



TUGAS AKHIR - MN 184802

**IDENTIFIKASI KERUSAKAN *DEBONDING RAMP DOOR*
BERBAHAN *SANDWICH PANEL* PADA KAPAL RO-RO**

**Fikri Indra Mualim
NRP 0411164000002**

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

**DEPARTEMEN TEKNIK PERKAPALAN
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2020**



TUGAS AKHIR - MN 184802

**IDENTIFIKASI KERUSAKAN *DEBONDING RAMP DOOR*
BERBAHAN *SANDWICH PANEL* PADA KAPAL RO-RO**

**Fikri Indra Kualim
NRP 0411164000002**

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

**DEPARTEMEN TEKNIK PERKAPALAN
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2020**



FINAL PROJECT - MN 184802

**IDENTIFICATION OF DEBONDING ON RO-RO SHIP'S
SANDWICH RAMP DOOR**

**Fikri Indra Mualim
NRP 04111640000002**

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

**DEPARTMENT OF NAVAL ARCHITECTURE & SHIPBUILDING ENGINEERING
FACULTY OF MARINE TECHNOLOGY
SEPULUH NOPEMBER INSTITUTE OF TECHNOLOGY
SURABAYA
2020**

LEMBAR PENGESAHAN

IDENTIFIKASI KERUSAKAN *DEBONDING RAMP DOOR* BERBAHAN *SANDWICH PANEL* PADA KAPAL RO-RO

TUGAS AKHIR

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

Oleh:

FIKRI INDRA MUALIM
NRP 0411164000002

Disetujui oleh Dosen Pembimbing Tugas Akhir:

Dosen Pembimbing

Prof. Ir. Achmad Zubaydi, M.Eng., Ph.D.
NIP 19590505 198403 1 012

Mengetahui,
Kepala Departemen Teknik Perkapalan

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

SURABAYA, 24 JULI 2020



LEMBAR REVISI

IDENTIFIKASI KERUSAKAN *DEBONDING RAMP DOOR* BERBAHAN *SANDWICH PANEL* PADA KAPAL RO-RO

TUGAS AKHIR

Telah direvisi sesuai dengan hasil Ujian Tugas Akhir
Tanggal 24 Juli 2020

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

Oleh:

FIKRI INDRA MUALIM
NRP 0411164000002

Disetujui oleh Tim Penguji Ujian Tugas Akhir:

1. Totok Yulianto, S.T., M.T.
2. Dony Setyawan, S.T., M.Eng.
3. Mohammad Nurul Misbah, S.T., M.T.
4. Wing Hendroprasetiyo A.P., S.T., M.Eng.



Disetujui oleh Dosen Pembimbing Tugas Akhir:

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

SURABAYA, 24 JULI 2020

HALAMAN PERUNTUKAN

Dipersembahkan kepada kedua orang tua atas segala dukungan dan doanya

KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa atas berkat dan karunianya Tugas Akhir ini dapat diselesaikan. Pada kesempatan ini Penulis ingin menghaturkan rasa terima kasih kepada pihak-pihak yang telah berjasa dalam penyelesaian Tugas Akhir ini, yaitu:

1. Keluarga yang telah memberikan dukungan terus-menerus baik moril maupun materiil
2. Prof. Ir. Achmad Zubaydi, M.Eng, Ph.D selaku Dosen Pembimbing atas kesempatan yang diberikan serta bimbingan dan motivasi tiada henti yang diberikan selama pengerjaan dan penyusunan Tugas Akhir ini;
3. Aries Sulisetyono, S.T. M.A.Sc. Ph.D selaku Dosen Wali atas segala bimbingan dan motivasi yang diberikan selama perkuliahan di ITS;
4. Ir. Wasis Dwi Aryawan, M.Sc., Ph.D selaku Kepala Departemen Teknik Perkapalan beserta seluruh dosen dan tenaga kependidikan yang telah membantu kelancaran perkuliahan Penulis;
5. Mas Tuswan dan Fathi Ilham selaku rekan penelitian Penulis dalam Tugas Akhir ini yang selalu sabar dalam memberikan pengarahan dan bantuan kepana Penuli sejak awal hingga penulisan laporan Tugas Akhir ini;
6. Mas Abdi, Mas Chandra, Mas Pradicha, Bang Zircham, dan Ervan selaku rekan seperjuangan dalam Tugas Akhir ini atas segala kritik, saran, dan motivasi yang diberikan;
7. P56-Ironclad yang telah menemani dan membantu Penulis menjalani perkuliahan di ITS sejak awal hingga hari ini;
8. Teman-teman KRK dan Heroboyo 9 yang telah menemani Penulis selama menjalani kehidupan di Surabaya;
9. Teman-teman IAIC Surabaya atas segala keramahan yang diberikan selama ini;
10. Adi Sasmito Aji selaku kawan seperjuangan sejak pertama kali menginjakkan kaki di Surabaya atas segala bantuan dan dukungan yang telah diberikan;
11. Para Deteksi Warrior atas bantuan dan motivasi yang selalu diberikan baik berupa moril maupun materiil, terima kasih atas pengalaman yang diberikan;
12. Dan semua pihak yang telah membantu penyelesaian Tugas Akhir ini yang tidak dapat Penulis sebutkan satu per satu

Pemulis menyadari bahwa dalam pengerjaan dan penyusunan Tugas Akhir ini masih jauh dari kata sempurna, sehingga kritik dan saran yang membangun sangat diharapkan. Akhirkata semoga laporan ini dapat bermanfaat bagi banyak pihak.

Bekasi, Juli 2020

Fikri Indra Muallim

IDENTIFIKASI KERUSAKAN *DEBONDING RAMP DOOR* BERBAHAN *SANDWICH PANEL* PADA KAPAL RO-RO

Nama Mahasiswa : Fikri Indra Mualim
NRP : 0411164000002
Departemen / Fakultas : Teknik Perkapalan / Fakultas Teknologi Kelautan
Dosen Pembimbing : 1. Prof. Dr. Achmad Zubaydi, M.Eng., Ph.D.

ABSTRAK

Perkembangan teknologi material mendorong beragam inovasi dalam bidang kemaritiman, khususnya perkapalan. Salah satunya adalah inovasi material sandwich sebagai upaya untuk meningkatkan kualitas konstruksi kapal. Material *sandwich* dapat diterapkan pada berbagai bagian konstruksi kapal seperti *ramp door*. Sebagai bagian konstruksi yang sering mengalami pembebanan maka konstruksi *ramp door* harus dibuat dengan kekuatan yang baik tapi juga dengan berat konstruksi yang ringan untuk memudahkan operasionalnya. Sebagai material yang baru dikembangkan, material *sandwich* juga memiliki kekurangan salah satunya adalah lepasnya ikatan antara material *core* dan *face plate* atau dikenal dengan sebutan *debonding*. Kerusakan ini dapat mempengaruhi kekakuan struktur yang berdampak pada berkurangnya kekuatan *ramp door*. Pengaruh *debonding* dapat diidentifikasi dengan melakukan pengujian numerik menggunakan *software* berbasis elemen hingga. Pengujian ini bertujuan untuk mengidentifikasi respon dinamis yang terjadi pada *ramp door* akibat pengaruh dari kerusakan *debonding* yang terjadi. Penelitian ini menggunakan *software* berbasis elemen hingga dengan 2 metode yaitu *static frequency* untuk mengetahui frekuensi natural dari *ramp door* dan *modal dynamics* untuk mengetahui respon dinamis *ramp door* akibat diberikan pembebanan. Berdasarkan hasil pengujian dengan *software* berbasis elemen hingga menunjukkan bahwa kerusakan *debonding* menurunkan kekakuan struktur. Sedangkan untuk lokasi yang paling sensitif jika terjadi kerusakan terdapat pada bagian permukaan bawah *core* atas dengan penurunan frekuensi natural mencapai 28,058%. Didapatkan juga model optimal dengan konfigurasi *face plate-core-face plate* dengan ketebalan 5-15-3 mm dengan konfigurasi penegar melintang dan penegar memanjang masing-masing berjumlah 12 buah. Dari hasil penelitian diketahui bahwa besarnya pembebanan juga dapat mempengaruhi respon dinamis dari *ramp door*. Besarnya pembebanan dapat mengurangi kekuatan struktur *ramp door* hingga 159%. Semakin besar beban maka akan semakin besar respon dinamis yang terjadi pada *ramp door*.

Kata kunci: *debonding*, *sandwich*, frekuensi natural, *modal dynamic*, respon dinamis

IDENTIFICATION OF DEBONDING ON RO-RO SHIP'S SANDWICH RAMP DOOR

Author : Fikri Indra Mualim
Student Number : 0411164000002
Department / Faculty : Naval Architecture / Marine Technology
Supervisor : Prof. Ir. Achmad Zubaydi, M.Eng., Ph.D

ABSTRACT

The development of material technology encourages a variety of innovations in the maritime field, especially the shipping industry. Sandwich material is one of the innovation as an effort to improve the quality of ship construction. Sandwich material can be applied to various parts of ship construction such as ramp doors. As part of construction that often experiences loading, ramp door construction must be made with good strength but also with light weight to facilitate its operation. As a newly developed material, sandwich material also has a disadvantage, one of which is the release of the bond between the core material and the face plate, also known as debonding. This damage can affect the structural stiffness which has an impact on the reduced strength of the ramp door. Debonding can affect the structural stiffness which has an impact on the reduced strength of the ramp door. The effect of debonding can be identified by carrying out numerical testing using finite element software. This test aims to identify the dynamic response that occurs in the ramp door due to the influence of debonding that occurs. This study uses finite element software with 2 methods, namely static frequency to determine the natural frequency of the ramp door and dynamics capital to determine the dynamic response of the ramp door due to loading. Based on the results of testing with finite element software shows that debonding reduces structural stiffness. Whereas for the most sensitive locations, if there is damage found on the bottom surface of the top sandwich with a decrease in natural frequency reaches 28,058%. Also obtained an optimal model with a face plate-core-face plate configuration with a thickness of 5-15-3 mm with a cross-beam and longitudinal beam configuration each totaling 12 pieces. From the research results it is also known that the amount of loading can also affect the dynamic response of the ramp door. The magnitude of the effect of loading can reduce the strength of the ramp door structure up to 159%. The greater the load, the greater the dynamic response that occurs in the ramp door.

Keywords: debonding, sandwich, natural frequency, modal dynamic, dynamic response

DAFTAR ISI

LEMBAR REVISI.....	vii
HALAMAN PERUNTUKAN.....	ix
KATA PENGANTAR.....	xi
ABSTRAK.....	xiii
ABSTRACT.....	xv
DAFTAR ISI.....	xvii
DAFTAR GAMBAR.....	xix
DAFTAR TABEL.....	xxi
DAFTAR SIMBOL.....	xxiii
BAB 1 PENDAHULUAN.....	1
1.1. Latar Belakang Masalah.....	1
1.2. Perumusan Masalah.....	2
1.3. Tujuan.....	2
1.4. Batasan Masalah.....	3
1.5. Manfaat.....	3
1.6. Hipotesa.....	3
BAB 2 STUDI LITERATUR.....	5
2.1. <i>Sandwich Core Material</i>	5
2.2. <i>Sandwich Plate System (SPS) Pada Konstruksi Kapal</i>	6
2.3. Kerusakan <i>Debonding</i> Pada <i>Sandwich Plate System (SPS)</i>	7
2.4. Frekuensi Natural.....	8
2.5. Pengaplikasian <i>Spring Element</i> pada Pemodelan Kerusakan <i>Debonding</i>	9
BAB 3 METODOLOGI.....	10
3.1. Diagram Alir.....	10
3.2. Data Konstruksi <i>Ramp Door</i>	11
3.3. Model Konstruksi <i>Ramp Door</i> Berbahan <i>Sandwich</i> Pada Kapal Ro-Ro.....	12
3.4. Pengujian Statis Pada Variasi <i>Ramp Door</i>	13
3.5. Pemodelan Model <i>Ramp Door</i> Berbahan <i>Sandwich</i> dengan <i>Software</i> Berbasis Elemen Hingga.....	13
3.5.1. <i>Part</i>	13
3.5.2. <i>Property</i>	14
3.5.3. <i>Assembly</i>	16
3.5.4. <i>Interaction</i>	16
3.5.5. <i>Load</i>	17
3.5.6. <i>Mesh</i>	18
3.5.7. <i>Step</i>	18
3.5.8. <i>Job</i>	19
3.6. Pemodelan <i>Debonding</i> Pada <i>Software</i> Berbasis Elemen Hingga.....	19
3.6.1. Pemodelan <i>Debonding</i> Variasi Lokasi Kerusakan.....	20
3.6.2. Pemodelan <i>Debonding</i> Variasi Besar Pembebanan.....	21
3.7. Penerapan <i>Spring Element</i> pada Pemodelan Kerusakan <i>Debonding</i>	23
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN.....	25
4.1. Analisis Statis Model.....	25

4.2. Analisis Konvergensi	28
4.3. Pengaruh Lokasi Kerusakan <i>Debonding</i> Terhadap Respon Dinamis	29
4.4. Pengaruh Pembebanan Pada Kerusakan <i>Debonding</i> Terhadap Respon Dinamis..	33
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN	44
5.1. Kesimpulan	44
5.2. Saran.....	45
DAFTAR PUSTAKA	47
LAMPIRAN.....	49
LAMPIRAN A HASIL SIMULASI NUMERIK VARIASI LOKASI KERUSAKAN <i>DEBONDING</i>	51
LAMPIRAN B HASIL SIMULASI NUMERIK VARIASI PEMBEBANAN PADA AREA KERUSAKAN <i>DEBONDING</i>	65
BIODATA PENULIS	85
LAMPIRAN	
BIODATA PENULIS	

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Bentuk <i>steel sandwich panel</i> Sumber: (Lloyd's Register, 2015).....	7
Gambar 2.2 Penerapan <i>sandwich plate</i> pada konstruksi kapal.....	7
Gambar 2.3 Ilustrasi kerusakan <i>debonding</i> . Sumber: (Mcgugan et al., 2020)	8
Gambar 2.4 Penggunaan <i>spring element</i> pada pemodelan kerusakan <i>debonding</i>	9
Gambar 3.1 Diagram Alir proses pengerjaan Tugas Akhir.	10
Gambar 3.2 Ramp door kapal ro-ro yang digunakan	11
Gambar 3.3 Pelat sandwich yang digunakan pada konstruksi ramp door	12
Gambar 3.4 Konfigurasi jumlah penegar variasi model ramp door	12
Gambar 3.5 Pendefinisian tiap <i>part</i> pada mode <i>ramp door</i>	14
Gambar 3.6 Hasil dari pemodelan salah satu <i>part</i>	14
Gambar 3.7 <i>Input data material properties</i>	15
Gambar 3.8 Proses <i>input</i> ketebalan pada salah satu <i>part</i>	15
Gambar 3.9 <i>Part</i> yang telah berhasil dilakukan <i>assign section</i>	16
Gambar 3.10 Konstruksi <i>ramp door</i> pada pemodelan <i>software</i> berbasis elemen hingga.	16
Gambar 3.11 Daftar <i>tie constraint</i> yang digunakan	17
Gambar 3.12 Kondisi batas pada <i>ramp door</i>	17
Gambar 3.13 <i>Meshing</i> pada salah satu <i>part ramp door</i>	18
Gambar 3.14 <i>Step</i> yang dilakukan pada simulasi	18
Gambar 3.15 <i>Window job manager</i>	19
Gambar 3.16 Model <i>ramp door</i> dengan <i>sandwich panel</i>	19
Gambar 3.17 Tebal kerusakan <i>debonding</i>	20
Gambar 3.18 Variasi lokasi kerusakan <i>debonding</i>	20
Gambar 3.19 Contoh jenis kendaraan yang digunakan dalam variasi pembebanan	21
Gambar 3.20 Sketsa jejak roda pada <i>ramp door</i>	21
Gambar 3.21 <i>Input</i> nilai frekuensi pada <i>modal dynamic</i>	22
Gambar 3.22 Penggunaan <i>spring element</i> pada pemodelan kerusakan <i>debonding</i>	23
Gambar 3.23 Fitur <i>spring element</i> pada <i>software</i> berbasis elemen hingga.....	23
Gambar 4.1 Grafik nilai tegangan dan berat variasi model.....	25
Gambar 4.2 Grafik persentase pengurangan nilai	26
Gambar 4.3 Pemodelan Model C dengan <i>software</i> berbasis elemen hingga.....	27
Gambar 4.4 Detail konstruksi <i>ramp door</i> dengan <i>sandwich</i> yang digunakan.....	27
Gambar 4.5 Grafik hasil analisis konvergensi.....	28
Gambar 4.6 Model yang telah dilakukan <i>meshing</i>	29
Gambar 4.7 Nilai frekuensi natural pada variasi lokasi kerusakan <i>debonding</i>	30
Gambar 4.8 Penurunan nilai frekuensi natural Variasi B.....	30
Gambar 4.9 <i>Mode shape</i> mode ke-8.....	31
Gambar 4.10 Nilai tegangan dan deformasi pada model dengan variasi lokasi kerusakan.....	32
Gambar 4.11 Bentuk kerusakan <i>debonding</i> yang akan diberikan pembebanan	33
Gambar 4.12 <i>Displacement</i> dari tiap <i>layer</i> pada <i>debonded sandwich panel</i>	34
Gambar 4.13 <i>Velocity</i> dari tiap <i>layer</i> pada <i>debonded sandwich panel</i>	35
Gambar 4.14 <i>Acceleration</i> dari tiap <i>layer</i> pada <i>debonded sandwich panel</i>	36
Gambar 4.15 Hasil respon dinamis <i>modal dynamics</i>	38
Gambar 4.16 Hasil respon dinamis pada <i>node</i> di luar area <i>debonding</i>	40

Gambar 4.17 Hasil perbandingan respon dinamis *ramp door* tanpa kerusakan *debonding* 42

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Syarat kelayakan untuk material <i>core</i> . (Lloyd's Register, 2015).....	5
Tabel 3.1 Data ukuran kapal yang digunakan.	11
Tabel 3.2 Data hasil pengujian statis	13
Tabel 3.3 Data <i>material properties</i> yang digunakan	15
Tabel 3.4 Data kendaraan yang digunakan.....	21
Tabel 3.5 Distribusi beban kendaraan.	22
Tabel 4.1 Data frekuensi natural untuk variasi lokasi rasio kerusakan <i>debonding</i>	29
Tabel 4.2. Nilai tegangan dan deformasi model dengan variasi lokasi kerusakan	31

DAFTAR SIMBOL

f_0	= Frekuensi Natural (Hertz)
k	= Kekakuan
m	= Massa (Kg)
σ	= Tegangan von Mises (MPa)
σ_{11}	= Tegangan normal (MPa)
U	= Deformasi (mm)
τ	= Tegangan geser (MPa)
W	= Berat (N)

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang Masalah

Perkembangan teknologi memberikan pengaruh besar terhadap berbagai bidang termasuk industri perkapalan. Pada industri perkapalan, inovasi dalam teknologi material terus berkembang. Salah satunya adalah penggunaan material *sandwich* untuk sistem konstruksi kapal. Penggunaan material *sandwich* khususnya yang menggunakan komposit memiliki banyak keunggulan seperti penyerapan energi yang baik dan ketahanan terhadap gaya. Jika diaplikasikan pada area yang luas, penggunaan material *sandwich* juga dapat mengurangi berat pada struktur konstruksi kapal (Chen et al., 2017).

Penggunaan material *sandwich* pada konstruksi kapal pun beragam, salah satunya pada bagian pintu rampa atau *ramp door* untuk mengurangi berat struktur. Pengurangan berat ini didapat akibat pengurangan jumlah penegar pada konstruksi yang menggunakan material *sandwich* (Tuswan, 2019). Konstruksi *ramp door* dengan berat struktur yang ringan dapat mempermudah kinerja dari *winch* ketika melakukan proses buka-tutup *ramp door* saat proses *loading/unloading* sehingga meningkatkan *durability* dari komponen-komponen terkait.

Walaupun memiliki banyak keunggulan, penggunaan material *sandwich* pada konstruksi kapal tetap memiliki kekurangan. Terdapat beberapa kerusakan yang dapat terjadi pada material *sandwich* salah satunya adalah *debonding*. Kerusakan ini dapat terjadi akibat kesalahan manufaktur. Hal ini disebabkan tingkat kerumitan proses manufaktur dari material *sandwich* yang tinggi (Tomblin et al., 1999). Selain itu kerusakan *debonding* juga dapat disebabkan akibat kondisi pembabatan dinamis. (Funari et al., 2019). Kerusakan *debonding* menyebabkan lepasnya ikatan antara *face plate* dengan *core*. Fenomena ini dapat disebabkan oleh ketidakcocokan antara material *face plate* dengan *core* ataupun akibat rendahnya karakteristik dari lapisan adhesif yang digunakan pada material *sandwich* (Funari et al., 2018). Kerusakan *debonding* juga dapat menjadi pemicu dari kerusakan lainnya seperti terjadinya *interfacial cracks* dengan ukuran relatif besar yang terjadi terhadap material *core* yang dimiliki oleh material *sandwich* (Triantafillou & Gibson, 1989).

Melihat besarnya dampak yang dapat ditimbulkan maka perlu dilakukannya pengujian akibat pengaruh kerusakan *debonding* terhadap struktur *ramp door*. Apalagi *ramp door* merupakan bagian kapal yang sering mendapatkan kondisi pembebanan dinamis. Pengaruh dampak kerusakan *debonding* terhadap struktur dapat dilihat dari respon dinamis yang terjadi pada struktur. Hal ini dapat dilakukan dengan melakukan identifikasi kerusakan berbasis getaran. Metode ini efektif digunakan untuk mendeteksi pengaruh kerusakan pada struktur kapal dengan area yang lebih luas (Budipriyanto et al, 2007). Pengujian ini dapat dilakukan dengan menggunakan *software* berbasis metode elemen hingga. Untuk meningkatkan akurasi dari hasil pengujian menggunakan *software* berbasis elemen hingga ini digunakan *spring element* untuk interaksi antara *face plate* dengan *core* yang terdapat pada area kerusakan *debonding* (Burlayenko & Sadowski, 2011).

Dengan didasari hal tersebut di atas maka dalam penelitian ini akan diidentifikasi pengaruh lokasi kerusakan *debonding* serta pengaruh pembebanan yang dilakukan pada area kerusakan *debonding* terhadap karakteristik dinamis struktur *ramp door*.

1.2. Perumusan Masalah

Dengan memperhatikan latar belakang diatas, maka didapatkan beberapa rumusan masalah yang akan dikaji pada Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh lokasi kerusakan *debonding* pada *ramp door* kapal bermaterial *sandwich* terhadap respon dinamis?
2. Bagaimana pengaruh lokasi kerusakan *debonding* terhadap tegangan *ramp door* kapal bermaterial *sandwich*?
3. Bagaimana pengaruh pembebanan pada kerusakan *debonding* terhadap respon dinamis *ramp door* kapal bermaterial *sandwich*?

1.3. Tujuan

Bedasarkan rumusan masalah diatas, tujuan yang ingin dicapai pada Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui pengaruh lokasi kerusakan *debonding* pada *ramp door* kapal bermaterial *sandwich* terhadap respon dinamis struktur tersebut.
2. Mengetahui pengaruh lokasi kerusakan *debonding* terhadap tegangan *ramp door* kapal bermaterial *sandwich*.

3. Mengetahui pengaruh pembebanan pada *debonding* pada *ramp door* kapal bermaterial *sandwich* terhadap respon dinamis struktur tersebut.

1.4. Batasan Masalah

Untuk hasil yang optimal dalam pengerjaan Tugas Akhir ini maka dilakukan pembatasan masalah sebagai berikut:

1. Material yang digunakan untuk lapisan muka (*faceplate*) adalah material baja, sedangkan material yang digunakan untuk lapisan inti (*core*) adalah resin dengan campuran 30% *clam shell*.
2. Kerusakan *debonding* diasumsikan karena kesalahan pada proses manufaktur.
3. Tebal kerusakan *debonding* yang dibuat sebesar 10% dari tebal *core* yang digunakan.
4. Tidak menghitung pengaruh dari motor penggerak *ramp door*.
5. Tidak dilakukan kajian ekonomis pada penelitian ini.

1.5. Manfaat

Manfaat dari Tugas Akhir ini adalah:

1. Sebagai referensi pengaplikasian material *sandwich* pada konstruksi kapal khususnya pada konstruksi *ramp door*.
2. Sebagai bahan pertimbangan dalam menentukan rancangan struktur konstruksi *ramp door* berbahan *sandwich*.

1.6. Hipotesa

Kerusakan *debonding* menyebabkan penurunan kekakuan struktur yang dapat diukur dari respon dinamisnya. Lokasi yang paling sensitif berada pada area yang semakin dekat dengan pusat beban. Besarnya beban juga akan mempengaruhi besar respon dinamis yang dihasilkan oleh *ramp door*.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 2 STUDI LITERATUR

2.1. *Sandwich Core Material*

Sandwich plate system (SPS) merupakan sebuah sistem pelat di mana terdapat 2 buah material pelat kaku yang dipisahkan oleh material inti yang memiliki karakteristik yang lebih ringan (Triantafillou & Gibson, 1989). Sebelum membuat sebuah *sandwich plate* perlu untuk terlebih dahulu melakukan pengujian terhadap material *core* yang akan digunakan agar memenuhi syarat kelayakan. Salah satu yang pedoman yang dapat dijadikan acuan dalam menentukan material *core* adalah peraturan yang dikeluarkan oleh Lloyd's Register. Menurut Ramakrishan & Kumar (2016) terdapat beberapa pilihan material yang dapat dijadikan sebagai material *core* pada *sandwich plate* seperti kayu, *foam*, dan juga *honeycomb*. Pada tugas akhir ini material *core* yang digunakan merupakan jenis *foam*. Penggunaan material *core* berupa *foam* ini merujuk kepada penelitian yang dilakukan oleh Abdullah et al. (2018). Pada penelitiannya, Abdullah et al. (2018) membuat *sandwich plate system* dengan *face plate* berupa baja dan *core* berupa campuran resin dengan serbuk cangkang kerang (*Anadara granosa*). Setelah melakukan percobaan dengan komposisi serbuk cangkang kerang sebesar 0%, 10%, 20% 30%, dan 40%, didapatkan hasil paling optimal dimiliki oleh campuran resin dengan 30% serbuk cangkang kerang. Karakteristik campuran tersebut juga memenuhi persyaratan yang disyaratkan oleh Lloyd's Register seperti yang terlihat pada Tabel 2.1. Sehingga pada tugas akhir ini menggunakan material *core* berupa campuran resin dengan 30% serbuk cangkang kerang.

Tabel 2.1 Syarat kelayakan untuk material *core*. (Lloyd's Register, 2015)

Test	Standard	Criteria
Density	ISO 845	$\geq 1000 \text{ kg/m}^3$ at Room Temperature ($^{\circ}\text{C}$)
Hardness	DIN 53505	Shore D ≥ 65 at Room Temperature ($^{\circ}\text{C}$)
Shear Modulus	Torsion pendulum test – 20 $^{\circ}\text{C}$ to +80 $^{\circ}\text{C}$ DIN EN ISO 6721-2	$G \geq 312-2.4T$ ($^{\circ}\text{C}$)

Tensile Stress	ISO 527 or ASTM D412	≥ 20 MPa at Room Temperature ($^{\circ}\text{C}$) ≥ 5 MPa at $+80^{\circ}\text{C}$
Elongation	ISO 527 or ASTM D412	Min. 10% at -20°C Min. 20% at Room Temperature ($^{\circ}\text{C}$)
Bond Shear Strength	ASTM D429-81	≥ 2.7 MPa (shot strength blasted) ≥ 4 MPa (grit blasted)

2.2. Sandwich Plate System (SPS) Pada Konstruksi Kapal

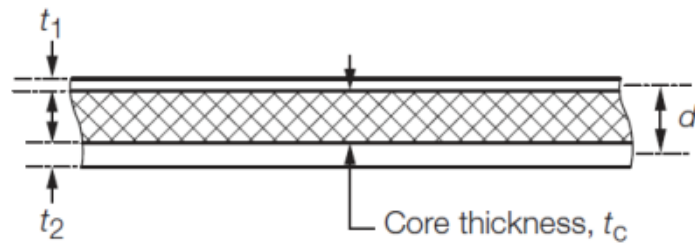
Pada konstruksi kapal biasanya material yang digunakan adalah baja. Tetapi pada *sandwich plate system* (SPS) baja hanya merupakan salah satu dari material penyusun. Selain itu juga terdapat *perimeter bar* pada sisi-sisi pelat yang sekaligus menjadi penghubung antar pelat (Momcilovic & Motoc, 2009). Material *core* dari SPS ini kebanyakan terbuat dari elastomer *polyurethane* yang telah melalui proses pemadatan. Adanya *core* di antara 2 buah pelat ini meningkatkan momen inersia SPS yang berfungsi untuk menahan beban *bending* dan *buckling* dengan kenaikan berat struktur yang kecil (Triantafillaou & Gibson, 1989). Selain itu *core* juga berfungsi memberikan kekuatan pada struktur melalui ikatan pada pelat yang berdampak pada berkurangnya kebutuhan terhadap penegar (Ramakrishnan & Kumar).

Pengaplikasian *sandwich plate* sendiri pada industri perkapalan telah dilakukan baik pada bangunan baru maupun konstruksi *existing*. Lloyd's Register sebagai klas juga telah mengeluarkan peraturan yang mengatur tentang pengaplikasian dari *sandwich plate* ini.

Pengaplikasian dari *sandwich panel system* pada kapal dapat mengurangi kompleksitas struktur dan biaya produksi. Pengurangan kompleksitas struktur ini membuat pemanfaatan ruang pada kapal dapat lebih dimaksimalkan (Brooking & Kennedy, 2004). Selain itu penggunaan *sandwich panel system* juga memiliki keunggulan lain seperti meningkatkan respon struktur terhadap *damping*, material yang memiliki ketahanan terhadap api, serta mampu menahan beban ekstrem (Ramakrishnan & Kumar, 2016). Hal tersebut tentunya meningkatkan faktor keamanan, keselamatan, dan kenyamanan pada kapal.

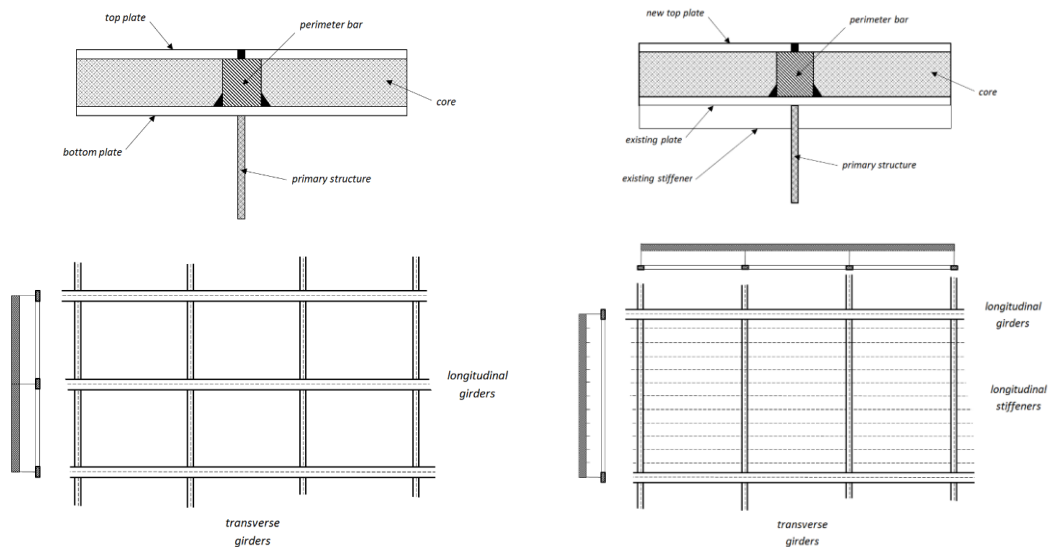
Lloyd's Register (2015) juga telah memberikan definisi terhadap *steel sandwich panel*. Berdasarkan dari definisi yang dikeluarkan oleh Lloyd's Register, *steel sandwich panel* merupakan sebuah panel yang terdiri atas 3 lapisan dengan konfigurasi: *top plate-core-bottom*

plate. Pengaplikasian *sandwich plate* sendiri pada industri perkapalan telah dilakukan baik pada bangunan baru maupun konstruksi *existing*. Lloyd's Register sebagai klas juga telah mengeluarkan peraturan yang mengatur tentang pengaplikasian dari *sandwich plate* ini. Penjelasan ini digambarkan pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Bentuk *steel sandwich panel* Sumber: (Lloyd's Register, 2015)

Selain Lloyd's Register, DNV-GL yang telah mengeluarkan paduan penggunaan *sandwich plate* pada konstruksi kapal. DNV-GL (2016) mengeluarkan paduan terkait penggunaan *sandwich plate* untuk konstruksi baru dan juga penerapannya pada konstruksi *existing* seperti tampak pada Gambar 2.2.



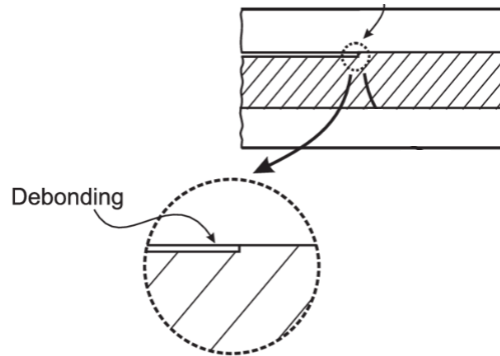
a.) Skema pada konstruksi baru b.) skema pada konstruksi *existing*

Gambar 2.2 Penerapan *sandwich plate* pada konstruksi kapal
(Sumber: DNV-GL, 2016)

2.3. Kerusakan *Debonding* Pada *Sandwich Plate System* (SPS)

Kesalahan manufaktur jadi salah satu hal yang dapat menyebabkan kerusakan *debonding*. Material dengan *material properties* yang kurang baik, pilihan penggunaan adhesif yang tidak tepat, dan beragam faktor lainnya. Selain itu *sandwich plate* yang mengalami kondisi pembebanan dinamis juga sangat memungkinkan mengalami kerusakan *debonding*. Selain itu

kerusakan *debonding* juga dapat disebabkan oleh ketidakcocokan antara *face plate* dan *core* seperti terlalu besarnya perbedaan ketebalan atau nilai modulus elastisitas pada masing-masing material (Burlayenko & Sadowski, 2018). Gambar 2.3 memperlihatkan bagaimana kondisi *sandwich plate* yang mengalami kerusakan *debonding*.



Gambar 2.3 Ilustrasi kerusakan *debonding*. Sumber: (Mcgugan et al., 2020)

Kerusakan *debonding* dapat dilakukan pendeteksian menggunakan respon waktu. Pada *sandwich plate* yang mengalami kerusakan *debonding* akan menghasilkan nilai amplitudo yang lebih besar dibandingkan dengan *sandwich plate* yang tidak memiliki kerusakan *debonding* (Tuswan et al., 2020).

2.4. Frekuensi Natural

Frekuensi natural atau sering disebut sebagai frekuensi getaran bebas merupakan frekuensi yang terjadi akibat gaya yang berasal dari sistem itu sendiri. Untuk mengetahui frekuensi natural dari suatu sistem maka akan dilakukan pengujian dengan membiarkan sistem tersebut bergetar dengan sendirinya tanpa adanya redaman. Secara matematis frekuensi natural dapat didefinisikan lewat persamaan berikut:

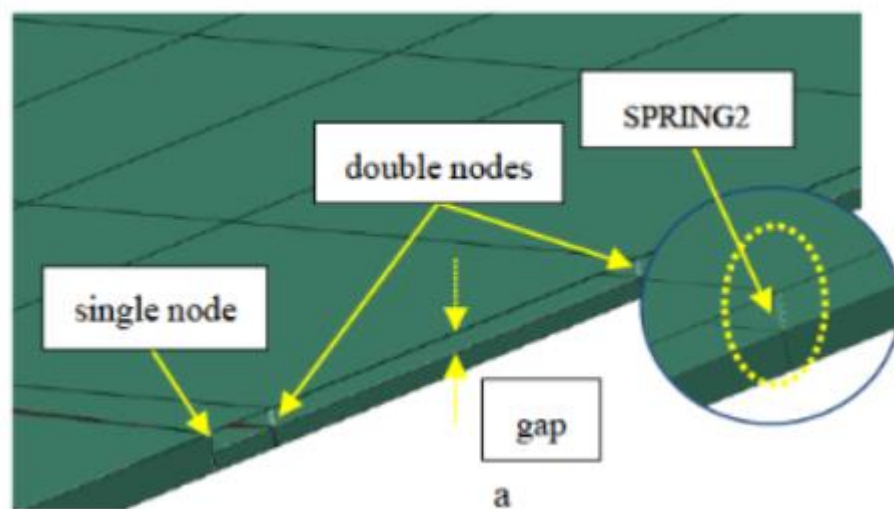
$$f_0 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k}{m}} \quad (1)$$

Setiap sistem memiliki frekuensi naturalnya masing-masing. Pada sebuah struktur, penting untuk mengetahui nilai frekuensi alaminya untuk menghindari terjadinya resonansi akibat frekuensi beban yang terjadi (Wahyuni, 2012). Resonansi sendiri memberikan pengaruh negatif terhadap struktur karena dapat menyebabkan kerusakan. Sehingga apabila suatu struktur telah diketahui nilai frekuensi naturalnya maka struktur tersebut harus dihindarkan dari beban

yang memiliki besaran frekuensi mendekati dari nilai frekuensi natural struktur tersebut agar tidak terjadi resonansi.

2.5. Pengaplikasian *Spring Element* pada Pemodelan Kerusakan *Debonding*

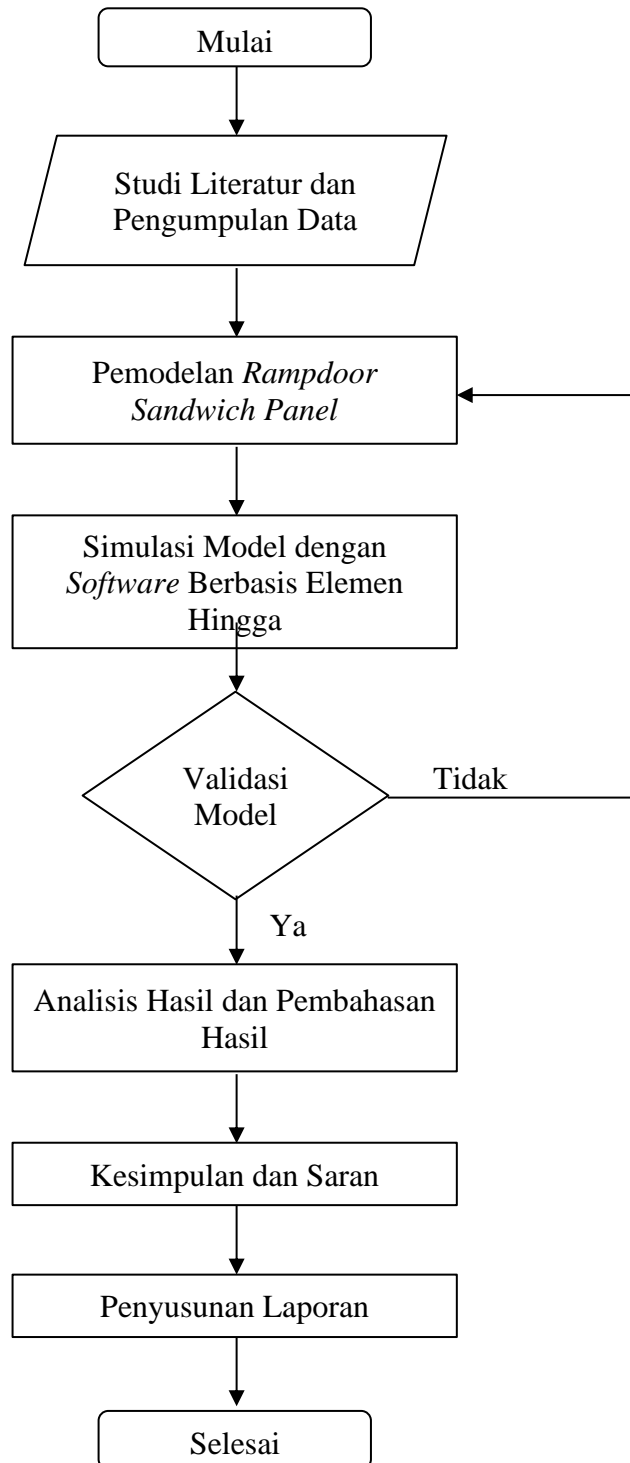
Penggunaan *spring element* pada pemodelan kerusakan *debonding* bertujuan untuk menghubungkan antar elemen yang ada pada *face plate* dengan elemen yang ada pada *core*. Metode ini menggunakan *multi-point constrains* (MPS) untuk menghubungkan *node* yang ada pada elemen-elemen tersebut. Penggunaan *spring element* ini untuk meningkatkan interaksi elemen-elemen yang ada pada area kerusakan *debonding* akibat lemahnya adhesi antar elemen pada area tersebut. Agar tidak terjadi tumpang tindih pada material *face plate* dengan *core* maka pada elemen pegas 3D SPRING2 menggunakan node ganda pada area kerusakan *debonding* seperti terlihat pada Gambar 2.4



Gambar 2.4 Penggunaan *spring element* pada pemodelan kerusakan *debonding*.
Sumber: (Tuswan et al., 2020)

BAB 3 METODOLOGI

3.1. Diagram Alir



Gambar 3.1 Diagram Alir proses pengerjaan Tugas Akhir.

3.2. Data Konstruksi *Ramp Door*

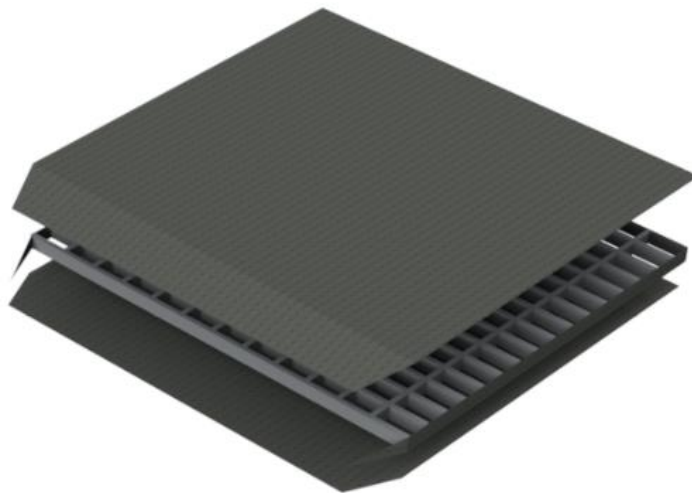
Ramp door yang digunakan dalam pengerjaan tugas akhir ini merujuk kepada *ramp door* yang digunakan pada penelitian yang dilakukan Diwantara (2019) dengan menggunakan *ramp door* dari kapal ro-ro 6311 GT. Tabel 3.1 Data ukuran kapal yang digunakan. menunjukkan data ukuran utama dari kapal tersebut.

Tabel 3.1 Data ukuran kapal yang digunakan.

LOA (m)	108,20	Gross Tonnage	6311
LBP (m)	103,90	Net Tonnage	3058
BMLD (m)	24,30	DWT	-
HMLD (m)	4,80	Sekat Memanjang	2
LT (mm)	1844	Sekat Melintang	17

Sumber: <https://www.bki.co.id/shipregister>

Sedangkan untuk gambar konstruksi *ramp door* yang digunakan sebagai referensi tugas akhir ini dapat dilihat pada Gambar 3.2 Ramp door kapal ro-ro yang digunakan.



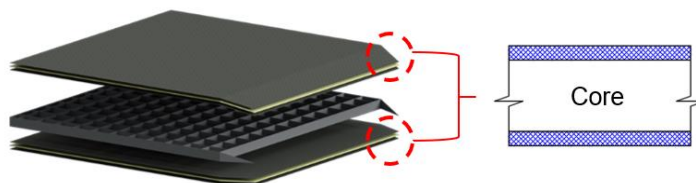
Gambar 3.2 Ramp door kapal ro-ro yang digunakan

Konstruksi *ramp door* tersebut diubah dengan mengaplikasikan konstruksi *sandwich*. Proses perubahan ini menggunakan peraturan yang dikeluarkan oleh klas yang dalam tugas akhir ini menggunakan peraturan dari Lloyd's Register. Setelah diubah menjadi model *ramp door* dengan konstruksi *sandwich* dibuat beberapa model dengan variasi jumlah penegar. Model yang paling optimal digunakan pada tugas akhir ini dengan 2 kriteria, yaitu persentase

pengurangan berat dan pengurangan tegangan. Selain itu model dengan konstruksi *sandwich* juga harus memenuhi tegangan izin yang diberikan oleh klas.

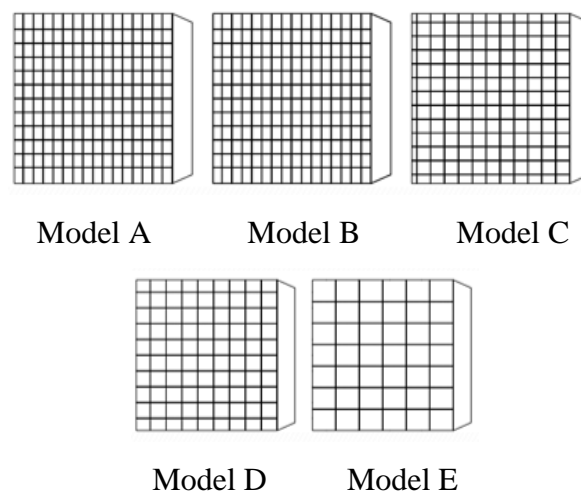
3.3. Model Konstruksi *Ramp Door* Berbahan *Sandwich* Pada Kapal Ro-Ro

Setelah variasi model yang dibuat memenuhi semua persyaratan maka akan dilakukan analisis statis untuk mengetahui kekuatan dari masing-masing variasi model. Gambar 3.3 memperlihatkan konstruksi *ramp door* yang telah menggunakan pelat *sandwich*.



Gambar 3.3 Pelat sandwich yang digunakan pada konstruksi ramp door

Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Tuswan (2020), terdapat 5 model *ramp door* dengan konstruksi *sandwich* yang akan dilakukan pengujian statis. Masing-masing model memiliki konfigurasi yang berbeda. Untuk Model A dan B memiliki konstruksi dengan 16 buah penegar melintang dan 16 buah penegar memanjang. Model C menggunakan penegar memanjang dan melintang masing-masing 12 buah. Model D memiliki konstruksi dengan jumlah penegar melintang sebanyak 9 buah dan penegar memanjang sebanyak 9 buah. Sedangkan Model E memiliki 6 buah penegar melintang dan 6 buah penegar memanjang untuk konstruksinya. Untuk konfigurasi *face plate-core-face plate* pada Model A menggunakan 5-15-5 sedangkan untuk Model B, C, D, dan E menggunakan konfigurasi 5-15-3. Konfigurasi dari masing-masing model dapat dilihat pada Gambar 3.4.



Gambar 3.4 Konfigurasi jumlah penegar variasi model ramp door

3.4. Pengujian Statis Pada Variasi *Ramp Door*

Pengujian ini untuk mendapatkan model yang paling optimal untuk dilakukan pengujian. Pengujian statis ini menggunakan *software* berbasis elemen hingga dengan 2 kriteria yang dipertimbangkan, yaitu pengurangan berat struktur dan pengurangan nilai tegangan. Untuk nilai tegangan sendiri terdapat 3 nilai yang dijadikan pertimbangan, yaitu: tegangan von Mises, tegangan normal, dan tegangan geser. Pada pengujian statis ini konstruksi *ramp door* akan diberikan beban dari beban maksimum jenis kendaraan yang dapat melintasi *ramp door* tersebut. Tabel 3.2 menampilkan data hasil pengujian statis dengan berat dari masing-masing model yang telah dilakukan oleh Tuswan (2020).

Tabel 3.2 Data hasil pengujian statis

Model	σ	σ_{11}	τ	U	W	Pengurangan Nilai Tegangan	Pengurangan Berat
	Mpa	Mpa	Mpa	mm	Ton	%	%
Existing	47.66	41.64	13.05	0.0011	22.99		
Model A	32.39	32.26	9.379	0.0007	23.06	32.04%	-0.290%
Model B	34.5	33.18	10.23	0.0008	20.63	27.61%	10.276%
Model C	36.02	37.4	11.28	0.0009	19.76	24.42%	14.063%
Model D	45.93	46.05	15.7	0.0011	18.11	3.63%	21.205%
Model E	58.57	62.87	22.81	0.0026	16.47	-22.89%	28.347%

Sumber: Tuswan, 2020.

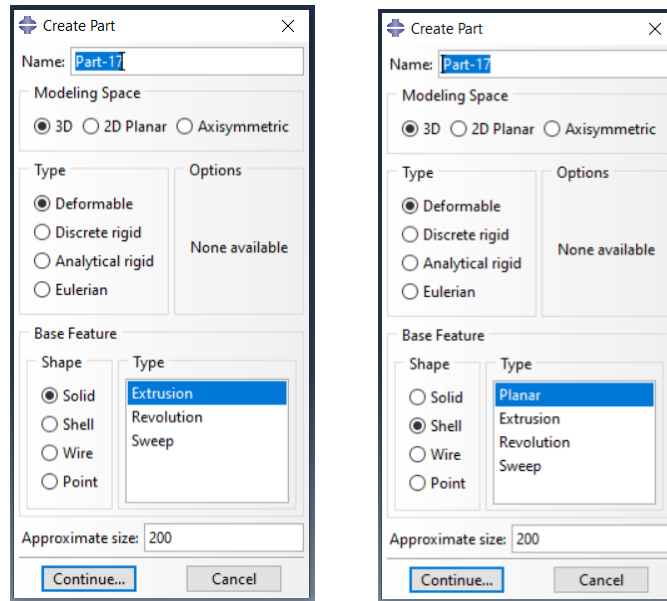
Berdasarkan data tersebut model yang optimal untuk dilakukan pengujian berdasarkan kriteria yang ada adalah Model C (Tuswan, 2020). Selanjutnya model ini akan menjadi acuan untuk pemodelan kerusakan *debonding* yang akan dilakukan dalam tugas akhir ini.

3.5. Pemodelan Model *Ramp Door* Berbahan *Sandwich* dengan *Software* Berbasis Elemen Hingga

Setelah didapatkan model yang optimal untuk dilakukan pengujian maka dilakukan pemodelan terhadap model tersebut dengan menggunakan *software* berbasis elemen hingga. Berikut adalah tahapan pemodelannya:

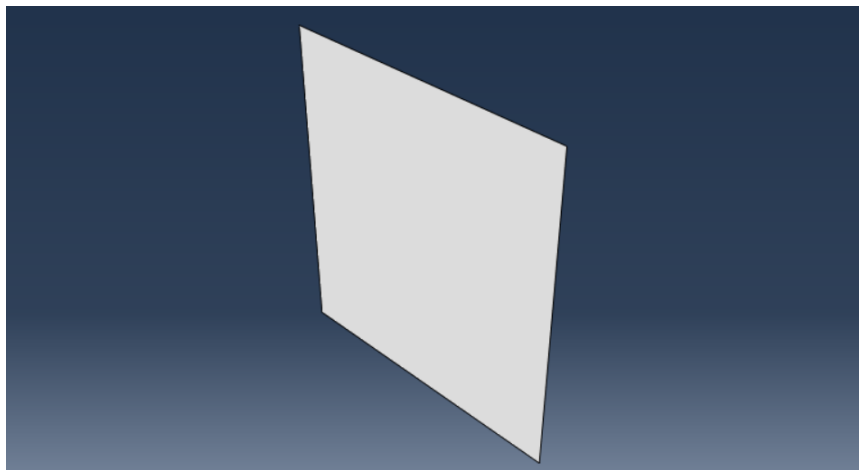
3.5.1. Part

Untuk bagian *face plate* didefinisikan dengan *shell shape* bertipe *planar*. Sedangkan untuk bagian *core* dan penegar didefinisikan sebagai *solid shape* dengan tipe *extrusion* seperti yang terlihat pada Gambar 3.5. Penggunaan *shell shape* bertujuan untuk menyederhanakan model sehingga proses simulasi dalam *software* berbasis elemen hingga dapat lebih efisien.



Gambar 3.5 Pendefinisian tiap *part* pada mode *ramp door*

Setelah tiap *part* telah didefinisikan dilakukan sketsa model untuk masing-masing *part*. Untuk *part* yang didefinisikan sebagai *solid extrusion* maka akan dilakukan *input* nilai ketebalan dari *part* tersebut. Gambar 3.6 menunjukkan pemodelan salah satu *part*.



Gambar 3.6 Hasil dari pemodelan salah satu *part*

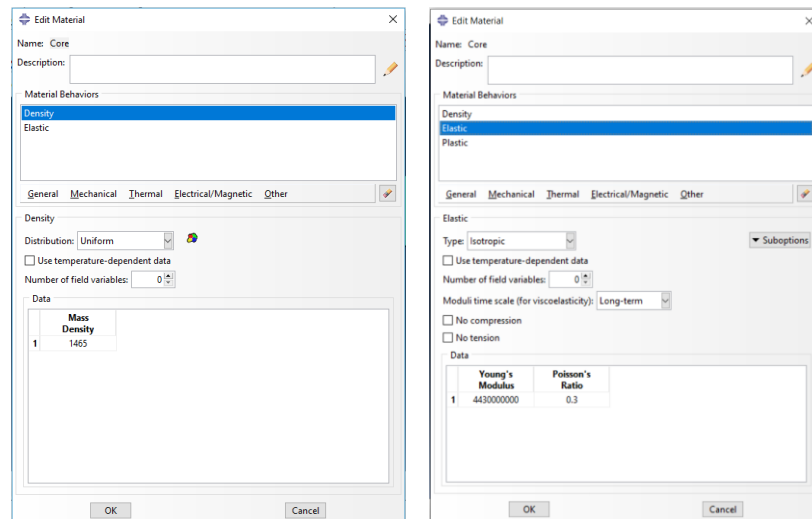
3.5.2. Property

Pada modul ini dilakukan proses *input* data untuk *material properties* dari tiap-tiap jenis material. Pada pemodelan ini digunakan 2 jenis material. Untuk *face plate* dan penegar menggunakan baja sedangkan bagian *core* menggunakan material campuran resin dengan cangkang kerang. Rincian dari *material properties* yang digunakan dapat dilihat pada Tabel

3.3. Sedangkan Gambar 3.7 menunjukkan proses *input* data yang dilakukan dalam *software* berbasis elemen hingga.

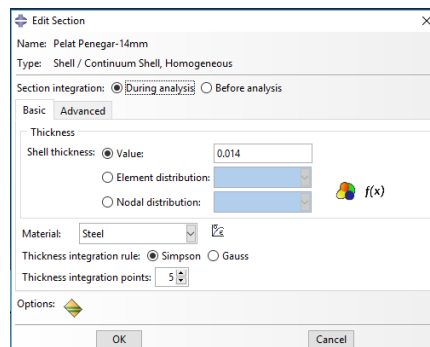
Tabel 3.3 Data *material properties* yang digunakan

Material	Berat Jenis (Kg/m ³)	Modulus Young (MPa)	Rasio Poisson's
Baja	7850	2.06 x 10 ⁵	0.30
Resin campuran Cangkang Kerang	1465	4.43 x 10 ⁵	0.30



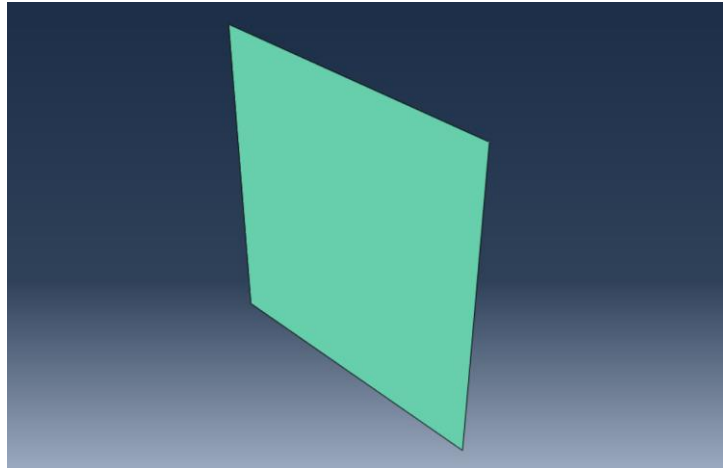
Gambar 3.7 *Input* data *material properties*.

Selanjutnya dilakukan pembuatan *section* untuk mendefinisikan tebal dari masing-masing *part* yang ada pada model. Gambar 3.8 menunjukkan proses *input* tebal *part* dimasukkan pada kolom *value* seperti pada *software* berbasis elemen hingga.



Gambar 3.8 Proses *input* ketebalan pada salah satu *part*.

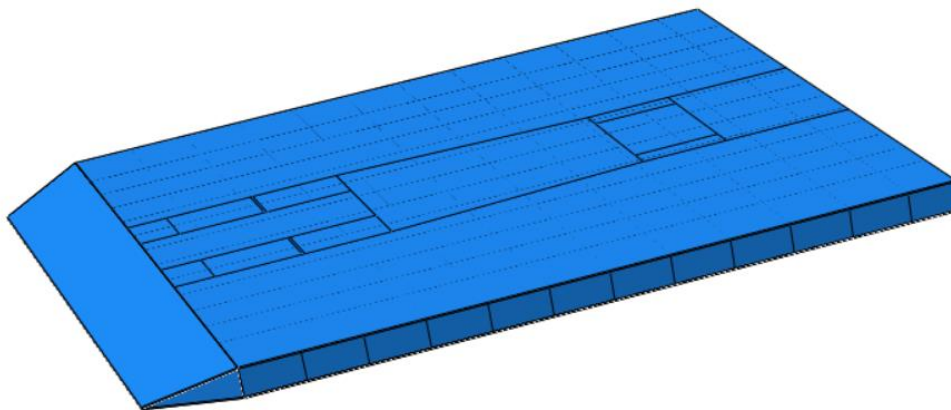
Selanjutnya dilakukan *assign section* untuk memilih *part* yang sesuai dengan *setion* yang telah dibuat. *Part* yang telah berhasil dilakukan *assign section* akan berubah warnanya menjadi hijau seperti pada gambar Gambar 3.9.



Gambar 3.9 *Part* yang telah berhasil dilakukan *assign section*.

3.5.3. *Assembly*

Seluruh *part* yang telah selesai dibuat dan didefinisikan akan digabungkan menjadi sebuah model *ramp door* utuh dalam modul *assembly* seperti yang tampak pada Gambar 3.10.



Gambar 3.10 Konstruksi *ramp door* pada pemodelan *software* berbasis elemen hingga.

3.5.4. *Interaction*

Langkah selanjutnya adalah mendefinisikan interaksi yang terjadi pada tiap *part*. Terdapat 3 interaksi yang dilakukan pada pemodelan model dalam *software* berbasis elemen hingga, yaitu *node-to-node tie constraint* (NN), *node-to-surface tie constraint* (NS), dan

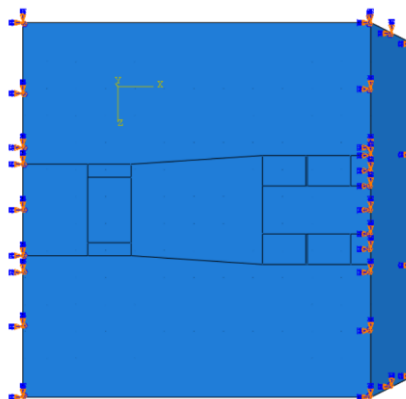
surface-to-surface tie constraint (SS). Penggunaan dari masing-masing interaksi tersebut didasarkan kepada definisi dari tiap-tiap part yang berinteraksi. Untuk interaksi antara permukaan *face plate* dengan penegar menggunakan tipe NS dan interaksi antara permukaan *face plate* dengan *core* menggunakan tipe SS. Sedangkan tipe NN digunakan pada garis-garis yang saling bersinggungan. Keseluruhan interaksi pada konstruksi *ramp door* yang telah dimodelkan dapat dilihat pada Gambar 3.11.

Name	Type
✓ C1_Steel3mm-Platsambelpan(NN)	Tie
✓ C2_Penegar-SteelAtas3mm(SS)	Tie
✓ C4_Penegar-SteelBawah5mm(NS)	Tie
✓ C5_PelatSambel-SteelBawah5mm(NN)	Tie
✓ C6_PlatDepan-Steel5mm(NN)	Tie
✓ C7_PenJar-Sambel	Tie
✓ C8_Segitiga2-PlatAtas(NN)	Tie
✓ C9_Segitiga2in-PlatAtas(NN)	Tie
✓ C10_SegitigaTegak2-PlatSamping(NN)	Tie
✓ C11_SegitigaTegak2in-PlatSamping2(NN)	Tie
✓ C12_SegitigaBawah2-Steel5mmBawah(NN)	Tie
✓ C13_SegitigaBawah2in-Steel5mmBawah(NN)	Tie
✓ C14_PlatAtas5mm-PlatMiring5mm(NN)	Tie
✓ C94_Steel5mmMiring-CoreMiring(SS)	Tie
✓ C95_Steel3mmMiring-CoreMiring(SS)	Tie
✓ C96_SteelAtas5mm-CoreAtas(SS)	Tie
✓ C97_SteelAtas3mm-CoreAtas(SS)	Tie
✓ C98_SteelBawah5mm-CoreBawah(SS)	Tie
✓ C99_SteelBawah3mm-CoreBawah(SS)	Tie

Gambar 3.11 Daftar *tie constraint* yang digunakan

3.5.5. Load

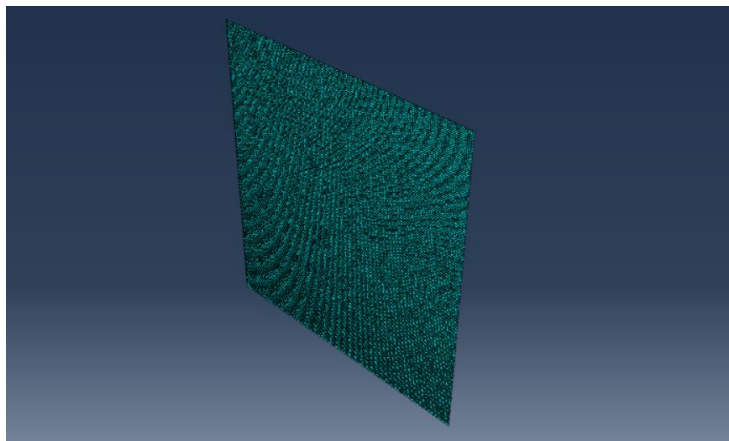
Pada modul *load* dilakukan pembebanan dan penentuan kondisi batas. Kondisi batas ini dibuat dengan asumsi posisi *ramp door* sedang terbuka saat proses *loading/unloading* kendaraan dengan diberikan tumpuan jepit pada ujung depan dan belakang *ramp door*. Gambar 3.12 menggambarkan kondisi batas yang diberikan pada *ramp door* dalam pemodelan tugas akhir ini. Sedangkan pembebanan yang diberikan menggunakan pembebanan dari kendaraan yang dapat melintasi *ramp door*.



Gambar 3.12 Kondisi batas pada *ramp door*

3.5.6. Mesh

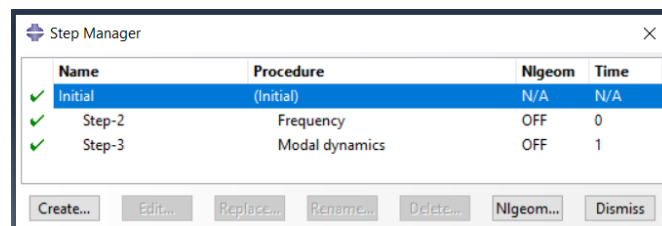
Proses selanjutnya yaitu menentukan ukuran dan tipe *mesh*. Ukuran *mesh* sangat penting untuk mendapatkan nilai yang akurat. Penentuan ukuran *mesh* didapatkan dari hasil analisis konvergensi. *Element shape mesh* yang digunakan pada model adalah *quad-structured* karena sebagian besar bentuk *part ramp door* berbentuk balok. *Meshing* dilakukan secara individu pada tiap-tiap *part*. Hal ini dilakukan agar bentuk meshing lebih rapi sehingga mempunyai tingkat akurasi yang tinggi untuk hasil *running*. Gambar 3.13 merupakan *part* penegar *ramp door* yang telah dilakukan *meshing* dengan *element shape quad-structured*.



Gambar 3.13 *Meshing* pada salah satu *part ramp door*

3.5.7. Step

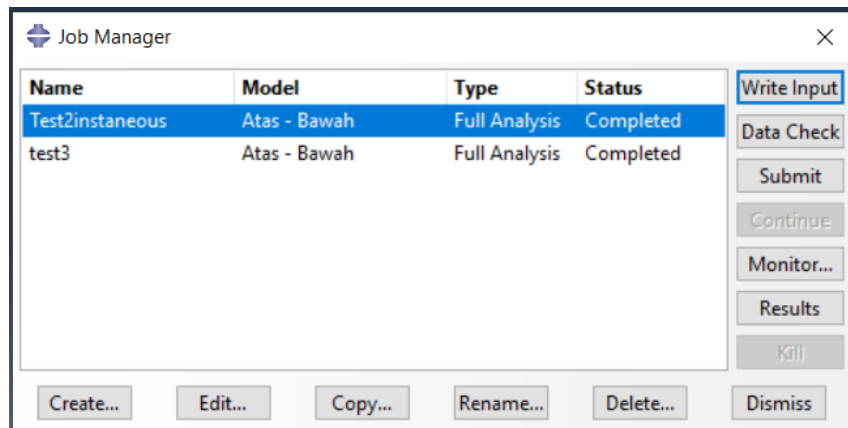
Step berfungsi untuk mengatur tahapan proses analisis yang akan dilakukan. Gambar 3.14 menunjukkan *step* yang akan dilakukan pada proses *running* model. *Initial step* merupakan *step* yang berfungsi untuk mendefinisikan kondisi batas tumpuan yang diaplikasikan pada model. Sedangkan untuk *step* yang selanjutnya adalah *frequency step*. *Frequency step* digunakan untuk mendapatkan hasil dari frekuensi alami struktur yang telah dimodelkan. *Modal dynamics step* digunakan untuk mendapatkan hasil respon dinamis yang terjadi pada model akibat pembebanan yang diberikan.



Gambar 3.14 *Step* yang dilakukan pada simulasi

3.5.8. Job

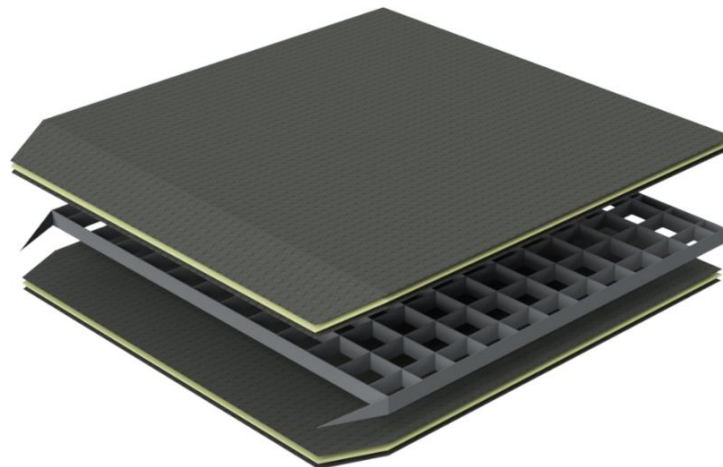
Setelah melakukan semua langkah persiapan untuk melakukan *running* pada model, maka langkah terakhir yaitu dengan membuat *job* dengan memasukkan *step* yang ingin dilakukan proses *running*. Untuk melakukan *running job*, tinggal menekan tombol *submit* pada *job manager*. Gambar 3.15 menunjukkan *window job manager* yang siap untuk *submit job*.



Gambar 3.15 Window job manager

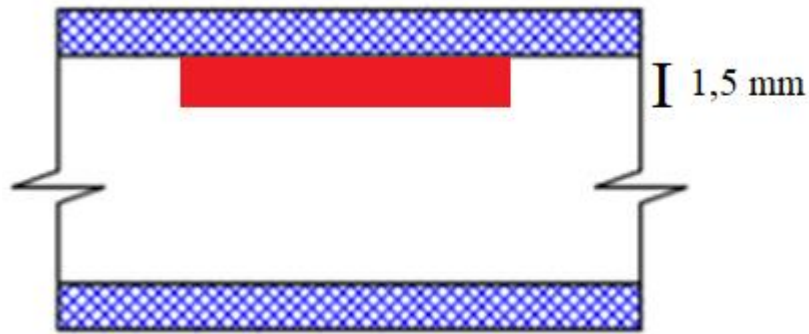
3.6. Pemodelan *Debonding* Pada Software Berbasis Elemen Hingga

Kerusakan *debonding* yang dibuat diasumsikan sebagai cacat yang terjadi akibat proses manufaktur. Dalam tugas akhir ini terdapat beberapa lokasi kerusakan *debonding* yang akan dianalisis untuk menentukan lokasi kerusakan *debonding* yang paling sensitif berdasarkan hasil dari respon dinamis yang terjadi. Model yang digunakan dalam tugas akhir ini dapat dilihat pada Gambar 3.16.



Gambar 3.16 Model *ramp door* dengan *sandwich panel*

Kerusakan *debonding* dalam tugas akhir ini ini dimodelkan dengan tebal 10% dari tebal material *core* yang digunakan. Ilustrasi tebal kerusakan *debonding* tampak seperti pada Gambar 3.17. Sehingga, jika ketebalan *core material* sebesar 15 mm, maka ketebalan dari kerusakan *debonding* sebesar 1.5 mm.

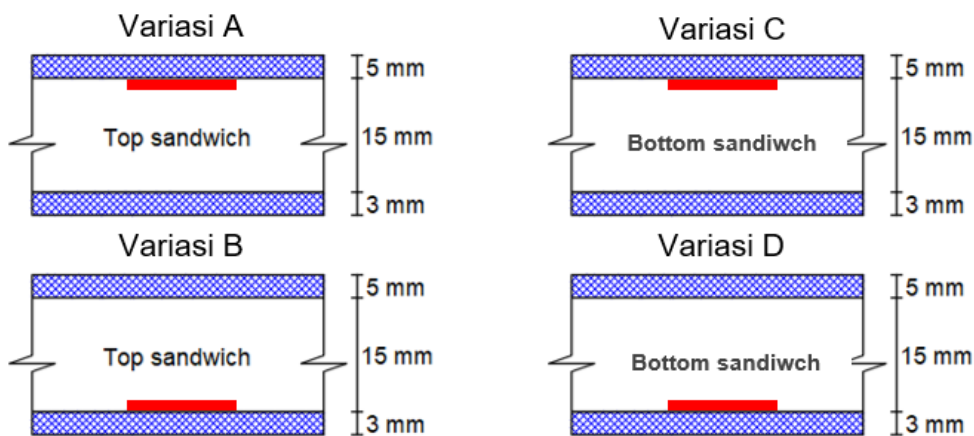


Gambar 3.17 Tebal kerusakan *debonding*

Variasi kerusakan *debonding* yang akan diteliti bertujuan untuk mengetahui perbedaan respon dinamis antara model yang sehat dengan model yang mengalami kerusakan *debonding*. Oleh karena itu variasi kerusakan *debonding* dimodelkan berdasarkan sebagai berikut:

3.6.1. Pemodelan *Debonding* Variasi Lokasi Kerusakan

Terdapat 4 variasi lokasi kerusakan *debonding* yang dibuat pada *ramp door*. Variasi A merupakan kerusakan *debonding* pada bagian atas *top sandwich*. Variasi B merupakan kerusakan *debonding* pada bagian bawah *top sandwich*. Variasi C merupakan kerusakan *debonding* pada bagian atas *bottom sandwich*. Variasi D merupakan kerusakan *debonding* pada bagian bawah *bottom sandwich*. Ilustrasi variasi lokasi kerusakan *debonding* tersebut ditunjukkan pada Gambar 3.18.



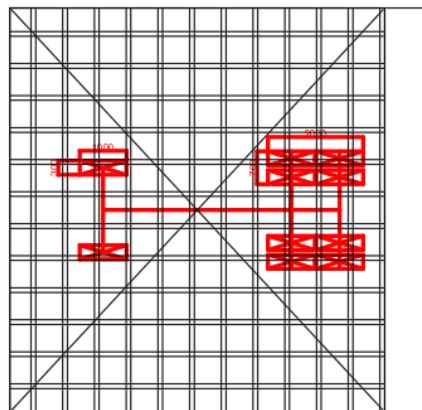
Gambar 3.18 Variasi lokasi kerusakan *debonding*

3.6.2. Pemodelan *Debonding* Variasi Besar Pembebanan

Pemodelan ini menggunakan jenis kendaraan yang sama dengan besar pembebanan yang berbeda. Jenis kendaraan yang digunakan merupakan truk tronton dengan konfigurasi 3 gandar yang dapat dilihat pada Gambar 3.19 dengan konfigurasi jejak roda pada *ramp door* ditunjukkan oleh Gambar 3.20. Kendaraan ini merupakan jenis kendaraan maksimum yang diizinkan untuk melewati *ramp door* pada kondisi *existing* sebelum dilakukannya perubahan konstruksi menggunakan *sandwich panel* (Diwantara, 2019). Tabel 3.4 menunjukkan konfigurasi beban dari truk tronton tersebut.



Gambar 3.19 Contoh jenis kendaraan yang digunakan dalam variasi pembebanan



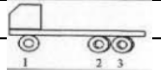
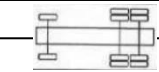
Gambar 3.20 Sketsa jejak roda pada *ramp door*

Tabel 3.4 Data kendaraan yang digunakan

Ukuran Karoseri	Berat	Ukuran Mobil
Panjang: 630 cm	Berat Kosong: 7,2 Ton	Panjang: 1190 cm
Lebar: 220 cm	Berat Maksimal: 16,8 Ton	Lebar: 250 cm
Tinggi: 230 cm		Tinggi: 290 cm
Dimensi: 30 CBM		

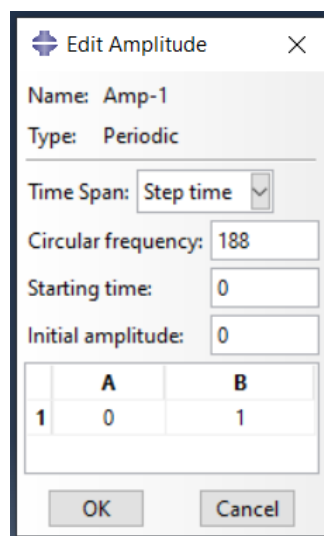
Untuk distribusi beban didasarkan pada peraturan yang dikeluarkan oleh Kementerian Perhubungan melalui Direktorat Jenderal Perhubungan Darat berdasarkan surat nomor SE.02/AJ.108/DRJD/2008 yang dapat dilihat dalam Tabel 3.5. Variasi yang digunakan menggunakan 3 variasi pembebanan. Variasi I menggunakan pembebanan dengan truk tonton bermuatan penuh atau 24 ton. Variasi II menggunakan pembebanan dengan truk bermuatan setengah penuh atau 15,6 ton. Variasi III menggunakan pembebanan dengan truk tronton tanpa muatan atau 7,2 ton. Posisi truk tronton pada ketiga variasi ini tetap sesuai dengan sketsa jejak roda awal. Pada variasi ini model *ramp door* akan diberikan beban selama 1 detik.

Tabel 3.5 Distribusi beban kendaraan.

Konfigurasi Sumbu	Gambar Konfigurasi Sumbu		MST Maksimal					JBI
	Atas	Samping	Sb I	Sb II	Sb III	Sb IV	Sb V	Max
1.22			6	9	9	-	-	24 Ton

Sumber: Direktorat Jenderal Perhubungan Darat, 2008.

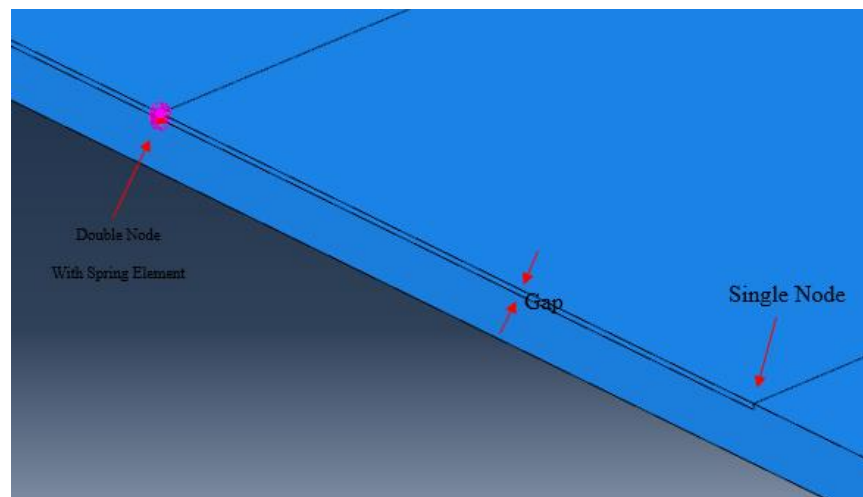
Pada pemodelan variasi pembebanan beban kendaraan dianggap sebagai *pressure* dengan kendaraan berada dalam posisi diam. Sehingga pada variasi ini dilakukan tambahan nilai amplitudo pada pembebanan. Nilai amplitudo ini didapatkan dari hasil pengujian *natural frequency* yang dilakukan pada model. Nilai yang diambil merupakan nilai yang mendekati dari mode pertama yang diubah ke dalam bentuk rad/s. Nilai yang mendekati mode pertama ini dipilih untuk melihat perbedaan yang signifikan terhadap struktur tanpa perlu melibatkan adanya faktor resonansi pada *ramp door*. *Input* nilai amplitudi pada variasi *modal dynamics* ini ditunjukkan pada Gambar 3.21.



Gambar 3.21 *Input* nilai frekuensi pada *modal dynamic*

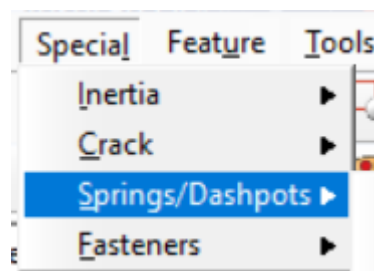
3.7. Penerapan *Spring Element* pada Pemodelan Kerusakan *Debonding*

Pada pemodelan kerusakan *debonding* yang dilakukan menggunakan *spring element*. Penggunaan *spring element* ini dilakukan pada *core* yang mengalami *debonding* dengan permukaan *face plate* yang berinteraksi dengan kerusakan tersebut. Penerapan ini bertujuan untuk meningkatkan ketelitian hasil pengujian pada *software* berbasis elemen hingga. Interaksi antara *core* dengan *face plate* yang dihubungkan dengan *spring element* dapat dilihat pada Gambar 3.22.



Gambar 3.22 Penggunaan *spring element* pada pemodelan kerusakan *debonding*

Penggunaan *spring element* ini terdapat pada modul *Interaction* yang terdapat dalam *software* berbasis elemen hingga yang dapat dilihat pada Gambar 3.23.



Gambar 3.23 Fitur *spring element* pada *software* berbasis elemen hingga

Halaman ini sengaja dikosongkan

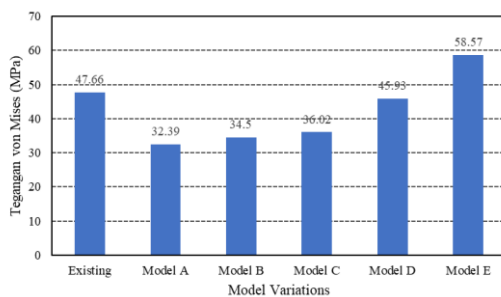
BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

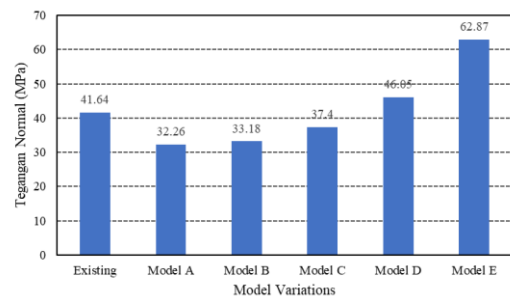
4.1. Analisis Statis Model

Analisis statis ini bertujuan untuk menentukan model konstruksi *ramp door* berbahan *sandwich* yang paling optimal. Hal tersebut ditentukan berdasarkan pengurangan tegangan dan pengurangan berat yang terjadi. Digunakan 5 model *ramp door* dengan konstruksi *sandwich* yang akan dilakukan uji statis pada tugas akhir ini. Nilai yang digunakan sebagai tolok ukur adalah nilai tegangan dan berat dari struktur *ramp door* konvensional sebelum dilakukannya penambahan pelat *sandwich*. Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan oleh Tuswan (2020), maka didapat data hasil uji statis yang dapat dilihat pada Gambar 4.1. Dari hasil uji statis yang dilakukan dengan menggunakan *software* berbasis elemen hingga didapatkan nilai-nilai tegangan dari masing-masing variasi model yaitu tegangan von Mises, tegangan normal, dan tegangan geser. Sedangkan untuk perhitungan berat struktur dilakukan secara terpisah. Untuk persentase besarnya pengurangan nilai tegangan dan berat yang terjadi pada tiap variasi model ditunjukkan oleh Gambar 4.2.

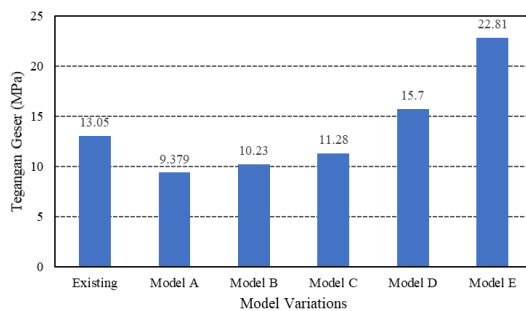
a.) Tegangan von Mises



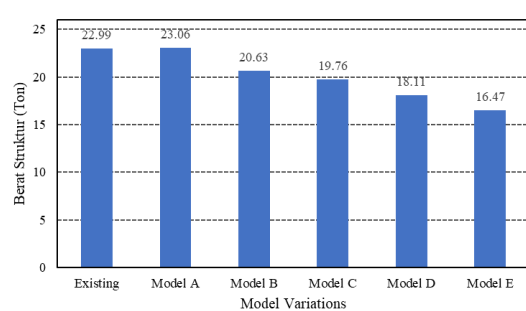
b.) Tegangan Normal



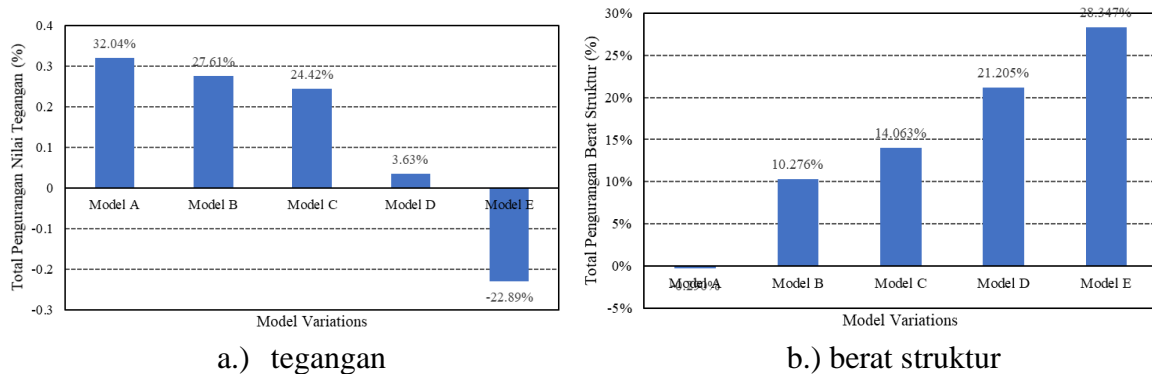
c.) Tegangan Geser



d.) Berat Struktur



Gambar 4.1 Grafik nilai tegangan dan berat variasi model



a.) tegangan

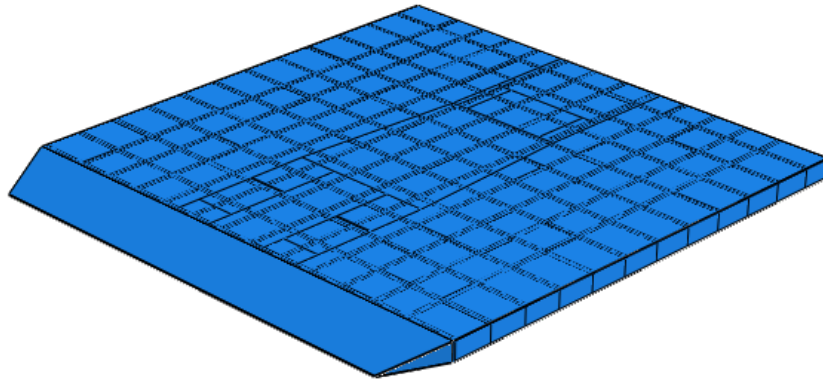
b.) berat struktur

Gambar 4.2 Grafik persentase pengurangan nilai

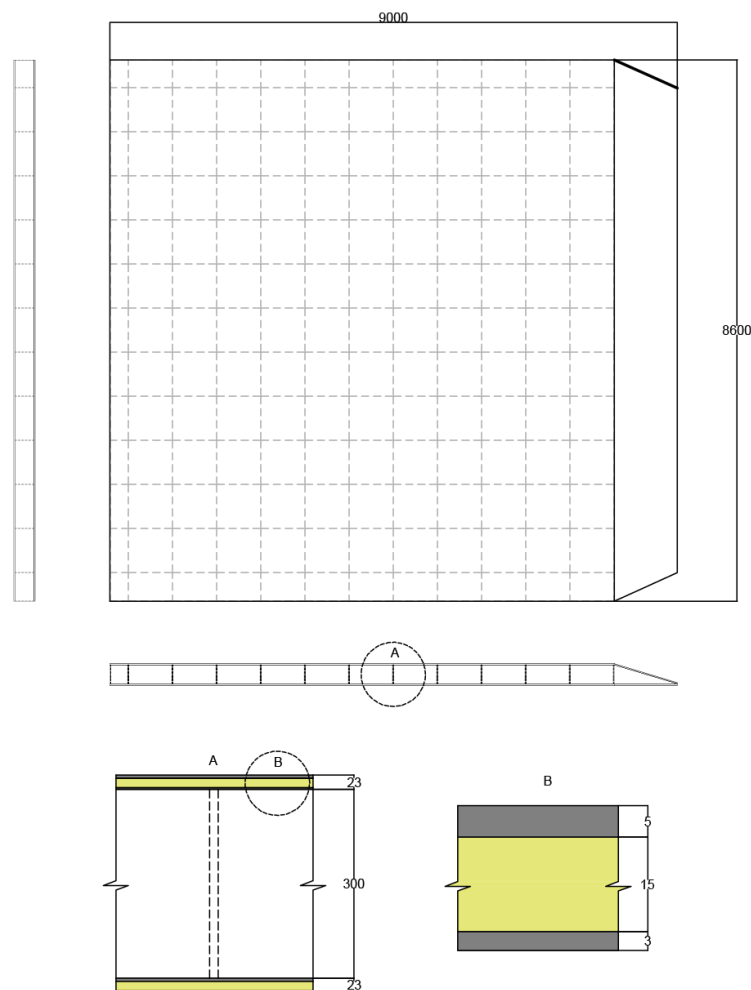
Dari hasil yang ditunjukkan pada Gambar 4.1 dapat terlihat bahwa Model E memiliki nilai tegangan yang paling tinggi. Hal ini menunjukkan bahwa Model E memiliki kekuatan stuktur yang lebih rendah dibandingkan variasi model lainnya. Bahkan nilai tegangan yang dimiliki Model E jauh lebih tinggi dari nilai tegangan pada *existing ramp door*. Karena seperti yang diketahui bahwa Model E memiliki konfigurasi jumlah penegar melintang dan memanjang yang masing-masing berjumlah 6 buah. Jumlah penegar ini lebih sedikit dibandingkan variasi model lainnya. Dibandingkan Model D yang memiliki jumlah penegar memanjang dan melintang masing-masing berjumlah 9 buah selisih nilai tegangan antara Model E dan Model D masih cukup besar hingga 12,93 MPa untuk tegangan von Mises, 16,82 MPa untuk tegangan normal, dan 17,11 MPa untuk tegangan geser. Hal ini menunjukkan bahwa selisih pengurangan jumlah penegar tetap mengurangi kekuatan struktur meskipun struktur tersebut telah menggunakan material *sandwich*.

Sedangkan Model A yang memiliki nilai pengurangan tegangan paling besar tetapi memiliki berat struktur yang lebih besar dari *existing ramp door* seperti yang terlihat pada Gambar 4.2. Hal ini disebabkan oleh konfigurasi *face plate-core-face plate* yang dimiliki oleh Model A adalah 5-15-5 mm. Berbeda dengan Model B yang memiliki berat struktur lebih ringan meskipun sama-sama memiliki jumlah penegar melintang dan memanjang dengan masing-masing berjumlah 16. Tetapi pada Model B digunakan konfigurasi *face plate-core-face plate* sebesar 5-13-3 mm. Selisih ketebalan 2 mm membuat Model A memiliki konstruksi yang lebih kuat dibanding Model B tetapi menjadi lebih berat dengan selisih hingga 2,43 ton atau 10,53% lebih ringan dibandingkan Model A. Tetapi berat struktur yang dimiliki Model B ini masih belum efisien. Jika dibandingkan dengan *existing ramp door* pengurangan berat struktur yang dimiliki Model B hanya sebesar 10,276%. Sehingga jika dilihat dari data yang ditampilkan pada Gambar 4.1 dan Gambar 4.2 model yang optimal untuk digunakan adalah Model C dengan

konfigurasi *face plate-core-face plate* sebesar 5-15-5 mm dan jumlah penegar melintang dan memanjang masing-masing berjumlah 12 buah. Pemodelan Model C dalam *software* berbasis elemen hingga ditunjukkan oleh Gambar 4.3 dengan detail konstruksi dapat dilihat pada Gambar 4.4



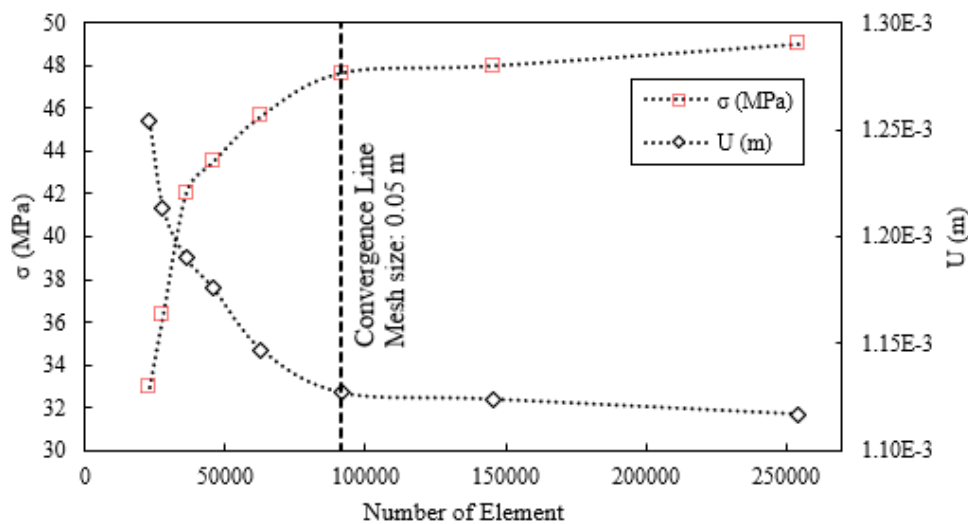
Gambar 4.3 Pemodelan Model C dengan *software* berbasis elemen hingga



Gambar 4.4 Detail konstruksi *ramp door* dengan *sandwich* yang digunakan

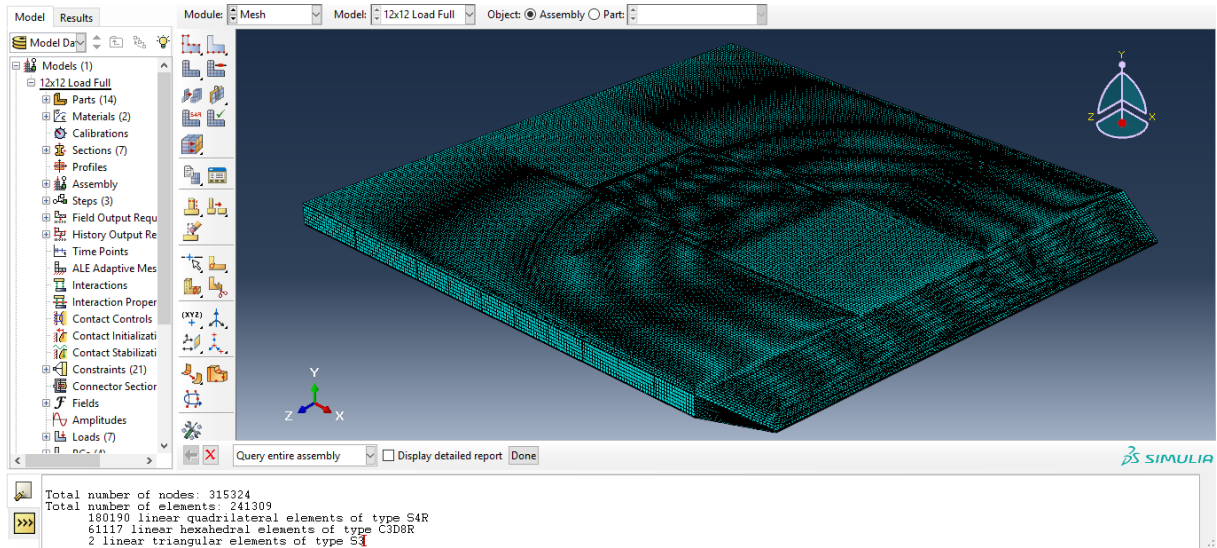
4.2. Analisis Konvergensi

Analisis konvergensi dibutuhkan untuk mendapatkan besar ukuran *mesh* sebelum dilakukannya proses simulasi numerik. Ketepatan ukuran *mesh* akan meningkatkan akurasi dari proses simulasi numerik yang dilakukan. Selain itu ukuran *mesh* yang tepat akan membuat proses simulasi menjadi lebih efisien dari segi waktu. Pada tugas akhir ini dilakukan analisis konvergensi dengan melakukan simulasi statis pada Model C yang dipilih sebagai model optimal untuk dilakukan pengujian. *Meshing* dilakukan pada keseluruhan konstruksi *ramp door* dengan rentang ukuran 0,1 m sampai dengan 0,03 m. Nilai tegangan von Mises dan besarnya deformasi menjadi acuan dari proses analisis konvergensi ini. Dari proses simulasi yang dilakukan didapatkan hasil seperti yang terlihat pada Gambar 4.5.



Gambar 4.5 Grafik hasil analisis konvergensi

Dari grafik dapat dilihat bahwa pada ukuran *mesh* sebesar 0,05 m sudah terjadi konvergensi antara nilai tegangan von Mises dan juga besar deformasi. Tapi pada tugas akhir ini dilakukan beberapa penyesuaian untuk beberapa bagian *ramp door* agar mendapatkan hasil uji yang lebih akurat. Penyesuaian tersebut dilakukan pada beberapa bagian *ramp door* dengan masing-masing memiliki pertimbangan khusus seperti lokasi, bentuk, dan juga interaksi yang terjadi pada bagian tersebut. Beberapa penyesuaian tersebut dilakukan pada *face plate* atas dengan ukuran *mesh* 0,04, bagian penegar dengan ukuran *mesh* sebesar 0,03, dan bagian pelat segitiga dengan *mesh* berukuran 0,02 m. Sehingga total elemen yang dimiliki pada model sebanyak 241.309 buah dengan *nodes* berjumlah 315.324. Proses *mesh* yang dilakukan pada model dapat dilihat pada Gambar 4.6.



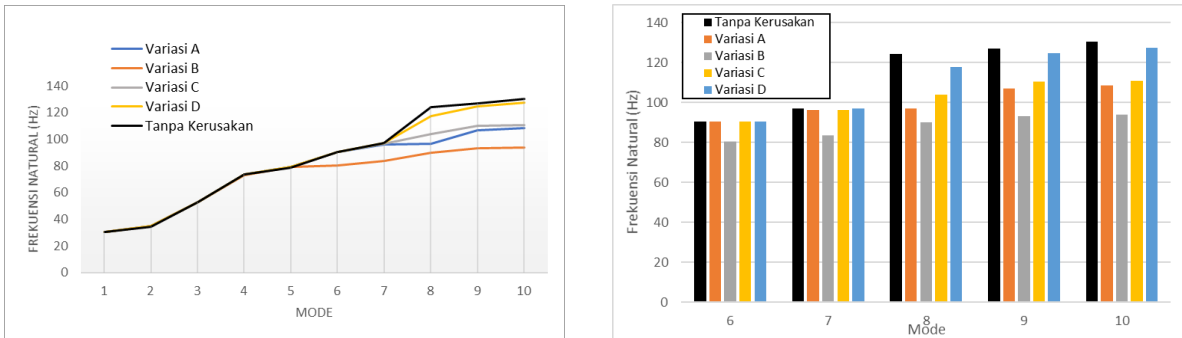
Gambar 4.6 Model yang telah dilakukan *meshing*

4.3. Pengaruh Lokasi Kerusakan *Debonding* Terhadap Respon Dinamis

Terdapat 4 variasi lokasi kerusakan yang dilakukan dalam tugas akhir ini. Analisis ini dilakukan untuk mengetahui respon dinamis antara model dengan lokasi kerusakan yang berbeda salah satunya diukur dari hasil frekuensi natural yang terjadi. Tabel 4.1 menunjukkan nilai frekuensi natural dari hasil simulasi yang dilakukan pada *software* berbasis elemen hingga terhadap 4 variasi lokasi kerusakan *debonding* yang terjadi dengan menggunakan 10 mode frekuensi. Dari hasil simulasi didapatkan nilai natural frekuensi dari masing-masing variasi model. Pengujian ini dilakukan dengan menggunakan 10 mode frekuensi dengan besarnya perubahan yang terjadi dapat dilihat pada Gambar 4.7.

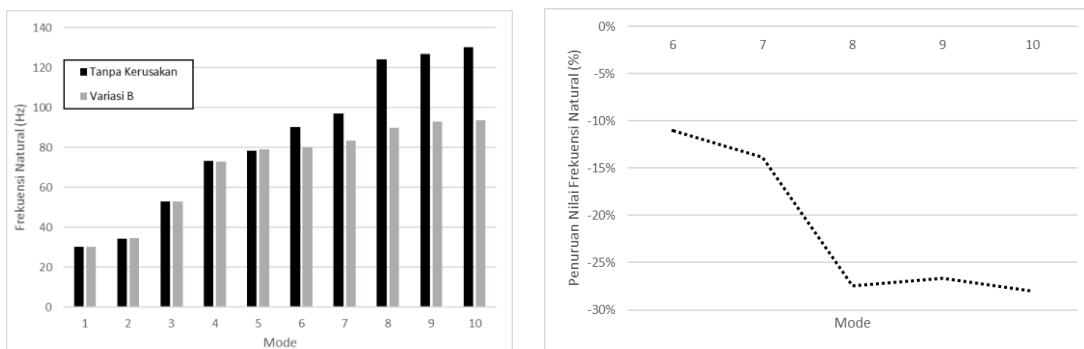
Tabel 4.1 Data frekuensi natural untuk variasi lokasi rasio kerusakan *debonding*

Nilai Frekuensi Natural (Hz)					
	Tanpa Debonding	Variasi A	Variasi B	Variasi C	Variasi D
1	30.289	30.425	30.414	30.462	30.464
2	34.519	34.684	34.698	34.682	34.679
3	52.979	52.953	52.879	53.035	53.043
4	73.297	73.534	73.13	73.632	73.687
5	78.571	78.987	79.033	78.981	78.97
6	90.285	90.24	80.307	90.307	90.335
7	97.04	96.234	83.611	96.355	96.953
8	124.06	96.825	89.945	103.77	117.6
9	126.97	106.77	93.155	110.25	124.72
10	130.25	108.38	93.705	110.87	127.23



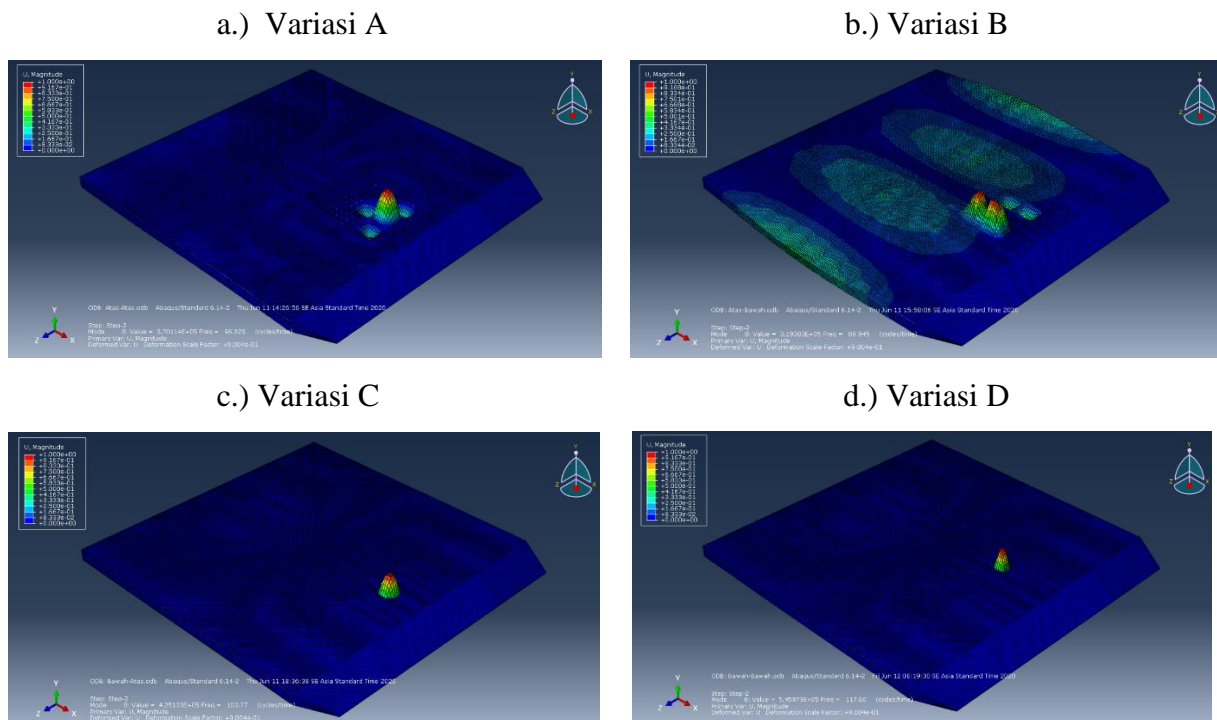
Gambar 4.7 Nilai frekuensi natural pada variasi lokasi kerusakan *debonding*

Dari hasil simulasi dapat dilihat bahwa perubahan signifikan terjadi pada mode ke-8. Sedangkan untuk Variasi B perubahan frekuensi natural yang signifikan terjadi sejak mode ke-6. Ini menunjukkan bahwa Variasi B menjadi model memiliki sensitivitas yang lebih tinggi dibandingkan variasi lainnya. Penurunan frekuensi natural paling besar juga dialami oleh Variasi B. Dibandingkan dengan model yang tanpa kerusakan, Variasi B memiliki penurunan nilai frekuensi natural 11,052% pada mode ke-6, 13,839% pada mode ke-7, 27,449% pada mode ke-8, 26,632% pada mode ke-9, dan 28,058% pada mode ke-10. Tren penurunan nilai frekuensi natural ini dapat dilihat pada Gambar 4.8.



Gambar 4.8 Penurunan nilai frekuensi natural Variasi B

Grafik tersebut menunjukkan bahwa lokasi kerusakan *debonding* yang berada pada permukaan bagian bawah *core* atas memiliki sensitivitas yang tinggi dibandingkan kerusakan *debonding* yang terjadi pada lokasi lainnya. Gambar 4.9 memperlihatkan hasil simulasi dengan *software* berbasis elemen hingga yang menunjukkan *mode shape* yang terjadi. Pada mode ke-8 di saat semua variasi mengalami perubahan nilai frekuensi natural secara signifikan terlihat bahwa karakter *mode shape* dari Variasi B memang memiliki kecenderungan bentuk yang lebih ekstrem dibandingkan variasi lainnya. *Mode shape* ini menunjukkan bentuk yang getaran yang terjadi akibat frekuensi natural dari struktur.



Gambar 4.9 Mode shape mode ke-8

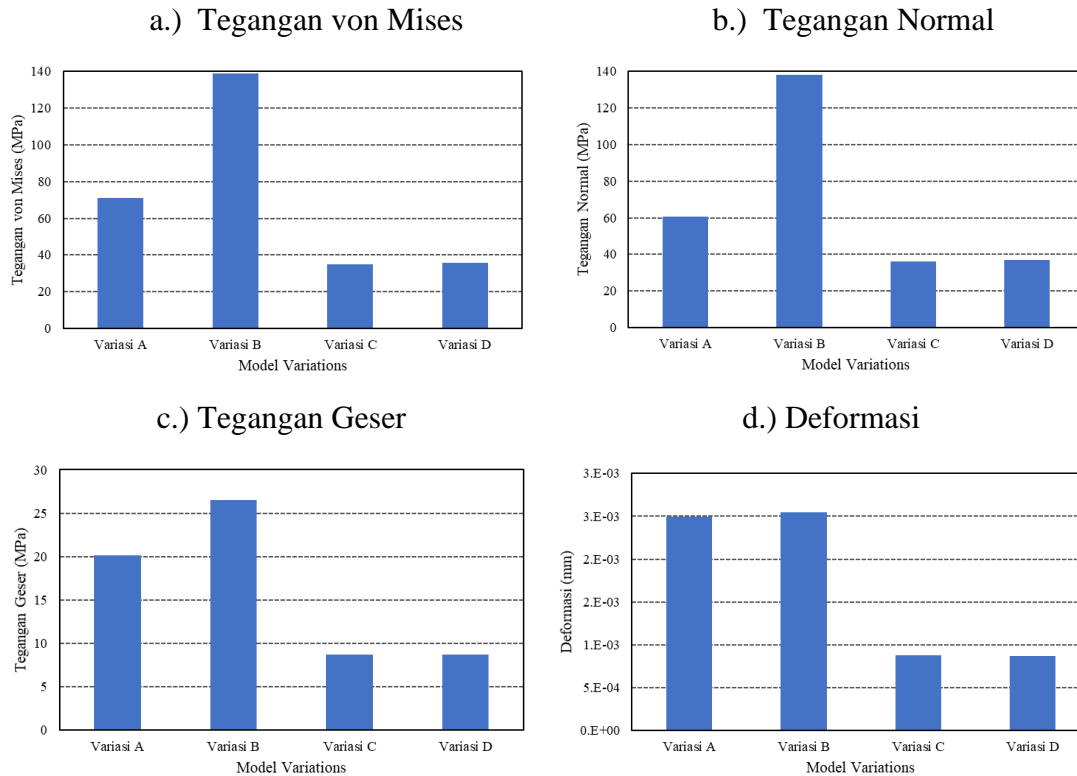
Penurunan frekuensi ini juga menyebabkan berkurangnya kekakuan struktur. Pengurangan dari kekakuan struktur ini menyebabkan tingginya nilai tegangan yang terjadi pada struktur tersebut. Hal ini dapat dilihat dari data hasil simulasi yang ditunjukkan oleh Tabel 4.2.

Tabel 4.2. Nilai tegangan dan deformasi model dengan variasi lokasi kerusakan

	Variasi A	Variasi B	Variasi C	Variasi D
Deformasi (mm)	2.50E-03	2.55E-03	8.75E-04	8.74E-04
von Mises Stress (MPa)	71.23	138.70	34.88	35.61
Normal Stress (MPa)	60.69	138.20	36.27	36.97
Shear Stress (MPa)	20.16	26.53	8.71	8.72

Perbedaan besar nilai tegangan dan deformasi yang terjadi pada model dengan variasi kerusakan ini dapat dilihat pada Gambar 4.10. Dari grafik tersebut terlihat bahwa model dengan kerusakan *debonding* pada *core* atas memiliki deformasi yang lebih besar dibandingkan dengan model yang memiliki kerusakan *debonding* pada *core* bawah. Besarnya deformasi yang terjadi pada model dengan lokasi kerusakan pada *core* atas sebesar 291% atau hampir 3 kali lebih besar dari nilai deformasi yang terjadi pada model dengan variasi lokasi kerusakan *debonding* pada *core* bawah. Sedangkan untuk nilai tegangan yang terjadi dapat terlihat perbedaan cukup besar antara model dengan kerusakan *debonding* pada *core* atas dengan model yang mengalami

kerusakan *debonding* pada *core* bawah. Salah satu contohnya terlihat dari nilai tegangan von Mises yang terjadi. Variasi C dan D yang memiliki kerusakan *debonding* pada *core* bawah secara berturut-turut memiliki nilai tegangan von Mises sebesar 34,88 MPa dan 35,61 MPa. Sedangkan pada Variasi A nilai tegangan von Mises yang terjadi sebesar 71,23 MPa atau meningkat sebesar 49% dibandingkan nilai rata-rata tegangan yang terjadi pada Variasi C dan D.



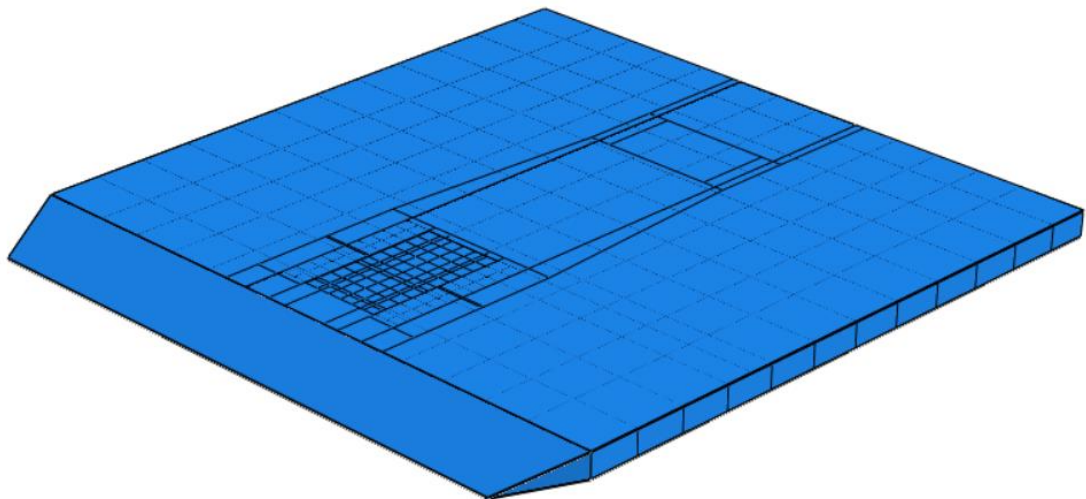
Gambar 4.10 Nilai tegangan dan deformasi pada model dengan variasi lokasi kerusakan

Perbedaan signifikan terjadi pada nilai tegangan yang dimiliki Variasi B. Misalnya saja pada nilai tegangan von Mises yang terjadi sebesar 138,70 MPa. Nilai ini 1,95 kali lebih besar dari nilai tegangan von Mises pada Variasi A. Meski lokasi kerusakan *debonding* yang terjadi sama-sama berlokasi pada *core* atas tetapi seperti yang diketahui dari Gambar 4.8 bahwa Variasi B memiliki nilai frekuensi natural yang lebih rendah dibandingkan variasi lainnya. Jika dibandingkan dengan nilai tegangan model *ramp door* tanpa kerusakan, maka nilai dari tegangan von Mises pada Variasi B bernilai hampir 4 kali lebih besar. Tetapi besarnya perbedaan nilai tegangan antara Variasi A dan B tidak terjadi pada nilai deformasi. Hal ini disebabkan pada Variasi B terdapat penegar yang menahan *core* untuk berinteraksi dengan *face plate* bagian bawah sehingga terjadi *gap* yang menyebabkan kekakuan struktur berkurang

sehingga menyebabkan tingginya nilai tegangan. Berbeda dengan Variasi A yang mana *gap* yang terjadi dapat diisi semaksimal mungkin untuk mempertahankan kekakuan struktur.

4.4. Pengaruh Pembebanan Pada Kerusakan *Debonding* Terhadap Respon Dinamis

Selanjutnya dilakukan analisis dampak pembebanan terhadap respon dinamis *ramp door* yang mengalami kerusakan *debonding*. Pada analisis ini digunakan model *ramp door* Variasi B. Model variasi ini dipilih karena telah dibuktikan bahwa kerusakan *debonding* pada bagian bawah permukaan *core* atas memiliki sensitivitas yang paling tinggi dibandingkan dengan variasi lainnya. Sensitivitas yang tinggi ini bertujuan agar mendapatkan hasil pengujian yang akurat. Untuk pembebanan sendiri menggunakan jenis kendaraan seperti yang ditampilkan pada Gambar 3.20 dan sketsa jejak roda pada *ramp door* ditunjukkan oleh Gambar 4.10. Besarnya kerusakan *debonding* yang digunakan sebesar $1,85 \text{ m} \times 1,85 \text{ m}$ dengan menggunakan *spring element*. Uji simulasi ini menggunakan metode *modal dynamics* dengan *software* berbasis elemen hingga. Pada metode ini *ramp door* akan mendapatkan getaran yang terjadi akibat beban kendaraan. Pada analisis ini dilakukan 3 variasi pembebanan yaitu truk tronton dengan muatan penuh (*Full Load*), truk tronton dengan muatan setengah penuh (*Half Load*) dan truk tronton tanpa muatan (*No Load*).

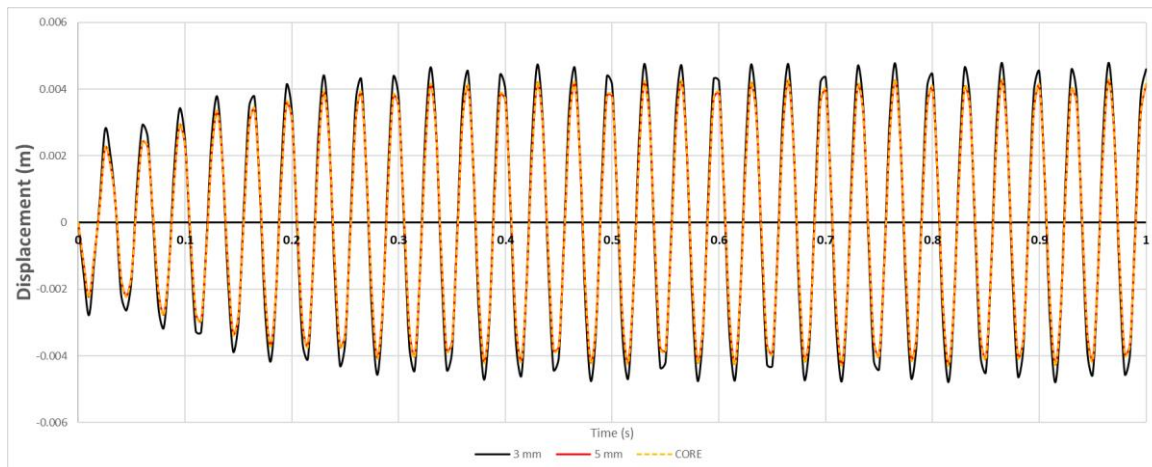


Gambar 4.11 Bentuk kerusakan *debonding* yang akan diberikan pembebanan

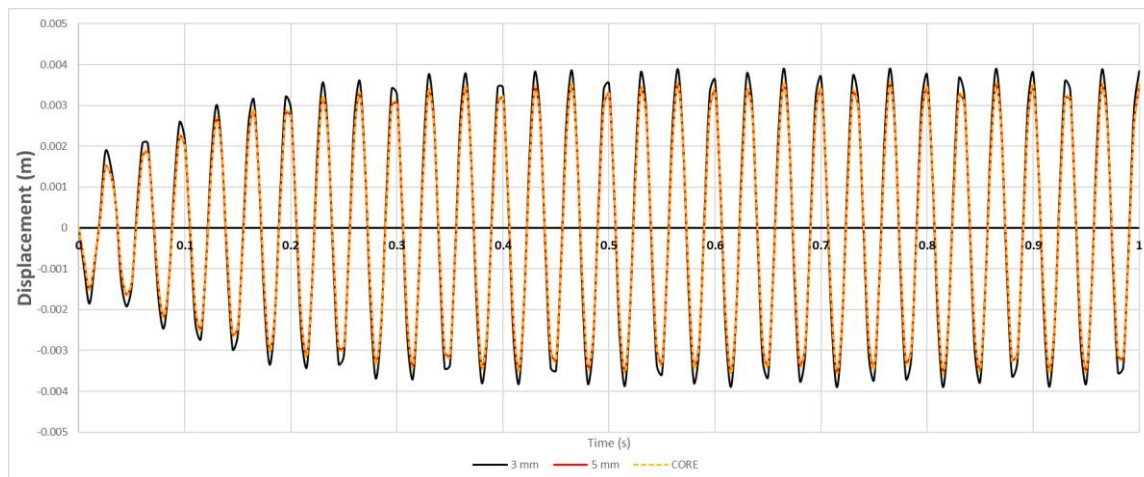
Hasil yang didapatkan dari simulasi *modal dynamics* ini adalah respon dinamis yang terjadi pada keseluruhan *ramp door*. Terdapat 3 faktor yang menjadi indikator pada simulasi ini yaitu *displacement*, *velocity* dan *acceleration* dengan menggunakan respon waktu. Respon dinamis ini diambil pada *node* yang berada pada area kerusakan *debonding* dengan nilai tegangan paling tinggi. Untuk memastikan nilai kerusakan tertinggi maka dilakukan

pengambilan nilai dari *node* di masing-masing lapisan *sandwich panel* yaitu pada pelat 5 mm, pelat 3 mm, dan juga bagian *core*. Gambar 4.12 hingga Gambar 4.14 memperlihatkan hasil pengukuran dari ketiga *node* tersebut.

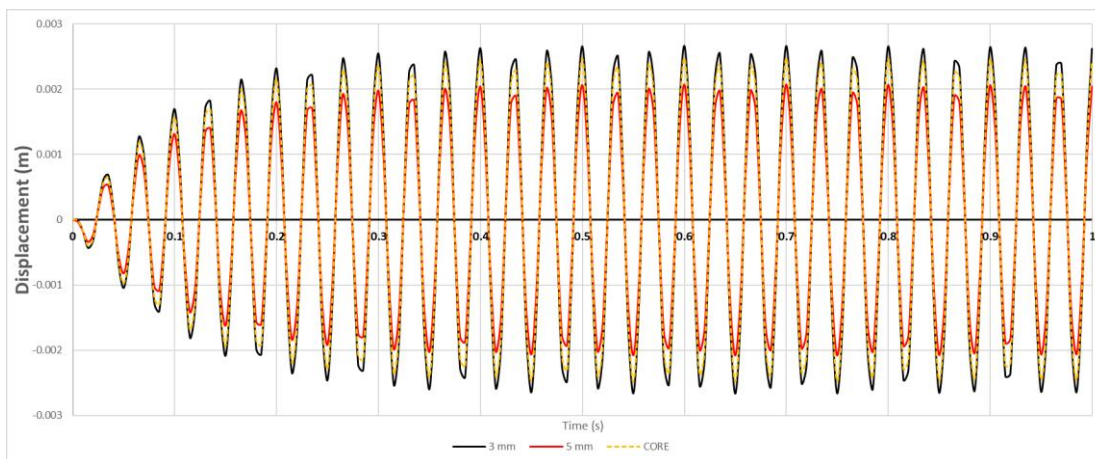
a.) Variasi *Full Load*



b.) Variasi *Half Load*

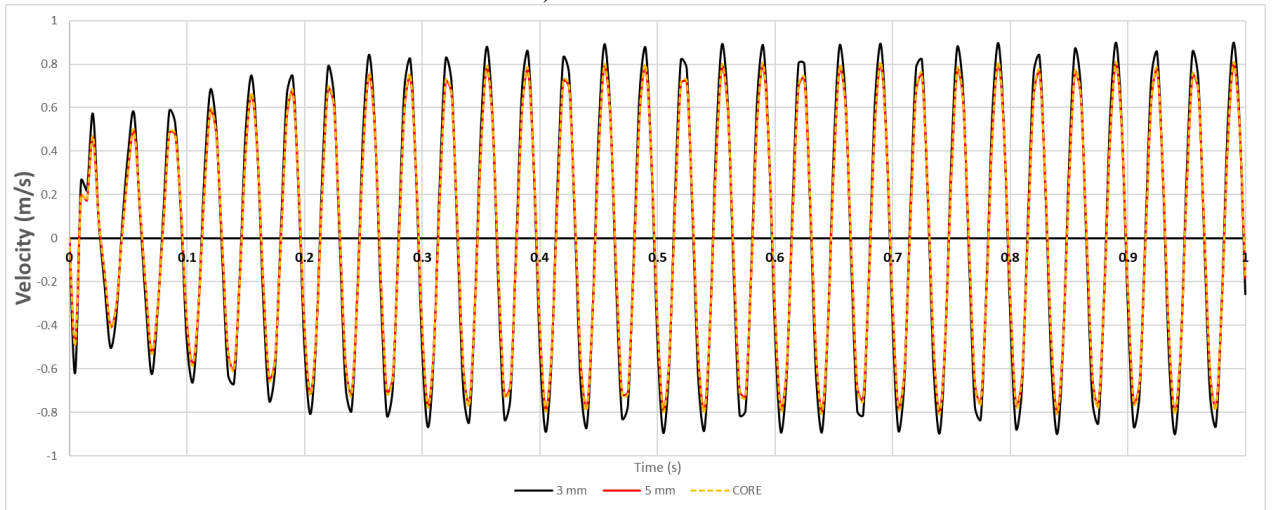


c.) Variasi *No Load*

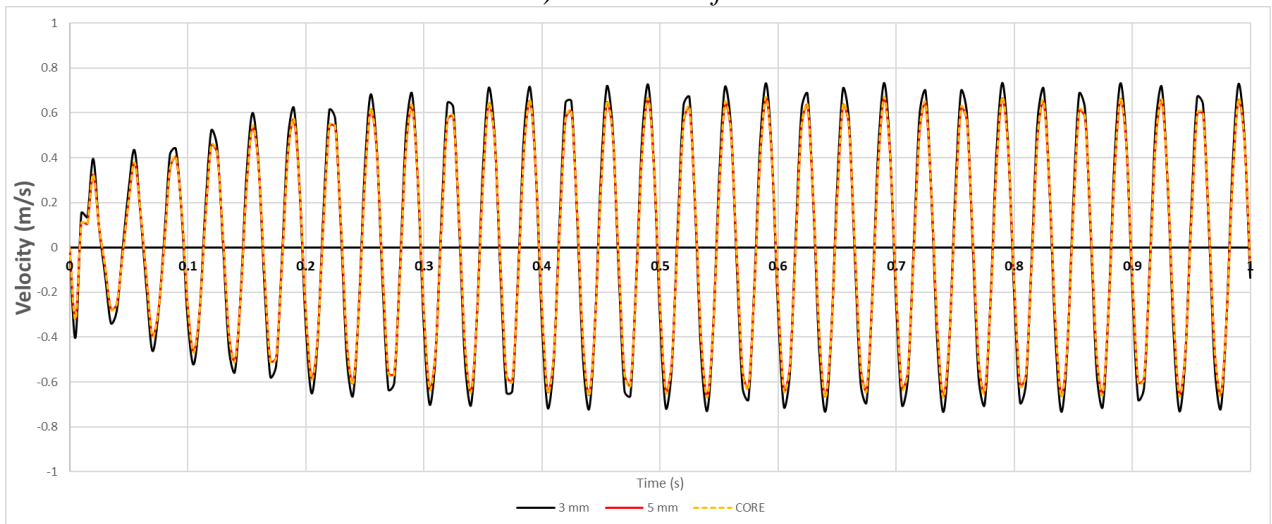


Gambar 4.12 *Displacement* dari tiap *layer* pada *debonded sandwich panel*

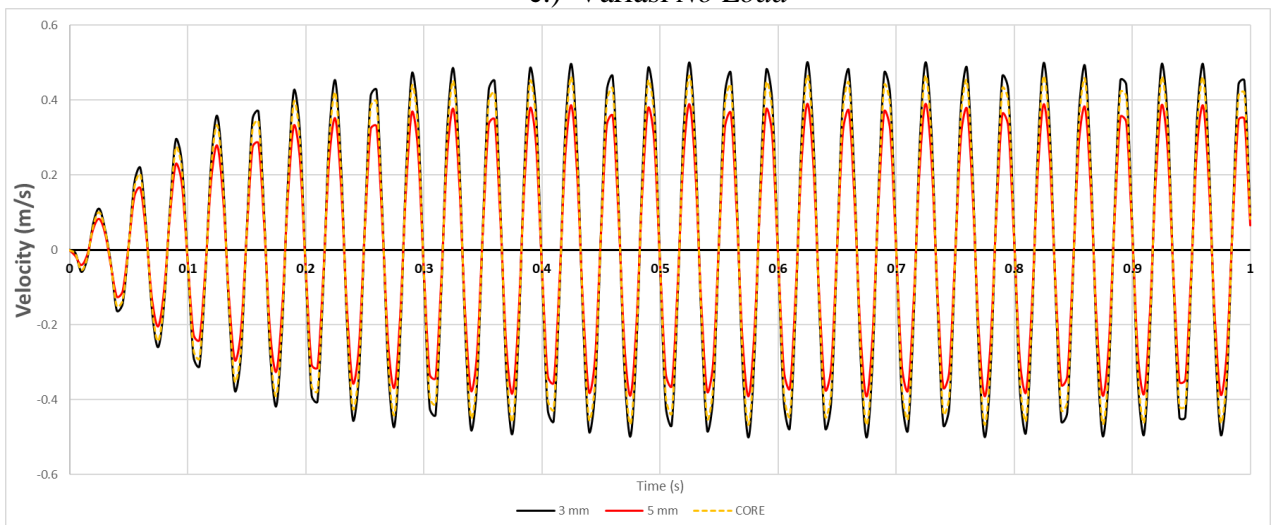
a.) Variasi *Full Load*



b.) Variasi *Half Load*

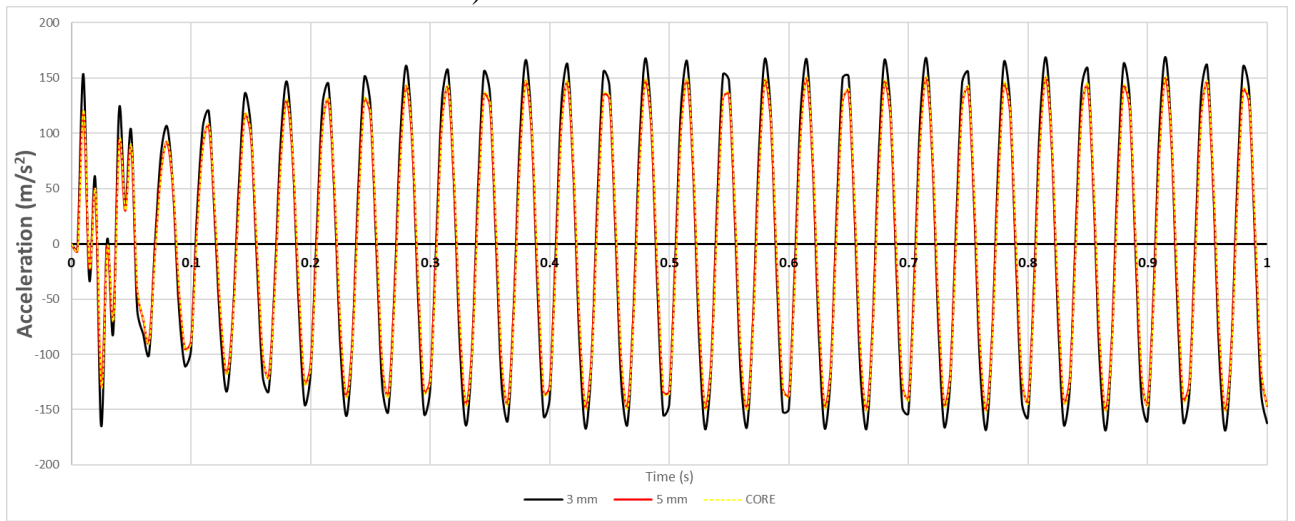


c.) Variasi *No Load*

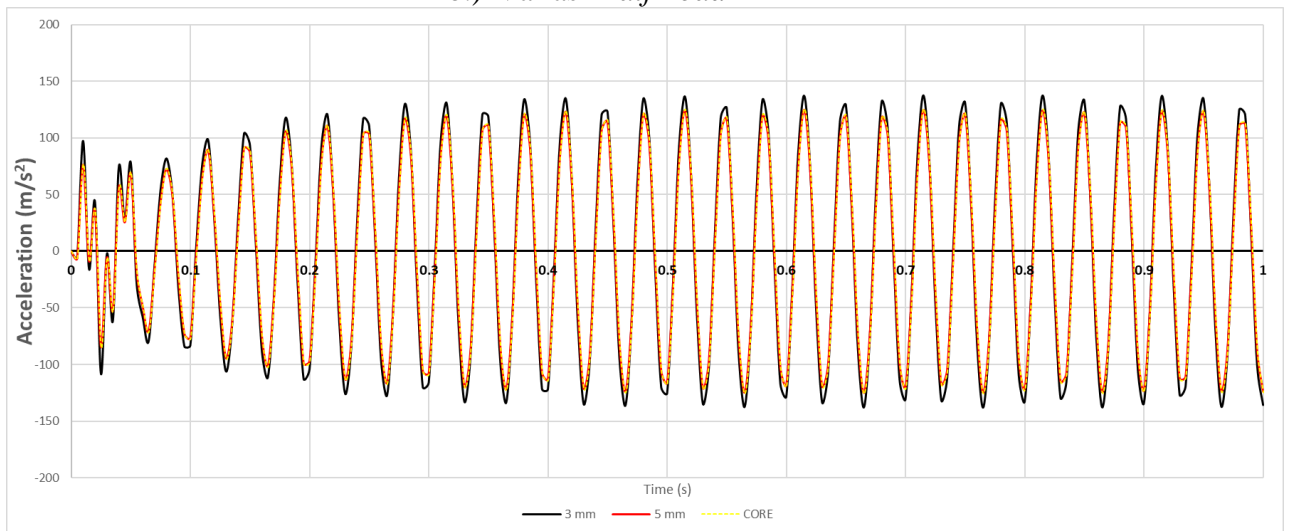


Gambar 4.13 *Velocity* dari tiap *layer* pada *debonded sandwich panel*

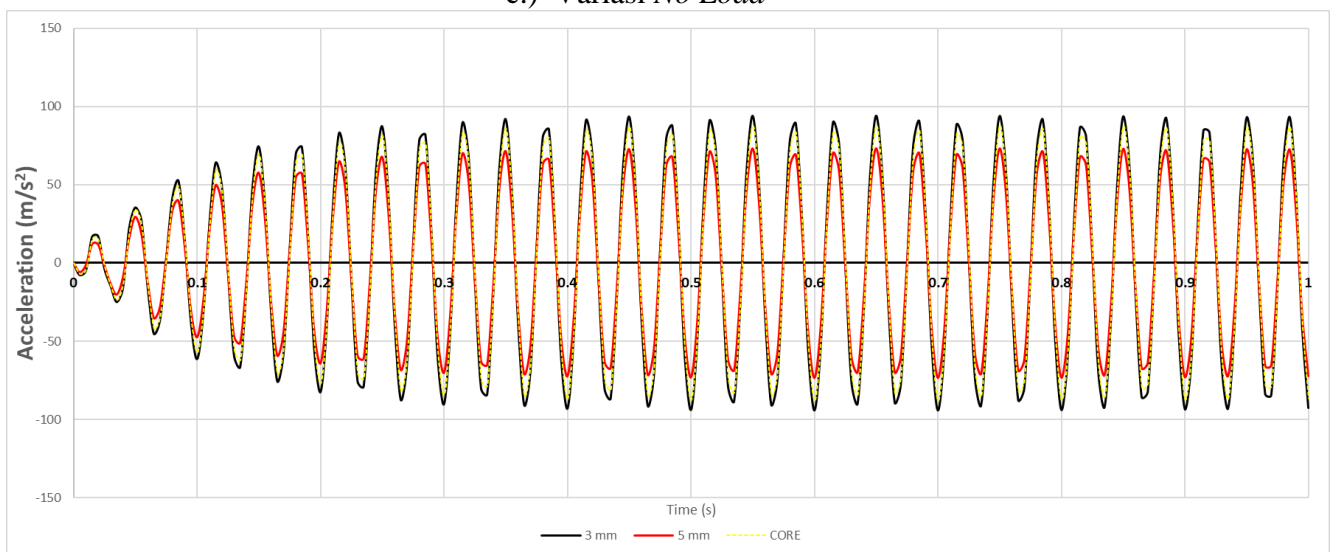
a.) Variasi *Full Load*



b.) Variasi *Half Load*



c.) Variasi *No Load*



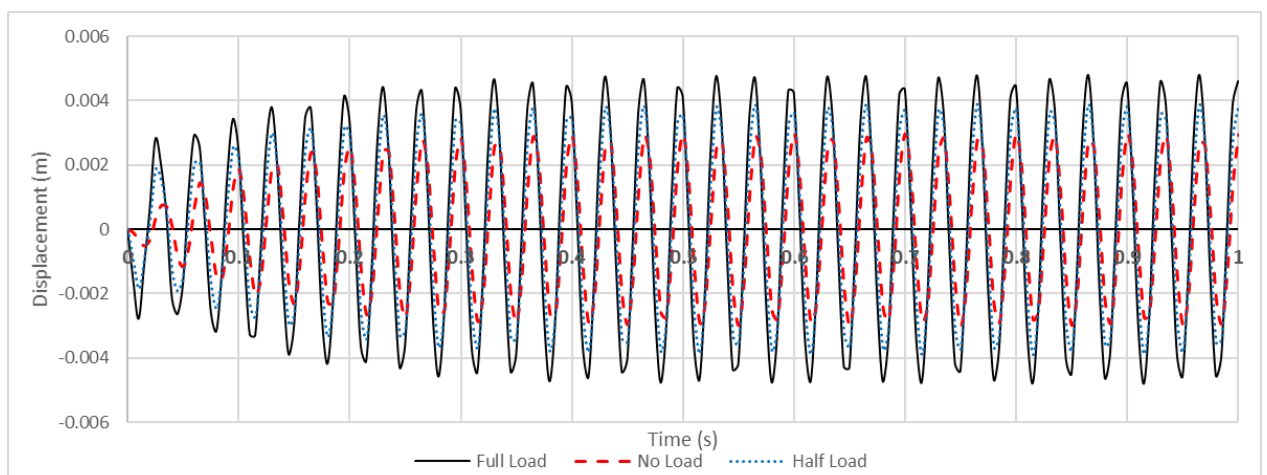
Gambar 4.14 Acceleration dari tiap layer pada *debonded sandwich panel*

Dari grafik yang sudah ditampilkan di atas dapat dilihat bahwa nilai maksimum pada *sandwich panel* yang mengalami kerusakan *debonding* terjadi pada bagian pelat 3 mm. Dari ketiga indikator yang diukur seperti *displacement*, *velocity*, dan *acceleration* terlihat bahwa grafik amplitudo pada pelat 3 mm lebih besar dibandingkan lainnya. Sedangkan yang terjadi pada pelat 5 mm dan bagian *core* amplitudo yang dihasilkan cenderung sama pada semua aspek pada variasi *Full Load* dan *Half Load*. Sedangkan pada variasi *No Load* besarnya amplitudo yang terjadi pada bagian *core* lebih besar daripada yang dihasilkan pelat 5 mm, bahkan hampir mendekati nilai dari pelat 3 mm. Hal ini juga membuktikan bahwa jarak dan posisi juga berpengaruh terhadap besarnya respon dinamis yang terjadi.

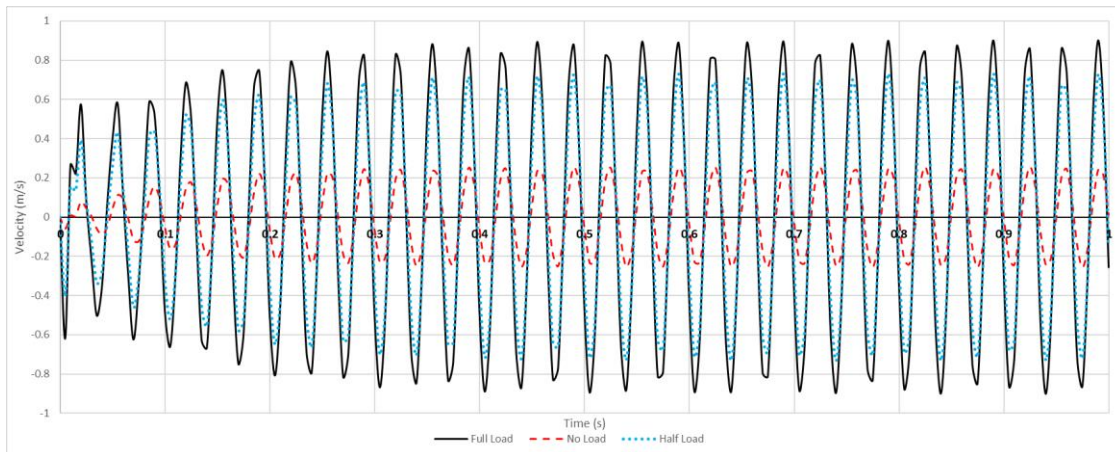
Seperti yang dapat dilihat sesuai dengan konfigurasi yang ditunjukkan pada Gambar 3.18 bahwa ada pengujian *modal dynamics* ini digunakan model Variasi B dimana kerusakan *debonding* terjadi antara pelat 3 mm dan juga bagian *core*. Sehingga pelat 3 mm sebagai bagian yang mengalami kerusakan *debonding* merasakan pengaruh yang lebih besar. Hal ini juga dipengaruhi oleh frekuensi natural yang terjadi. Di mana dari *mode shape* yang terlihat pada Variasi B ini mengalami bentuk yang cukup ekstrem terlebih ada mode tinggi. Sehingga *node* pada pelat 3 mm dapat digunakan untuk menggambarkan pengaruh maksimum dari kerusakan *debonding* yang terjadi.

Selanjutnya dilakukan analisis pada tiap-tiap aspek dari *displacement*, *velocity*, dan juga *acceleration* yang terjadi pada 3 variasi pembebanan yang dilakukan dengan pengambilan *node* dilakukan pada pelat 3 mm sebagai *node* dengan nilai maksimum pada bagian *sandwich panel* yang mengalami kerusakan *debonding*. Hasil tersebut ditunjukkan pada Gambar 4.15.

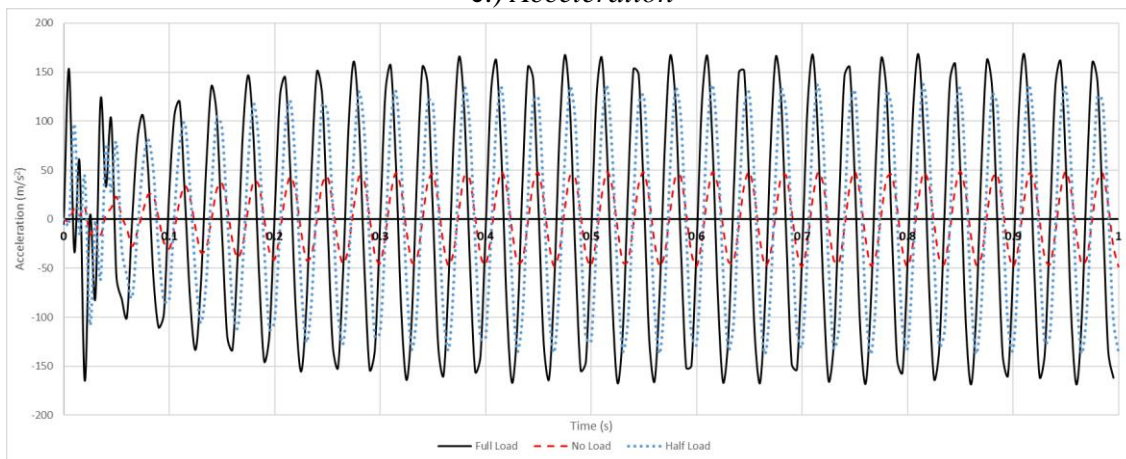
a.) *Displacement*



b.) Velocity



c.) Acceleration



Gambar 4.15 Hasil respon dinamis *modal dynamics*

Untuk simulasi dengan *Full Load* menggunakan beban sebesar 24 ton sedangkan pada *Half Load* menggunakan beban sebesar 15,6 ton atau 35% lebih ringan dibandingkan *Full Load*. Sedangkan selisih antara *Full Load* dengan *No Load* sebesar 16,8 ton atau 70%. Hasil simulasi menunjukkan bahwa besarnya beban yang diberikan berbanding lurus dengan besarnya *displacement* yang terjadi. Semakin besar beban yang diberikan maka semakin besar juga nilai *displacement*. Pengaruh besar beban terhadap perubahan *displacement* yang terjadi dapat terlihat pada Gambar 4.15.

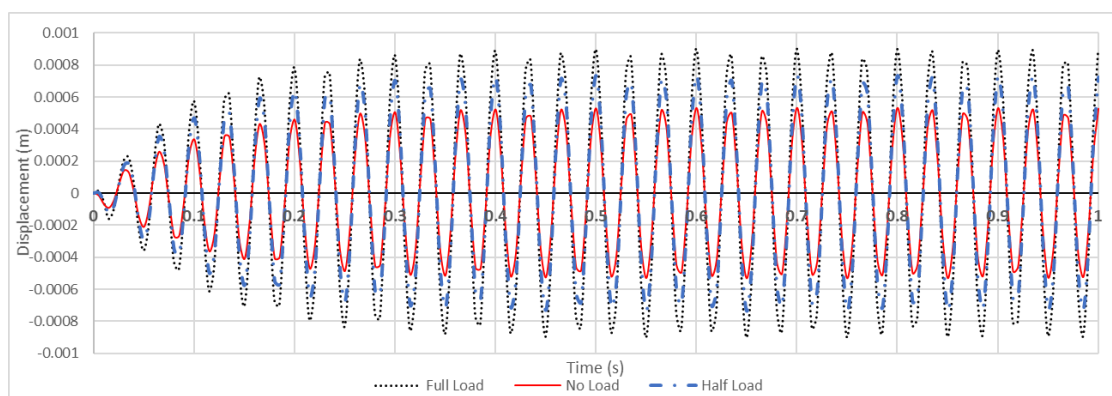
Selanjutnya pada Gambar 4.15 juga terdapat hasil *velocity* dari respon dinamis dari simulasi *modal dynamics* yang dilakukan. Terlihat dari grafik bahwa hasil simulasi antara *Full Load* dan *Half Load* menunjukkan perubahan yang tidak terlalu signifikan. Sedangkan hasil yang signifikan perbedaannya terjadi pada variasi *No Load*. Pada variasi *No Load* truk tronton tidak membawa muatan sehingga distribusi beban terbagi secara merata. Hal tersebut dapat terlihat dari grafik variasi *No Load* yang lebih teratur perubahannya sejak detik pertama hingga terakhir.

Sedangkan pada variasi *Full Load* dan *No Load* truk tronton membawa muatan sehingga beban terpusat pada bagian muatan. Dari sketsa yang ditunjukkan pada Gambar 4.11 dapat dilihat bahwa area kerusakan *debonding* berada tepat di bawah sumbu roda belakang. Di mana pada bagian atas roda belakang ini terdapat karoseri sebagai tempat penyimpanan muatan. Sehingga terlihat dari detik 0 hingga sekitar detik 0,05 respon yang terjadi cukup ekstrem. Hal tersebut merupakan efek yang ditimbulkan dari beban yang dimuat truk tronton. Besarnya beban memberikan impuls sehingga menyebabkan respon yang cukup ekstrem. Baru setelah detik 0,05 grafik terlihat lebih teratur tetapi dengan nilai yang tetap lebih besar dibandingkan dengan variasi *No Load*. Pada variasi *No Load* tidak terdapat muatan pada bagian sehingga tidak terjadi impuls tidak seperti yang terjadi pada variasi *Full Load* dan *Half Load*.

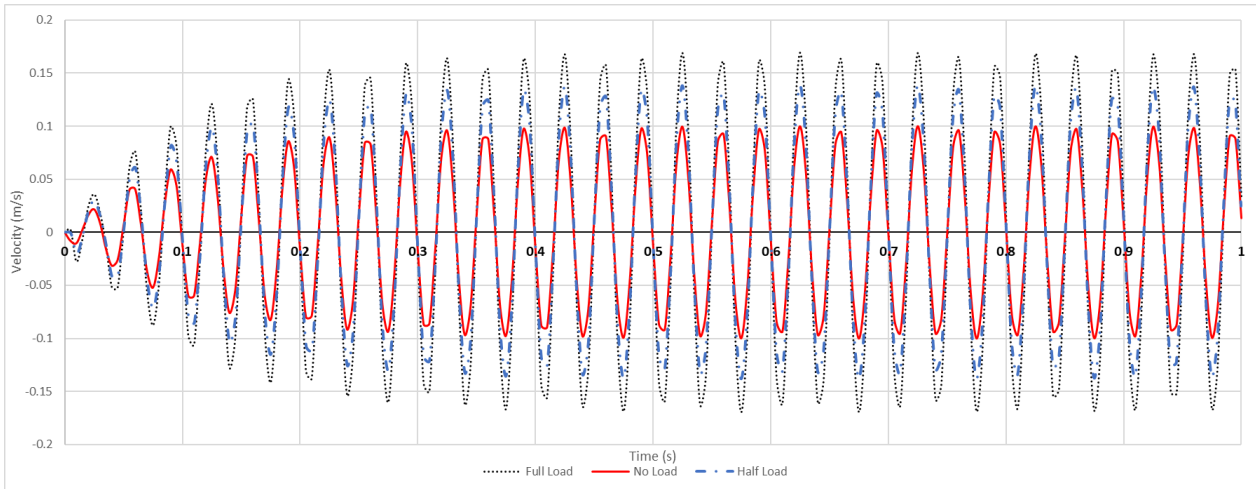
Hal yang sama juga ditunjukkan pada respon dinamis berupa *acceleration* yang terjadi seperti yang diperlihatkan pada Gambar 4.15. Perubahan yang signifikan terjadi pada variasi *Full Load* dan *Half Load*. Hal ini tentunya berbeda dengan variasi *No Load* yang memberikan respon yang lebih teratur sejak detik 0. Dapat disimpulkan bahwa kerusakan *debonding* yang diberikan pembebanan akan memengaruhi besarnya respon dinamis terjadi. Hasil tersebut menunjukkan bahwa pembebanan yang terjadi pada area kerusakan *debonding* akan memberikan dampak yang besar terhadap respon dinamis dari struktur tersebut. Besarnya nilai yang terjadi juga dipengaruhi oleh impuls yang terjadi pada awal pembebanan.

Sebagai perbandingan dilakukan juga pengukuran respon dinamis dengan pengambilan *node* yang berada di luar area *debonding*. *Node* yang digunakan adalah *node* 12034. *Node* berada dekat dengan konstruksi yang bertumpu pada badan kapal. *Node* ini berada pada area yang paling jauh dari area kerusakan *debonding* untuk menghasilkan nilai perbandingan yang ekstrem. Simulasi yang digunakan untuk pengukuran respon dinamis dengan *node* di luar area *debonding* ini hanya menggunakan variasi *Full Load*. Gambar 4.16 menunjukkan hasil dari pengukuran tersebut.

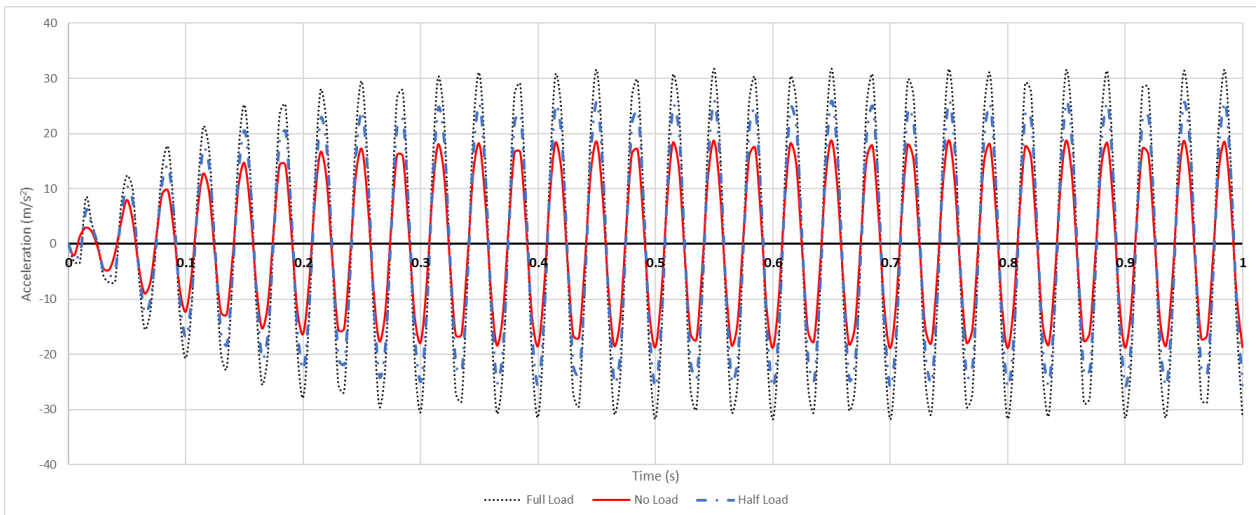
a.) Displacement



b.) Velocity



c.) Acceleration



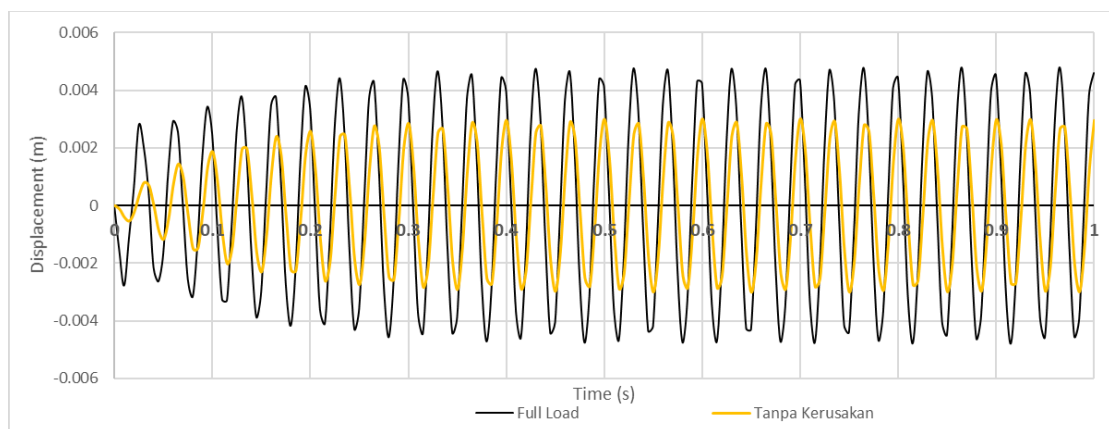
Gambar 4.16 Hasil respon dinamis pada *node* di luar area *debonding*

Dari hasil tersebut terlihat bahwa nilai yang diukur dari *node* 12034 yang berada di luar area kerusakan *debonding* lebih kecil dibandingkan dengan respon yang terjadi pada area kerusakan *debonding*. Seperti pada nilai *displacement* yang diukur dari dalam area kerusakan *debonding* sebesar 0,00479201 m sedangkan nilai *displacement* yang diukur pada *node* 12034 0,0009 atau terjadi penurunan sebesar 532%. Sedangkan dampak dari penurunan nilai frekuensi natural dapat dilihat pada respon dinamis berupa *velocity* dan *acceleration* yang terjadi. Nilai maksimum yang terjadi pada *node* 12034 sebesar 0,169 m/s untuk *velocity* dan 31,819 m/s² untuk *acceleration*. Sedangkan nilai *velocity* dan *acceleration* yang diukur dari *node* yang berada pada area kerusakan *debonding* sebesar 0,9 m/s dan 169,017 m/s². Secara berturut-turut kedua aspek ini mengalami penurunan nilai sebesar 532%. Hal ini menunjukkan bahwa respon dinamis pada area yang berada di luar kerusakan *debonding* memiliki pengaruh yang jauh lebih

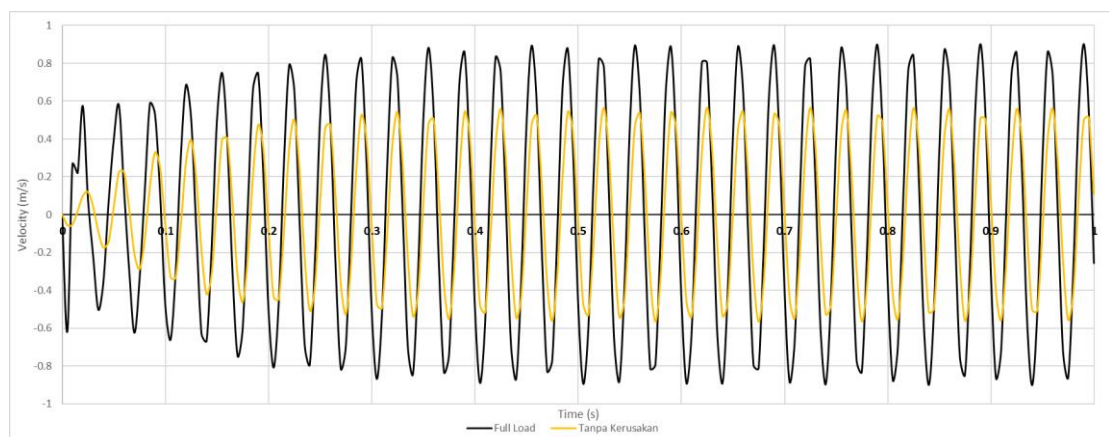
rendah hingga penurunan sebesar 532% dibandingkan dengan respon dinamis yang terjadi pada area kerusakan *debonding*. Dari 2 pengukuran yang sudah dilakukan terlihat bahwa besarnya beban yang menghasilkan impuls di awal pembebanan tidak berdampak signifikan pada perubahan nilai *displacement*. Seperti yang terlihat pada Gambar 4.15 dan Gambar 4.16 amplitudo yang terjadi pada nilai *displacement* cenderung bergerak secara konstan.

Selain itu dilakukan juga simulasi *modal dynamic* terhadap model *ramp door* tanpa adanya kerusakan. Simulasi ini bertujuan untuk mengukur besarnya pengaruh kerusakan *debonding* terhadap respon dinamis dari *ramp door*. Simulasi ini dilakukan dengan menggunakan variasi *Full Load*. Variasi ini dipilih karena terbukti menghasilkan respon dinamis yang paling besar dibandingkan variasi pembebanan lainnya. Pengukuran dilakukan pada *node* yang sama dengan *node* yang dipilih untuk melakukan pengukuran respon dinamis pada area kerusakan *debonding*. Terdapat 3 faktor yang menjadi indikator perbandingan yaitu nilai *displacement*, *velocity*, dan *acceleration*. Perbandingan amplitudo antara hasil simulasi *ramp door* tanpa kerusakan dengan *ramp door* yang memiliki kerusakan *debonding* tampak pada Gambar 4.17.

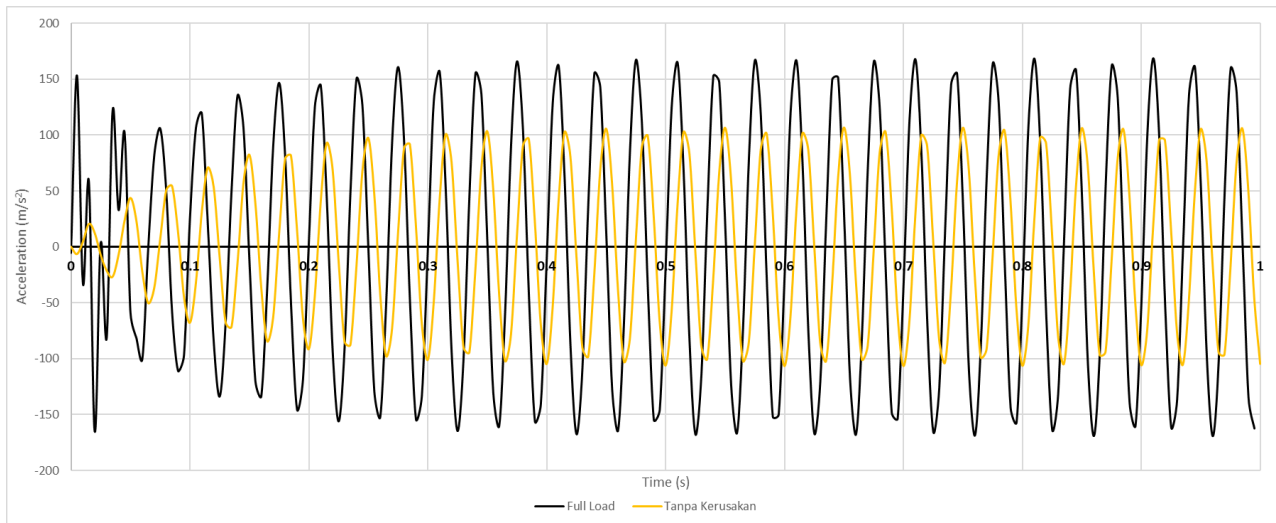
a.) Displacement



b.) Velocity



c.) Acceleration



Gambar 4.17 Hasil perbandingan respon dinamis *ramp door* tanpa kerusakan *debonding*

Dari gambar tersebut terlihat secara keseluruhan dari 3 indikator yang diukur, nilai dari respon dinamis yang dihasilkan oleh *ramp door* tanpa adanya kerusakan lebih kecil dibandingkan respon dinamis *ramp door* setelah adanya kerusakan *debonding*. Nilai maksimum yang terjadi pada *displacement* setelah adanya kerusakan *debonding* sebesar 0,00479201 m seperti yang tampak pada Gambar 4.17. Nilai ini 1,5 kali lipat lebih besar dibandingkan nilai *displacement* sebelum adanya kerusakan *debonding* yang sebesar 0,003 m. Hal tersebut menunjukkan bahwa nilai kekuatan dari struktur *ramp door* juga menurun dengan adanya kerusakan *debonding*. Sedangkan untuk *velocity* yang terjadi juga mengalami kenaikan sebesar 159% dari 0,566 m/s sebelum terjadinya kerusakan *debonding* menjadi 0,9 m/s setelah terjadinya kerusakan *debonding*. Peningkatan nilai *velocity* ini dapat dilihat pada Gambar 4.17. Begitu juga pengaruh kerusakan *debonding* terjadi pada *acceleration* yang dihasilkan oleh struktur *ramp door*. Pada saat kondisi *ramp door* masih utuh tanpa adanya kerusakan, nilai *acceleration* maksimum yang terjadi hanya sebesar 106,47 m/s². Adanya kerusakan membuat nilai *acceleration* yang terjadi mengalami peningkatan sebesar 1,5 kali lipat sehingga menghasilkan nilai maksimum sebesar 169,017 m/s². Dengan peningkatan amplitudo yang terjadi pada 3 indikator yang diuji dapat disimpulkan bahwa kerusakan *debonding* pada *ramp door* berakibat pada berkurangnya kekakuan dari struktur *ramp door*. Pengurangan kekakuan ini berdampak pada berkurangnya kekuatan struktur sehingga kemampuan *ramp door* untuk menerima beban menjadi lebih rendah. Jika mempertimbangkan penurunan nilai yang terjadi pada 3 indikator yang diukur maka kerusakan *debonding* ini mempengaruhi struktur *ramp door* hingga sebesar 159%.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Setelah dilakukan percobaan dan penelitian maka kesimpulan dari Tugas Akhir ini adalah:

1. Lokasi kerusakan yang paling sensitif terdapat pada permukaan bagian bawah *core* atas dengan penurunan frekuensi dibandingkan *ramp door* tanpa kerusakan hingga sebesar 28,058% pada mode ke-10 sedangkan lokasi kerusakan yang paling sedikit mendapatkan pengaruh terdapat pada permukaan bagian bawah *core* bawah dengan penurunan frekuensi natural hanya sebesar 5%.
2. Penurunan frekuensi natural pada *ramp door* akibat kerusakan *debonding* yang terjadi menyebabkan berkurangnya kekakuan struktur *ramp door*. Variasi B menjadi model variasi yang memiliki pengurangan kekakuan paling besar. Hal ini didasari dengan tingginya nilai tegangan yang terjadi. Nilai tegangan von Mises yang dimiliki Variasi B sebesar 138,70 MPa. Nilai tegangan ini 3,85 kali lebih besar dibandingkan dengan nilai tegangan yang terjadi pada *ramp door* sebelum adanya kerusakan *debonding*. Besarnya deformasi yang dihasilkan juga 2,8 kali lebih besar dari 0,0009 m pada kondisi sebelum adanya kerusakan *debonding* menjadi 0,00255 m pada Variasi B.
3. Besarnya beban pada kerusakan *debonding* berpengaruh terhadap respon dinamis yang terjadi pada struktur. Pengaruh yang paling besar terjadi pada pelat 3 mm. Semakin jauh jarak vertikal bagian dari titik kerusakan *debonding* maka pengaruh yang terjadi juga semakin kecil. Terjadi peningkatan *displacement* yang teratur dengan rata-rata kenaikan 135% seiring dengan penambahan beban pada pembebanan. Sedangkan pada aspek *velocity* dan *acceleration* terjadi peningkatan amplitudo hampir sebesar 1,5 kali lipat pada variasi *Half Load* dibandingkan variasi *No Load*. Untuk area terjauh secara horizontal dari kerusakan *debonding* pengaruh yang terjadi lebih sedikit dengan penurunan nilai hingga sebesar 532% pada tiap aspek pengukuran. Dilihat dari 3 indikator pengukuran dari respon dinamis yang terjadi, secara keseluruhan adanya kerusakan *debonding* dapat mengurangi

kekakuan *ramp door* yang mengakibatkan berkurangnya kekuatan struktur *ramp door* hingga 159%.

5.2. Saran

Perlu dilakukannya pengujian dengan lebih banyak titik ukur untuk hasil yang lebih spesifik serta perlu dilakukannya uji laboratorium untuk dibandingkan dengan hasil uji numerik yang telah dilakukan.

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR PUSTAKA

- Abdullah, K., Zubaydi, A. & Budipriyanto, A., 2018. Development of Sandwich Panel with Core from Clamshell Powder for Ship Structure. *Wave: Jurnal Ilmiah Teknologi Maritim*, 12(2), pp. 53-60.
- Baidowi, A., Utomo, E., D. K., F. & Indria, H., 2015. Penggunaan Sandwich Plate System (SPS) Pada Konstruksi Inner Bottom. *Kapal: Jurnal Ilmu Pengetahuan dan Teknologi Kelautan*, 12(2), pp. 60-68.
- Brooking, M. A. & Kennedy, S., 2004. *The Performance, Safety, and Production Benefits of SPS Structures for Double Hull Tankers*. London, Proceedings of the RINA Conference on Double Hull Tankers.
- Budipriyanto, A., Haddara, M. & Swamidas, A. S., 2007. Identification Of Damage On Ship's Cross Stiffened Plate Panels Using Vibration Response. *Ocean Engineering*, 34(5-6), pp. 709-716.
- Burlayenko, V. & Sadowski, T., 2010. Influence of skin/core debonding on free vibration behavior of foam and honeycomb cored sandwich plates. *International Journal of Non-Linear Mechanics*, 45(10), pp. 959-968.
- Burlayenko, V. & Sadowski, T., 2011. Numerical Modelling of Sandwich Plates with Partially Debonded Skin-to-Core Interface for Damage Detection.
- Burlayenko, V. & Sadowski, T., 2018. Linear and Nonlinear Dynamic Analyses of Sandwich Panels with Face Sheet-to-Core Debonding. *Shock and Vibration*, Volume 2, pp. 1-26.
- Carlsson, L. & Kardomateas, G., 2011. *Structural and Failure Mechanics of Sandwich Composites*. London New York: Springer Dordrecht.
- Chen, Y. et al., 2017. Low-velocity impact response of composite sandwich structures: Modelling and experiment. *Composites Structure*, Volume 168, pp. 322-334.
- Diwantara, H., 2019. *Analisis Kekuatan Rectangular O-Core Sandwich Panel Pada Ramp Door Kapal Menggunakan Metode Elemen Hingga*. Surabaya: ITS Surabaya.
- Funari, M. F., Greco, F. & Lonetti, P., 2018. Sandwich panels under interfacial debonding mechanisms. *Composite Structures*, Volume 230, pp. 310-320.
- Kim, H. Y. & Hwang, W., 2002. Effect of debonding on natural frequencies and frequency response functions of honeycomb sandwich beams. *Composite Structures*, 55(1), pp. 51-62.
- Lloyd's Register, 2015. *Provisional Rules for the Application of Sandwich Panel Construction to Ship Structure*. UK: Lloyd's Register.
- Momcilovic, N. & Motok, M., 2009. Estimation of Ship Lightweight Reduction by Means of Application of Sandwich Plate System. *FME Transactions*, 37(3), pp. 123-128.
- Nugroho, G., 2018. Pengaruh Mode Shape Frekuensi Alami terhadap Estimasi Gaya Tarik Batang Baja dengan Metode Vibrasi. *Semesta Teknika*, 21(2), pp. 198-205.
- Ramakrishnan, K. & Kumar, P. S., 2016. Application of Sandwich Plate System for Ship Structures. *IOSR Journal of Mechanical and Civil Engineering*, pp. 83-90.
- Tomblin, J. et al., 1999. *Review of Damage Tolerance for Composite Sandwich Aircraft Structures*. Washington DC: Office of Aviation Research.
- Triantafyllou, T. C. & Gibson, L. J., 1989. Debonding in-foam core sandwich panels. *Materials and Structures*, Volume 22, pp. 64-69.
- Tuswan, Kharis, A., Zubaydi, A. & Budipriyanto, A., 2019. Finite-element Analysis for Structural Strength Assessment of Marine Sandwich Material on Ship Side Shell Structure. *Materials Today: Proceedings*, Volume 13, pp. 109-114.

- Tuswan, Zubaydi, A., Budipriyanto, A. & Sujatanti, S. H., 2019. Comparative Study On Ferry Ro-Ro'S Car Deck Structural Strength By Means Of Application Of Sandwich Materials.
- Tuswan, Zubaydi, A., Piscesa, B. & Ismail, A., 2020. Dynamic characteristic of partially debonded sandwich of ferry ro-ro's car deck: a numerical modeling. *Open Engineering*, 10(1), pp. 424-433.
- Tuswan, et al., 2020. *Influence of application of sandwich panel on static and dynamic behavior of ferry ro-ro ramp door*. Malang, International Conference on Mechanical Engineering Research and Application.
- Wahyuni, E., 2013. Studi Kelakuan Dinamis Struktur Jembatan Penyeberangan Orang (JPO) Akibat Beban Individual Manusia Bergerak. *Jurnal Teoretis dan Terapan Bidang Rekayasa Sipil*, 19(3), pp. 181-194.

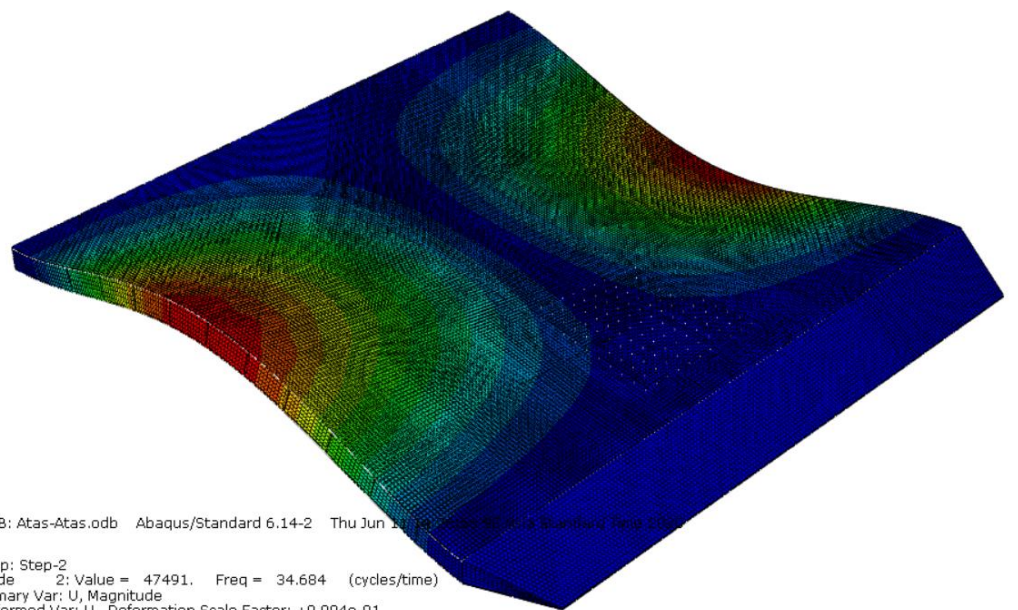
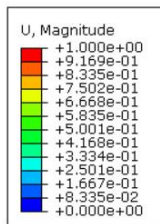
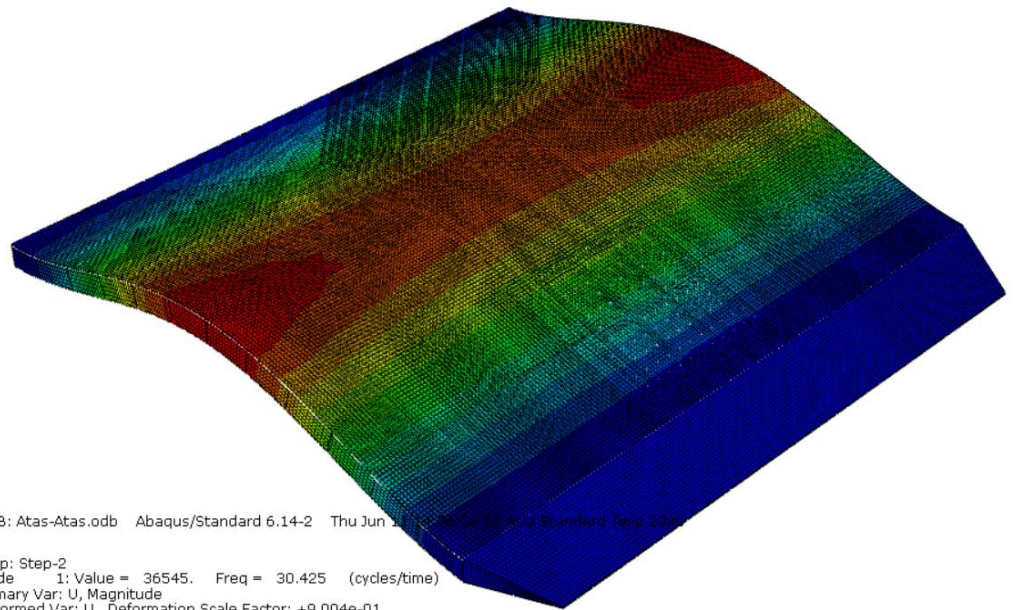
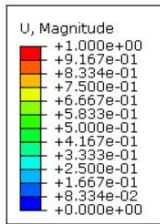
LAMPIRAN

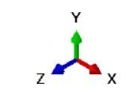
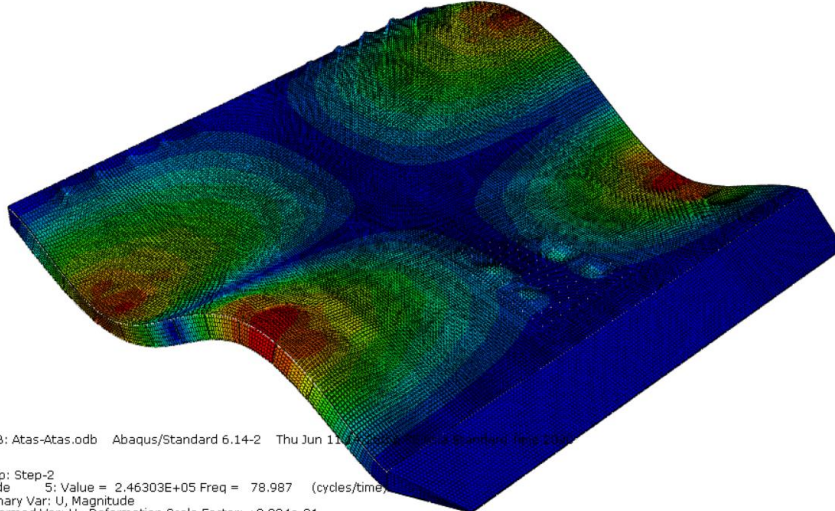
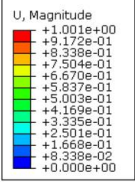
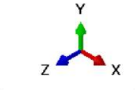
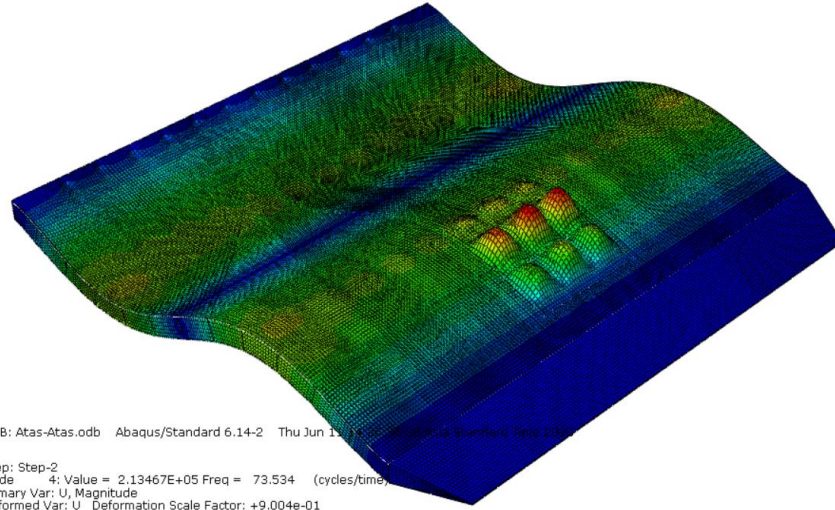
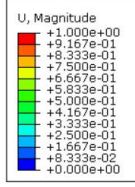
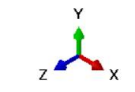
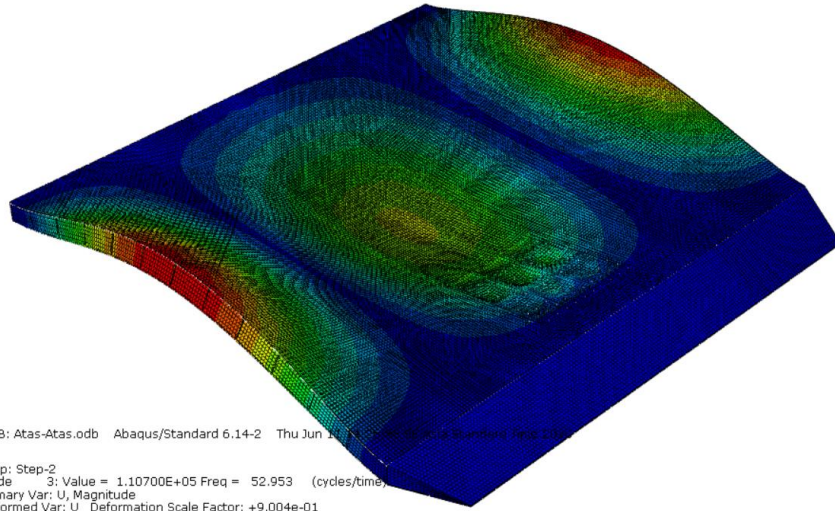
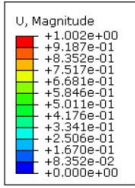
Lampiran A Hasil Pengukuran Deformasi Spesimen
Lampiran B Komposisi Kimia Baja Karbon

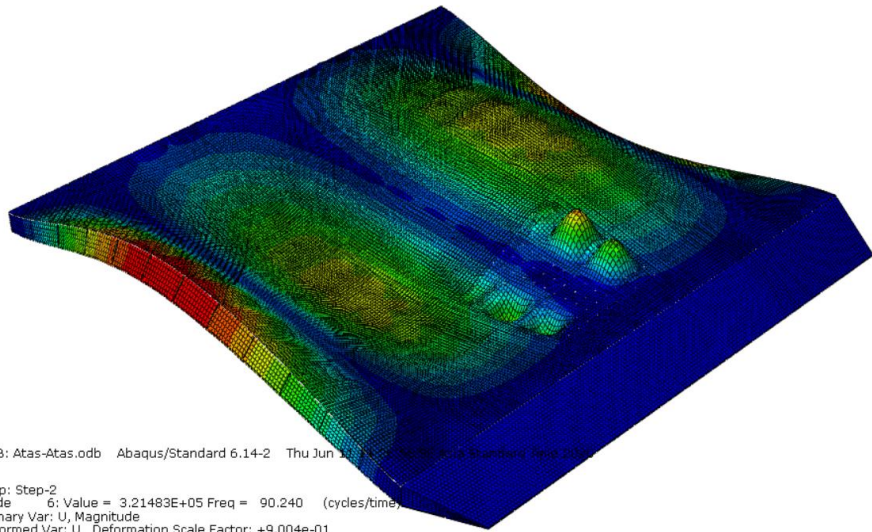
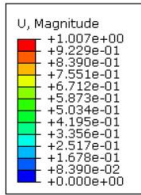
LAMPIRAN A

HASIL SIMULASI NUMERIK VARIASI LOKASI KERUSAKAN *DEBONDING*

A. Lokasi Kerusakan *Debonding* Pada Permukaan Bagian Atas *Core Atas*

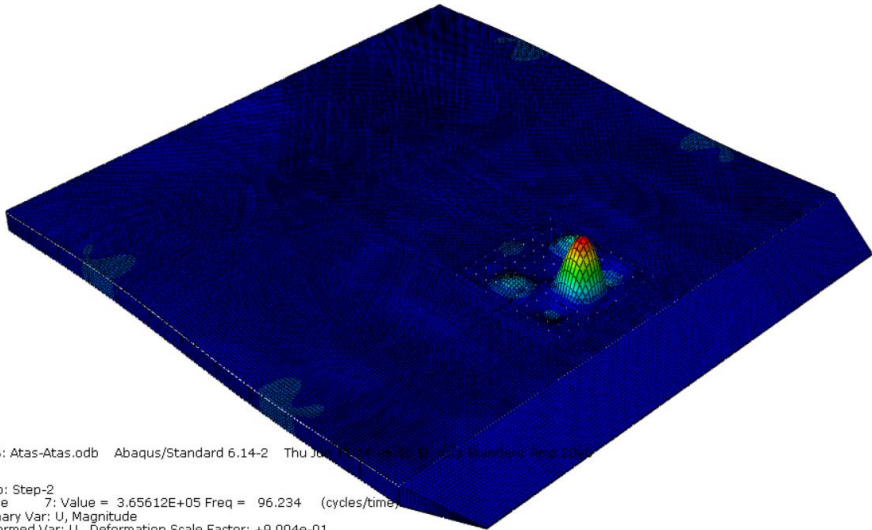
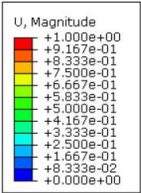






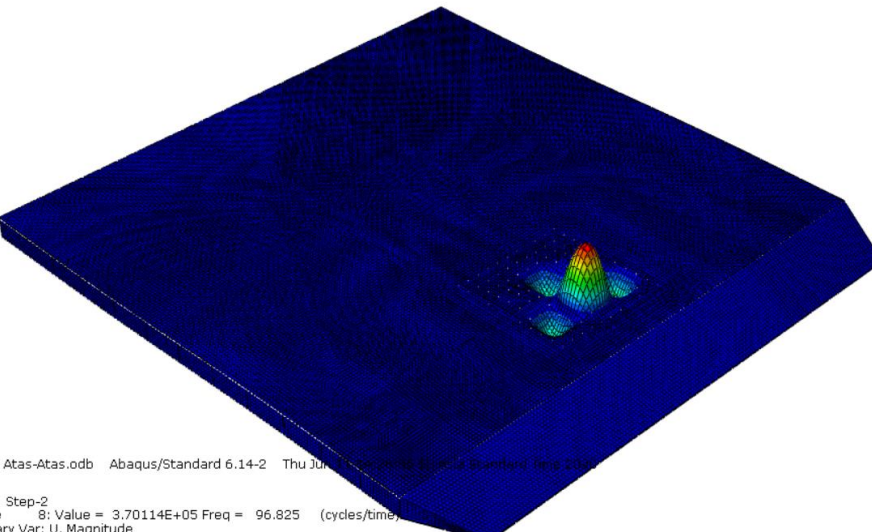
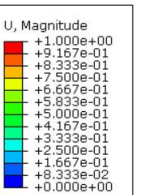
ODB: Atas-Atas.odb Abaqus/Standard 6.14-2 Thu Jun 11 2008 10:00:00 AM Abaqus/Standard (64-bit)

Step: Step-2
 Mode 6: Value = 3.21483E+05 Freq = 90.240 (cycles/time)
 Primary Var: U, Magnitude
 Deformed Var: U Deformation Scale Factor: +9.004e-01



ODB: Atas-Atas.odb Abaqus/Standard 6.14-2 Thu Jun 11 2008 10:00:00 AM Abaqus/Standard (64-bit)

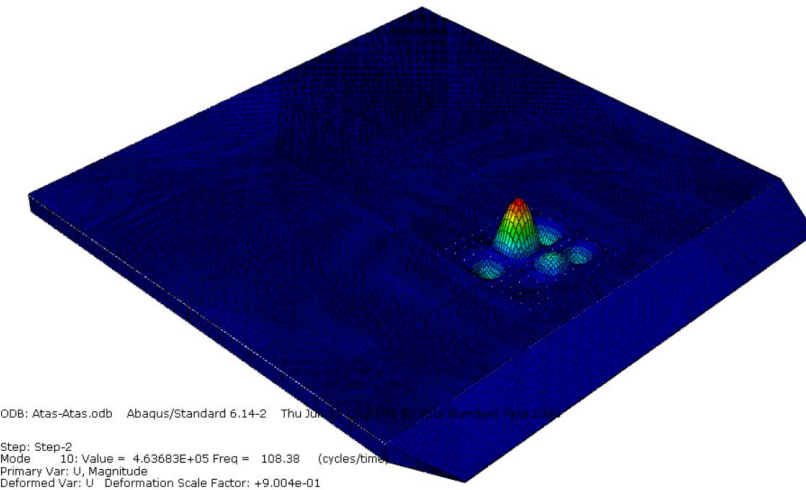
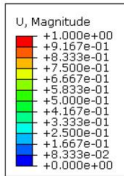
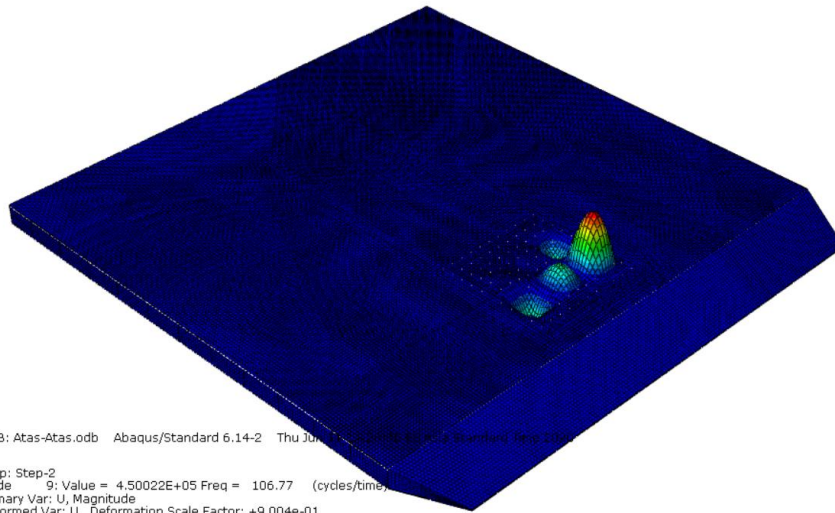
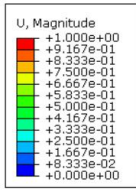
Step: Step-2
 Mode 7: Value = 3.65612E+05 Freq = 96.234 (cycles/time)
 Primary Var: U, Magnitude
 Deformed Var: U Deformation Scale Factor: +9.004e-01



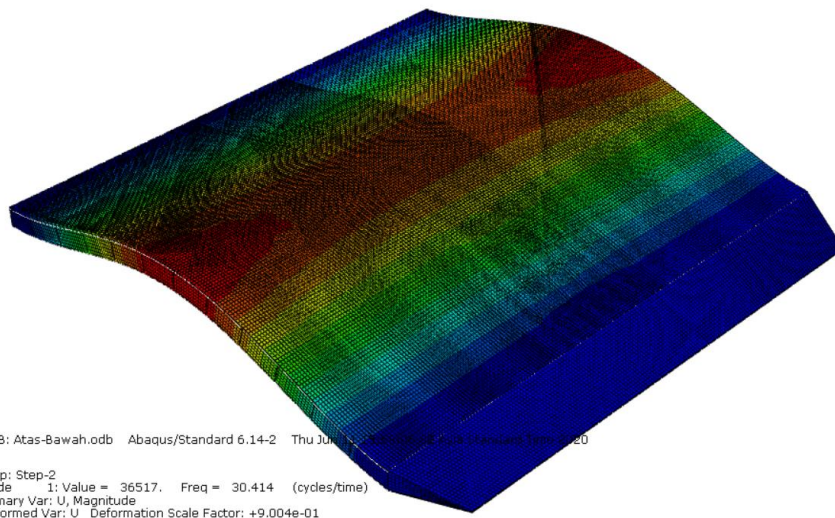
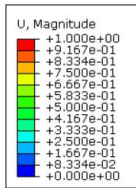
ODB: Atas-Atas.odb Abaqus/Standard 6.14-2 Thu Jun 11 2008 10:00:00 AM Abaqus/Standard (64-bit)

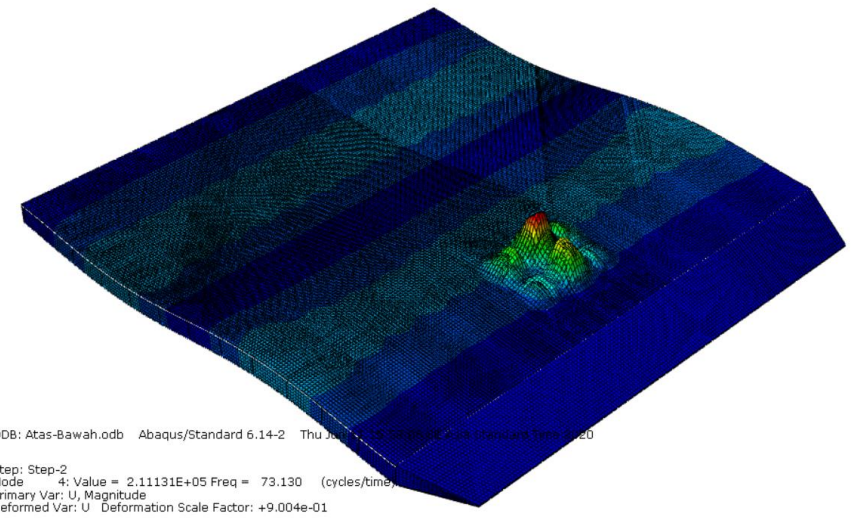
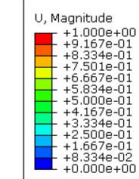
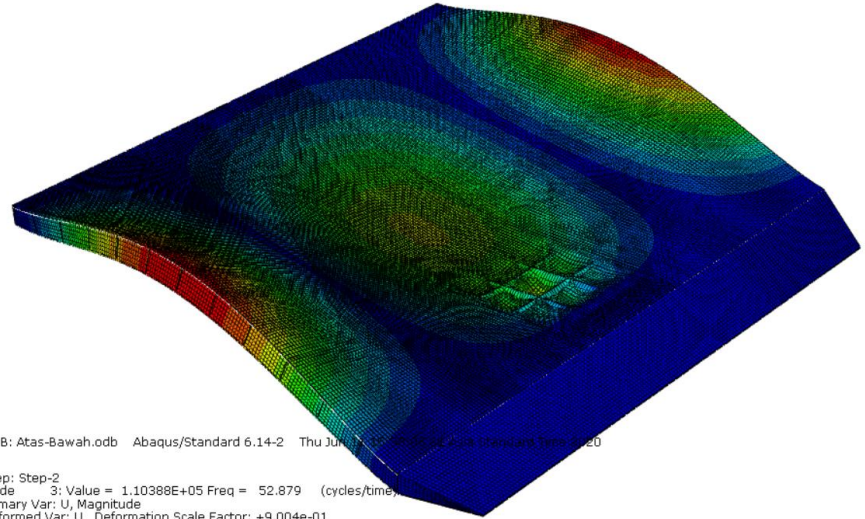
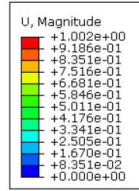
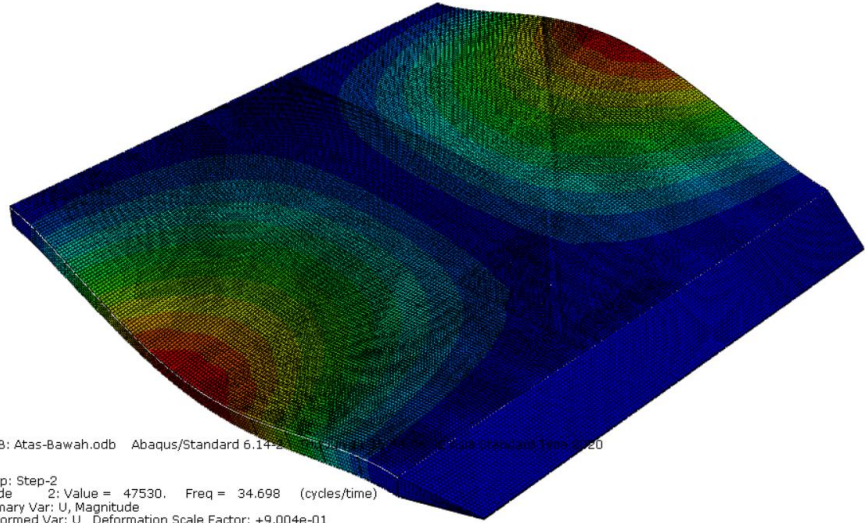
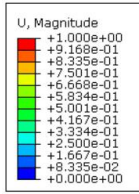
Step: Step-2
 Mode 8: Value = 3.70114E+05 Freq = 96.825 (cycles/time)
 Primary Var: U, Magnitude
 Deformed Var: U Deformation Scale Factor: +9.004e-01

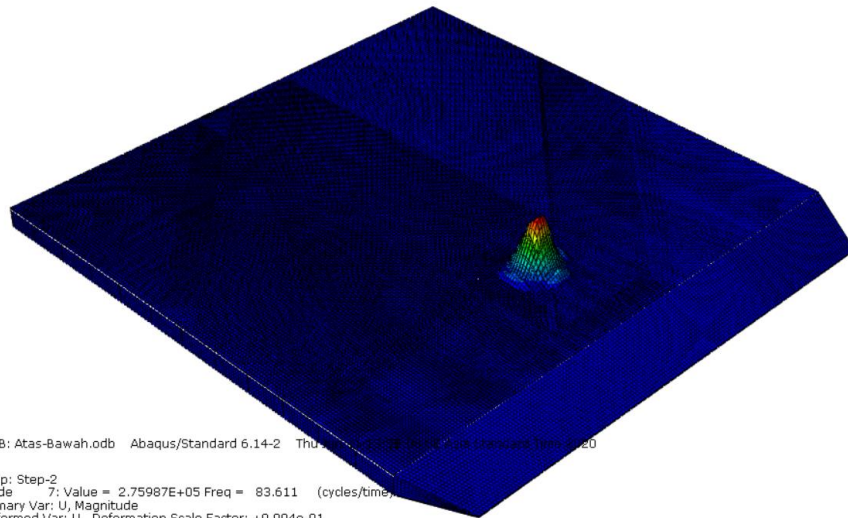
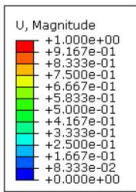
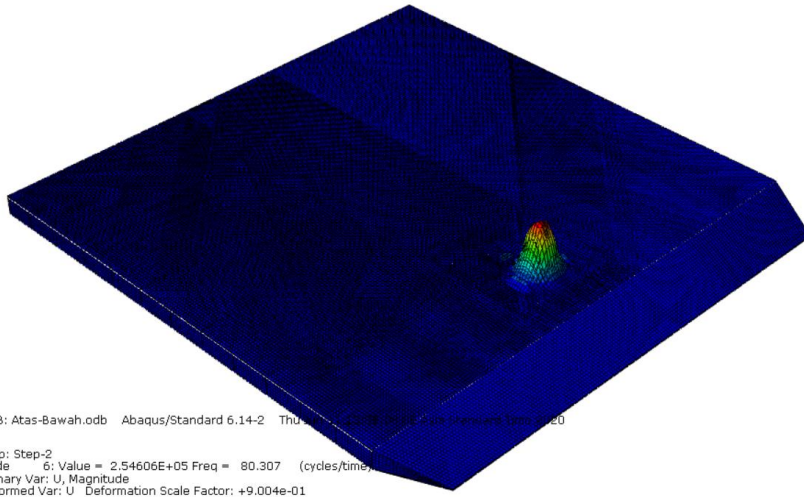
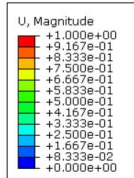
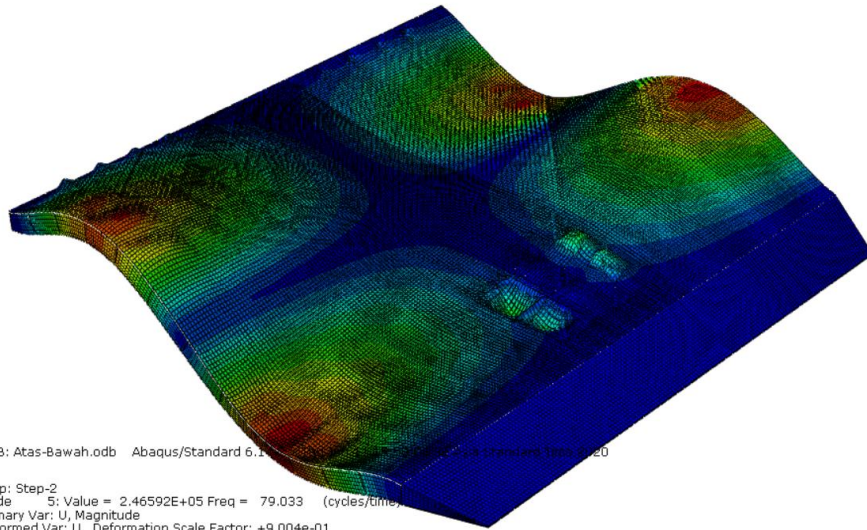
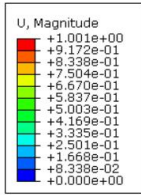


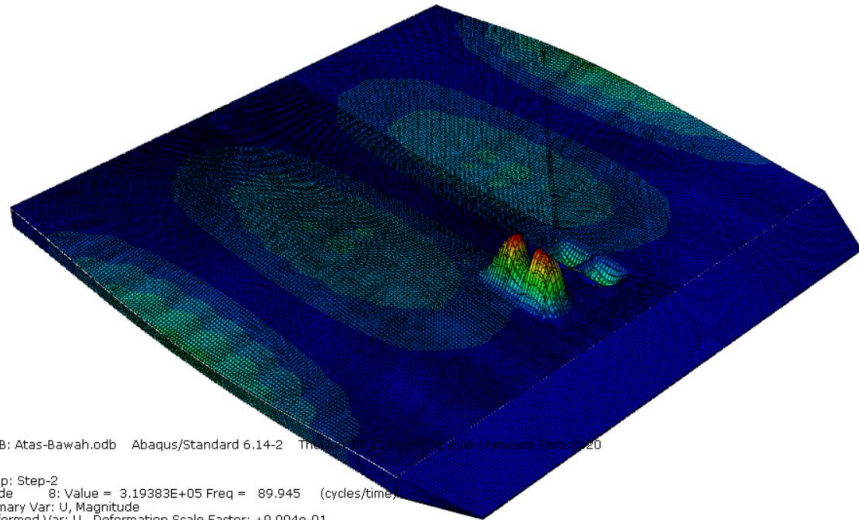
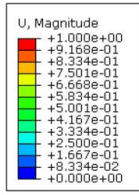


B. Lokasi Kerusakan *Debonding* Pada Permukaan Bagian Bawah *Core* Atas



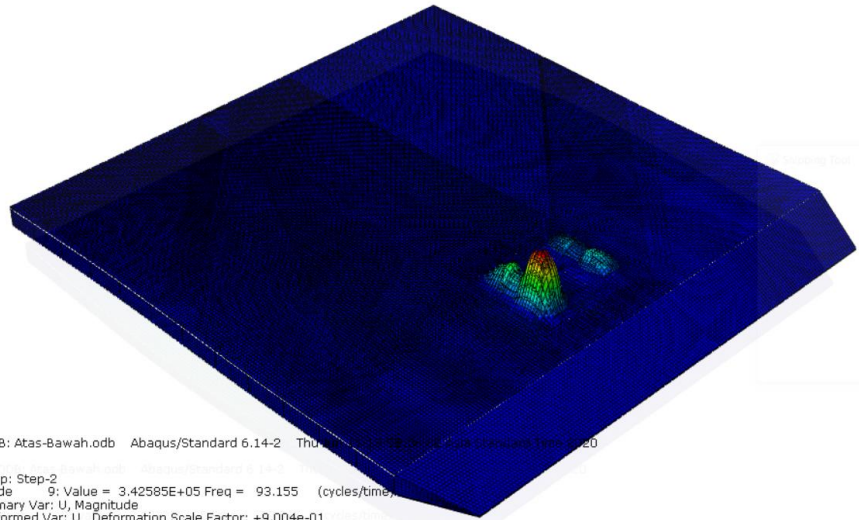
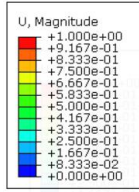






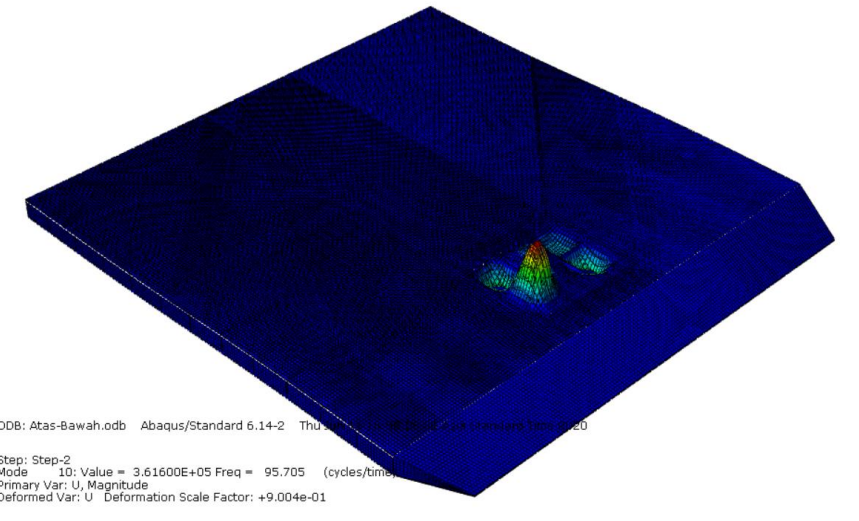
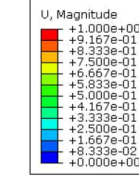
ODB: Atas-Bawah.odb Abaqus/Standard 6.14-2 Thu Jul 10 10:58:02 2009

Step: Step-2
 Mode 8: Value = 3.19383E+05 Freq = 89.945 (cycles/time)
 Primary Var: U, Magnitude
 Deformed Var: U Deformation Scale Factor: +9.004e-01



ODB: Atas-Bawah.odb Abaqus/Standard 6.14-2 Thu Jul 10 10:58:02 2009

Step: Step-2
 Mode 9: Value = 3.42585E+05 Freq = 93.155 (cycles/time)
 Primary Var: U, Magnitude
 Deformed Var: U Deformation Scale Factor: +9.004e-01

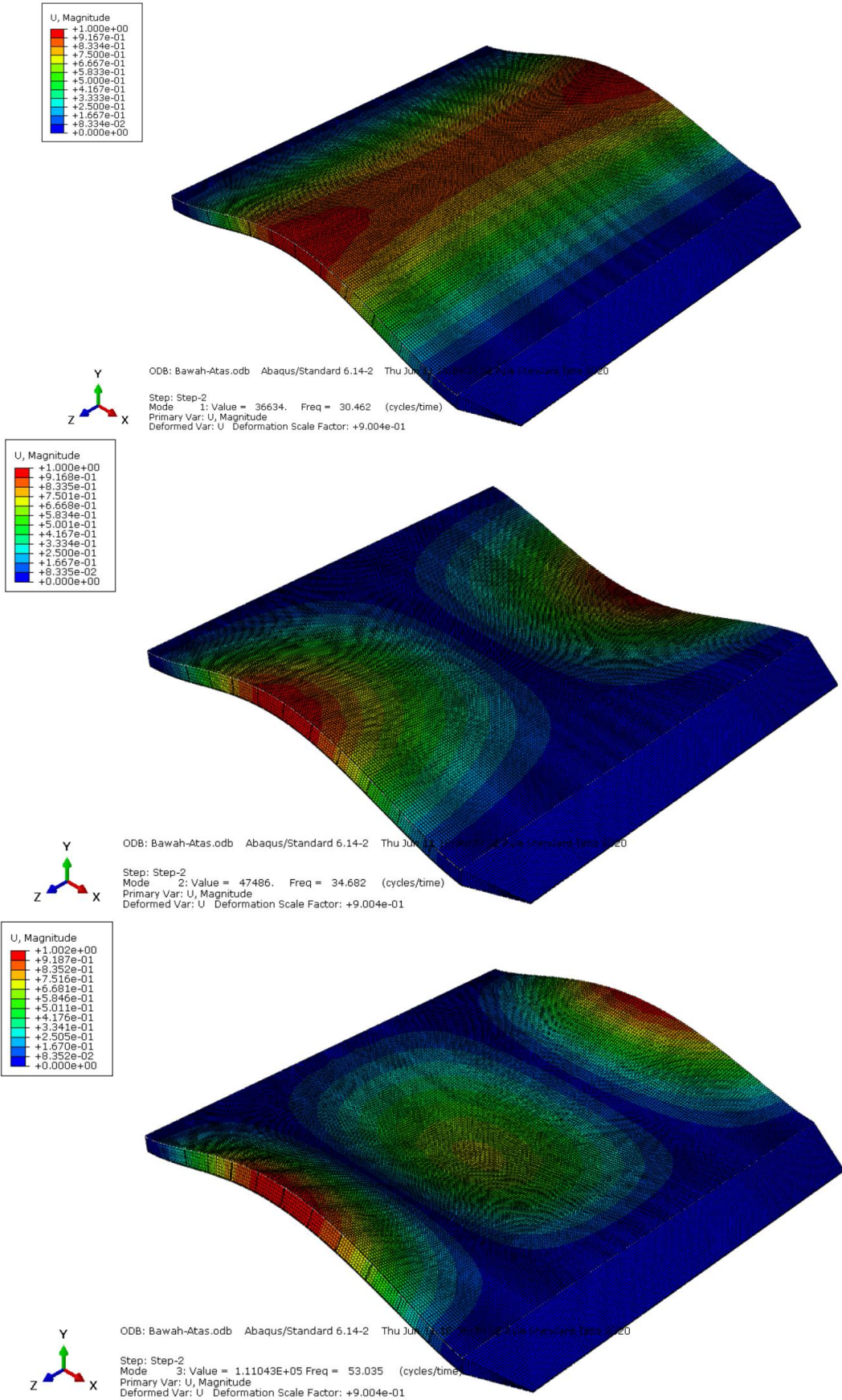


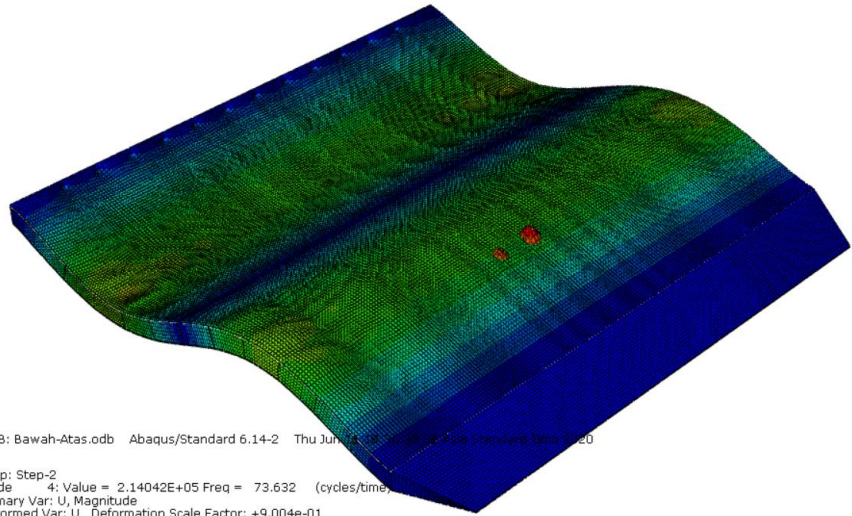
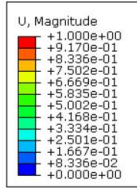
ODB: Atas-Bawah.odb Abaqus/Standard 6.14-2 Thu Jul 10 10:58:02 2009

Step: Step-2
 Mode 10: Value = 3.61600E+05 Freq = 95.705 (cycles/time)
 Primary Var: U, Magnitude
 Deformed Var: U Deformation Scale Factor: +9.004e-01



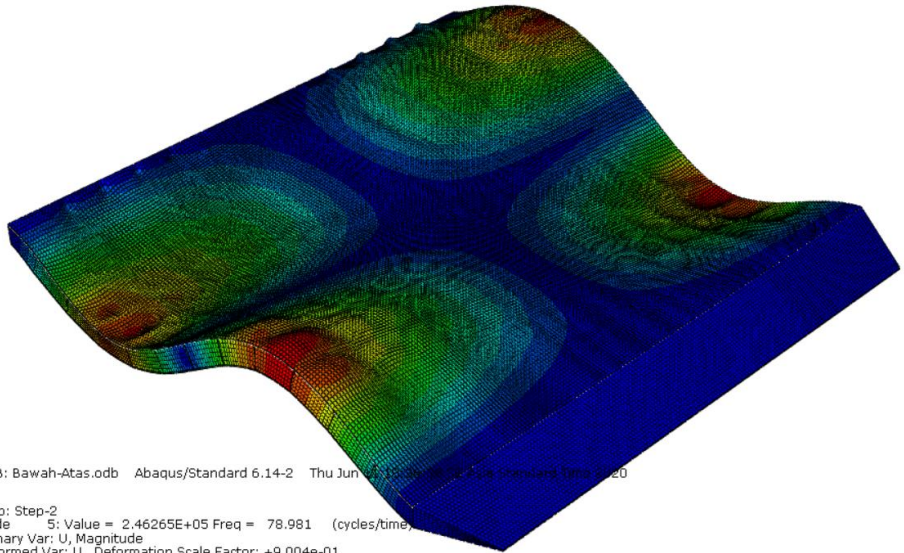
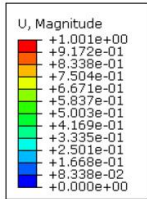
C. Lokasi Kerusakan *Deonding* Pada Permukaan Bagian Atas *Core* Bawah





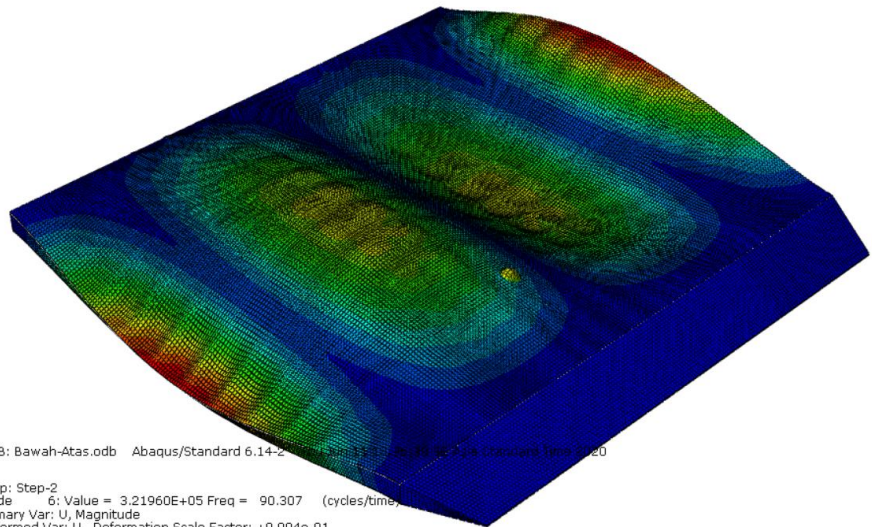
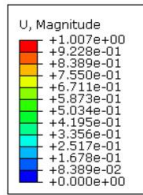
ODB: Bawah-Atas.odb Abaqus/Standard 6.14-2 Thu Jun 14 13:40:02 2012 Calculation Time: 0:20

Step: Step-2
 Mode 4: Value = 2.14042E+05 Freq = 73.632 (cycles/time)
 Primary Var: U, Magnitude
 Deformed Var: U Deformation Scale Factor: +9.004e-01



ODB: Bawah-Atas.odb Abaqus/Standard 6.14-2 Thu Jun 14 13:40:02 2012 Calculation Time: 0:20

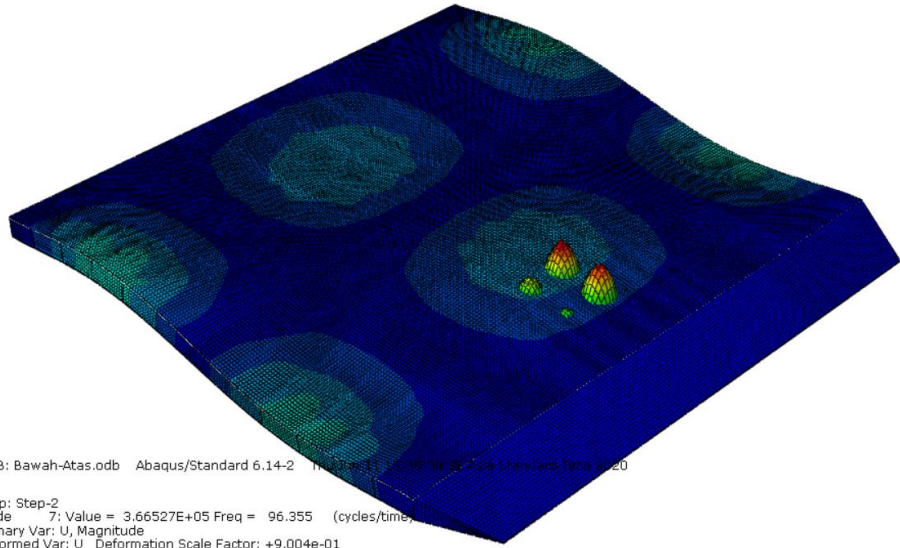
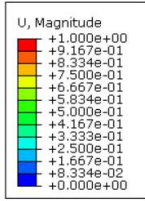
Step: Step-2
 Mode 5: Value = 2.46265E+05 Freq = 78.981 (cycles/time)
 Primary Var: U, Magnitude
 Deformed Var: U Deformation Scale Factor: +9.004e-01



ODB: Bawah-Atas.odb Abaqus/Standard 6.14-2 Thu Jun 14 13:40:02 2012 Calculation Time: 0:20

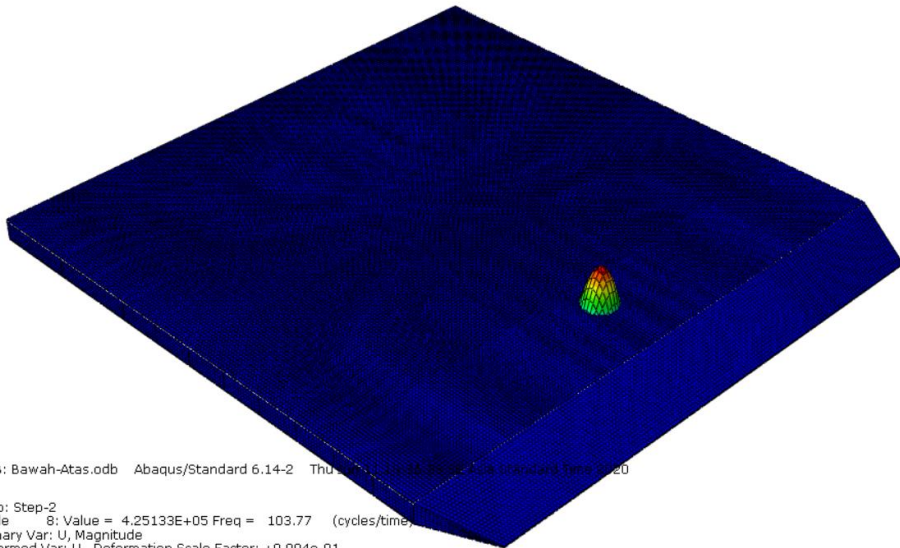
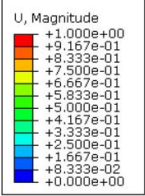
Step: Step-2
 Mode 6: Value = 3.21960E+05 Freq = 90.307 (cycles/time)
 Primary Var: U, Magnitude
 Deformed Var: U Deformation Scale Factor: +9.004e-01





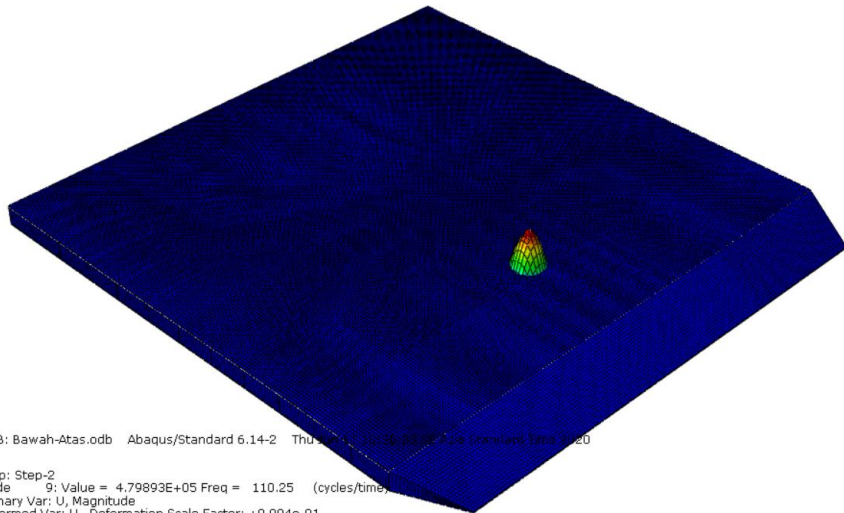
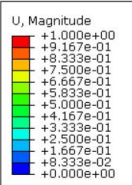
ODB: Bawah-Atas.odb Abaqus/Standard 6.14-2 Thu Jul 11 10:36:19 2008 Abaqus Standard time 0.20

Step: Step-2
 Mode 7: Value = 3.66527E+05 Freq = 96.355 (cycles/time)
 Primary Var: U, Magnitude
 Deformed Var: U Deformation Scale Factor: +9.004e-01



ODB: Bawah-Atas.odb Abaqus/Standard 6.14-2 Thu Jul 11 10:36:22 2008 Abaqus Standard time 0.20

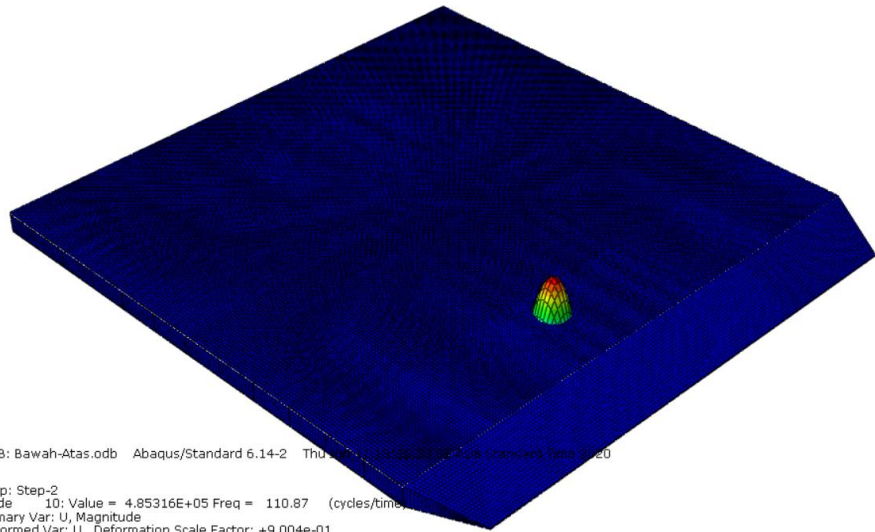
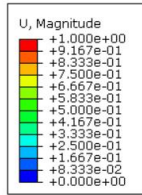
Step: Step-2
 Mode 8: Value = 4.25133E+05 Freq = 103.77 (cycles/time)
 Primary Var: U, Magnitude
 Deformed Var: U Deformation Scale Factor: +9.004e-01



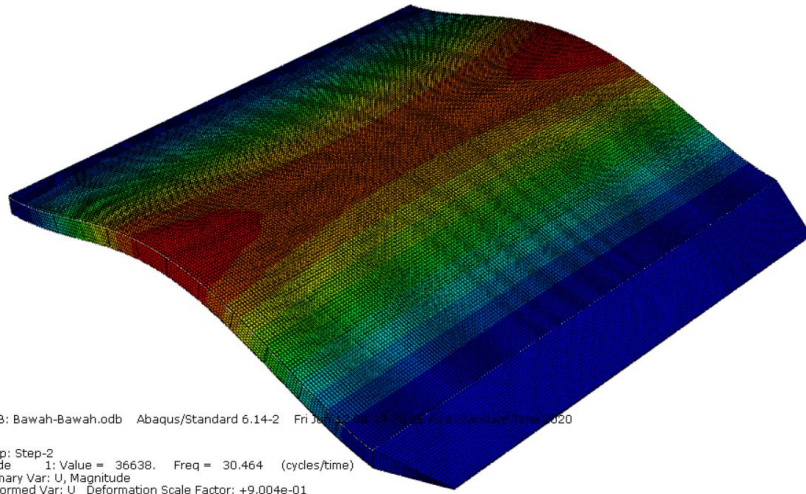
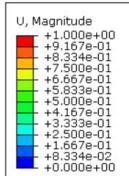
ODB: Bawah-Atas.odb Abaqus/Standard 6.14-2 Thu Jul 11 10:36:25 2008 Abaqus Standard time 0.20

Step: Step-2
 Mode 9: Value = 4.79893E+05 Freq = 110.25 (cycles/time)
 Primary Var: U, Magnitude
 Deformed Var: U Deformation Scale Factor: +9.004e-01

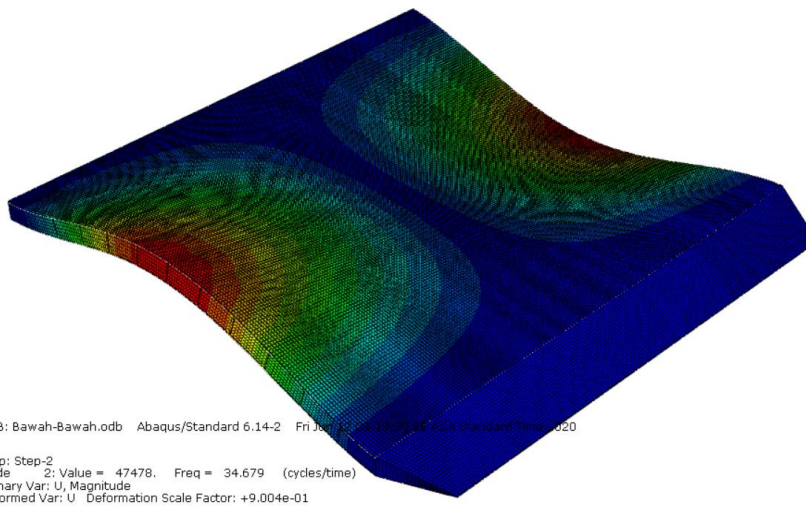
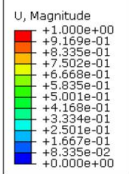


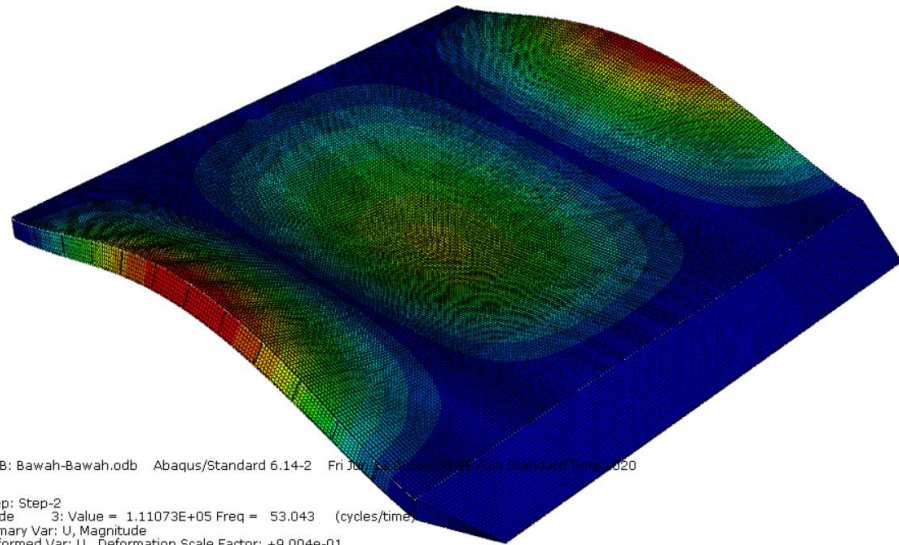
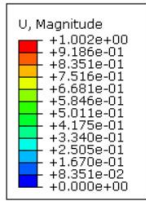


D. Lokasi Kerusakan *Debonding* Pada Permukaan Bagian Bawah *Core* Bawah



E.

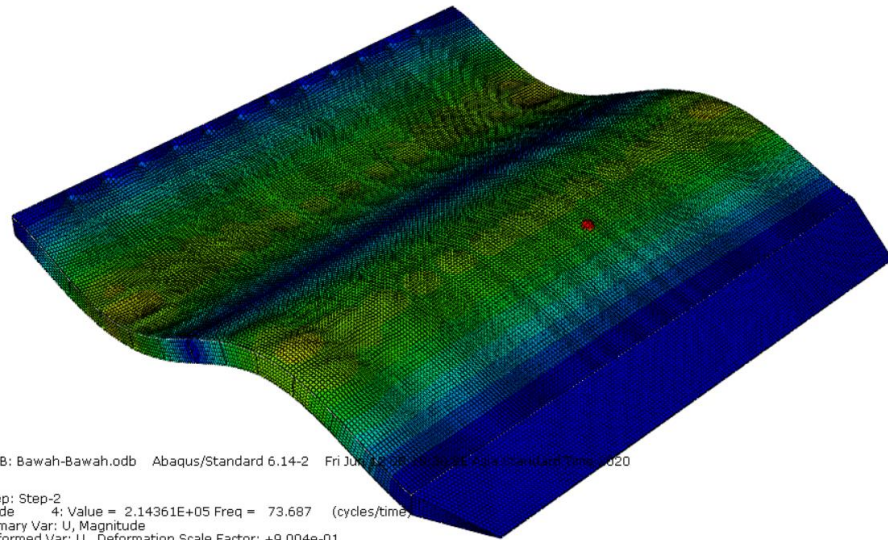
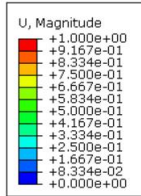




ODB: Bawah-Bawah.odb Abaqus/Standard 6.14-2 Fri Jun 12 2009 10:05:05 C:\Program Files\Abaqus\6.14.2\bin\abaqus.exe

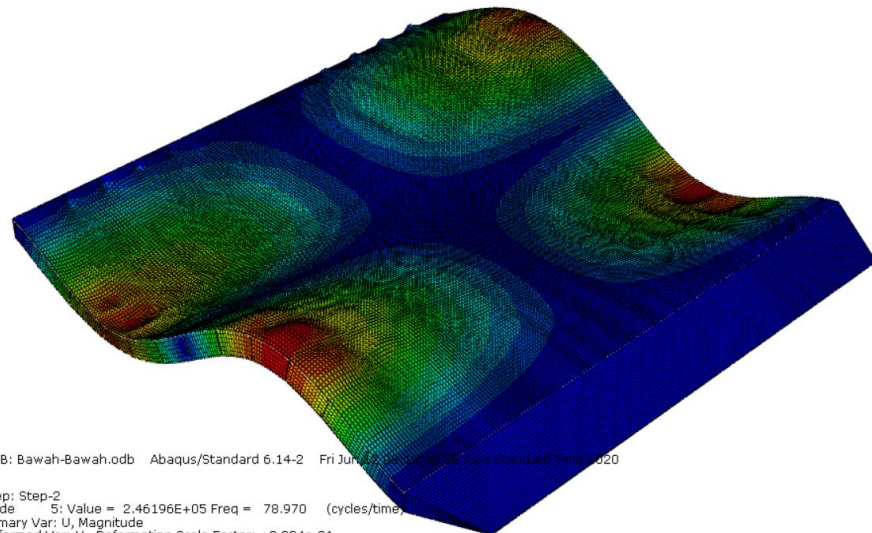
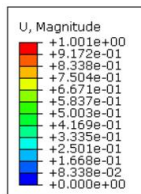
Step: Step-2
 Mode 3: Value = 1.11073E+05 Freq = 53.043 (cycles/time)
 Primary Var: U, Magnitude
 Deformed Var: U Deformation Scale Factor: +9.004e-01

F.



ODB: Bawah-Bawah.odb Abaqus/Standard 6.14-2 Fri Jun 12 2009 10:05:05 C:\Program Files\Abaqus\6.14.2\bin\abaqus.exe

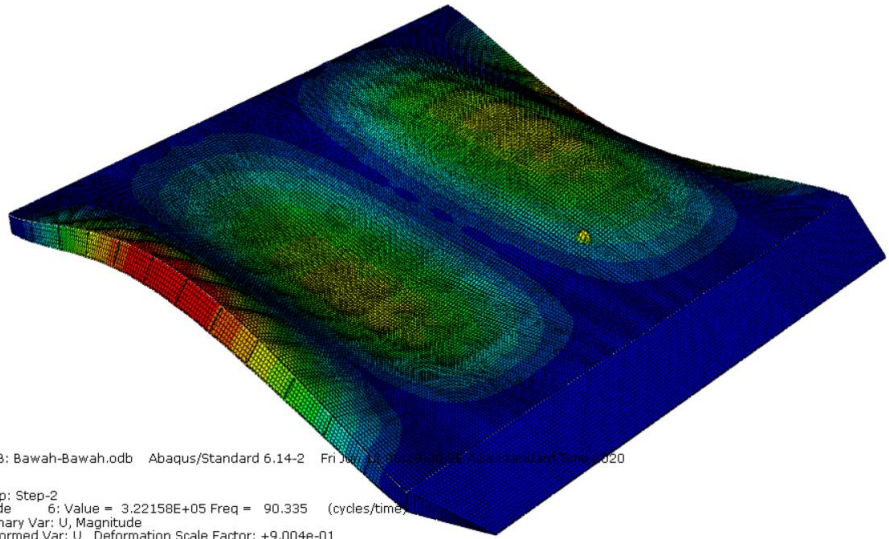
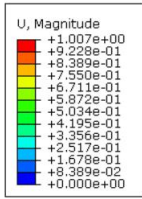
Step: Step-2
 Mode 4: Value = 2.14361E+05 Freq = 73.687 (cycles/time)
 Primary Var: U, Magnitude
 Deformed Var: U Deformation Scale Factor: +9.004e-01



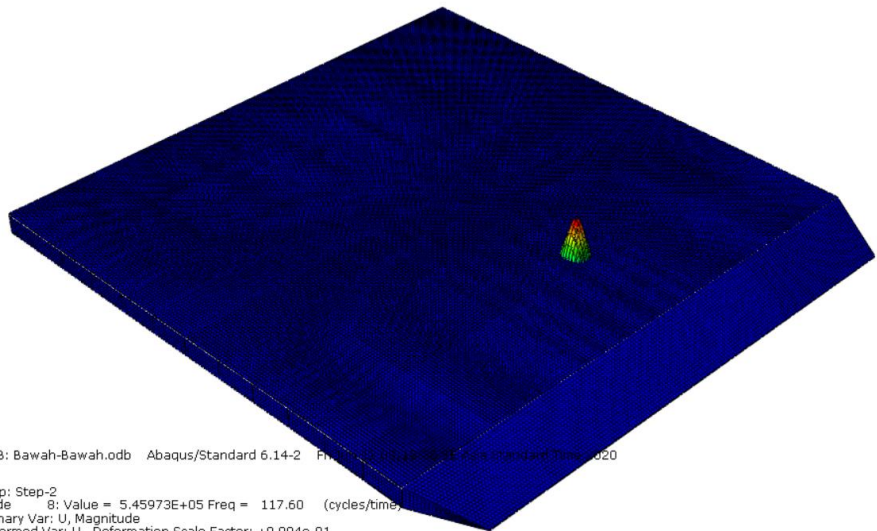
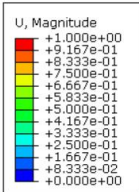
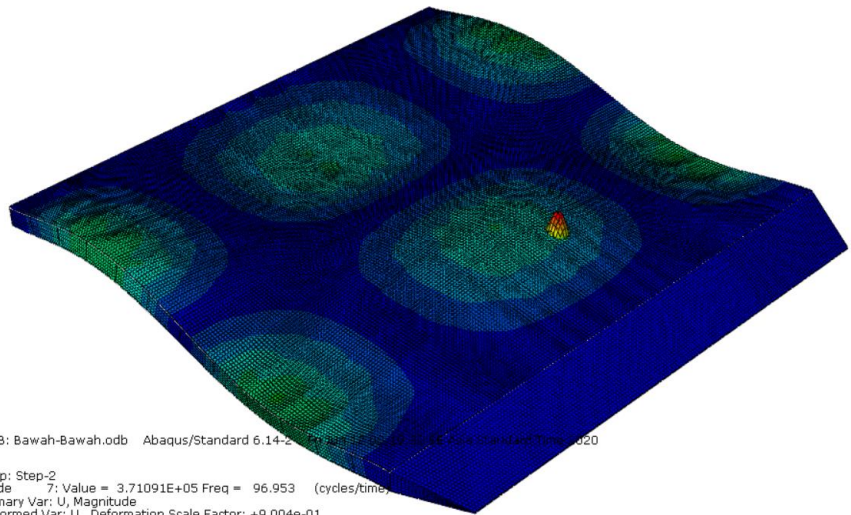
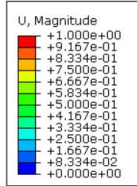
ODB: Bawah-Bawah.odb Abaqus/Standard 6.14-2 Fri Jun 12 2009 10:05:05 C:\Program Files\Abaqus\6.14.2\bin\abaqus.exe

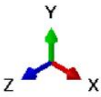
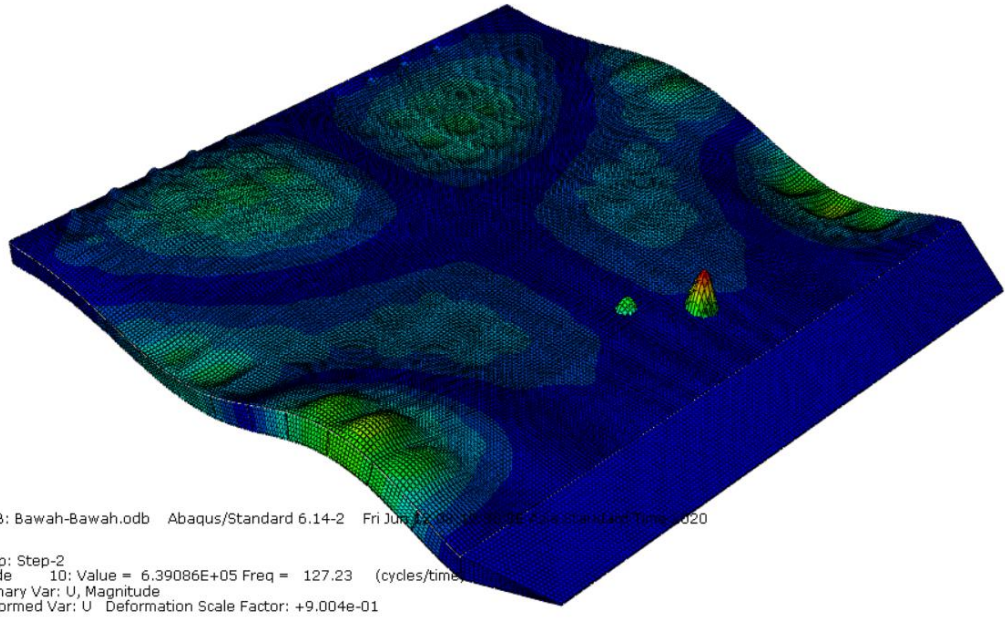
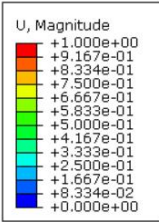
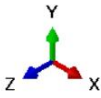
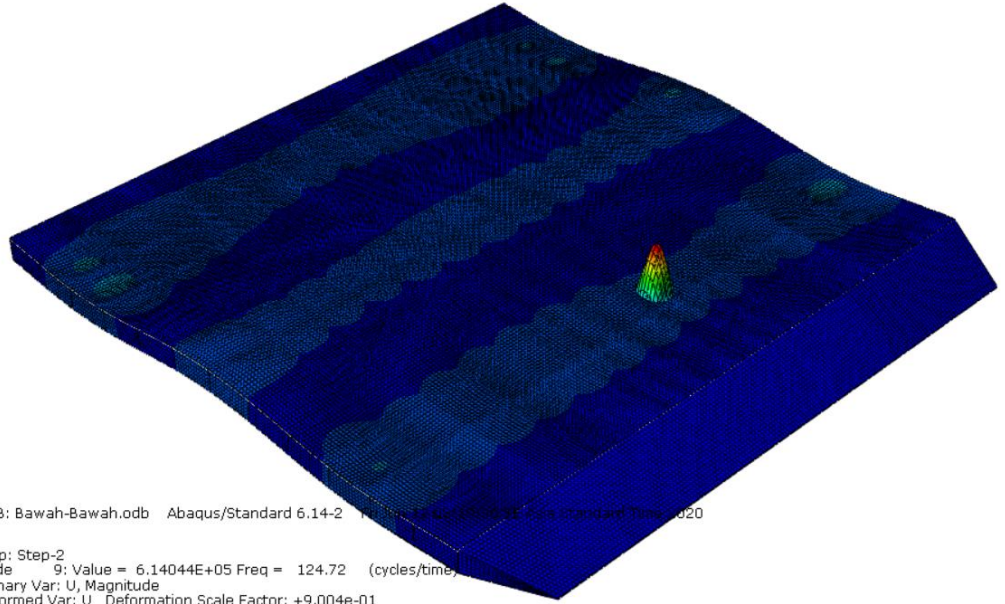
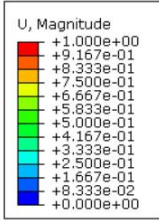
Step: Step-2
 Mode 5: Value = 2.46196E+05 Freq = 78.970 (cycles/time)
 Primary Var: U, Magnitude
 Deformed Var: U Deformation Scale Factor: +9.004e-01





G.





LAMPIRAN B

HASIL SIMULASI NUMERIK VARIASI PEMBEBANAN PADA AREA KERUSAKAN *DEBONDING*

A. Variasi Pembebanan *Full Load*

Time (s)	Acceleration (m/s ²)	Time (s)	Velocity (m/s)	Time (s)	Displacement (m)
0	0	0	0	0	0
0.005	-5.06831	0.005	-0.617429	0.005	-1.54E-03
0.01	153.604	0.01	0.265962	0.01	-0.002775
0.015	-32.6397	0.015	0.219708	0.015	-1.13E-03
0.02	58.7599	0.02	0.573764	0.02	6.16E-04
0.025	-164.79	0.025	0.0839159	0.025	0.00278569
0.03	3.68154	0.03	-0.216691	0.03	0.00204478
0.035	-80.7232	0.035	-0.501662	0.035	4.76E-04
0.04	122.396	0.04	-0.354743	0.04	-2.14E-03
0.045	33.1846	0.045	0.0653067	0.045	-0.00263377
0.05	102.373	0.05	0.393929	0.05	-0.00166713
0.055	-58.8574	0.055	0.57691	0.055	1.13E-03
0.06	-81.43	0.06	0.127457	0.06	0.00291857
0.065	-99.6158	0.065	-0.295713	0.065	0.0025493
0.07	1.25384	0.07	-0.624037	0.07	2.71E-05
0.075	82.2907	0.075	-0.340741	0.075	-0.00255169
0.08	106.169	0.08	0.1183	0.08	-0.00315978
0.085	50.9535	0.085	0.584607	0.085	-0.00128542
0.09	-58.4717	0.09	0.529918	0.09	1.73E-03
0.095	-110.732	0.095	0.102678	0.095	0.00342348
0.1	-96.5916	0.1	-0.480654	0.1	0.00245245
0.105	25.8247	0.105	-0.660881	0.105	-6.66E-04
0.11	106.533	0.11	-0.306674	0.11	-0.00325142
0.115	119.125	0.115	0.305424	0.115	-0.00328406
0.12	20.7742	0.12	0.684035	0.12	-0.000598709
0.125	-84.7859	0.125	0.50821	0.125	0.00260312
0.13	-133.519	0.13	-0.0786324	0.13	0.00378174
0.135	-67.4581	0.135	-0.626425	0.135	0.00187719
0.14	51.1515	0.14	-0.666568	0.14	-1.61E-03
0.145	135.586	0.145	-0.165807	0.145	-0.00386597
0.15	106.729	0.15	0.496053	0.15	-0.00297827
0.155	-11.517	0.155	0.748722	0.155	0.000384659

0.16	-119.651	0.16	0.395632	0.16	0.00347414
0.165	-133.165	0.165	-0.290512	0.165	0.00376528
0.17	-36.0702	0.17	-0.74662	0.17	0.00096597
0.175	90.7393	0.175	-0.599068	0.175	-0.00266655
0.18	146.966	0.18	0.045102	0.18	-0.00417042
0.185	81.4774	0.185	0.663245	0.185	-0.00225997
0.19	-51.5258	0.19	0.743843	0.19	1.54E-03
0.195	-145.101	0.195	0.210767	0.195	0.00412416
0.2	-118.353	0.2	-0.503175	0.2	0.00333558
0.205	5.17522	0.205	-0.807635	0.205	-0.000203377
0.21	125.756	0.21	-0.452983	0.21	-0.00361019
0.215	144.36	0.215	0.278907	0.215	-0.00408419
0.22	44.2823	0.22	0.788516	0.22	-0.00120311
0.225	-93.3749	0.225	0.655074	0.225	0.00269745
0.23	-155.802	0.23	-0.0204349	0.23	0.00441584
0.235	-89.9411	0.235	-0.685262	0.235	0.00251142
0.24	50.5437	0.24	-0.790963	0.24	-1.48E-03
0.245	150.537	0.245	-0.245321	0.245	-0.00427913
0.25	126.821	0.25	0.505376	0.25	-0.00357802
0.255	-0.889131	0.255	0.845088	0.255	6.90E-05
0.26	-129.021	0.26	0.492428	0.26	0.00368406
0.265	-151.785	0.265	-0.268212	0.265	0.00429218
0.27	-49.7732	0.27	-0.813022	0.27	0.00137249
0.275	94.033	0.275	-0.692038	0.275	-0.00269483
0.28	161.178	0.28	-0.000194026	0.28	-0.00456712
0.285	95.8768	0.285	0.695199	0.285	-0.00269064
0.29	-48.6403	0.29	0.821772	0.29	1.41E-03
0.295	-153.695	0.295	0.27278	0.295	0.00436668
0.3	-132.778	0.3	-0.502562	0.3	0.00374724
0.305	-2.67925	0.305	-0.868154	0.305	4.45E-05
0.31	130.321	0.31	-0.521277	0.31	-0.00371066
0.315	156.604	0.315	0.255903	0.315	-0.00442914
0.32	54.1449	0.32	0.825589	0.32	-0.00150783
0.325	-93.2888	0.325	0.71814	0.325	0.00266384
0.33	-164.391	0.33	0.0196611	0.33	0.00465842
0.335	-100.516	0.335	-0.696972	0.335	0.0028292
0.34	46.1738	0.34	-0.842622	0.34	-1.33E-03
0.345	155.27	0.345	-0.296072	0.345	-0.0044082
0.35	137.068	0.35	0.495261	0.35	-0.00387101
0.355	6.12075	0.355	0.881685	0.355	-0.000150849
0.36	-130.222	0.36	0.544258	0.36	0.00370265
0.365	-159.811	0.365	-0.241372	0.365	0.00452191

0.37	-58.0763	0.37	-0.830312	0.37	0.00162664
0.375	91.5971	0.375	-0.737978	0.375	-0.00261117
0.38	166.245	0.38	-0.0390514	0.38	-0.00471135
0.385	104.424	0.385	0.693175	0.385	-0.00294444
0.39	-43.2967	0.39	0.857139	0.39	1.24E-03
0.395	-155.692	0.395	0.317188	0.395	0.00441804
0.4	-140.361	0.4	-0.484256	0.4	0.00396723
0.405	-9.65881	0.405	-0.889094	0.405	0.00025656
0.41	129.166	0.41	-0.564043	0.41	-0.00367019
0.415	162.046	0.415	0.224806	0.415	-0.0045873
0.42	61.8401	0.42	0.829942	0.42	-0.0017376
0.425	-89.2677	0.425	0.754066	0.425	0.00254255
0.43	-167.214	0.43	0.0587886	0.43	0.00473929
0.435	-107.91	0.435	-0.685503	0.435	0.00304623
0.44	40.0811	0.44	-0.86758	0.44	-1.15E-03
0.445	155.304	0.445	-0.337332	0.445	-0.00440622
0.45	143.082	0.45	0.470452	0.45	-0.00404686
0.455	13.3365	0.455	0.892583	0.455	-0.000364001
0.46	-127.459	0.46	0.582071	0.46	0.00362072
0.465	-163.688	0.465	-0.206625	0.465	0.00463546
0.47	-65.5345	0.47	-0.826204	0.47	0.0018449
0.475	86.489	0.475	-0.767831	0.475	-2.46E-03
0.48	167.596	0.48	-0.0790071	0.48	-0.00475068
0.485	111.15	0.485	0.675107	0.485	-0.0031402
0.49	-36.5881	0.49	0.875395	0.49	1.05E-03
0.495	-154.368	0.495	0.357098	0.495	0.00437965
0.5	-145.468	0.5	-0.45463	0.5	0.0041163
0.505	-17.1398	0.505	-0.89351	0.505	0.000473671
0.51	125.311	0.51	-0.599086	0.51	-0.00355943
0.515	164.95	0.515	0.187237	0.515	-0.00467241
0.52	69.201	0.52	0.820171	0.52	-0.00195048
0.525	-83.387	0.525	0.780107	0.525	2.37E-03
0.53	-167.581	0.53	0.0996894	0.53	0.00475085
0.535	-114.246	0.535	-0.662787	0.535	0.00322947
0.54	32.8826	0.54	-0.881481	0.54	-9.43E-04
0.545	153.062	0.545	-0.376725	0.545	-0.00434289
0.55	147.64	0.55	0.437373	0.55	-0.00417912
0.555	21.0396	0.555	0.892697	0.555	-0.000585314
0.56	-122.857	0.56	0.615459	0.56	0.00348976
0.565	-165.951	0.565	-0.166962	0.565	0.00470169
0.57	-72.8559	0.57	-0.812523	0.57	0.00205518
0.575	80.0516	0.575	-0.791375	0.575	-2.28E-03

0.58	167.289	0.58	-0.120747	0.58	-0.00474316
0.585	117.248	0.585	0.649094	0.585	-0.00331564
0.59	-29.0233	0.59	0.886368	0.59	8.33E-04
0.595	-151.496	0.595	0.396273	0.595	0.00429887
0.6	-149.66	0.6	-0.419089	0.6	0.00423728
0.605	-25.0068	0.605	-0.890638	0.605	0.000698442
0.61	120.182	0.61	-0.631367	0.61	-0.00341401
0.615	166.763	0.615	0.146044	0.615	-0.00472539
0.62	76.5011	0.62	0.803696	0.62	-0.00215925
0.625	-76.5468	0.625	0.801901	0.625	2.18E-03
0.63	-166.794	0.63	0.142071	0.63	0.00472967
0.635	-120.179	0.635	-0.634397	0.635	0.00339945
0.64	25.0559	0.64	-0.890355	0.64	-7.20E-04
0.645	149.74	0.645	-0.415734	0.645	-0.00424942
0.65	151.561	0.65	0.400055	0.65	-0.00429182
0.655	29.0174	0.655	0.887629	0.655	-0.000812549
0.66	-117.343	0.66	0.646888	0.66	0.00333368
0.665	-167.425	0.665	-0.124666	0.665	0.00474474
0.67	-80.1308	0.67	-0.793967	0.67	0.00226264
0.675	72.9178	0.675	-0.811822	0.675	-2.08E-03
0.68	166.141	0.68	-0.163556	0.68	-0.00471161
0.685	123.045	0.685	0.618938	0.685	-0.0034812
0.69	-21.0134	0.69	0.893609	0.69	6.06E-04
0.695	-147.834	0.695	0.435072	0.695	0.0041957
0.7	-153.358	0.7	-0.380459	0.7	0.00434328
0.705	-33.0519	0.705	-0.883846	0.705	0.000927183
0.71	114.376	0.71	-0.662048	0.71	-0.00324977
0.715	167.962	0.715	0.102963	0.715	-0.00476041
0.72	83.7365	0.72	0.78351	0.72	-0.0023652
0.725	-69.1952	0.725	0.821207	0.725	1.97E-03
0.73	-165.355	0.73	0.185115	0.73	0.00468973
0.735	-125.845	0.735	-0.60287	0.735	0.00356098
0.74	16.9189	0.74	-0.896223	0.74	-0.000489499
0.745	145.803	0.745	-0.454249	0.745	-0.00413842
0.75	155.06	0.75	0.360431	0.75	-0.00439192
0.755	37.0949	0.755	0.879394	0.755	-0.00104197
0.76	-111.306	0.76	0.676845	0.76	0.00316292
0.765	-168.385	0.765	-0.0810348	0.765	0.00477278
0.77	-87.3096	0.77	-0.772433	0.77	0.00246675
0.775	65.4	0.775	-0.830082	0.775	-1.86E-03
0.78	164.452	0.78	-0.206681	0.78	-0.00466446
0.785	128.578	0.785	0.586296	0.785	-0.00363877

0.79	-12.7888	0.79	0.898244	0.79	0.000372387
0.795	-143.663	0.795	0.473224	0.795	0.00407803
0.8	-156.668	0.8	-0.340056	0.8	0.00443785
0.805	-41.1346	0.805	-0.874336	0.805	0.00115662
0.81	108.148	0.81	-0.691267	0.81	-0.00307356
0.815	168.7	0.815	0.058952	0.815	-0.00478205
0.82	90.8426	0.82	0.760803	0.82	-0.00256711
0.825	-61.546	0.825	0.838456	0.825	1.75E-03
0.83	-163.439	0.83	0.2282	0.83	0.00463606
0.835	-131.239	0.835	-0.56928	0.835	0.00371448
0.84	8.63484	0.84	-0.899697	0.84	-0.000254615
0.845	141.424	0.845	-0.491964	0.845	-0.00401481
0.85	158.183	0.85	0.319395	0.85	-0.00448109
0.855	45.1619	0.855	0.868708	0.855	-0.0012709
0.86	-104.911	0.86	0.705297	0.86	0.00298198
0.865	-168.91	0.865	-0.0367666	0.865	0.00478832
0.87	-94.3291	0.87	-0.748663	0.87	0.00266613
0.875	57.643	0.875	-0.846326	0.875	-1.64E-03
0.88	162.322	0.88	-0.249633	0.88	-0.00460467
0.885	133.826	0.885	0.551866	0.885	-0.00378805
0.89	-4.46546	0.89	0.900593	0.89	0.000136412
0.895	-139.093	0.895	0.510441	0.895	0.00394895
0.9	-159.603	0.9	-0.298493	0.9	0.00452163
0.905	-49.1698	0.905	-0.86253	0.905	0.00138461
0.91	101.604	0.91	-0.718918	0.91	-0.00288838
0.915	169.017	0.915	0.0145171	0.915	-0.00479163
0.92	97.7639	0.92	0.736039	0.92	-0.00276368
0.925	-53.6978	0.925	0.853689	0.925	1.53E-03
0.93	-161.104	0.93	0.270946	0.93	0.00457039
0.935	-136.335	0.935	-0.534087	0.935	0.0038594
0.94	0.287095	0.94	-0.900937	0.94	-1.80E-05
0.945	136.673	0.945	-0.52863	0.945	-0.00388057
0.95	160.928	0.95	0.277379	0.95	-0.00455944
0.955	53.1528	0.955	0.855816	0.955	-0.00149761
0.96	-98.2298	0.96	0.732115	0.96	0.00279289
0.965	-169.021	0.965	0.00776693	0.965	0.00479201
0.97	-101.143	0.97	-0.722951	0.97	0.00285963
0.975	49.7158	0.975	-0.860538	0.975	-1.42E-03
0.98	159.786	0.98	-0.292115	0.98	-0.00453328
0.985	138.763	0.985	0.515965	0.985	-0.00392845
0.99	3.89524	0.99	0.900732	0.99	-0.000100619
0.995	-134.168	0.995	0.546513	0.995	0.00380975

1	-162.156	1	-0.256079	1	0.00459449
---	----------	---	-----------	---	------------

B. Variasi Pembebanan *Half Load*

Time	Acceleration (m/s ²)	Time (s)	Velocity (m/s)	Times (s)	Displacement (m)
0	0	0	0	0	0
0.005	-5.70054	0.005	-0.402695	0.005	-0.000996765
0.01	97.6259	0.01	0.152941	0.01	-0.00185531
0.015	-15.43	0.015	0.134132	0.015	-0.000872889
0.02	43.5809	0.02	0.395267	0.02	0.000295114
0.025	-107.965	0.025	0.0895038	0.025	0.00186187
0.03	-1.99803	0.03	-0.121144	0.03	0.00152397
0.035	-61.0744	0.035	-0.337563	0.035	0.000534373
0.04	74.6107	0.04	-0.283054	0.04	-0.00133405
0.045	28.0316	0.045	-0.00442959	0.045	-0.00192756
0.05	78.5002	0.05	0.257012	0.05	-0.00142542
0.055	-29.336	0.055	0.434208	0.055	0.000548789
0.06	-57.7508	0.06	0.153353	0.06	0.00206545
0.065	-79.1517	0.065	-0.173138	0.065	0.00206948
0.07	-11.5497	0.07	-0.459828	0.07	0.000338083
0.075	54.3603	0.075	-0.306095	0.075	-0.00171336
0.08	82.1047	0.08	0.0286667	0.08	-0.00246625
0.085	50.4798	0.085	0.413976	0.085	-0.00129296
0.09	-32.9411	0.09	0.440194	0.09	0.00102069
0.095	-83.8044	0.095	0.144223	0.095	0.00258704
0.1	-82.8232	0.1	-0.320618	0.1	0.00214663
0.105	5.82232	0.105	-0.52234	0.105	-0.000151902
0.11	77.0218	0.11	-0.300832	0.11	-0.00235778
0.115	98.2164	0.115	0.173924	0.115	-0.00272185
0.12	29.8972	0.12	0.520792	0.12	-0.000838096
0.125	-56.501	0.125	0.446985	0.125	0.00176265
0.13	-105.994	0.13	0.01085	0.13	0.00301301
0.135	-65.4902	0.135	-0.456172	0.135	0.00181267
0.14	27.8413	0.14	-0.555507	0.14	-0.000913609
0.145	103.845	0.145	-0.202565	0.145	-0.00297005
0.15	93.6955	0.15	0.335951	0.15	-0.00261448
0.155	5.0499	0.155	0.599953	0.155	-8.66E-05
0.16	-87.7094	0.16	0.377747	0.16	0.00255371
0.165	-111.164	0.165	-0.161557	0.165	0.00314365
0.17	-42.5213	0.17	-0.576036	0.17	0.00115376
0.175	61.3731	0.175	-0.525589	0.175	-0.00182005
0.18	118.156	0.18	-0.0394609	0.18	-0.00335285

0.185	77.1366	0.185	0.488981	0.185	-0.00214159
0.19	-27.9376	0.19	0.621882	0.19	0.000858051
0.195	-112.338	0.195	0.241862	0.195	0.00319609
0.2	-103.816	0.2	-0.343594	0.2	0.00292311
0.205	-10.1667	0.205	-0.650819	0.205	0.000238586
0.21	92.9889	0.21	-0.42664	0.21	-0.00267339
0.215	120.839	0.215	0.15239	0.215	-0.00341757
0.22	49.3861	0.22	0.612343	0.22	-0.00135408
0.225	-63.7459	0.225	0.573266	0.225	0.0018495
0.23	-125.761	0.23	0.0598064	0.23	0.0035632
0.235	-84.2241	0.235	-0.508187	0.235	0.00235382
0.24	27.1693	0.24	-0.661992	0.24	-0.000807635
0.245	117.12	0.245	-0.270693	0.245	-0.00332961
0.25	110.906	0.25	0.346267	0.25	-0.003127
0.255	13.6169	0.255	0.682469	0.255	-0.000348928
0.26	-95.8069	0.26	0.459428	0.26	0.00273742
0.265	-127.075	0.265	-0.143996	0.265	0.00359177
0.27	-53.8631	0.27	-0.633112	0.27	0.00149362
0.275	64.3927	0.275	-0.603868	0.275	-0.00184928
0.28	130.255	0.28	-0.0764825	0.28	-0.00368926
0.285	89.0737	0.285	0.516726	0.285	-0.002501
0.29	-25.6813	0.29	0.687404	0.29	0.000752479
0.295	-119.786	0.295	0.292926	0.295	0.00340231
0.3	-115.726	0.3	-0.344277	0.3	0.00326487
0.305	-16.4673	0.305	-0.701264	0.305	0.000440565
0.31	96.8988	0.31	-0.482715	0.31	-0.00275932
0.315	130.965	0.315	0.134205	0.315	-0.00370229
0.32	57.3427	0.32	0.643232	0.32	-0.00160243
0.325	-63.8111	0.325	0.62472	0.325	0.00182402
0.33	-132.807	0.33	0.0920259	0.33	0.00376162
0.335	-92.7488	0.335	-0.51801	0.335	0.00261139
0.34	23.7181	0.34	-0.703815	0.34	-0.000689955
0.345	120.995	0.345	-0.311374	0.345	-0.00343365
0.35	119.073	0.35	0.338233	0.35	-0.00336197
0.355	19.1997	0.355	0.711585	0.355	-0.000525656
0.36	-96.7551	0.36	0.500705	0.36	0.00275048
0.365	-133.41	0.365	-0.122473	0.365	0.00377324
0.37	-60.4221	0.37	-0.646375	0.37	0.00169618
0.375	62.3984	0.375	-0.639928	0.375	-0.00177968
0.38	134.14	0.38	-0.10744	0.38	-0.00379965
0.385	95.7593	0.385	0.514337	0.385	-0.00270068
0.39	-21.3925	0.39	0.71453	0.39	0.000619727

0.395	-121.17	0.395	0.327866	0.395	0.00343674
0.4	-121.538	0.4	-0.328919	0.4	0.00343443
0.405	-22.0041	0.405	-0.716465	0.405	0.000609905
0.41	95.7618	0.41	-0.515804	0.41	-0.00272002
0.415	134.987	0.415	0.108973	0.415	-0.00381973
0.42	63.3408	0.42	0.645001	0.42	-0.00178268
0.425	-60.4232	0.425	0.651761	0.425	0.00172132
0.43	-134.684	0.43	0.123123	0.43	0.00381542
0.435	-98.3871	0.435	-0.507234	0.435	0.00277783
0.44	18.7683	0.44	-0.72161	0.44	-0.000542537
0.445	120.628	0.445	-0.34347	0.445	-0.00342068
0.45	123.495	0.45	0.317159	0.45	-0.00349206
0.455	24.9231	0.455	0.71787	0.455	-0.000695461
0.46	-94.1953	0.46	0.529314	0.46	0.00267463
0.465	-136.037	0.465	-0.0940802	0.465	0.00385088
0.47	-66.1908	0.47	-0.640654	0.47	0.00186574
0.475	58.0541	0.475	-0.661516	0.475	-0.00165281
0.48	134.707	0.48	-0.139199	0.48	-0.00381656
0.485	100.794	0.485	0.497743	0.485	-0.00284793
0.49	-15.9037	0.49	0.726366	0.49	0.000459634
0.495	-119.607	0.495	0.358712	0.495	0.00339168
0.5	-125.153	0.5	-0.303651	0.5	0.00354061
0.505	-27.9463	0.505	-0.71702	0.505	0.000782787
0.51	92.2437	0.51	-0.541907	0.51	-0.00261893
0.515	136.751	0.515	0.0781566	0.515	-0.00387212
0.52	69.0115	0.52	0.6343	0.52	-0.00194714
0.525	-55.4054	0.525	0.669949	0.525	0.00157699
0.53	-134.383	0.53	0.155654	0.53	0.00380789
0.535	-103.072	0.535	-0.486587	0.535	0.00291379
0.54	12.8584	0.54	-0.729606	0.54	-0.000372365
0.545	118.265	0.545	-0.373803	0.545	-0.00335386
0.55	126.621	0.55	0.288917	0.55	-0.0035833
0.555	31.0484	0.555	0.714656	0.555	-0.00087167
0.56	-90.0286	0.56	0.553918	0.56	0.00255606
0.565	-137.238	0.565	-0.0614892	0.565	0.00388667
0.57	-71.8178	0.57	-0.626556	0.57	0.00202762
0.575	52.5585	0.575	-0.677495	0.575	-0.00149594
0.58	133.82	0.58	-0.172406	0.58	-0.00379242
0.585	105.265	0.585	0.474263	0.585	-0.00297685
0.59	-9.68535	0.59	0.731804	0.59	0.000281928
0.595	-116.702	0.595	0.388802	0.595	0.00330983
0.6	-127.956	0.6	-0.273323	0.6	0.00362189

0.605	-34.204	0.605	-0.711224	0.605	0.000961678
0.61	87.6278	0.61	-0.565511	0.61	-0.00248806
0.615	137.561	0.615	0.0442967	0.615	-0.00389641
0.62	74.6117	0.62	0.617815	0.62	-0.00210742
0.625	-49.5711	0.625	0.684395	0.625	0.00141113
0.63	-133.085	0.63	0.189358	0.63	0.00377203
0.635	-107.394	0.635	-0.461104	0.635	0.0030378
0.64	6.42516	0.64	-0.733234	0.64	-0.000189274
0.645	114.978	0.645	-0.403702	0.645	-0.00326126
0.65	129.189	0.65	0.257118	0.65	-0.00365735
0.655	37.3915	0.655	0.706992	0.655	-0.00105236
0.66	-85.0919	0.66	0.576759	0.66	0.0024163
0.665	-137.758	0.665	-0.0267435	0.665	0.00390245
0.67	-77.3881	0.67	-0.608327	0.67	0.00218652
0.675	46.4838	0.675	-0.690775	0.675	-0.00132362
0.68	132.217	0.68	-0.206418	0.68	-0.00374782
0.685	109.465	0.685	0.447326	0.685	-0.00309691
0.69	-3.10723	0.69	0.734046	0.69	9.51E-05
0.695	-113.132	0.695	0.418474	0.695	0.00320919
0.7	-130.332	0.7	-0.24047	0.7	0.00369017
0.705	-40.5936	0.705	-0.70212	0.705	0.00114333
0.71	82.4536	0.71	-0.587684	0.71	-0.00234168
0.715	137.849	0.715	0.00895059	0.715	-0.0039054
0.72	80.1397	0.72	0.59825	0.72	-0.00226478
0.725	-43.3241	0.725	0.696695	0.725	0.00123411
0.73	-131.242	0.73	0.223509	0.73	0.00372048
0.735	-111.478	0.735	-0.433067	0.735	0.00315426
0.74	-0.2478	0.74	-0.734324	0.74	2.00E-08
0.745	111.186	0.745	-0.433084	0.745	-0.00315427
0.75	131.394	0.75	0.223494	0.75	-0.00372058
0.755	43.7967	0.755	0.696704	0.755	-0.00123424
0.76	-79.7346	0.76	0.598288	0.76	0.00226477
0.765	-137.846	0.765	0.00899407	0.765	0.00390562
0.77	-82.8591	0.77	-0.58768	0.77	0.00234204
0.775	40.1106	0.775	-0.702183	0.775	-0.00114311
0.78	130.171	0.78	-0.240571	0.78	-0.00369039
0.785	113.431	0.785	0.41842	0.785	-0.00320985
0.79	3.62539	0.79	0.734113	0.79	-9.58E-05
0.795	-109.154	0.795	0.447497	0.795	0.0030969
0.8	-132.377	0.8	-0.206269	0.8	0.00374869
0.805	-46.9905	0.805	-0.6908	0.805	0.00132485
0.81	76.9486	0.81	-0.60856	0.81	-0.00218596

0.815	137.755	0.815	-0.0270274	0.815	-0.00390329
0.82	85.5396	0.82	0.576678	0.82	-0.00241816
0.825	-36.8557	0.825	0.707246	0.825	0.00105094
0.83	-129.012	0.83	0.257557	0.83	0.00365779
0.835	-115.321	0.835	-0.403442	0.835	0.00326362
0.84	-7.01522	0.84	-0.733436	0.84	0.00019183
0.845	107.045	0.845	-0.461686	0.845	-0.00303733
0.85	133.281	0.85	0.188849	0.85	-0.00377453
0.855	50.1671	0.855	0.684441	0.855	-0.00141494
0.86	-74.105	0.86	0.618488	0.86	0.00210551
0.865	-137.578	0.865	0.0451039	0.865	0.0038985
0.87	-88.176	0.87	-0.565282	0.87	0.00249301
0.875	33.5681	0.875	-0.711887	0.875	-0.000957837
0.88	127.771	0.88	-0.274433	0.88	-0.00362282
0.885	117.145	0.885	0.388173	0.885	-0.0033155
0.89	10.4098	0.89	0.732305	0.89	-0.000288029
0.895	-104.866	0.895	0.475627	0.895	0.00297574
0.9	-134.105	0.9	-0.17127	0.9	0.0037981
0.905	-53.3203	0.905	-0.677648	0.905	0.00150436
0.91	71.2099	0.91	-0.628059	0.91	-0.00202359
0.915	137.316	0.915	-0.0631902	0.915	-0.00389131
0.92	90.764	0.92	0.553519	0.92	-0.00256647
0.925	-30.2538	0.925	0.716101	0.925	0.000863977
0.93	-126.45	0.93	0.291171	0.93	0.00358557
0.935	-118.902	0.935	-0.372642	0.935	0.00336544
0.94	-13.8037	0.94	-0.730726	0.94	0.000384205
0.945	102.619	0.945	-0.489299	0.945	-0.00291223
0.95	134.85	0.95	0.153562	0.95	-0.00381938
0.955	56.4456	0.955	0.670433	0.955	-0.00159299
0.96	-68.2677	0.96	0.63726	0.96	0.00194032
0.965	-136.972	0.965	0.0812607	0.965	0.00388173
0.97	-93.3	0.97	-0.541405	0.97	0.00263845
0.975	26.9173	0.975	-0.719884	0.975	-0.000769485
0.98	125.05	0.98	-0.30775	0.98	-0.0035461
0.985	120.588	0.985	0.356868	0.985	-0.00341339
0.99	17.1925	0.99	0.7287	0.99	-0.000480241
0.995	-100.308	0.995	0.502686	0.995	0.0028469
1	-135.513	1	-0.135745	1	0.00383835

C. Variasi Pembebanan *No Load*

Time (s)	Acceleration (m/s ²)	Time (s)	Velocity (m/s)	Time (s)	Displacement (m)
0	0	0	0	0	0
0.005	-1.86805	0.005	-0.0591801	0.005	-9.75E-05
0.01	10.3769	0.01	0.00660405	0.01	-0.000352538
0.015	3.47316	0.015	0.0055771	0.015	-0.000502215
0.02	11.7104	0.02	0.0789471	0.02	-0.000298973
0.025	-15.8403	0.025	0.0453224	0.025	0.00035544
0.03	-4.92423	0.03	0.00377433	0.03	0.000749364
0.035	-16.1298	0.035	-0.0591918	0.035	0.000707094
0.04	4.29182	0.04	-0.0886497	0.04	6.49E-05
0.045	11.2753	0.045	-0.0507815	0.045	-0.000879261
0.05	22.6205	0.05	0.0426354	0.05	-0.00115131
0.055	3.18211	0.055	0.112665	0.055	-0.000507225
0.06	-10.3629	0.06	0.0932543	0.06	0.000715762
0.065	-27.3249	0.065	-0.00565648	0.065	0.00146519
0.07	-12.0722	0.07	-0.117513	0.07	0.000982147
0.075	7.28867	0.075	-0.124436	0.075	-0.000331278
0.08	24.8015	0.08	-0.0443051	0.08	-0.00150152
0.085	23.7717	0.085	0.0909789	0.085	-0.00150147
0.09	0.728877	0.09	0.155548	0.09	-0.000218033
0.095	-23.9039	0.095	0.0951326	0.095	0.00135733
0.1	-30.1619	0.1	-0.0523469	0.1	0.00187933
0.105	-10.8278	0.105	-0.162507	0.105	0.000826769
0.11	18.8482	0.11	-0.142429	0.11	-0.000977732
0.115	33.6881	0.115	0.000944251	0.115	-0.00204604
0.12	20.3921	0.12	0.145928	0.12	-0.001433
0.125	-9.18829	0.125	0.177298	0.125	0.000396253
0.13	-33.6412	0.13	0.0616819	0.13	0.00197583
0.135	-30.1959	0.135	-0.110925	0.135	0.00196861
0.14	-1.52985	0.14	-0.197222	0.14	0.000292808
0.145	29.907	0.145	-0.120659	0.145	-0.00167993
0.15	36.6589	0.15	0.0594448	0.15	-0.00230698
0.155	13.2095	0.155	0.194333	0.155	-0.00102037
0.16	-22.0173	0.16	0.170776	0.16	0.0011543
0.165	-39.4935	0.165	0.00439501	0.165	0.00241403
0.17	-24.6684	0.17	-0.168923	0.17	0.00169828
0.175	10.9133	0.175	-0.206418	0.175	-0.000450292
0.18	38.5043	0.18	-0.073013	0.18	-0.00227488
0.185	34.4939	0.185	0.124595	0.185	-0.00224052
0.19	1.47701	0.19	0.221919	0.19	-0.000338192

0.195	-33.1308	0.195	0.136342	0.195	0.00187873
0.2	-40.8345	0.2	-0.0636047	0.2	0.0025688
0.205	-14.6939	0.205	-0.213849	0.205	0.00113699
0.21	23.9398	0.21	-0.188798	0.21	-0.00125868
0.215	43.2276	0.215	-0.00728525	0.215	-0.00264392
0.22	27.0762	0.22	0.182811	0.22	-0.0018567
0.225	-11.8315	0.225	0.224145	0.225	0.000480868
0.23	-41.4552	0.23	0.0800165	0.23	0.00244957
0.235	-36.9427	0.235	-0.132003	0.235	0.00240877
0.24	-1.82755	0.24	-0.236786	0.24	0.000372752
0.245	35.1222	0.245	-0.146741	0.245	-0.00199082
0.25	43.3324	0.25	0.0654143	0.25	-0.00272919
0.255	15.8103	0.255	0.22526	0.255	-0.00121719
0.26	-24.986	0.26	0.200423	0.26	0.00131319
0.265	-45.4983	0.265	0.00983126	0.265	0.00277914
0.27	-28.5694	0.27	-0.19042	0.27	0.00195965
0.275	12.1226	0.275	-0.234842	0.275	-0.000485531
0.28	43.0596	0.28	-0.0855511	0.28	-0.00254568
0.285	38.5979	0.285	0.135219	0.285	-0.0025162
0.29	2.27843	0.29	0.245647	0.29	-0.000409893
0.295	-36.1088	0.295	0.154087	0.295	0.00204591
0.3	-44.9135	0.3	-0.0649832	0.3	0.00282697
0.305	-16.7353	0.305	-0.231589	0.305	0.0012805
0.31	25.3856	0.31	-0.208098	0.31	-0.00132937
0.315	46.7732	0.315	-0.0129497	0.315	-0.0028551
0.32	29.6863	0.32	0.193732	0.32	-0.00203346
0.325	-11.9496	0.325	0.24156	0.325	0.000467584
0.33	-43.869	0.33	0.0905389	0.33	0.00259224
0.335	-39.7581	0.335	-0.135531	0.335	0.00258865
0.34	-2.8995	0.34	-0.250739	0.34	0.000453063
0.345	36.461	0.345	-0.159876	0.345	-0.00206226
0.35	45.9202	0.35	0.0628714	0.35	-0.00288701
0.355	17.6021	0.355	0.234511	0.355	-0.00133722
0.36	-25.2859	0.36	0.213591	0.36	0.00131757
0.365	-47.4672	0.365	0.0168226	0.365	0.00289444
0.37	-30.6271	0.37	-0.194246	0.37	0.00209277
0.375	11.4469	0.375	-0.245939	0.375	-0.000432618
0.38	44.1802	0.38	-0.0954336	0.38	-0.00260708
0.385	40.6373	0.385	0.133848	0.385	-0.0026411
0.39	3.66568	0.39	0.253477	0.39	-0.000502864
0.395	-36.3849	0.395	0.164872	0.395	0.00205266
0.4	-46.5808	0.4	-0.0594558	0.4	0.0029243

0.405	-18.4872	0.405	-0.235251	0.405	0.00139259
0.41	24.8478	0.41	-0.217884	0.41	-0.00128633
0.415	47.8087	0.415	-0.0213741	0.415	-0.00291122
0.42	31.4952	0.42	0.192945	0.42	-0.00214491
0.425	-10.7213	0.425	0.248931	0.425	0.000385286
0.43	-44.1708	0.43	0.100405	0.43	0.00260156
0.435	-41.356	0.435	-0.130788	0.435	0.00268209
0.44	-4.55346	0.44	-0.254744	0.44	0.000558614
0.445	36.0253	0.445	-0.169499	0.445	-0.00202585
0.45	47.0372	0.45	0.0550898	0.45	-0.00294792
0.455	19.4104	0.455	0.2346	0.455	-0.00144865
0.46	-24.1825	0.46	0.221515	0.46	0.00124187
0.465	-47.9376	0.465	0.0264545	0.465	0.00291401
0.47	-32.3301	0.47	-0.190462	0.47	0.00219351
0.475	9.84092	0.475	-0.251075	0.475	-0.000329159
0.48	43.9533	0.48	-0.105511	0.48	-0.0025829
0.485	41.9846	0.485	0.12679	0.485	-0.00271645
0.49	5.53355	0.49	0.255085	0.49	-0.000619089
0.495	-35.4785	0.495	0.17396	0.495	0.00198766
0.5	-47.3722	0.5	-0.0500551	0.5	0.00296322
0.505	-20.3699	0.505	-0.233058	0.505	0.00150586
0.51	23.3675	0.51	-0.224764	0.51	-0.00118852
0.515	47.9322	0.515	-0.0319197	0.515	-0.00290792
0.52	33.15	0.52	0.187195	0.52	-0.00224027
0.525	-8.85343	0.525	0.252689	0.525	0.000266911
0.53	-43.5998	0.53	0.110746	0.53	0.00255564
0.535	-42.5602	0.535	-0.122155	0.535	0.00274681
0.54	-6.58033	0.54	-0.254831	0.54	0.000683009
0.545	34.8088	0.545	-0.178342	0.545	-0.00194193
0.55	47.631	0.55	0.044563	0.55	-0.00297323
0.555	21.3564	0.555	0.230929	0.555	-0.00156405
0.56	-22.4525	0.56	0.227771	0.56	0.00112921
0.565	-47.8382	0.565	0.0376527	0.565	0.00289598
0.57	-33.9613	0.57	-0.183401	0.57	0.00228593
0.575	7.79268	0.575	-0.253952	0.575	-0.000200494
0.58	43.1554	0.58	-0.116075	0.58	-0.00252264
0.585	43.1013	0.585	0.117088	0.585	-0.00277454
0.59	7.67212	0.59	0.254177	0.59	-0.000749263
0.595	-34.0565	0.595	0.182669	0.595	0.00189112
0.6	-47.8376	0.6	-0.038762	0.6	0.00297963
0.605	-22.3596	0.605	-0.228399	0.605	0.00162284
0.61	21.47	0.61	-0.230607	0.61	-0.00106588

0.615	47.6823	0.615	-0.0435636	0.615	-0.00288
0.62	34.7649	0.62	0.179242	0.62	-0.00233071
0.625	-6.68269	0.625	0.254965	0.625	0.000131297
0.63	-42.6477	0.63	0.121459	0.63	0.00248565
0.635	-43.616	0.635	-0.111725	0.635	0.00280029
0.64	-8.7925	0.64	-0.253234	0.64	0.000816974
0.645	33.2468	0.645	-0.186943	0.645	-0.0018368
0.65	48.0047	0.65	0.0327544	0.65	-0.00298335
0.655	23.371	0.655	0.225579	0.655	-0.00168182
0.66	-20.4407	0.66	0.233302	0.66	0.000999787
0.665	-47.4798	0.665	0.0495852	0.665	0.00286102
0.67	-35.5589	0.67	-0.174822	0.67	0.00237462
0.675	5.54004	0.675	-0.255781	0.675	-6.03E-05
0.68	42.0931	0.68	-0.12686	0.68	-0.00244573
0.685	44.107	0.685	0.106156	0.685	-0.00282435
0.69	9.92965	0.69	0.252067	0.69	-0.000885483
0.695	-32.3951	0.695	0.19115	0.695	0.00177994
0.7	-48.1386	0.7	-0.0266094	0.7	0.00298486
0.705	-24.3835	0.705	-0.222535	0.705	0.00174064
0.71	19.3783	0.71	-0.235867	0.71	-0.000931784
0.715	47.2397	0.715	-0.0556683	0.715	-0.00283964
0.72	36.3404	0.72	0.170206	0.72	-0.00241755
0.725	-4.37595	0.725	0.256424	0.725	-1.19E-05
0.73	-41.5013	0.73	0.132247	0.73	0.00240353
0.735	-44.5747	0.735	-0.100436	0.735	0.00284681
0.74	-11.0752	0.74	-0.250711	0.74	0.000954313
0.745	31.5109	0.745	-0.19528	0.745	-0.00172115
0.75	48.2423	0.75	0.020374	0.75	-0.00298441
0.755	25.3918	0.755	0.219309	0.755	-0.001799
0.76	-18.2916	0.76	0.238304	0.76	0.000862415
0.765	-46.9666	0.765	0.0617773	0.765	0.00281621
0.77	-37.1065	0.77	-0.165433	0.77	0.00245936
0.775	3.19797	0.775	-0.256909	0.775	8.47E-05
0.78	40.878	0.78	-0.137598	0.78	-0.00235942
0.785	45.0186	0.785	0.0946043	0.785	-0.00286768
0.79	12.2233	0.79	0.249185	0.79	-0.00102312
0.795	-30.6002	0.795	0.199318	0.795	0.00166083
0.8	-48.3169	0.8	-0.0140798	0.8	0.00298211
0.805	-26.3917	0.805	-0.215923	0.805	0.00185668
0.81	17.1863	0.81	-0.240609	0.81	-0.000792039
0.815	46.6631	0.815	-0.0678872	0.815	-0.00279089
0.82	37.8548	0.82	0.16053	0.82	-0.00249993

0.825	-2.01113	0.825	0.257238	0.825	-0.000157918
0.83	-40.2265	0.83	0.142895	0.83	0.00231363
0.835	-45.4377	0.835	-0.088684	0.835	0.00288693
0.84	-13.3699	0.84	-0.2475	0.84	0.00109167
0.845	29.6667	0.845	-0.203255	0.845	-0.00159922
0.85	48.363	0.85	0.00774849	0.85	-0.00297801
0.855	27.3801	0.855	0.212392	0.855	-0.00191351
0.86	-16.0661	0.86	0.242778	0.86	0.000720895
0.865	-46.3306	0.865	0.07398	0.865	0.00276381
0.87	-38.5834	0.87	-0.155512	0.87	0.00253917
0.875	0.818874	0.875	-0.257414	0.875	0.000231309
0.88	39.5488	0.88	-0.148123	0.88	-0.0022663
0.885	45.8311	0.885	0.0826917	0.885	-0.00290453
0.89	14.512	0.89	0.245661	0.89	-0.00115978
0.895	-28.7129	0.895	0.207081	0.895	0.00153647
0.9	-48.3803	0.9	-0.00139527	0.9	0.00297212
0.905	-28.3548	0.905	-0.208724	0.905	0.00196934
0.91	14.9336	0.91	-0.244808	0.91	-0.000649143
0.915	45.9696	0.915	-0.0800429	0.915	-0.00273502
0.92	39.2905	0.92	0.15039	0.92	-0.00257699
0.925	0.376379	0.925	0.257437	0.925	-0.000304718
0.93	-38.8462	0.93	0.153274	0.93	0.00221753
0.935	-46.1979	0.935	-0.0766385	0.935	0.00292043
0.94	-15.6475	0.94	-0.243672	0.94	0.00122732
0.945	27.7403	0.945	-0.210789	0.945	-0.0014727
0.95	48.3689	0.95	-0.00496907	0.95	-0.00296446
0.955	29.3141	0.955	0.204927	0.955	-0.00202408
0.96	-13.7906	0.96	0.246693	0.96	0.000576898
0.965	-45.5808	0.965	0.086066	0.965	0.00270456
0.97	-39.9751	0.97	-0.145171	0.97	0.00261331
0.975	-1.57287	0.975	-0.257305	0.975	0.000378037
0.98	38.1196	0.98	-0.158338	0.98	-0.00216737
0.985	46.5375	0.985	0.0705326	0.985	-0.0029346
0.99	16.7748	0.99	0.241535	0.99	-0.0012942
0.995	-26.7502	0.995	0.214375	0.995	0.00140798
1	-48.3284	1	0.0113364	1	0.00295501

D. Hasil Pembebanan *Full Loaf* Pada *Ramp Door* Tanpa Kerusakan

Time (s)	Acceleration (m/s ²)	Time (s)	Velocity (m/s)	Time (s)	Displacement (m)
0	0	0	0	0	0
0.005	-3.18882	0.005	0.00266532	0.005	1.36E-05

0.01	-3.32354	0.01	-0.0274445	0.01	-4.74E-05
0.015	8.39751	0.015	-0.00682909	0.015	-0.000159261
0.02	3.78543	0.02	0.0240543	0.02	-0.000105283
0.025	0.106015	0.025	0.0360969	0.025	5.21E-05
0.03	-5.74238	0.03	0.0191577	0.03	0.000203124
0.035	-6.98461	0.035	-0.0112837	0.035	0.000224818
0.04	-6.74809	0.04	-0.0512232	0.04	6.91E-05
0.045	6.92001	0.045	-0.052101	0.045	-0.000219082
0.05	12.4494	0.05	0.000982846	0.05	-0.000357928
0.055	9.80156	0.055	0.0607172	0.055	-0.000198727
0.06	-5.21392	0.06	0.0757868	0.06	0.000174755
0.065	-15.3926	0.065	0.0180604	0.065	0.000430773
0.07	-12.1851	0.07	-0.0554185	0.07	0.000330602
0.075	0.504438	0.075	-0.0875389	0.075	-5.36E-05
0.08	13.6126	0.08	-0.04989	0.08	-0.000424783
0.085	17.6312	0.085	0.0334694	0.085	-0.000474533
0.09	6.04854	0.09	0.0993703	0.09	-0.000117983
0.095	-12.5728	0.095	0.0816403	0.095	0.000374056
0.1	-20.736	0.1	-0.00802432	0.1	0.000575315
0.105	-11.7139	0.105	-0.0965157	0.105	0.000295014
0.11	8.40898	0.11	-0.105679	0.11	-0.000253167
0.115	21.2887	0.115	-0.0253197	0.115	-0.000607825
0.12	17.0687	0.12	0.0780552	0.12	-0.000467119
0.125	-1.31542	0.125	0.12104	0.125	6.95E-05
0.13	-19.7329	0.13	0.0648432	0.13	0.000573118
0.135	-22.6031	0.135	-0.0497256	0.135	0.000617095
0.14	-5.8367	0.14	-0.127223	0.14	0.000139232
0.145	16.3636	0.145	-0.0988805	0.145	-0.000472983
0.15	25.2652	0.15	0.0135625	0.15	-0.000705138
0.155	13.0698	0.155	0.117494	0.155	-0.000351721
0.16	-10.2908	0.16	0.125095	0.16	0.000304166
0.165	-25.3856	0.165	0.0288894	0.165	0.000721041
0.17	-19.9085	0.17	-0.0934999	0.17	0.000547982
0.175	2.34344	0.175	-0.141373	0.175	-8.62E-05
0.18	23.3857	0.18	-0.0721205	0.18	-0.000664506
0.185	25.2344	0.185	0.0594725	0.185	-0.000700072
0.19	5.83779	0.19	0.143679	0.19	-0.000151168
0.195	-18.6467	0.195	0.109186	0.195	0.000532775
0.2	-27.9148	0.2	-0.0166286	0.2	0.000783792
0.205	-14.0928	0.205	-0.130277	0.205	0.000387308
0.21	11.543	0.21	-0.137314	0.21	-0.000335877
0.215	27.9718	0.215	-0.0306928	0.215	-0.000790652

0.22	21.481	0.22	0.103043	0.22	-0.000596084
0.225	-3.03421	0.225	0.153145	0.225	9.62E-05
0.23	-25.3753	0.23	0.0764645	0.23	0.000717519
0.235	-26.8005	0.235	-0.0646282	0.235	0.00075014
0.24	-5.98543	0.24	-0.153341	0.24	0.000161205
0.245	19.9174	0.245	-0.115796	0.245	-0.000566416
0.25	29.543	0.25	0.0178403	0.25	-0.000831678
0.255	14.8203	0.255	0.137805	0.255	-0.000411446
0.26	-12.2673	0.26	0.144843	0.26	0.000352452
0.265	-29.4636	0.265	0.032152	0.265	0.000831323
0.27	-22.4096	0.27	-0.108117	0.27	0.000626514
0.275	3.27974	0.275	-0.159943	0.275	-9.80E-05
0.28	26.4045	0.28	-0.0797739	0.28	-0.000746165
0.285	27.8037	0.285	0.0667442	0.285	-0.000781712
0.29	6.26069	0.29	0.158869	0.29	-0.000172131
0.295	-20.542	0.295	0.120361	0.295	0.000582628
0.3	-30.5313	0.3	-0.0176325	0.3	0.000860589
0.305	-15.3834	0.305	-0.14177	0.305	0.000430064
0.31	12.5376	0.31	-0.14956	0.31	-0.000357304
0.315	30.2501	0.315	-0.033971	0.315	-0.000853601
0.32	23.0611	0.32	0.110143	0.32	-0.000647982
0.325	-3.18293	0.325	0.163931	0.325	9.27E-05
0.33	-26.8735	0.33	0.082752	0.33	0.000759509
0.335	-28.4842	0.335	-0.0668439	0.335	0.000802699
0.34	-6.64219	0.34	-0.161818	0.34	0.000184865
0.345	20.7337	0.345	-0.123804	0.345	-0.000587086
0.35	31.114	0.35	0.0162847	0.35	-0.000877849
0.355	15.8951	0.355	0.14336	0.355	-0.000446567
0.36	-12.4598	0.36	0.152707	0.36	0.000353561
0.365	-30.6182	0.365	0.0363251	0.365	0.000864551
0.37	-23.5983	0.37	-0.110204	0.37	0.000665021
0.375	2.85563	0.375	-0.166302	0.375	-8.22E-05
0.38	26.9996	0.38	-0.0856667	0.38	-0.000763165
0.385	28.9723	0.385	0.0655783	0.385	-0.00081757
0.39	7.11649	0.39	0.163138	0.39	-0.000199571
0.395	-20.6305	0.395	0.126669	0.395	0.000583625
0.4	-31.4504	0.4	-0.0140483	0.4	0.00088807
0.405	-16.4147	0.405	-0.143417	0.405	0.000462622
0.41	12.1413	0.41	-0.155009	0.41	-0.000343829
0.415	30.7427	0.415	-0.0391538	0.415	-0.00086858
0.42	24.0856	0.42	0.109011	0.42	-0.000679872
0.425	-2.37495	0.425	0.167713	0.425	6.79E-05

0.43	-26.9069	0.43	0.0886251	0.43	0.000760613
0.435	-29.3473	0.435	-0.0633767	0.435	0.000828907
0.44	-7.66972	0.44	-0.163432	0.44	0.000216054
0.445	20.3298	0.445	-0.129261	0.445	-0.00057489
0.45	31.6426	0.45	0.0111592	0.45	-0.000894078
0.455	16.9603	0.455	0.142508	0.455	-0.000478874
0.46	-11.6655	0.46	0.15685	0.46	0.000330051
0.465	-30.7212	0.465	0.0423419	0.465	0.000868335
0.47	-24.5495	0.47	-0.107009	0.47	0.000693628
0.475	1.7901	0.475	-0.168537	0.475	-5.09E-05
0.48	26.6719	0.48	-0.0916629	0.48	-0.000754051
0.485	29.6575	0.485	0.0605365	0.485	-0.000838192
0.49	8.28482	0.49	0.163082	0.49	-0.000233958
0.495	-19.9	0.495	0.13173	0.495	0.000562675
0.5	-31.7503	0.5	-0.00781539	0.5	0.000897532
0.505	-17.5302	0.505	-0.140986	0.505	0.000495468
0.51	11.088	0.51	-0.158424	0.51	-0.000313573
0.515	30.6082	0.515	-0.0457846	0.515	-0.000865381
0.52	25.0015	0.52	0.104476	0.52	-0.000706808
0.525	-1.13395	0.525	0.168994	0.525	3.21E-05
0.53	-26.3439	0.53	0.0947776	0.53	0.00074487
0.535	-29.9298	0.535	-0.0572666	0.535	0.000846241
0.54	-8.94421	0.54	-0.162324	0.54	0.000252897
0.545	19.3867	0.545	-0.134139	0.545	-0.000548168
0.55	31.8058	0.55	0.0041666	0.55	-0.00089937
0.555	18.1173	0.555	0.139069	0.555	-0.000512347
0.56	-10.4441	0.56	0.15983	0.56	0.000295294
0.565	-30.4351	0.565	0.0493998	0.565	0.000860651
0.57	-25.4461	0.57	-0.101591	0.57	0.000719635
0.575	0.429707	0.575	-0.169209	0.575	-1.21E-05
0.58	25.9545	0.58	-0.0979478	0.58	-0.000733945
0.585	30.1777	0.585	0.0537107	0.585	-0.000853479
0.59	9.63274	0.59	0.161295	0.59	-0.00027253
0.595	-18.8186	0.595	0.136504	0.595	0.00053213
0.6	-31.826	0.6	-0.000318026	0.6	0.00090011
0.605	-18.7142	0.605	-0.136884	0.605	0.00052939
0.61	9.7562	0.61	-0.161116	0.61	-0.00027581
0.615	30.2205	0.615	-0.0531251	0.615	-0.000854694
0.62	25.8842	0.62	0.0984659	0.62	-0.000732183
0.625	0.306021	0.625	0.169254	0.625	-8.80E-06
0.63	-25.5232	0.63	0.101146	0.63	0.000721818
0.635	-30.4073	0.635	-0.0499647	0.635	0.00086011

0.64	-10.3388	0.64	-0.160074	0.64	0.000292585
0.645	18.2134	0.645	-0.138826	0.645	-0.000515042
0.65	31.8195	0.65	-0.00365868	0.65	-0.000900035
0.655	19.3149	0.655	0.13451	0.655	-0.000546474
0.66	-9.03886	0.66	0.162303	0.66	0.000255512
0.665	-29.9751	0.665	0.056914	0.665	0.000847833
0.67	-26.3146	0.67	-0.0951747	0.67	0.000744452
0.675	-1.06163	0.675	-0.169165	0.675	3.02E-05
0.68	25.0618	0.68	-0.104347	0.68	-0.000708817
0.685	30.6204	0.685	0.046091	0.685	-0.000866222
0.69	11.054	0.69	0.158707	0.69	-0.000312861
0.695	-17.582	0.695	0.141098	0.695	0.000497204
0.7	-31.7908	0.7	0.00771518	0.7	0.000899292
0.705	-19.9145	0.705	-0.131995	0.705	0.000563489
0.71	8.30152	0.71	-0.163399	0.71	-0.000234658
0.715	29.7053	0.715	-0.0607324	0.715	-0.000840253
0.72	26.7353	0.72	0.0917627	0.72	-0.000756409
0.725	1.82924	0.725	0.168963	0.725	-5.19E-05
0.73	-24.577	0.73	0.107529	0.73	0.000695139
0.735	-30.8174	0.735	-0.0421298	0.735	0.000871844
0.74	-11.7725	0.74	-0.157218	0.74	0.00033321
0.745	16.9309	0.745	-0.14331	0.745	-0.000478806
0.75	31.7422	0.75	-0.0118189	0.75	-0.000897956
0.755	20.5094	0.755	0.129366	0.755	-0.000580347
0.76	-7.55037	0.76	0.164406	0.76	0.000213415
0.765	-29.4146	0.765	0.0645558	0.765	0.00083206
0.77	-27.1446	0.77	-0.0882582	0.77	0.000768016
0.775	-2.60359	0.775	-0.168656	0.775	7.38E-05
0.78	24.0729	0.78	-0.110676	0.78	-0.000680901
0.785	30.998	0.785	0.0381072	0.785	-0.000876979
0.79	12.4904	0.79	0.155622	0.79	-0.000353529
0.795	-16.2645	0.795	0.145454	0.795	0.000459966
0.8	-31.6745	0.8	0.0159478	0.8	0.000896065
0.805	-21.0968	0.805	-0.12664	0.805	0.000596978
0.81	6.78941	0.81	-0.165323	0.81	-0.000191894
0.815	29.1047	0.815	-0.0683667	0.815	-0.000823312
0.82	27.5407	0.82	0.084679	0.82	-0.000779236
0.825	3.38117	0.825	0.168247	0.825	-9.58E-05
0.83	-23.5519	0.83	0.113777	0.83	0.000666176
0.835	-31.1615	0.835	-0.0340399	0.835	0.00088162
0.84	-13.2048	0.84	-0.153926	0.84	0.000373743
0.845	15.5852	0.845	-0.147523	0.845	-0.000440759

0.85	31.588	0.85	-0.0200868	0.85	-0.000893633
0.855	21.6746	0.855	0.123828	0.855	-0.000613329
0.86	-6.02127	0.86	0.166147	0.86	0.000170168
0.865	-28.7766	0.865	0.0721528	0.865	0.000814042
0.87	-27.9222	0.87	-0.0810365	0.87	0.000790038
0.875	-4.1596	0.875	-0.167738	0.875	0.00011786
0.88	23.0153	0.88	-0.116821	0.88	-0.000651006
0.885	31.3074	0.885	0.0299394	0.885	-0.000885754
0.89	13.9137	0.89	0.152135	0.89	-0.000393799
0.895	-14.8949	0.895	0.149512	0.895	0.000421236
0.9	-31.4829	0.9	0.0242255	0.9	0.000890666
0.905	-22.2412	0.905	-0.120935	0.905	0.000629361
0.91	5.24771	0.91	-0.166875	0.91	-0.000148288
0.915	28.4309	0.915	-0.0759055	0.915	-0.000804268
0.92	28.2883	0.92	0.0773381	0.92	-0.000800396
0.925	4.93722	0.925	0.16713	0.925	-0.000139857
0.93	-22.4642	0.93	0.119802	0.93	0.000635419
0.935	-31.4351	0.935	-0.0258135	0.935	0.000889372
0.94	-14.6157	0.94	-0.15025	0.94	0.000413657
0.945	14.1947	0.945	-0.151416	0.945	-0.000401429
0.95	31.3591	0.95	-0.0283565	0.95	-0.000887165
0.955	22.7955	0.955	0.117966	0.955	-0.000645043
0.96	-4.46995	0.96	0.167505	0.96	0.000126287
0.965	-28.068	0.965	0.0796182	0.965	0.000794002
0.97	-28.6381	0.97	-0.073589	0.97	0.000810292
0.975	-5.71283	0.975	-0.166421	0.975	0.000161797
0.98	21.8992	0.98	-0.122716	0.98	-0.000619435
0.985	31.5444	0.985	0.0216677	0.985	-0.000892462
0.99	15.3097	0.99	0.148274	0.99	-0.000433289
0.995	-13.4853	0.995	0.153232	0.995	0.000381363
1	-31.2165	1	0.0324744	1	0.00088313

BIODATA PENULIS



Fikri Indra Muallim dilahirkan pada 21 September 1998 di Bekasi. Penulis merupakan anak pertama dalam keluarga. Penulis menempuh pendidikan formal TK hingga SD di Sekolah Islam Terpadu Al-Fatah Bekasi, kemudian melanjutkan ke MTs Negeri 1 Kota Bekasi dan selanjutnya ke MAN Insan Cendekia Jambi. Penulis kemudian melanjutkan pendidikan di Departemen Teknik Perkapalan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya pada tahun 2016 silam.

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 bagian dari Tim Kepemanduan ‘Samudera’ FTK ITS dan juga berbagai organisasi mulai tingkat departemen hingga institut. Selain itu, Penulis juga pernah menjuarai 2nd ASEAN MATE ROV Championsip yang diselenggarakan di Surabaya.

Email: indra.mualim16@mhs.na.its.ac.id