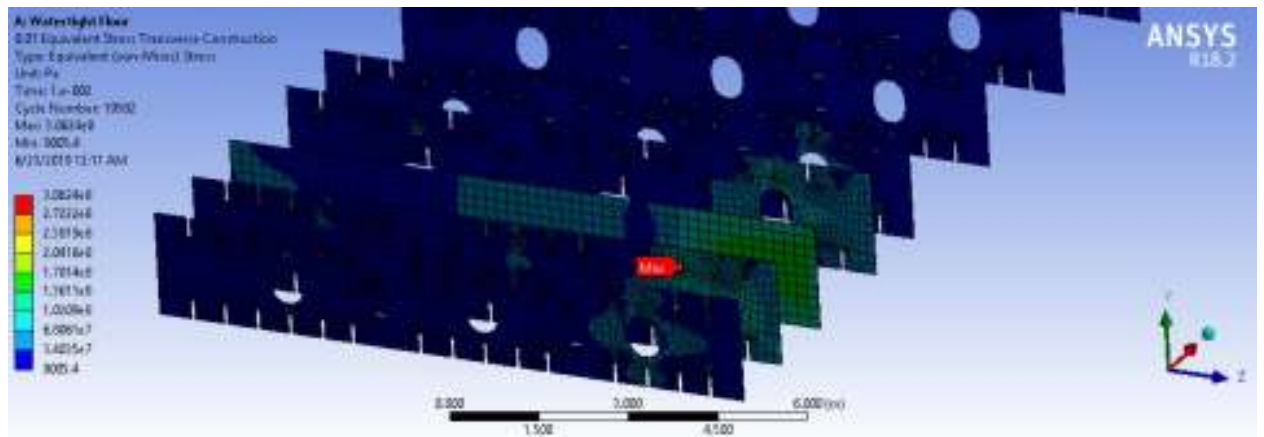
Detik 0,006



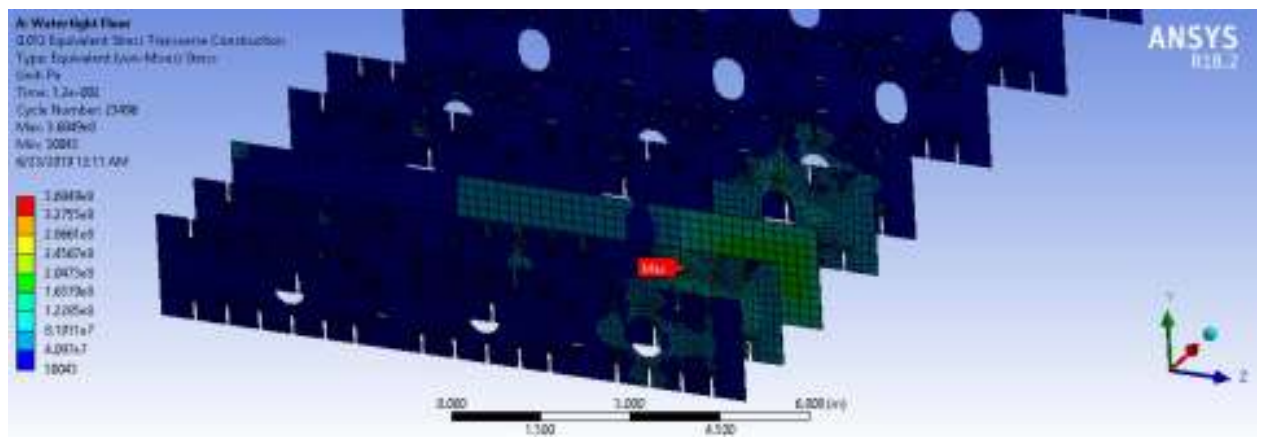
Detik 0,008



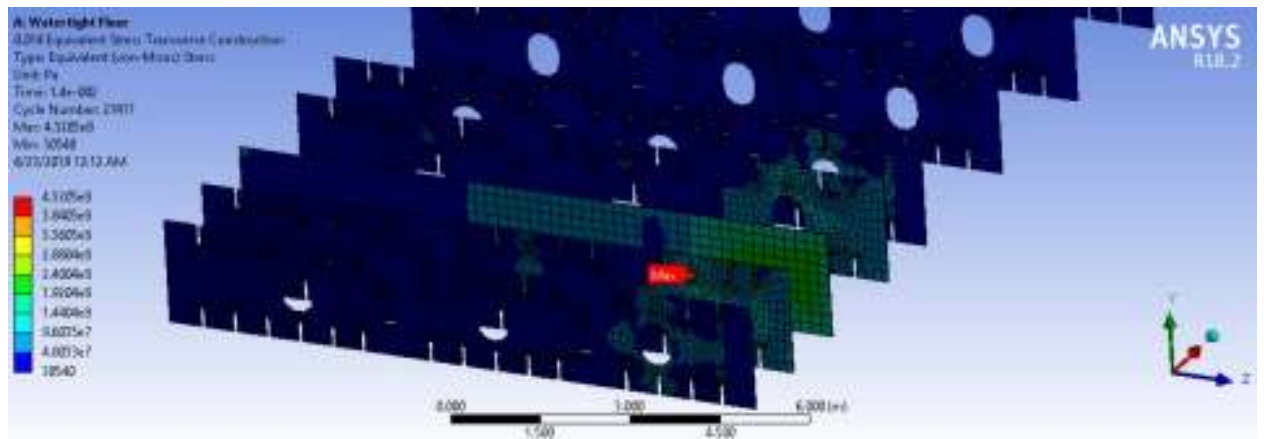
Detik 0,01



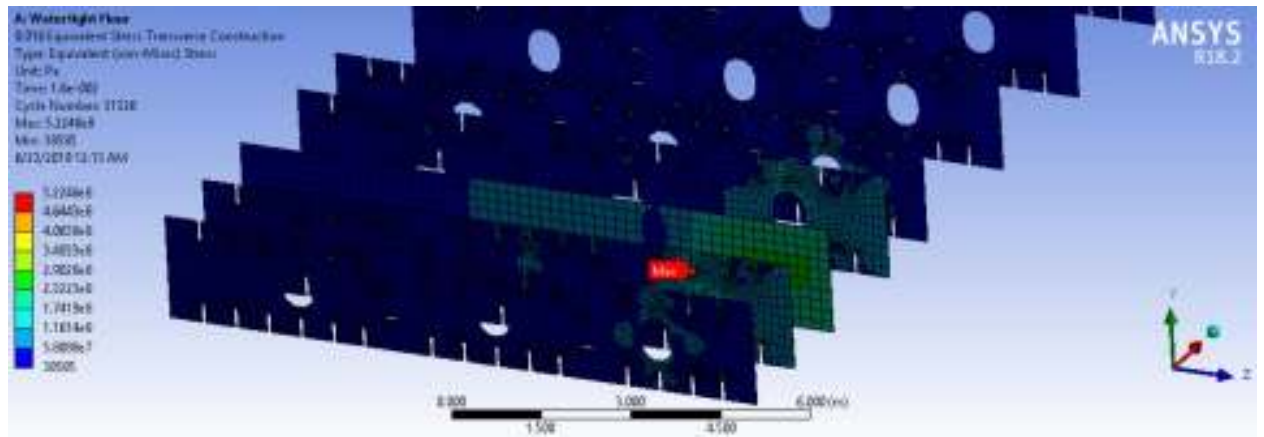
Detik 0,012



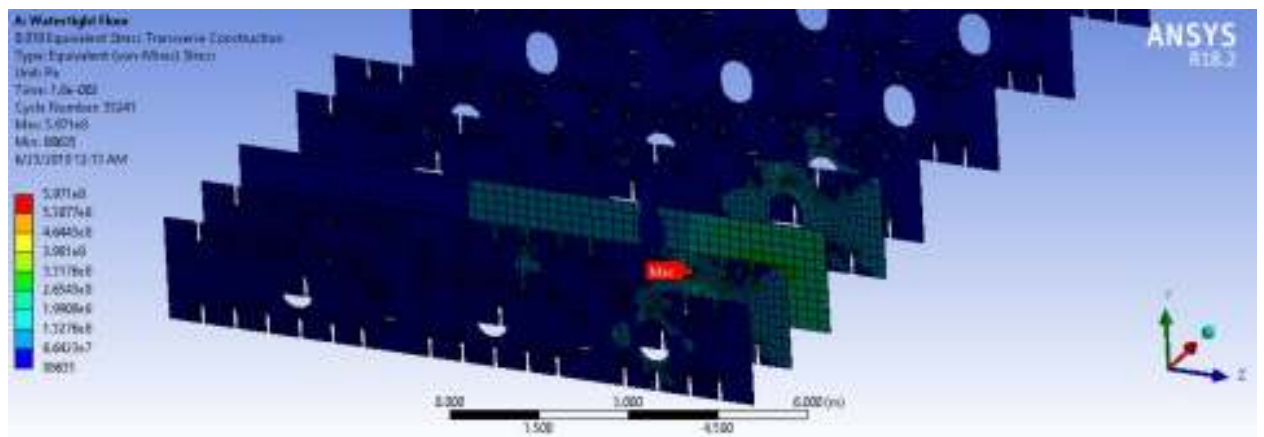
Detik 0,014



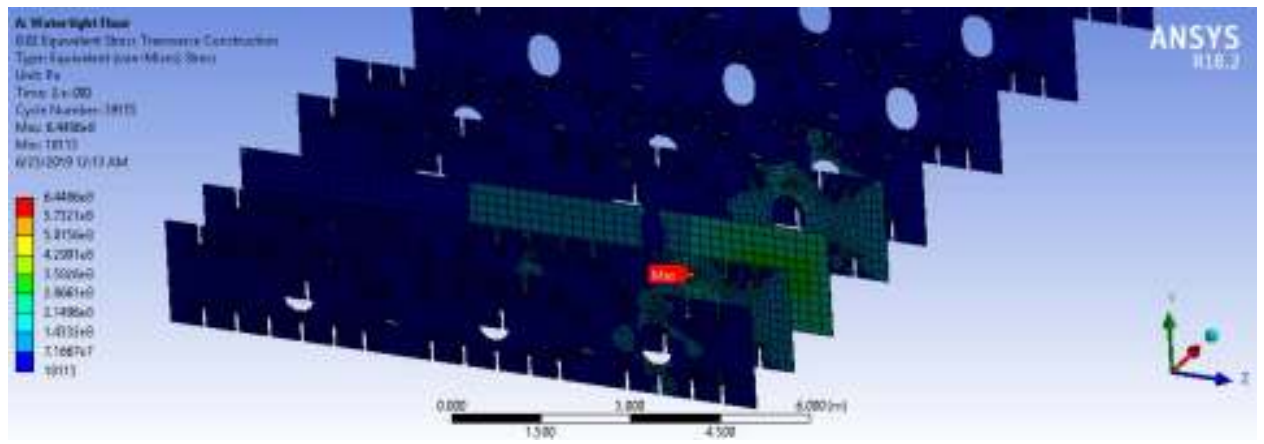
Detik 0,016



Detik 0,018

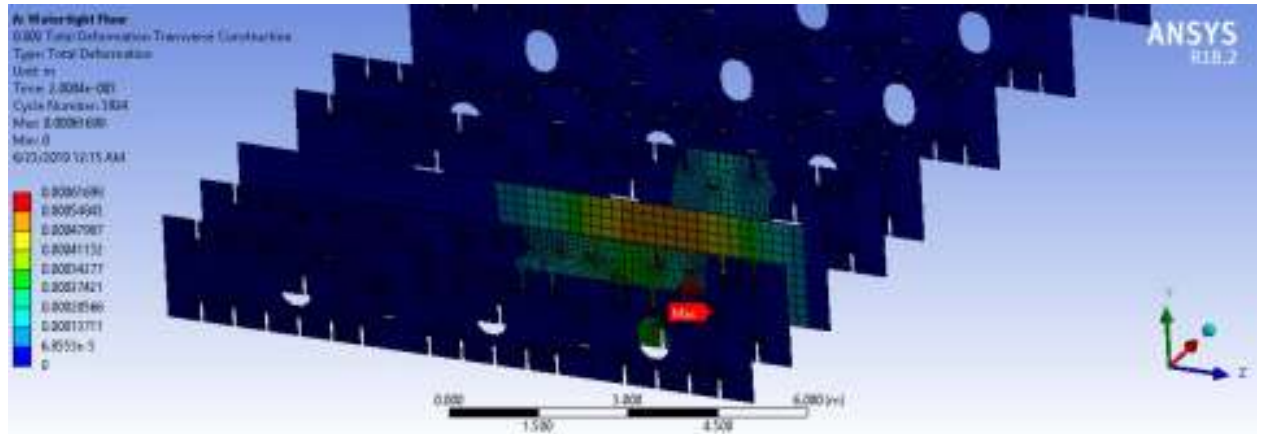


Detik 0,02

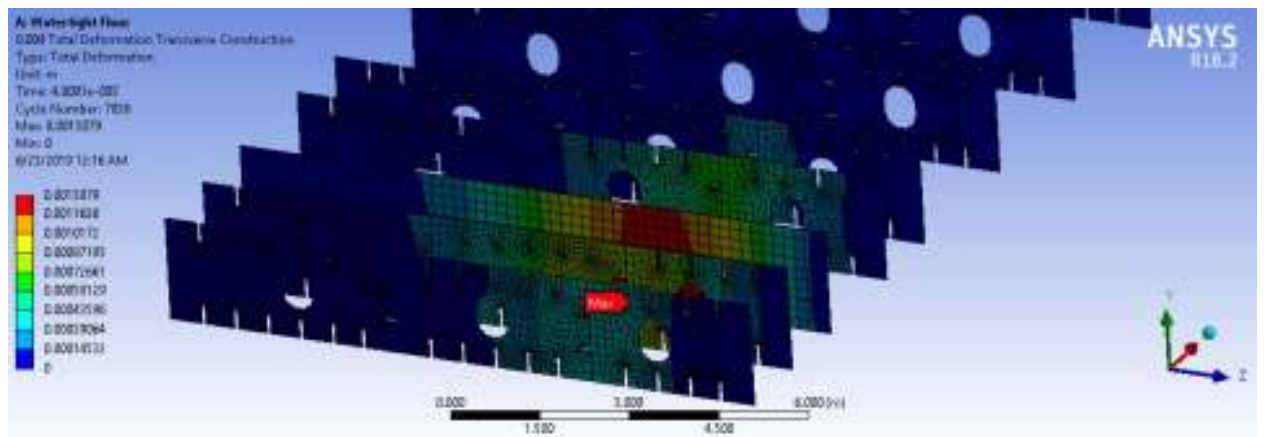


Deformasi pada *Transverse Construction (Watertight floor)*

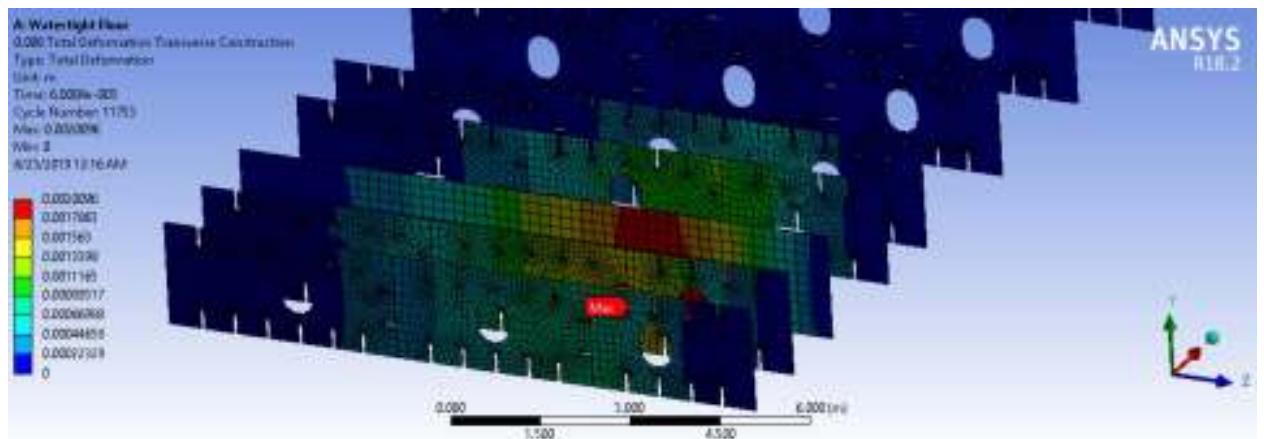
Detik 0,002



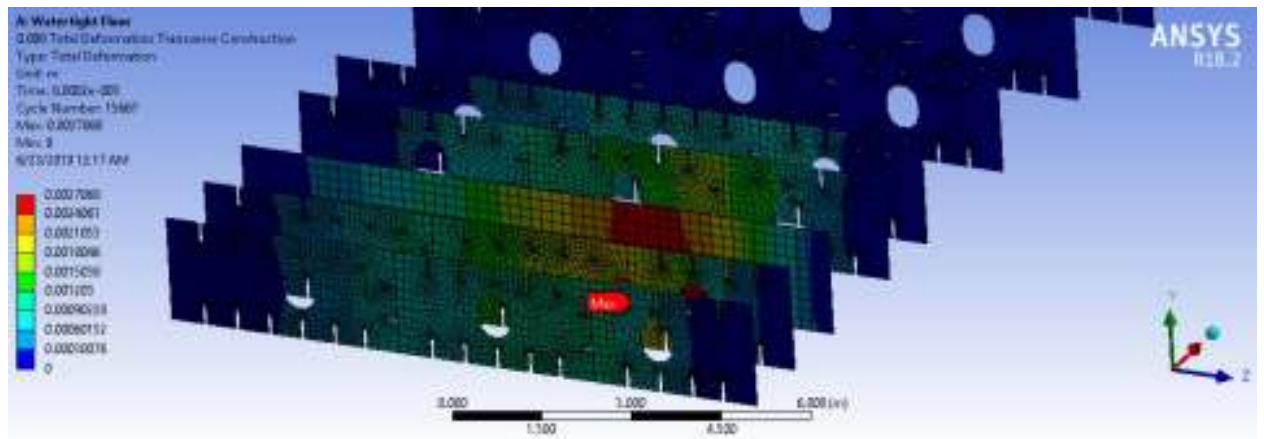
Detik 0,004



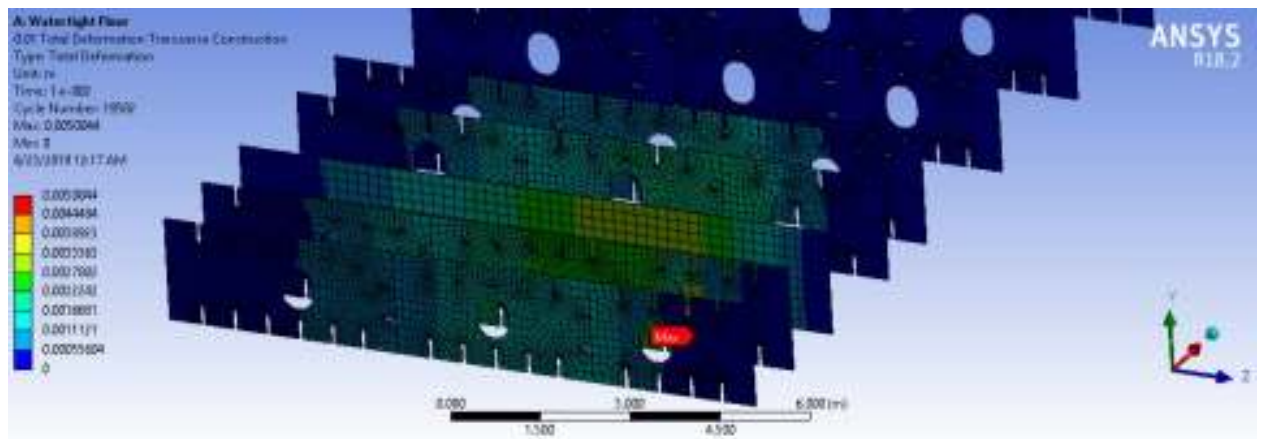
Detik 0,006



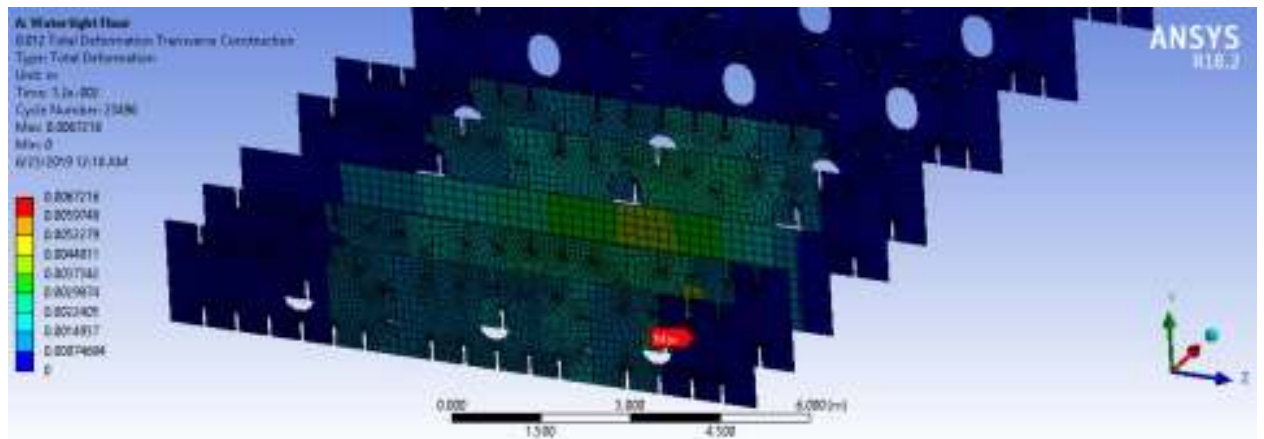
Detik 0,008



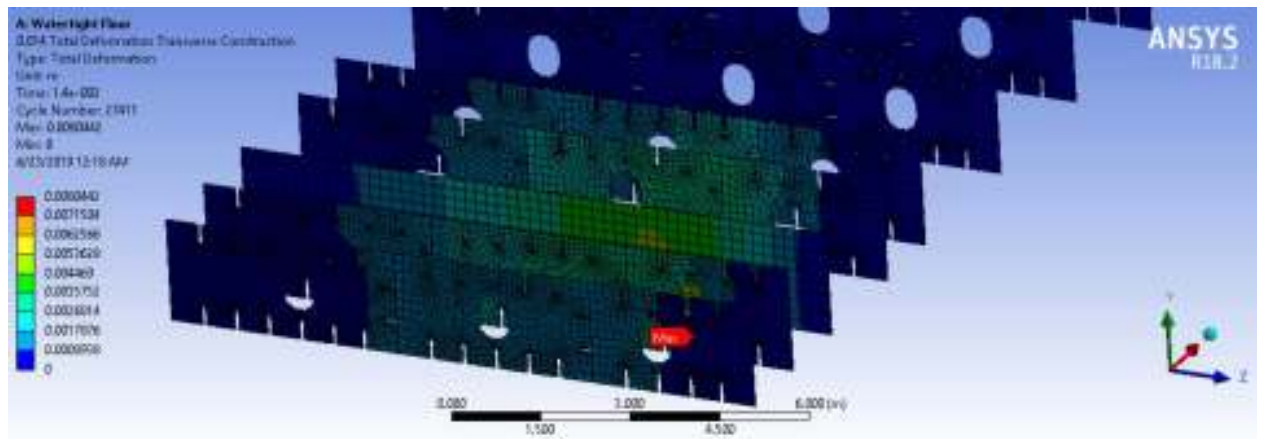
Detik 0,01



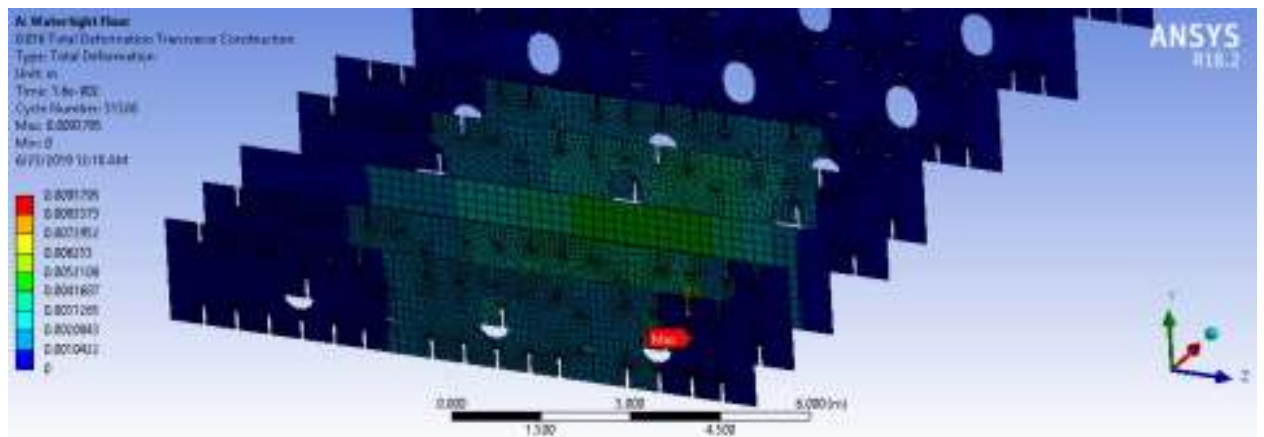
Detik 0,012



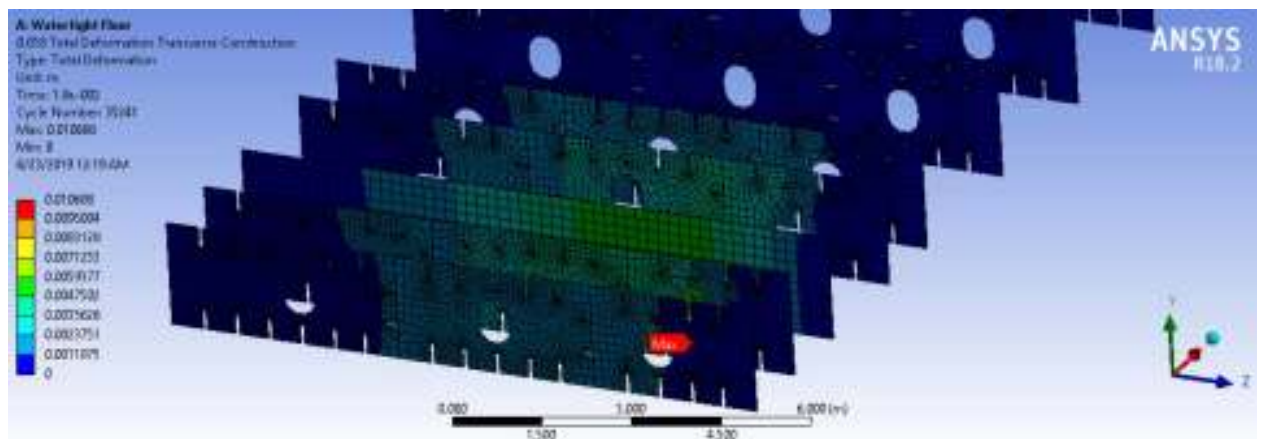
Detik 0,014



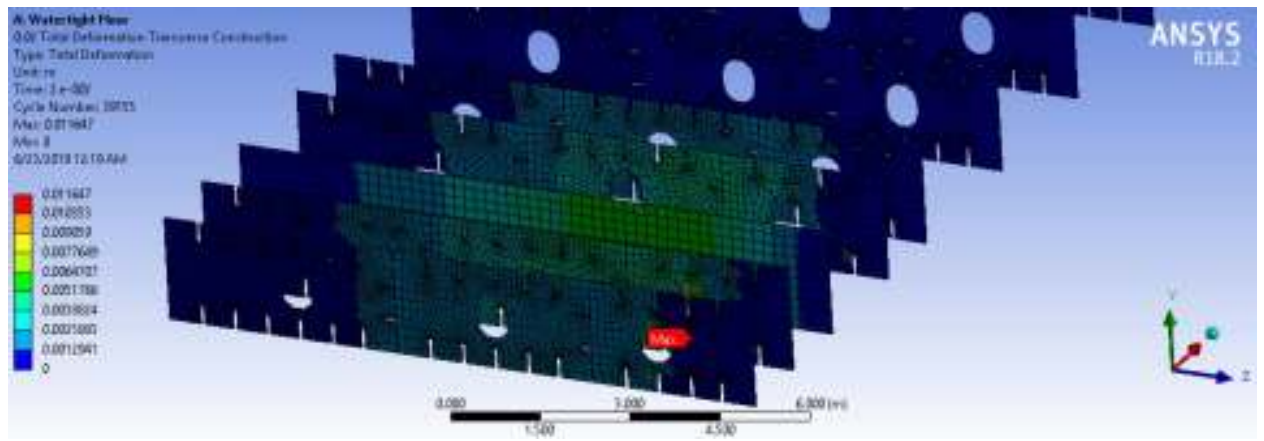
Detik 0,016



Detik 0,018



Detik 0,02



BIODATA PENULIS



Iqbal Permana, itulah nama lengkap penulis. Dilahirkan di Jakarta pada 8 Oktober 1996 silam, Penulis merupakan anak pertama dalam keluarga. Penulis menempuh pendidikan formal tingkat dasar pada TK Persiapan, kemudian melanjutkan ke SDN Klender 04, SMPN 255 Jakarta dan SMAN 71 Jakarta. Setelah lulus SMA, Penulis diterima di Departemen Teknik Perkapalan FTK ITS pada tahun 2015 melalui jalur SNMPTN.

Di Departemen Teknik Perkapalan Penulis mengambil Bidang Studi Rekayasa Perkapalan – Kekuatan dan Konstruksi Kapal. Selama masa studi di ITS, selain kuliah Penulis juga pernah menjadi *staff Sponsorship* SAMPAN 10 Himatekpal 2016/2017. Pada tahun ketiga penulis diamanahkan sebagai ketua SAMPAN 2018 Himatekpal 2017/2018.

Penulis tercatat pernah menjadi *grader* untuk mata kuliah Gambar Teknik, Desain Konstruksi Kapal.

Email : iqbalprmn@gmail.com

LinkedIn : <http://linkedin.com/in/iqbal-permana-b7023b117>

Handphone : +62818 875 849