



TUGAS AKHIR - MN 184802

**PERBANDINGAN RESPON DINAMIS TERHADAP VARIASI
RASIO DAN JUMLAH KERUSAKAN *DEBONDING*
MATERIAL *SANDWICH* PADA *RAMPDOOR* KAPAL
PENUMPANG**

**Muhammad Fathi Ilham
NRP 0411164000066**

**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

**PERBANDINGAN RESPON DINAMIS TERHADAP VARIASI
RASIO DAN JUMLAH KERUSAKAN *DEBONDING*
MATERIAL *SANDWICH* PADA *RAMPDOOR* KAPAL
PENUMPANG**

**Muhammad Fathi Ilham
NRP 0411164000066**

**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

COMPARISON OF DYNAMIC RESPONSE OF MATERIAL SANDWICH IN RAMP DOOR PASSENGER SHIP WITH VARIATION OF RATIO AND AMOUNT OF DEBONDING DAMAGE

**Muhammad Fathi Ilham
NRP 0411164000066**

**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

PERBANDINGAN RESPON DINAMIS TERHADAP VARIASI RASIO DAN JUMLAH KERUSAKAN *DEBONDING* MATERIAL *SANDWICH* PADA *RAMPDOOR* KAPAL PENUMPANG

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:

MUHAMMAD FATHI ILHAM
NRP 0411164000066

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, 10 AGUSTUS 2020



LEMBAR REVISI

PERBANDINGAN RESPON DINAMIS TERHADAP VARIASI RASIO DAN JUMLAH KERUSAKAN *DEBONDING* MATERIAL *SANDWICH* PADA *RAMPDOOR* KAPAL PENUMPANG

TUGAS AKHIR

Telah direvisi sesuai dengan hasil Ujian Tugas Akhir
Tanggal 10 Juli 2016

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

Oleh:

MUHAMMAD FATHI ILHAM
NRP 04111640000066

Disetujui oleh Tim Penguji Ujian Tugas Akhir:

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



Disetujui oleh Dosen Pembimbing Tugas Akhir:

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

SURABAYA, 10 AGUSTUS 2020

HALAMAN PERUNTUKAN

Dipersembahkan kepada kedua orang tua atas segala dukungan dan doanya

KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa yang telah memberikan rahmat dan karunianya, sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini. Ucapan terimakasih sebanyak-banyaknya kepada pihak-pihak sebagai berikut:

1. Bapak Prof. Ir. Achmad Zubaydi, M.Eng., Ph.D, selaku dosen pembimbing Tugas Akhir yang selalu memberikan motivasi, arahan, serta kesabaran dalam membimbing penulis.
2. Bapak Achmad Fauzi dan Ibu Dwi Hardiani selaku orang tua penulis yang selalu memberikan ketenangan atas doa-doanya.
3. Bapak Mohammad Sholikhon Arif, S.T., M.T, selaku dosen wali Penulis yang telah memberikan dorongan dan semangat kepada Penulis.
4. Bapak Ir. Wasis Dwi Aryawan, M.Sc., selaku Kepala Departemen Teknik Perkapalan Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
5. Mas Tuswan selaku pembimbing yang selalu bersedia mengajarkan dan mengarahkan Penulis mulai dari awal pengenalan *software* hingga akhir penulisan laporan.
6. Mas Chandra Ariesta dan Mas Abdi Ismail yang selalu memberikan masukan, saran, serta kritikan yang membangun pada setiap asistensi.
7. Fikri, Ervan, Bang Zircham, dan Mas Pradicha selaku kawan seperjuangan dalam menyelesaikan tugas akhir ini.
8. Hilman dan Nanta selaku teman rantau seperjuangan, yang rela jauh dari rumah menerobos corona demi menyelesaikan masa perkuliahan bersama.
9. Teman-teman P56 IRONCLAD khususnya Serigala Kapal yang selalu menemani kala suka dan duka selama masa perkuliahan dari maba hingga tahun akhir ini.
10. Teman-teman serta adik-adik Kabinet INSPIRASA BEM FTK ITS 2019 yang selalu mengingatkan dan memberikan motivasi untuk menyelesaikan masa perkuliahan tepat waktu disaat masa-masa putus asa.
11. Teman-teman Vincitory dan Curenk yang memberikan hiburan dikala terjadi kebuntuan dalam mengerjakan tugas akhir ini.

12. Dan pihak-pihak lain yang tidak dapat disebutkan.

Dalam suatu penyusunan tugas atau penelitian, kesalahan merupakan sesuatu hal yang lumrah. Tergantung bagaimana orang yang menjadi objeknya menyikapi kesalahan tersebut. Oleh karena itu, dari lubuk hati paling dalam Penulis meminta maaf serta saran dan kritik membangun demi kesempurnaan laporan ini selanjutnya.

Malang, Juli 2020

Muhammad Fathi Ilham

PERBANDINGAN RESPON DINAMIS TERHADAP VARIASI RASIO DAN JUMLAH KERUSAKAN *DEBONDING* MATERIAL *SANDWICH* PADA *RAMPDOOR* KAPAL PENUMPANG

Nama Mahasiswa : Muhammad Fathi Ilham
NRP : 04111640000066
Departemen / Fakultas : Teknik Perkapalan / Fakultas Teknologi Kelautan
Dosen Pembimbing : Prof. Ir. Achmad Zubaydi, M.Eng., Ph.D.

ABSTRAK

Saat ini, penggunaan material *sandwich* pada konstruksi kapal sudah mulai digunakan. Karakter material *sandwich* yang ringan, dapat mengurangi berat konstruksi. Namun untuk saat ini penggunaan material *sandwich* pada konstruksi kapal masih perlu dikembangkan terutama pada identifikasi adanya kerusakan *debonding*. Kerusakan *debonding* dapat menyebabkan kegagalan struktur dibawah tegangan desain yang telah direncanakan. Dalam tugas akhir ini, akan dianalisa karakteristik respon dinamis konstruksi *sandwich* pada *rampdoor* kapal penumpang yang dipelajari dengan menggunakan perangkat lunak elemen hingga. Efek dari adanya kerusakan *debonding* pada *rampdoor* kapal penumpang dinilai dengan membandingkan perubahan *natural frequency* dari konstruksi yang utuh dengan konstruksi yang mengalami kerusakan berupa *debonding*. Penulis akan menganalisa pengaruh dari variasi rasio kerusakan *debonding* sebesar 2,5%, 5%, dan 7,5% yang terjadi pada konstruksi *sandwich*. Pemodelan dilakukan dengan dua kondisi yang berbeda yaitu pemodelan dengan pengaplikasian *spring element* dan tanpa pengaplikasian *spring element* pada permukaan terjadinya kerusakan *debonding*. Hal ini bertujuan untuk menyelidiki pengaruh dari teknik pemodelan untuk memverifikasi keakuratan model dengan konstruksi sebenarnya. Dari hasil yang didapatkan menunjukkan bahwa kerusakan *debonding* menyebabkan penurunan natural frekuensi diakibatkan karena berkurangnya kekakuan model. Penurunan nilai natural frekuensi sangat signifikan pada mode tinggi, namun tidak signifikan pada mode rendah. Semakin besar rasio kerusakan *debonding* menyebabkan terjadinya penurunan natural frekuensi yang besar. Pemodelan *debonding* tanpa pengaplikasian *spring element* menghasilkan penurunan nilai natural frekuensi yang signifikan bahkan pada mode rendah.

Kata kunci: *debonding, natural frequency, sandwich, spring element.*

COMPARISON OF DYNAMIC RESPONSE OF MATERIAL SANDWICH IN RAMP DOOR PASSENGER SHIP WITH VARIATION OF RATIO AND AMOUNT OF DEBONDING DAMAGE

Author : Muhammad Fathi Ilham
Student Number : 0411164000066
Department / Faculty : Naval Architecture / Marine Technology
Supervisor : Prof. Ir. Achmad Zubaydi, M.Eng., Ph.D.

ABSTRACT

At this time, the use of sandwich material in ship construction has begun to be used. The character of the lightweight sandwich material can reduce construction weight. But for now the use of sandwich material in ship construction still needs to be developed especially in the identification of debonding damage. Debonding damage can cause structural failure under the design stress that has been designed. In this final project, the author will analyze the dynamic response characteristics of sandwich construction in the rampdoor of passenger ships which are studied using finite element software. The effect of debonding damage on the rampdoor of a passenger ship is assessed by comparing changes in the natural frequency of intact construction with construction that is damaged in the form of debonding. The author will analyze the effect of debonding damage ratio variations of 2,5%, 5%, and 7,5% that occur in sandwich construction. Modeling is made with two different conditions, modeling with the application of spring elements and without the application of spring elements on the surface of debonding damage. It aims to investigate the effect of modeling techniques to verify the accuracy of the model with actual construction. From the results obtained, it shows that debonding damage causes a decrease in natural frequency due to the reduced stiffness of the model. The decrease in the natural frequency value is very significant in the high mode, but not significant in the low mode. The greater the debonding damage ratio causes a large decrease in natural frequency. Debonding modeling without the application of spring elements results in a significant decrease in the natural frequency value even in low mode.

Keywords: debonding, natural frequency, sandwich, spring element.

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	iv
LEMBAR REVISI.....	v
HALAMAN PERUNTUKAN.....	vii
KATA PENGANTAR.....	ix
ABSTRAK	xi
ABSTRACT	xiii
DAFTAR ISI	xv
DAFTAR GAMBAR.....	xvii
DAFTAR TABEL	xix
DAFTAR SIMBOL	xxi
BAB 1 PENDAHULUAN.....	1
1.1. Latar Belakang Masalah	1
1.2. Perumusan Masalah.....	2
1.3. Tujuan	3
1.4. Batasan Masalah	3
1.5. Manfaat	4
1.6. Hipotesis	4
BAB 2 STUDI LITERATUR.....	5
2.1. Struktur <i>Sandwich</i>	5
2.2. Material Inti <i>Sandwich</i>	5
2.3. Pengaplikasian <i>Sandwich Plate System</i> pada Konstruksi Kapal	6
2.4. Kerusakan <i>Debonding</i> pada Konstruksi <i>Sandwich Panel</i>	8
2.5. Analisa Dinamis Struktur	9
2.6. Frekuensi Alami (<i>Natural Frequency</i>)	10
2.7. Pengaplikasian <i>Spring Element</i> pada Pemodelan di Zona Kerusakan <i>Debonding</i>	11
BAB 3 METODOLOGI	13
3.1. Diagram Alir.....	13
3.2. Referensi Konstruksi <i>Ramp Door</i>	14
3.3. Model Konstruksi <i>Ramp Door Sandwich Panel</i> Kapal Penumpang	15
3.4. Data Hasil <i>Static Running</i> pada <i>Ramp Door</i>	16
3.5. Pemodelan Konstruksi <i>Sandwich Panel</i> pada <i>Finite Element Software</i>	17
3.5.1. Part	17
3.5.2. Property.....	18
3.5.3. Assembly.....	20
3.5.4. Interaction	21
3.5.5. Load	22
3.5.6. Mesh.....	23
3.5.7. Step	23
3.5.8. Job	24
3.6. Pemodelan <i>Debonding</i> Pada <i>Finite Element Software</i>	24
3.6.1. Pemodelan <i>Debonding</i> Variasi Rasio Kerusakan	25
3.6.2. Pemodelan <i>Debonding</i> Variasi Jumlah Kerusakan.....	26
3.6.3. Pemodelan <i>Debonding</i> Variasi Rasio Kerusakan	26

3.7. Metode Pemodelan Kerusakan <i>Debonding</i>	27
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN	29
4.1. Analisis Statis Untuk Penentuan Model Optimal.....	29
4.2. Analisis Konvergensi	34
4.3. Pengaruh Rasio Kerusakan <i>Debonding</i> terhadap Respon Dinamis	36
4.4. Pengaruh Jumlah Kerusakan <i>Debonding</i> terhadap Respon Dinamis.....	39
4.5. Pengaruh Bentuk Kerusakan <i>Debonding</i> terhadap Respon Dinamis.....	41
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN	45
5.1. Kesimpulan	45
5.2. Saran.....	46
DAFTAR PUSTAKA	49
LAMPIRAN	51
LAMPIRAN A Gambar Hasil Simulasi Numerik Variasi Rasio Kerusakan <i>Debonding</i>	53
LAMPIRAN B Gambar Hasil Simulasi Numerik Variasi Jumlah Kerusakan <i>Debonding</i>	65
LAMPIRAN C Gambar Hasil Simulasi Numerik Variasi Bentuk Kerusakan <i>Debonding</i>	77
BIODATA PENULIS	93

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Pendefinisian konstruksi <i>steel sandwich panel</i> pada Lloyd's Register.	7
Gambar 2.2 Rancangan konstruksi <i>sandwich panel system</i> baru (kiri) dan <i>overlay construction</i> (kanan).....	7
Gambar 2.3 Ilustrasi kerusakan <i>debonding</i>	9
Gambar 2.4 Grafik getaran tanpa redaman.....	10
Gambar 2.5 Pemodelan <i>debonding</i> dengan 3D SPRING2 element.	11
Gambar 3.1 Proses pengerjaan Tugas Akhir.	13
Gambar 3.2 Ukuran utama kapal penumpang yang digunakan sebagai referensi.	14
Gambar 3.3 Referensi bentuk <i>ramp door</i> kapal penumpang.....	14
Gambar 3.4 Ilustrasi pengaplikasian konstruksi <i>sandwich panel</i> pada <i>ramp door</i> kapal.....	15
Gambar 3.5 Konfigurasi jumlah penegar dan ketebalan masing-masing model <i>sandwich panel</i>	16
Gambar 3.6 Pendefinisian model <i>part</i> konstruksi <i>sandwich</i>	18
Gambar 3.7 Hasil dari pemodelan <i>part</i> penegar.....	18
Gambar 3.8 <i>Input data material properties</i>	19
Gambar 3.9 Memasukkan tebal pada salah satu <i>part</i>	20
Gambar 3.10 <i>Part</i> yang telah melalui tahap <i>assign section</i>	20
Gambar 3.11 Konstruksi <i>ramp door</i> pada pemodelan <i>finite element software</i>	21
Gambar 3.12 <i>List tie constraint</i>	22
Gambar 3.13 Ilustrasi <i>boundary condition</i> yang diaplikasikan pada model.	23
Gambar 3.14 Ilustrasi <i>meshing</i> pada salah satu <i>part ramp door</i>	23
Gambar 3.15 <i>Step</i> yang dilakukan pada proses <i>running model</i> untuk mendapatkan frekuensi natural.....	24
Gambar 3.16 <i>Window job manager</i>	24
Gambar 3.17 Lokasi <i>debonding</i> pada model <i>sandwich panel</i>	25
Gambar 3.18 Tebal kerusakan <i>debonding</i>	25
Gambar 3.19 Variasi rasio kerusakan <i>debonding</i> (a) 2,5% (b) 5% (c) 7,5%.....	26
Gambar 3.20 Variasi jumlah kerusakan <i>debonding</i> (a) 1 buah (b) 2 buah (c) 3 buah.....	26
Gambar 3.21 Variasi bentuk kerusakan <i>debonding</i> (a) persegi (b) lingkaran (c) memanjang (d) melintang.....	27
Gambar 3.22 Detail <i>spring element</i> pada zona yang terdapat kerusakan <i>debonding</i>	28
Gambar 4.1 Nilai tegangan <i>vonmises</i> pada masing-masing model.	29
Gambar 4.2 Persentase pengurangan tegangan <i>vonmises</i> pada masing-masing model <i>sandwich</i> terhadap model konvensional.....	29
Gambar 4.3 Perbandingan berat masing-masing model <i>sandwich</i>	31
Gambar 4.4 Persentase pengurangan berat masing-masing model <i>sandwich</i> terhadap konstruksi konvensional.....	31
Gambar 4.5 Akumulasi persentase pengurangan berat dan tegangan masing-masing model <i>sandwich</i>	32
Gambar 4.6 Ilustrasi konstruksi <i>ramp door sandwich</i> model C.	33
Gambar 4.7 Pemodelan konstruksi <i>ramp door sandwich</i> model C pada <i>finite element software</i>	33
Gambar 4.8 Detail konstruksi <i>ramp door sandwich panel</i>	34

Gambar 4.9 Hasil analisis konvergensi.....	35
Gambar 4.10 Jumlah <i>meshing</i> elemen pada model konstruksi <i>sandwich</i>	36
Gambar 4.11 (kiri) perbandingan nilai natural frekuensi, dan (kanan) penurunan nilai natural frekuensi untuk variasi rasio kerusakan <i>debonding</i> pemodelan dengan pengaplikasian <i>spring element</i>	37
Gambar 4.12 (kiri) perbandingan nilai natural frekuensi, dan (kanan) penurunan nilai natural frekuensi untuk variasi rasio kerusakan <i>debonding</i> pemodelan tanpa pengaplikasian <i>spring element</i>	37
Gambar 4.13 (kiri) perbandingan nilai natural frekuensi, dan (kanan) penurunan nilai natural frekuensi untuk variasi jumlah kerusakan <i>debonding</i> pemodelan dengan pengaplikasian <i>spring element</i>	39
Gambar 4.14 (kiri) perbandingan nilai natural frekuensi, dan (kanan) penurunan nilai natural frekuensi untuk variasi jumlah kerusakan <i>debonding</i> pemodelan tanpa pengaplikasian <i>spring element</i>	40
Gambar 4.15 (kiri) perbandingan nilai natural frekuensi, dan (kanan) penurunan nilai natural frekuensi untuk variasi bentuk kerusakan <i>debonding</i> pemodelan dengan pengaplikasian <i>spring element</i>	42
Gambar 4.16 (kiri) perbandingan nilai natural frekuensi, dan (kanan) penurunan nilai natural frekuensi untuk variasi bentuk kerusakan <i>debonding</i> pemodelan tanpa pengaplikasian <i>spring element</i>	42

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Standardisasi kriteria material inti <i>sandwich</i>	6
Tabel 3.1 Konfigurasi masing-masing konstruksi <i>sandwich</i>	16
Tabel 3.2 Data hasil <i>static running</i> pada penelitian (Tuswan, et al., 2020).	17
Tabel 3.3 Detail <i>material properties sandwich</i>	19
Tabel 3.4 Detail dimensi kerusakan <i>debonding</i> variasi rasio.	26
Tabel 3.5 Dimensi masing masing bentuk kerusakan <i>debonding</i>	27
Tabel 4.1 Data hasil simulasi respon dinamis untuk variasi rasio kerusakan <i>debonding</i> pemodelan dengan pengaplikasian <i>spring element</i>	37
Tabel 4.2 Data hasil simulasi respon dinamis untuk variasi rasio kerusakan <i>debonding</i> pemodelan tanpa pengaplikasian <i>spring element</i>	37
Tabel 4.3 Data hasil simulasi respon dinamis untuk variasi jumlah kerusakan <i>debonding</i> pemodelan dengan pengaplikasian <i>spring element</i>	39
Tabel 4.4 Data hasil simulasi respon dinamis untuk variasi jumlah kerusakan <i>debonding</i> pemodelan tanpa pengaplikasian <i>spring element</i>	39
Tabel 4.5 Data hasil simulasi respon dinamis untuk variasi bentuk kerusakan <i>debonding</i> pemodelan dengan pengaplikasian <i>spring element</i>	41
Tabel 4.6 Data hasil simulasi respon dinamis untuk variasi bentuk kerusakan <i>debonding</i> pemodelan tanpa pengaplikasian <i>spring element</i>	42

DAFTAR SIMBOL

M	= Massa Struktur
C	= Redaman Struktur
K	= Kekakuan Struktur
\ddot{U}	= Percepatan Struktur
\dot{U}	= Kecepatan Struktur
U	= Perpindahan Struktur
P(t)	= Beban dalam fungsi waktu
ω_0	= Frekuensi Natural (rad/sec)
k	= Kekakuan
m	= Massa
σ	= Tegangan <i>vonmises</i>
σ_{11}	= Tegangan normal
U	= Deformasi
τ	= Tegangan geser
W	= Berat

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang Masalah

Pada saat ini, persaingan inovasi dan pengembangan dalam bidang konstruksi sangat pesat. Tidak terkecuali pada bidang konstruksi kapal. Salah satu pengembangan pada bidang konstruksi kapal yaitu bertujuan untuk mengurangi berat pada struktur konstruksi kapal. Pada umumnya kapal menggunakan konstruksi berupa baja sebagai material utamanya. Berat kapal kosong didefinisikan sebagai LWT (*Light Weight Tonnes*) yang merupakan jumlah berat konstruksi kapal, permesinan, dan peralatan kapal. Kontribusi terbesar pada LWT kapal adalah dari berat konstruksinya. Pengurangan berat terhadap konstruksi kapal dapat berkontribusi untuk meningkatkan berat muatan kapal (*payload*), sehingga dapat meningkatkan jumlah muatan yang dapat diangkut oleh kapal (Baidowi, et al., 2015). Oleh karena itu kini dilakukan pengembangan inovasi terhadap material *sandwich* sebagai alternatif material pelat baja dalam konstruksi kapal.

Material *sandwich* merupakan material yang memiliki keunggulan jika dibandingkan dengan material pelat baja antara lain yaitu dapat mengurangi kebutuhan penegar atau *stiffener* sehingga memiliki berat yang jauh lebih ringan (Tuswan, et al., 2019). Penggunaan material *sandwich* pada kapal telah banyak digunakan baik dalam pembangunan kapal baru atau reparasi kapal. Pada umumnya, material *sandwich* digunakan pada konstruksi datar seperti pada geladak, *rampdoor*, dan pada bangunan *superstructure* kapal.

Penggunaan material *sandwich* pada kapal juga masih rentan terhadap kerusakan. Kerusakan pada material *sandwich* terjadi akibat kesalahan dalam proses manufaktur. Hal ini disebabkan pembuatan material *sandwich* memerlukan proses manufaktur yang rumit untuk membuat struktur *sandwich* yang mempunyai kualitas tinggi (Tomblin, et al., 1999). Kesalahan pada proses manufaktur, sangat memungkinkan terjadinya kerusakan berupa *debonding*. *Debonding* adalah kerusakan yang terjadi akibat terlepasnya material kulit (*face plate*) dengan material inti (*core*). Selain itu kerusakan *debonding* juga dapat disebabkan oleh perbedaan ketebalan dan modulus elastis yang besar antara lapisan *face plate* dan *core*, serta kurangnya ikatan *adhesive layer* antara material *face plate* dan *core* (Burlayenko & Sadowski, 2018).

Pada kondisi lapangan saat ini, deteksi kerusakan berupa *debonding* ini cukup sulit karena posisi kerusakan *debonding* yang berada pada lapisan *core material sandwich* tertutup oleh lapisan *face plate sandwich* yang merupakan pelat baja. Untuk memeriksa kerusakan struktur pada kapal konvensional biasanya digunakan metode *ultrasonic test*, *visual test*, *penetrant test*, dll. Namun hal tersebut hanya efektif jika konstruksi yang diperiksa hanya dalam skala kecil. Untuk memeriksa struktur kapal yang besar, metode ini sangat tidak efektif untuk diterapkan. Oleh karena itu dibutuhkan metode deteksi kerusakan yang dapat diaplikasikan pada struktur kapal secara global (Budipriyanto, A; Haddara, M.R.; Swamidas, A S.J, 2007).

Metode identifikasi kerusakan yang bisa diaplikasikan terhadap kerusakan struktur kapal secara global salah satunya adalah dengan metode identifikasi berbasis getaran. Metode ini menggunakan perubahan respon dinamis sebagai acuan untuk mengidentifikasi kerusakan yang terjadi pada struktur. Parameter respon dinamis seperti frekuensi alami (*natural frequency*) dan bentuk mode (*mode shape*) dapat ditemukan dengan metode *Finite Element Analysis*. Perubahan natural frekuensi dapat digunakan untuk mendeteksi pelat yang mengalami *debonding* (Burlayenko & Sadowski, 2011). Pada simulasi numerik, tingkat keakuratan hasil ditentukan dengan pemodelan dan konvergensi. Salah satu metode pemodelan yang digunakan untuk mendekati kondisi sebenarnya adalah dengan mengaplikasikan penggunaan *spring element* pada interkasi antara *face plate* dan *core* pada zona *debonding* (Burlayenko & Sadowski, 2010).

Oleh karena itu pada penelitian ini akan dibahas mengenai dampak adanya kerusakan berupa *debonding* dengan variasi rasio kerusakan terhadap respon dinamis yang diberikan oleh konstruksi *ramp door sandwich panel system*. Serta membandingkan pengaruh pengaplikasian *spring element* terhadap pemodelan pada *finite element software*. Simulasi analisa dilakukan dengan *finite element software*, dengan material baja sebagai *face plate* dan material resin dengan campuran cangkang kerang sebesar 30% pada *core*. Kondisi batas dimodelkan pada *rampdoor* kapal penumpang dengan kondisi *clamp-free-clamp-free*.

1.2. Perumusan Masalah

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

1. Bagaimana pengaruh rasio kerusakan *debonding* pada *rampdoor* kapal bermaterial *sandwich* terhadap respon dinamis yang diberikan?

2. Bagaimana pengaruh jumlah kerusakan *debonding* pada *rampdoor* kapal bermaterial *sandwich* terhadap respon dinamis yang diberikan?
3. Bagaimana pengaruh bentuk kerusakan *debonding* pada *rampdoor* kapal bermaterial *sandwich* terhadap respon dinamis yang diberikan?
4. Bagaimana perbandingan pemodelan dengan dan tanpa pengaplikasian *spring element* pada pemodelan konstruksi *sandwich* yang mengalami kerusakan *debonding* terhadap respon dinamis yang diberikan?

1.3. Tujuan

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

1. Mengetahui pengaruh variasi rasio kerusakan *debonding* pada *rampdoor* kapal bermaterial *sandwich* terhadap respon dinamis struktur tersebut.
2. Mengetahui pengaruh variasi jumlah kerusakan *debonding* pada *rampdoor* kapal bermaterial *sandwich* terhadap respon dinamis struktur tersebut.
3. Mengetahui pengaruh variasi bentuk kerusakan *debonding* pada *rampdoor* kapal bermaterial *sandwich* terhadap respon dinamis struktur tersebut.
4. Mengetahui perbandingan pemodelan dengan dan tanpa pengaplikasian *spring element* pada konstruksi *sandwich* yang mengalami kerusakan *debonding* terhadap respon dinamis struktur tersebut.

1.4. Batasan Masalah

Untuk mengoptimalkan hasil dari penelitian ini maka diterapkan batasan-batasan masalah. Analisis permasalahan difokuskan pada:

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. Letak lokasi *debonding* terdapat pada lokasi yang sulit untuk diakses untuk memaksimalkan potensi analisis secara numerik.
4. Tebal kerusakan *debonding* adalah 10% dari tebal *core* yang digunakan.
5. Respon dinamis yang dianalisis adalah frekuensi natural.
6. Tidak dilakukan kajian ekonomis pada penelitian ini.

1.5. Manfaat

Manfaat dari analisis Tugas Akhir ini antara lain adalah sebagai berikut:

1. Sebagai referensi pengembangan penggunaan material *sandwich* pada konstruksi kapal untuk alternatif material baja dengan pertimbangan berat konstruksi yang jauh lebih ringan dari penggunaan material baja pada konstruksi kapal.
2. Sebagai referensi metode pendeteksian secara numerik untuk kerusakan pada struktur kapal berbahan *sandwich*.
3. Sebagai bahan pertimbangan para desainer untuk memperbaharui dan mengoptimalkan desain pada *rampdoor* kapal bermaterial *sandwich*.

1.6. Hipotesis

Kerusakan berupa *debonding* dapat mempengaruhi karakter dinamis pada struktur berbahan *sandwich*. *Debonding* menyebabkan menurunnya nilai frekuensi natural pada sebuah struktur. Pengaplikasian *spring element* pada pemodelan *sandwich* dengan kerusakan *debonding* menghasilkan hasil simulasi respon dinamis yang mendekati kondisi sebenarnya.

BAB 2

STUDI LITERATUR

2.1. Struktur *Sandwich*

Struktur *sandwich* merupakan struktur dua pelat logam yang disusun pada dua sisi luar dan *core* yang ringan di antara dua pelat tersebut. *Core* yang digunakan sebagai pemisah pelat adalah material yang lebih ringan dengan tujuan meningkatkan momen kedua area dari penampang material dengan sedikit peningkatan berat material. Pada saat terjadi pembebanan, bagian *face* mengalami beban tekan dan beban tarik, sedangkan bagian inti (*core*) mengalami beban geser. Struktur *sandwich* diaplikasikan untuk struktur yang membutuhkan kekakuan tinggi namun dengan berat yang relatif ringan. Berikut merupakan keuntungan dalam penggunaan *sandwich panel* pada industri kapal (SANDCORE, 2013):

1. *High Stiffness* terhadap rasio berat, sesuai untuk *lightweight* desain,
2. Ketahanan tekuk yang baik dibandingkan dengan struktur pelat orthotropik tipis,
3. *Unsuported span* yang luas, sehingga mengurangi kebutuhan elemen pendukung,
4. Ketepatan dan kerataan dimensi karena proses fabrikasi di bengkel (tidak disarankan merakit di kapal),
5. Mengurangi waktu *assembly* melalui pendekatan modular pada konstruksi.

Terlepas dari berbagai macam kelebihan, penggunaan material *sandwich* juga masih memiliki kekurangan dalam penggunaannya, antara lain sebagai berikut:

1. Biaya material tinggi,
2. Prosedur perancangan/ validasi yang kompleks,
3. Kurangnya orang yang ahli pada struktur *sandwich panel* dan peralatan di galangan,
4. Dibutuhkan perencanaan detail dari *modular construction*,
5. Kurangnya data dan informasi untuk mendukung produksi konstruksi dengan *sandwich panel* dibandingkan dengan teknologi konstruksi konvensional.

2.2. Material Inti *Sandwich*

Penggunaan material inti *sandwich* diatur dalam peraturan (Lloyd's Register, 2015). Standar uji dan syarat kelayakan untuk pengembangan material inti *sandwich* dapat dilihat pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Standardisasi kriteria material inti *sandwich*.
 Sumber: (Lloyd's Register, 2015)

Test	Standard	Criteria
Density	ISO 845	$\geq 1000 \text{ kg/m}^3$ at RT
Hardness	DIN 53505	Shore D ≥ 65 at RT
Shear modulus	Torsion pendulum test -20°C to $+80^\circ\text{C}$ DIN EN ISO 6721-2	$G \geq 312 \cdot 2.4T$ ($^\circ\text{C}$)
Tensile stress	ISO 527 or ASTM D412	$\geq 20 \text{ MPa}$ at RT $\geq 5 \text{ MPa}$ at $+80^\circ\text{C}$
Elongation	ISO 527 or ASTM D412	Min. 10% at -20°C Min. 20% at RT
Bond shear strength	ASTM D429-81	$\geq 2.7 \text{ MPa}$ (shot strength blasted) $\geq 4 \text{ MPa}$ (grit blasted)
RT = Room temperature in $^\circ\text{C}$		

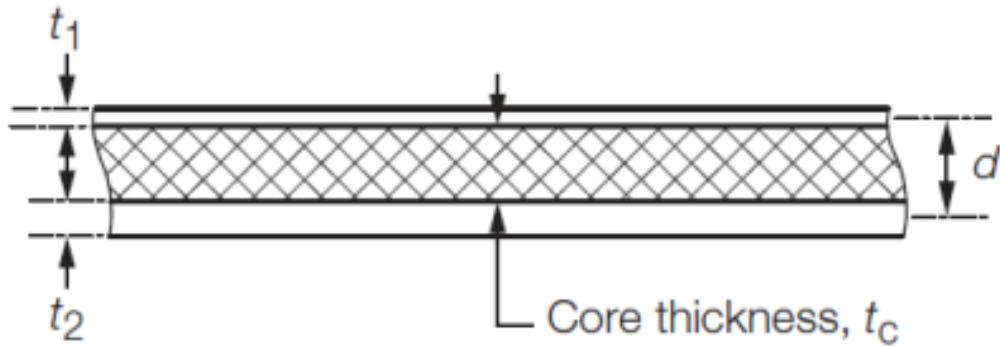
(Abdullah, et al., 2017) melakukan penelitian terhadap penggunaan bubuk cangkang kerang (*clamshell powder*) sebagai pengisi bahan inti material *sandwich*. Cangkang kerang (*Anadara Granosa*) dipilih karena merupakan material yang tidak digunakan lagi (limbah) dan bersifat dapat diperbarui. Dalam penelitian tersebut bertujuan untuk menemukan komposisi terbaik untuk material inti *sandwich*. Material inti *sandwich* yang diuji terdiri dari variasi komposisi bubuk cangkang kerang yang berbeda yaitu sebesar 0%, 10%, 20%, 30%, 35%, dan 40%. Bubuk kerang tersebut dicampurkan dengan resin sebagai bahan material inti *sandwich*. Dari hasil penelitian tersebut didapatkan hasil yang paling optimal dan dengan karakteristik material yang terbaik yaitu pada komposisi campuran *filler* bubuk cangkang kerang sebesar 30% dari berat total material inti *sandwich* (Abdullah, et al., 2017). Oleh karena itu pada penelitian ini, menggunakan *filler* campuran resin dengan cangkang kerang sebesar 30% untuk bahan material inti *sandwich*.

2.3. Pengaplikasian *Sandwich Plate System* pada Konstruksi Kapal

Sandwich Plate System (SPS) adalah material yang ringan dan strukturnya terdiri dari dua pelat berbahan metal yang dipisahkan dengan material inti berupa elastomer. Material pada pelat biasanya terbuat dari baja dan digabung oleh *perimeter bar* pada tiap tepi sisi baja tersebut (Momcilovic & Motok, 2009). *Sandwich Plate System* (SPS) dibentuk dengan menyuntikkan cairan elastomer ke dalam rongga antara dua pelat baja tersebut. Material inti biasanya terbuat dari elastomer *polyurethane* yang telah padat. Dengan adanya elastomer tersebut, dapat

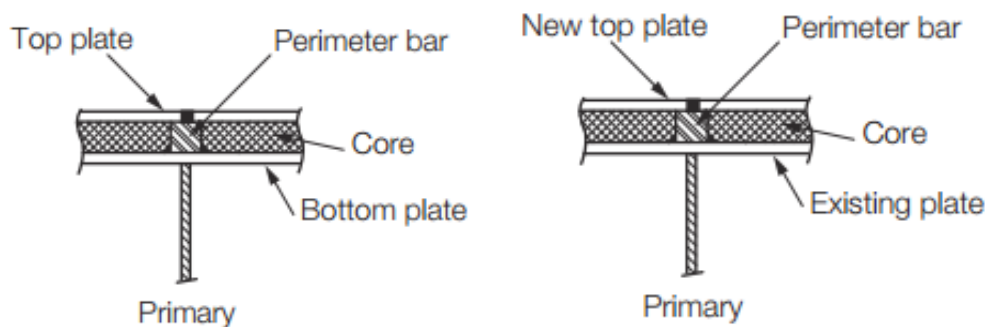
memberikan kekuatan pada struktur melalui ikatan pada pelat. Sehingga dapat menghilangkan kebutuhan terhadap penegar (Ramakrishnan & Kumar, 2016).

Pada peraturan (Lloyd's Register, 2015) konstruksi *Steel Sandwich Panel* didefinisikan terdiri dari tiga lapisan yaitu dua lapisan pelat baja (*face plate*) dan satu lapisan inti (*core*). *Core* diinjeksi pada rongga diantara dua lapisan baja dan menyatu secara langsung pada kedua permukaan lapisan baja tersebut seperti pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Pendefinisian konstruksi *steel sandwich panel* pada Lloyd's Register.
Sumber: (Lloyd's Register, 2015)

Pelat bawah merupakan pelat baja dimana permukaannya terpasang penegar. Sedangkan pelat atas merupakan pelat yang permukaannya menghadap ke laut, cuaca, ataupun muatan. *Cavity* didefinisikan sebagai ruang yang tertutup oleh pelat atas, pelat bawah, dan *perimeter bar* (Lloyd's Register, 2015). Pada peraturan Lloyd's juga diilustrasikan rancangan untuk konstruksi *sandwich panel* baru dan *overlay construction*. *Overlay construction* merupakan konstruksi *sandwich panel* yang dikonversikan dari konstruksi konvensional. Konstruksi ini dibuat dengan memasang pelat atas dan *perimeter bar* pada pelat konstruksi konvensional lalu dilakukan injeksi cairan elastomer pada rongga kedua pelat tersebut. Ilustrasi rancangan dapat dilihat pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2 Rancangan konstruksi *sandwich panel system* baru (kiri) dan *overlay construction* (kanan).
Sumber: (Lloyd's Register, 2015)

Konstruksi *sandwich plate system* pada kapal telah banyak digunakan. Penggunaan *sandwich plate system* berkontribusi terhadap pengurangan berat kapal. Selain itu beberapa karakteristik *sandwich plate system* pada pembangunan kapal yaitu strukturnya yang sederhana dan mudah dibangun, dapat meminimalisir kebutuhan akan perawatan, dapat menambah ketahanan terhadap korosi, dan ketahanan terhadap retak dan masalah struktural lainnya (Brooking & Kennedy, 2004).

Penerapan pelat *sandwich* pada bagian *side shell* lambung kapal menghasilkan tegangan dan lendutan yang lebih rendah dibandingkan dengan pelat konvensional. Berkurangnya penegar pada struktur *side shell sandwich plate* menyebabkan peningkatan tegangan dan defleksi. Pengurangan *web frame* dapat mengakibatkan efek yang lebih signifikan daripada pengurangan *side longitudinal*. Sehingga pada konfigurasi yang paling optimal didapat dari pengurangan seluruh *side longitudinal* dalam *side shell* tanpa mengubah jarak *web frame* yang berkontribusi pada pengurangan berat hingga 17% dari konstruksi pelat konvensional dengan nilai tegangan dan lendutan yang masih berada dibawah kriteria yang diijinkan (Tuswan, et al., 2019).

2.4. Kerusakan *Debonding* pada Konstruksi *Sandwich Panel*.

Salah satu kerusakan yang sangat mungkin terjadi pada material *sandwich panel* adalah kerusakan berupa *debonding*. *Debonding* merupakan kerusakan yang bersifat lokal yang terjadi karena terlepasnya ikatan antara material pelat dengan material inti *sandwich*. Perbedaan yang besar antara ketebalan dan modulus elastisitas pada lapisan material metal dan lapisan material inti *sandwich* membuat material *sandwich panel* rentan terhadap kerusakan berupa *debonding* (Burlayenko & Sadowski, 2018).

Kerusakan *debonding* seringkali tidak terdeteksi secara langsung karena lokasi kerusakan *debonding* biasanya tertutup oleh lapisan pelat dari suatu konstruksi *sandwich panel*. Namun dengan adanya kerusakan *debonding* dapat mengakibatkan berkurangnya kekuatan struktur *sandwich* dan dapat menyebabkan kerusakan prematur dibawah beban desain yang direncanakan (Carlsson & Kardomateas, 2011). Selain itu kerusakan *debonding* dapat mengubah respon dinamis pada sebuah struktur serta mengurangi kekakuan dan kekuatan secara keseluruhan (Kim & Hwang, 2002). Gambar 2.3 menunjukkan adanya kerusakan *debonding* pada sebuah struktur *sandwich panel*.



Gambar 2.3 Ilustrasi kerusakan *debonding*.
 Sumber: <https://www.researchgate.net/>

2.5. Analisa Dinamis Struktur

Ada dua pendekatan yang dipertimbangkan dalam analisa dinamis struktur, yaitu dengan metode frekuensi domain dan time domain. Frekuensi domain biasanya dilakukan untuk penyelesaian sederhana. Solusi pada metode ini diperoleh melalui pendekatan persamaan diferensial. Keterbatasan dari metode ini adalah semua persamaan non linier harus diubah dalam bentuk persamaan linier. Sedangkan untuk metode time domain menggunakan pendekatan integrasi numeris dari persamaan gerak dari semua sistem non linier.

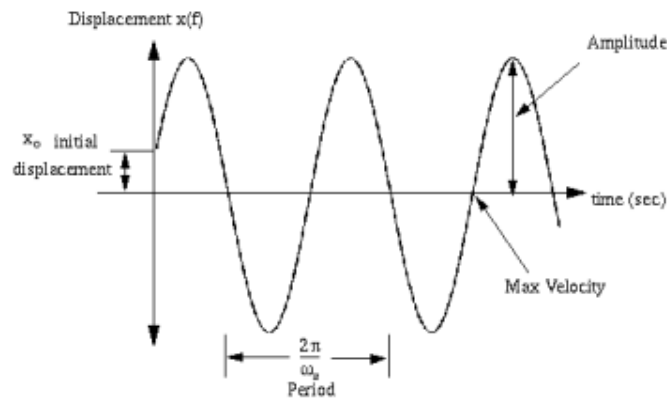
Secara sederhana dinamik dapat diartikan sebagai variasi atau perubahan terhadap waktu dalam konteks gaya yang bekerja (eksitasi) pada struktur. Beban dinamis dapat berupa variasi besarnya (*magnitude*), arahnya (*direction*) atau posisinya (*point of application*) berubah terhadap waktu. Demikian pula respons struktur terhadap beban dinamik, yaitu lendutan dan tegangan yang dihasilkan juga perubahan-waktu, atau bersifat dinamik. Berikut persamaan umum kesetimbangan dinamika struktur, menggambarkan interaksi antara aksi beban luar dan reaksi struktur tertulis pada persamaan (1).

$$M\ddot{U} + C\dot{U} + KU = P(t) \quad (1)$$

Lendutan atau defleksi dan tegangan internal yang timbul dalam kasus beban statis hanya ditimbulkan langsung oleh beban P, sedangkan dalam kasus beban dinamis, percepatan yang dialami oleh balok akibat P(t) menimbulkan gaya inersia yang terdistribusi pada seluruh bagian balok. Lendutan dan tegangan pada balok sangat dipengaruhi pula oleh gaya inersia yang ditimbulkan oleh massa balok ketika mengalami percepatan. Jika pengaruh gaya inersia yang terjadi sangat signifikan, maka perlu dilakukan analisa dinamis.

2.6. Frekuensi Alami (*Natural Frequency*)

Frekuensi alami (*natural frequency*) adalah frekuensi osilasi yang dimiliki oleh struktur atau sebuah sistem pada saat struktur atau sistem tersebut dibiarkan bergerak tanpa adanya redaman (*damping*) maupun eksitasi. Hal ini juga sering disebut dengan frekuensi getaran bebas. Gambar 2.4 menunjukkan grafik getaran tanpa redaman.



Gambar 2.4 Grafik getaran tanpa redaman.
Sumber: <http://www.mfg.mtu.edu>

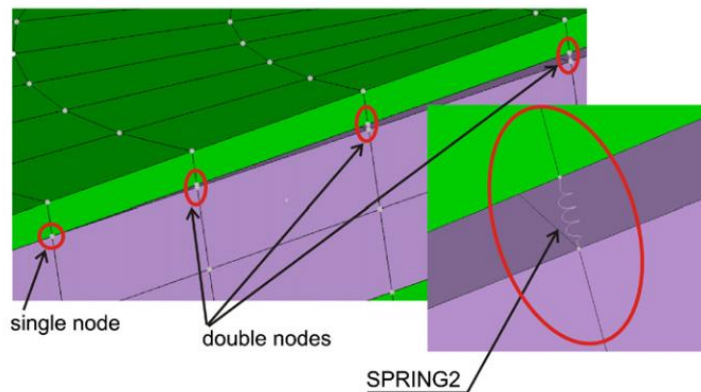
Setiap struktur mempunyai frekuensi naturalnya masing masing. Frekuensi alami sebuah struktur dipengaruhi oleh kekakuan dan massa struktur tersebut. Secara matematis, frekuensi alami didefinisikan sebagai berikut:

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{k}{m}} \text{ atau } f_0 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k}{m}} \quad (2)$$

Sebuah struktur pasti mengalami adanya getaran jika diberikan gaya luar terhadap struktur tersebut. Jika osilasi yang ditimbulkan oleh gaya luar ternyata sama ataupun mendekati dengan frekuensi natural struktur tersebut, maka terjadi resonansi. Hal ini berdampak buruk pada kekuatan struktur karena akan menyebabkan osilasi besar yang berbahaya. Oleh karena itu pada saat proses desain suatu struktur perlu diketahui besarnya natural frekuensi dari struktur tersebut sebagai pedoman apakah suatu struktur akan mengalami resonansi atau tidak (Maulidiya & Rusli, 2017).

2.7. Pengaplikasian *Spring Element* pada Pemodelan di Zona Kerusakan *Debonding*

Untuk menghubungkan elemen-elemen pada *face plate* dengan *core* pada daerah ikatan kedua lapisan tersebut dilakukan dengan menggunakan *Multi Point Constrains* (MPC) yang menghubungkan keseluruhan node. Node ini dilambangkan sebagai node tunggal. Namun pada elemen-elemen yang terletak pada zona *debonding*, terdapat celah antara zona *debonding* yang berada pada *core* dengan zona pada *face plate* yang tegak lurus dengan zona *debonding* tersebut. Kurangnya adhesi antara elemen-elemen pada zona tersebut dimodelkan dengan menghapus *constraint* pada zona tersebut sehingga muncul node ganda pada zona tersebut. Untuk mencegah elemen-elemen yang tumpang tindih antara elemen pada *face plate* dan *core*, maka elemen pegas 3D SPRING2 diperkenalkan untuk diaplikasikan pada node ganda yang terletak pada daerah *debonding* (Burlayenko & Sadowski, 2010). Gambar 2.5 menunjukkan penggunaan *spring element* pada pemodelan dengan kerusakan berupa *debonding*.



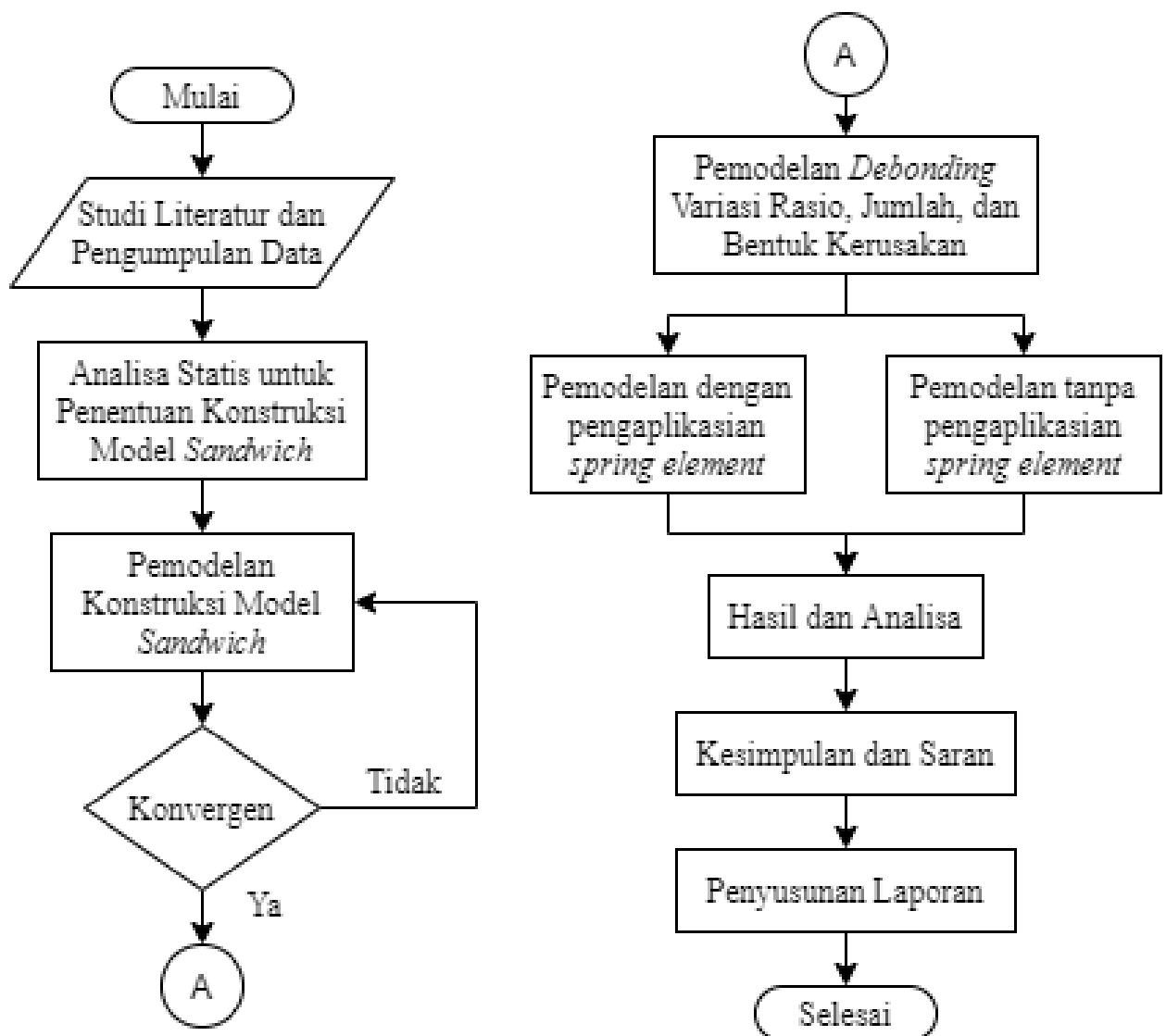
Gambar 2.5 Pemodelan *debonding* dengan 3D SPRING2 element.
Sumber: (Burlayenko & Sadowski, 2010)

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 3 METODOLOGI

3.1. Diagram Alir

Proses pengerjaan tugas akhir ini divisualisasikan sebagai diagram alir yang terdapat pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1 Proses pengerjaan Tugas Akhir.

3.2. Referensi Konstruksi Ramp Door

Model konstruksi *ramp door* yang digunakan pada tugas akhir ini adalah Kapal Penumpang 6311 GT dengan data ukuran utama kapal dapat dilihat pada Gambar 3.2.

LOA (m) :	LBP (m) :	BMLD (m) :	HMLD (m) :	LT (mm) :	GT :	NT :	DWT (ton) :
108.20	103.90	24.30	4.80	1844	6311	3058	: 0
T (m)	:	3.00	J. Ruang / Tangki Muat (No. of Hold / Tank)	:	1		
J. Geladak (No. of Decks)	:	1	J. Sekat Memanjang (No. of Long Bulkheads)	:	2		
Ukuran. Palka (Size of Hatchways)	:		J. Sekat Melintang (No. of Watertight Bulkheads)	:	17		
L. Forcastle/Poop/Bridge	:	0/0/0					

Gambar 3.2 Ukuran utama kapal penumpang yang digunakan sebagai referensi.

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

Sedangkan untuk gambar konstruksi *ramp door* yang digunakan sebagai referensi tugas akhir ini dapat dilihat pada Gambar 3.3.



Gambar 3.3 Referensi bentuk *ramp door* kapal penumpang.

Dari data referensi tersebut kemudian diaplikasikan ke konstruksi sandwich dengan ketebalan tertentu sesuai dengan *class rules*. Lalu dibuat beberapa variasi jumlah penegar yang berbeda untuk menemukan desain konstruksi *sandwich panel* yang paling optimal ditinjau dari persentase pengurangan berat dan pengurangan tegangan dibandingkan dengan konstruksi konvensional yang menggunakan material baja.

3.3. Model Konstruksi *Ramp Door Sandwich Panel* Kapal Penumpang

Setelah ditemukan konfigurasi ketebalan serta variasi jumlah penegar yang direncanakan dengan tegangan izin yang memenuhi peraturan, maka dilakukan pemodelan konstruksi baja dan konstruksi *sandwich panel* yang nantinya akan dilakukan analisis statis pada masing-masing konstruksi tersebut. Analisis statis ini bertujuan untuk mengetahui kekuatan struktur masing-masing model sehingga didapatkan konfigurasi model *sandwich panel* yang paling optimal. Berikut ilustrasi pengaplikasian model *sandwich panel* pada konstruksi rampdoor dapat dilihat pada Gambar 3.4.

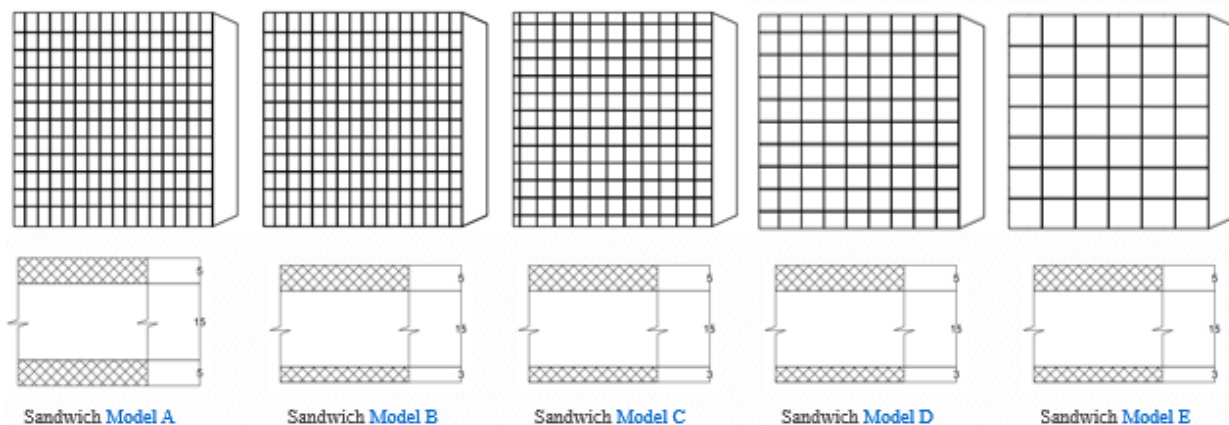
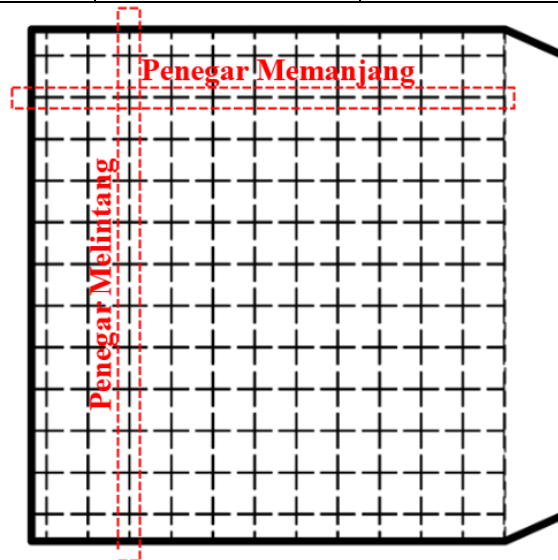


Gambar 3.4 Ilustrasi pengaplikasian konstruksi *sandwich panel* pada *ramp door* kapal.

Pada penelitian yang dilakukan oleh (Tuswan, et al., 2020) terdapat 5 model *ramp door* dengan konstruksi *sandwich*. Masing-masing model mempunyai konfigurasi yang berbeda yang kemudian disebutkan dengan: Sandwich A yang mempunyai konfigurasi tebal *face plate* sebesar 5 mm pada kedua lapisan pelat serta mempunyai penegar melintang sebanyak 16 buah dan penegar memanjang sebanyak 12 buah; Sandwich B yang mempunyai konfigurasi tebal *face plate* sebesar 5 mm pada lapisan pelat atas dan 3 mm pada lapisan pelat bawah serta mempunyai penegar melintang sebanyak 16 buah dan penegar memanjang sebanyak 12 buah; Sandwich C yang mempunyai konfigurasi tebal *face plate* sebesar 5 mm pada lapisan pelat atas dan 3 mm pada lapisan pelat bawah serta mempunyai penegar melintang sebanyak 12 buah dan penegar memanjang sebanyak 12 buah; Sandwich D yang mempunyai konfigurasi tebal *face plate* sebesar 5 mm pada lapisan pelat atas dan 3 mm pada lapisan pelat bawah serta mempunyai penegar melintang sebanyak 9 buah dan penegar memanjang sebanyak 9 buah; dan yang terakhir Sandwich E yang mempunyai konfigurasi tebal *face plate* sebesar 5 mm pada lapisan pelat atas dan 3 mm pada lapisan pelat bawah serta mempunyai penegar melintang sebanyak 6 buah dan penegar memanjang sebanyak 6 buah. Berikut ilustrasi konfigurasi jumlah penegar dan ketebalan dari masing-masing model *sandwich* dilihat pada Gambar 3.5 dan Tabel 3.1.

Tabel 3.1 Konfigurasi masing-masing konstruksi *sandwich*

Model	Ketebalan Pelat (mm)	Penegar Memanjang	Penegar Melintang
Existing	10	12	16
<i>Sandwich Model A</i>	5-15-5	12	16
<i>Sandwich Model B</i>	5-15-3	12	16
<i>Sandwich Model C</i>	5-15-3	12	12
<i>Sandwich Model D</i>	5-15-3	9	9
<i>Sandwich Model E</i>	5-15-3	6	6



Gambar 3.5 Konfigurasi jumlah penegar dan ketebalan masing-masing model *sandwich panel*.

3.4. Data Hasil *Static Running* pada *Ramp Door*

Untuk menemukan model *sandwich* yang paling optimal, maka dilakukan simulasi statis pada *finite element software*. Pertimbangan penentuan model *sandwich* yang paling optimal ditinjau dari penurunan berat dan penurunan tegangan dari konstruksi model *sandwich* terhadap konstruksi konvensional yang menggunakan material baja. Data hasil simulasi statis diambil dari

penelitian yang telah dilakukan oleh (Tuswan, et al., 2020). Pada penelitian tersebut, *ramp door* diberikan beban berupa kendaraan paling berat yang dapat diangkat oleh kapal penumpang dan gaya normal yang disebabkan oleh beban konstruksi *ramp door* itu sendiri. Parameter pengukuran pada simulasi statis yang digunakan adalah tegangan *vonmises*, tegangan normal, tegangan tarik, dan deformasi. Berikut data hasil simulasi statis dan berat masing-masing model konstruksi yang telah dilakukan oleh (Tuswan, et al., 2020):

Tabel 3.2 Data hasil *static running* pada penelitian (Tuswan, et al., 2020).

Model	σ	σ_{11}	τ	U	W
	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
Model B	34.5	33.18	10.23	0.0008	20.63
Model C	36.02	37.4	11.28	0.0009	19.76
Model D	45.93	46.05	15.7	0.0011	18.11
Model E	58.57	62.87	22.81	0.0026	16.47

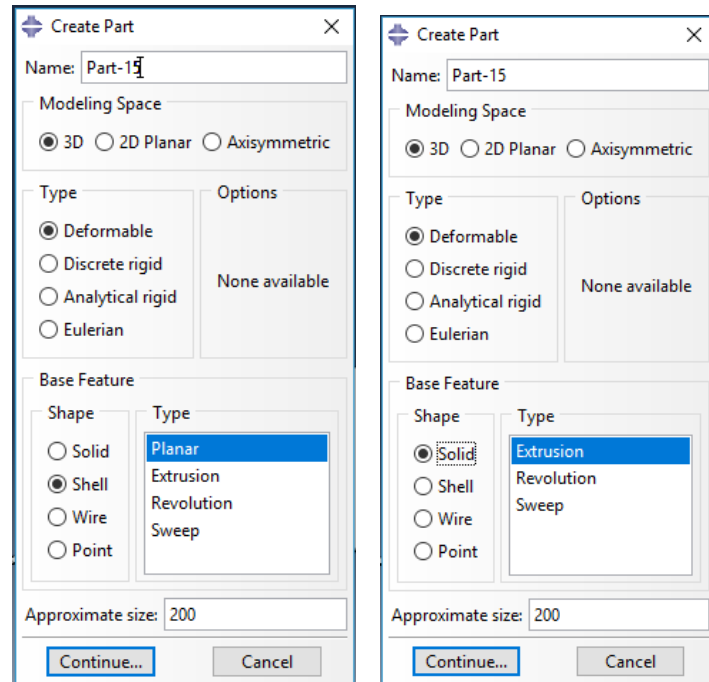
Dari data tersebut, akan dilakukan analisis pada bab selanjutnya untuk menentukan model konstruksi *sandwich* yang paling optimal. Model konstruksi *sandwich* yang paling optimal nantinya menjadi acuan model. Kerusakan berupa *debonding* dimodelkan pada model tersebut. Selanjutnya dilakukan analisis respon dinamis terhadap model yang mengalami kerusakan berupa *debonding*.

3.5. Pemodelan Konstruksi *Sandwich Panel* pada *Finite Element Software*

Setelah ditemukan model konstruksi *sandwich* yang paling optimal ditinjau dari akumulasi persentase penurunan berat dan tegangannya, maka model konstruksi tersebut dimodelkan pada *finite element software*. Berikut adalah tahapan pemodelannya:

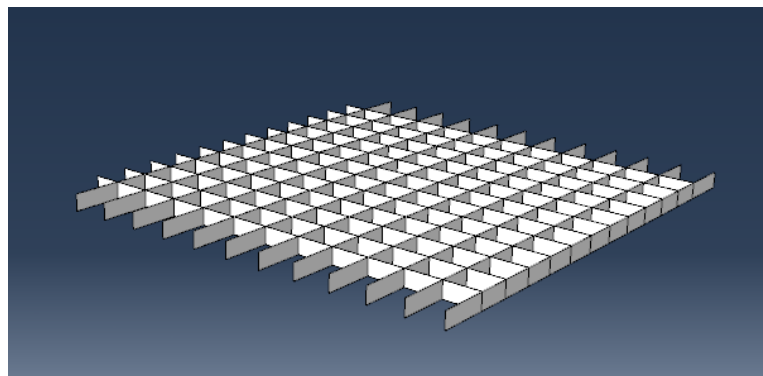
3.5.1. Part

Pada modul *part* lapisan *face plate* bagian atas maupun bagian bawah didefinisikan sebagai *shell shape* dengan tipe *planar*, sedangkan untuk lapisan *core* dan penegar didefinisikan sebagai *solid shape* dengan tipe *extrusion* seperti tampak pada Gambar 3.6. Penggunaan *shell shape* bertujuan untuk menyederhanakan model sehingga dapat menghemat waktu dalam proses *running model*.



Gambar 3.6 Pendefinisian model *part* konstruksi *sandwich*.

Setelah melakukan pendefinisian *part*, maka dilanjutkan dengan menggambar model dua dimensi masing- masing *part*. Untuk *part* yang didefinisikan *solid extrusion*, maka diminta untuk memasukkan tebal material yang telah digambar 2 dimensi untuk menjadikannya model 3 dimensi. Gambar 3.7 menunjukkan hasil dari pemodelan salah satu *part* pada *ramp door*.



Gambar 3.7 Hasil dari pemodelan *part* penegar.

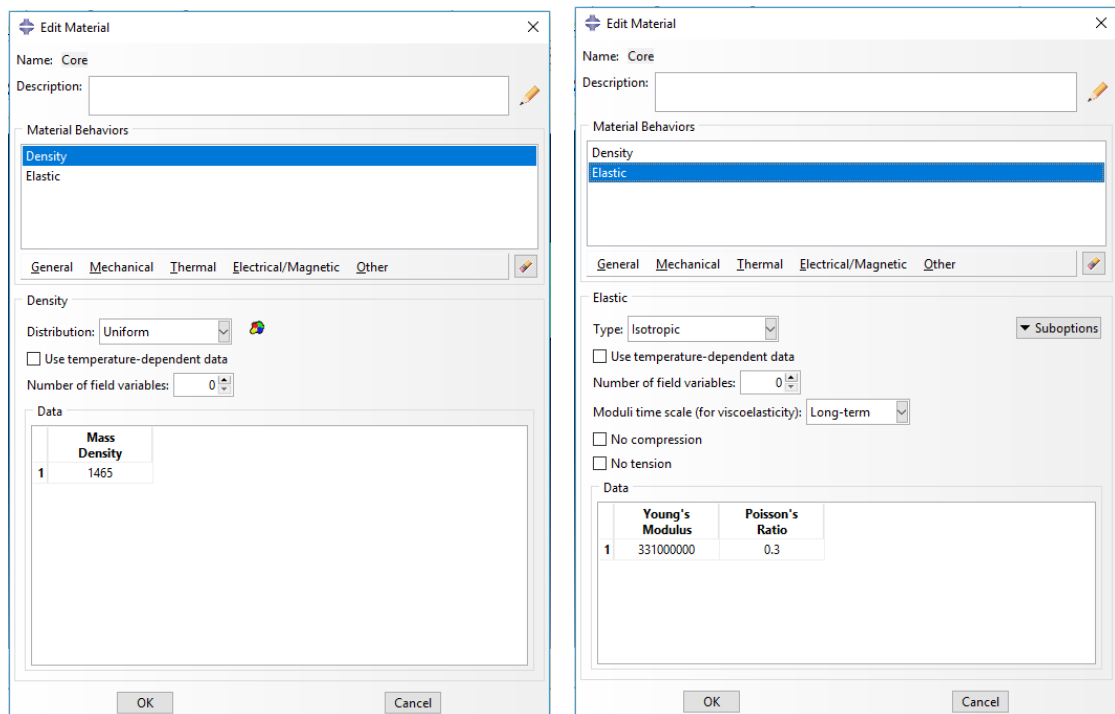
3.5.2. Property

Pada modul *property*, dilakukan *input data material properties* untuk tiap-tiap jenis material yang digunakan. Pada pemodelan ini, digunakan dua jenis material yaitu material baja untuk *face plate* dan *stiffener* konstruksi *ramp door*. *Core sandwich* menggunakan material campuran resin dengan cangkang kerang dengan presentase campuran sebesar 30% dari total

berat *core sandwich*. Detail *material properties* untuk masing masing jenis material dapat dilihat pada Tabel 3.3. *Input data material properties* pada pemodelan *finite element software* dapat dilihat pada Gambar 3.8.

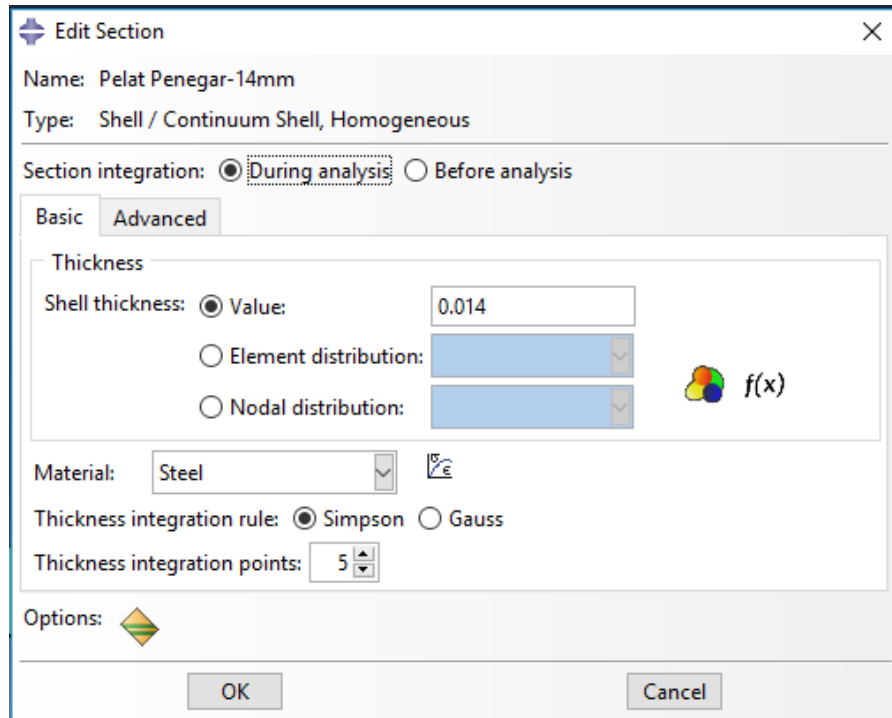
Tabel 3.3 Detail *material properties sandwich*.

Material	Berat Jenis (kg/m ³)	Modulus Young (Mpa)	Rasio Poisson's
Baja	7.850	2.06 x 10 ⁵	0.30
Resin campuran Cangkang Kerang	1.465	3.31 x 10 ⁵	0.30



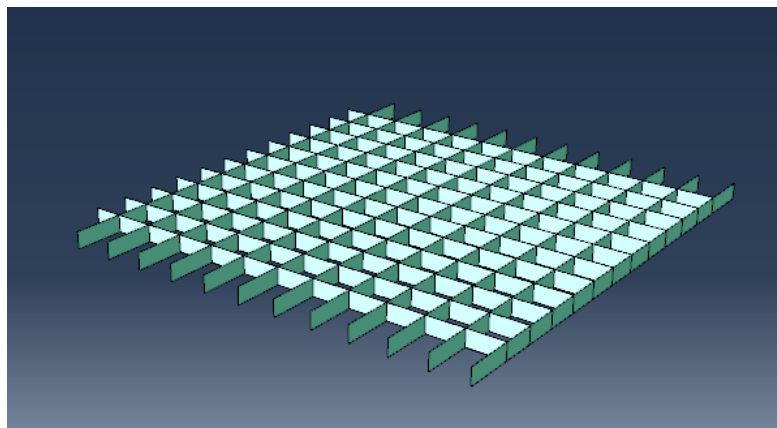
Gambar 3.8 *Input data material properties*.

Setelah melakukan *input material properties*, maka langkah selanjutnya yaitu membuat *section* yang bertujuan untuk mendefinisikan tebal dari tiap-tiap *part*. Terutama pada *part* dengan tipe *shell-planar*. Tebal *part* dimasukkan pada kolom *value* seperti pada Gambar 3.9.



Gambar 3.9 Memasukkan tebal pada salah satu *part*.

Setelah itu melakukan *assign section*, yaitu memilih *part* yang sesuai dengan tipe *section* yang telah dibuat. Hal ini bertujuan sebagai pendefinisian berupa tebal masing-masing *part*. *Part* yang telah berhasil didefinisikan sesuai dengan *section* yang dipilih akan berubah warna dari putih menjadi hijau toska seperti pada Gambar 3.10.

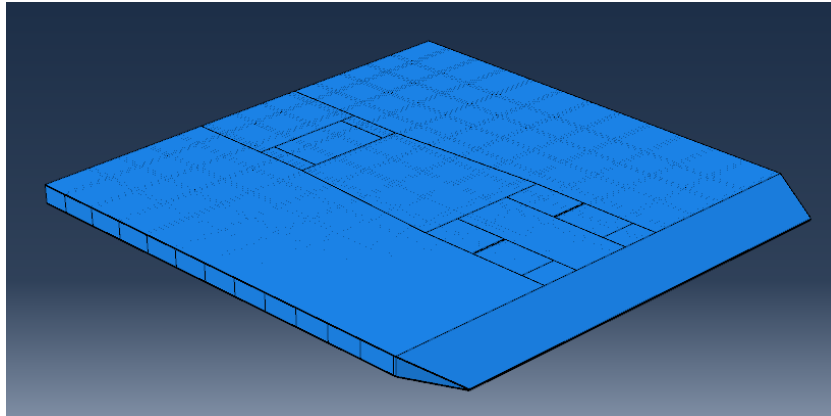


Gambar 3.10 *Part* yang telah melalui tahap *assign section*.

3.5.3. Assembly

Proses selanjutnya yaitu penggabungan seluruh *part* pada modul *assembly*. Seluruh *part* yang telah dimodelkan dan didefinisikan pada *assign section* digabung menjadi satu sehingga

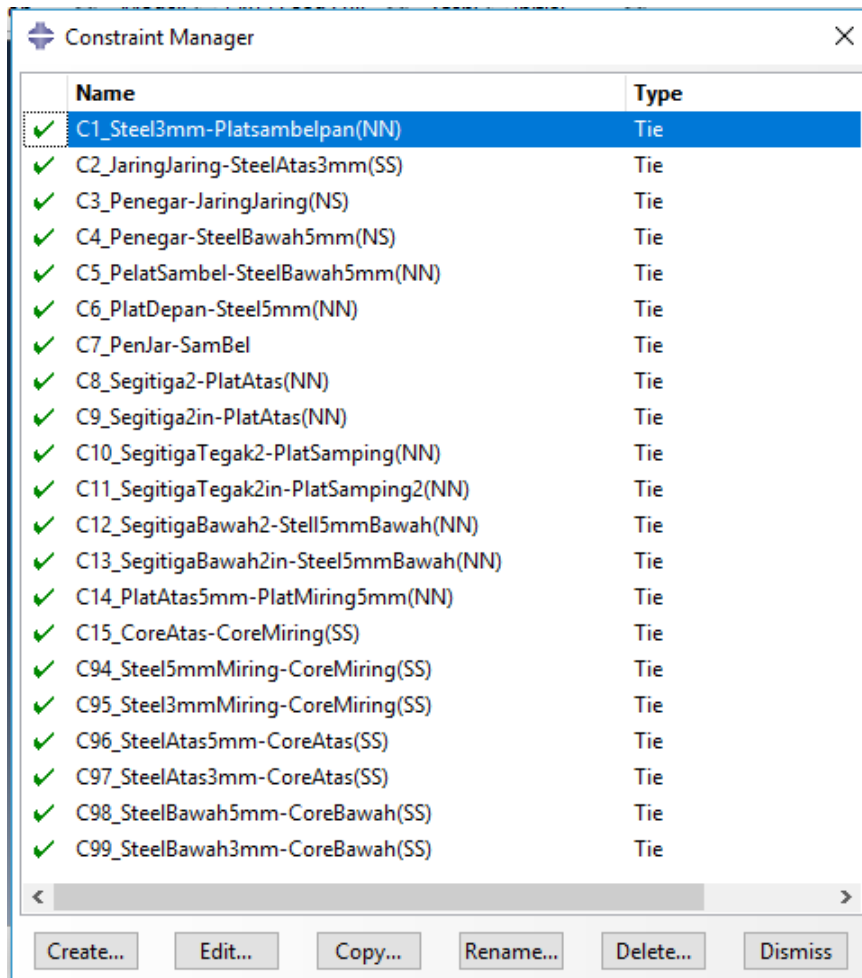
menjadi sebuah konstruksi utuh yang nantinya akan dilakukan *running* untuk analisis dinamis. Gambar 3.11 merupakan hasil akhir dari proses *assembly*. Dapat dilihat bahwa setiap *part* telah digabungkan menjadi satu konstruksi *ramp door*. Namun interaksi tiap *part* masih belum terdefinisi pada proses *assembly*.



Gambar 3.11 Konstruksi *ramp door* pada pemodelan *finite element software*.

3.5.4. Interaction

Langkah selanjutnya yaitu mendefinisikan interaksi pada *part* yang bersinggungan. Ada tiga jenis interaksi pada pemodelan yang dilakukan yaitu *node to node tie constraint*, *node-surface tie constraint*, dan *surface to surface tie constraint*. Interaksi pada permukaan *face plate* dan *core* menggunakan *surface to surface tie constraint*. Sedangkan untuk permukaan *face plate* dengan penegar menggunakan *node-surface tie constraint*. *Node to node tie constraint* digunakan pada tiap garis yang bersinggungan antar *part* seperti sisi pelat dengan sisi pelat yang lain. Gambar 3.12 menunjukkan *list tie constraint* yang diaplikasikan pada model *ramp door*.

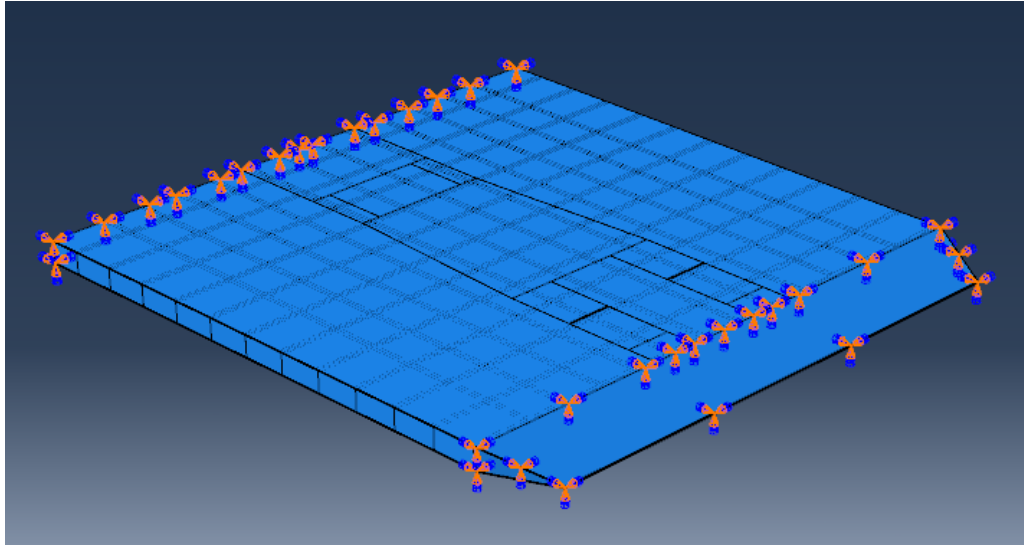


Gambar 3.12 List tie constraint

3.5.5. Load

Pada modul *load* dilakukan pembebanan dan penentuan kondisi batas. Namun karena respon dinamis yang akan dianalisis hanya sebatas frekuensi natural konstruksi *ramp door*, maka pembebanan tidak perlu dilakukan. Hal ini dikarenakan konsep dari analisis *free vibration* adalah dengan membiarkan struktur tersebut untuk bergerak sesuai dengan frekuensi naturalnya sendiri.

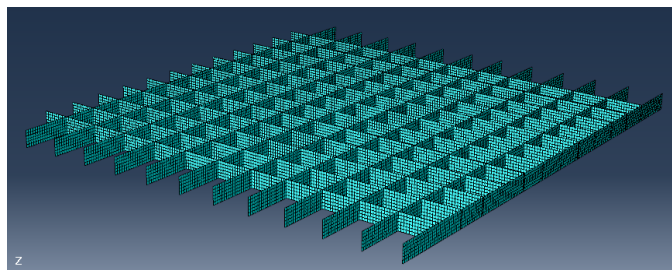
Kondisi batas yang diberikan terhadap model konstruksi *ramp door* yaitu dengan mengasumsikan *ramp door* tersebut pada saat kapal bersandar dengan *ramp door* terbuka yang siap untuk proses *loading* kendaraan. Dengan kondisi tersebut maka *boundary condition* yang diaplikasikan pada model konstruksi *sandwich* adalah tumpuan jepit pada sisi depan dan belakang *ramp door*. Sedangkan kedua sisi samping *ramp door* dibiarkan bergerak bebas tanpa tumpuan. Berikut ilustrasi *boundary condition* pada konstruksi *ramp door* dapat dilihat pada Gambar 3.13.



Gambar 3.13 Ilustrasi *boundary condition* yang diaplikasikan pada model.

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 3.14 merupakan *part* penegar *ramp door* yang telah dilakukan *meshing* dengan *element shape quad-structured*.

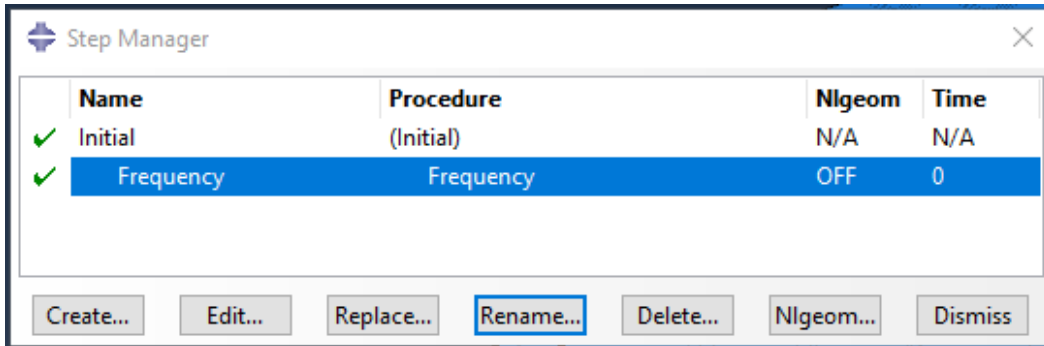


Gambar 3.14 Ilustrasi *meshing* pada salah satu *part ramp door*.

3.5.7. Step

Step berfungsi untuk mengatur tahapan proses analisis yang diinginkan. Gambar 3.15 menunjukkan *step* yang akan dilakukan pada proses *running* model. *Initial step* merupakan *step* yang berfungsi untuk mendefinisikan kondisi batas tumpuan yang diaplikasikan pada model.

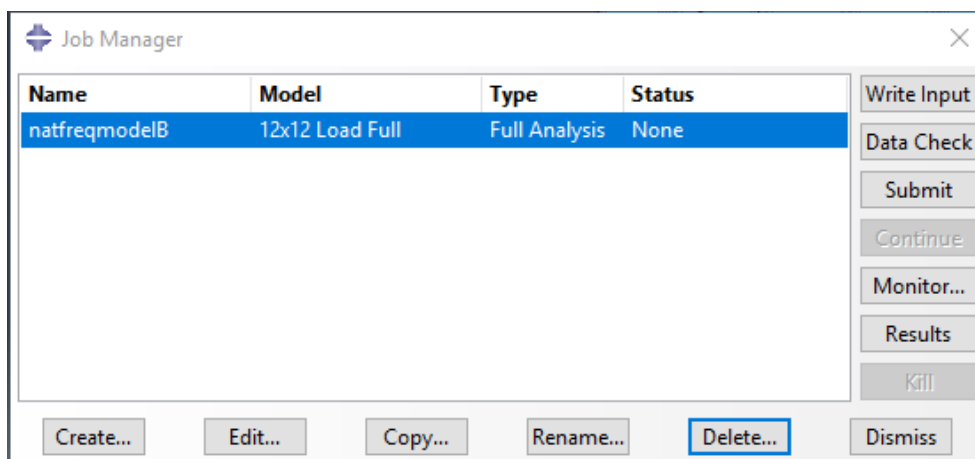
Sedangkan untuk *step* yang selanjutnya adalah *frequency step*. *Frequency step* digunakan untuk mendapatkan hasil dari natural frekuensi struktur yang telah dimodelkan.



Gambar 3.15 *Step* yang dilakukan pada proses *running model* untuk mendapatkan frekuensi natural.

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 3.16 menunjukkan *window job manager* yang siap untuk *submit job*.



Gambar 3.16 *Window job manager*

3.6. Pemodelan Debonding Pada *Finite Element Software*

Kerusakan berupa *debonding* dimodelkan sebagai cacat yang dibuat dengan asumsi terjadinya kerusakan pada saat proses manufaktur. Pada tugas akhir ini, penulis melakukan analisis kerusakan *debonding* yang terletak pada lokasi yang sulit diakses. Oleh karena itu

lokasi adanya cacat berupa *debonding* terletak pada *core panel sandwich* bagian bawah seperti tampak pada Gambar 3.17.



Gambar 3.17 Lokasi *debonding* pada model *sandwich panel*

Kerusakan *debonding* pada penelitian ini dimodelkan dengan tebal 10% dari tebal *core material sandwich panel*. Ilustrasi tebal kerusakan *debonding* tampak seperti pada Gambar 3.18. Sehingga, jika ketebalan *core material* sebesar 15 mm, maka ketebalan dari kerusakan *debonding* sebesar 1.5 mm.



Gambar 3.18 Tebal kerusakan *debonding*

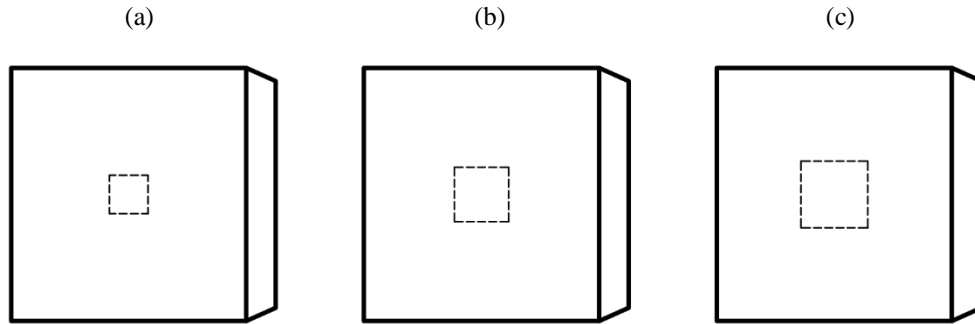
Variasi kerusakan *debonding* yang akan diteliti bertujuan untuk mengetahui perbedaan respon dinamis antara model yang sehat dengan model yang mengalami kerusakan *debonding*. Oleh karena itu variasi kerusakan *debonding* dimodelkan berdasarkan sebagai berikut:

3.6.1. Pemodelan *Debonding* Variasi Rasio Kerusakan

Rasio yang dimaksud dalam pemodelan *debonding* variasi rasio kerusakan ini adalah persentase luasan kerusakan *debonding* dibandingkan dengan luasan total dari *core material*. Kerusakan *debonding* berbentuk persegi dengan kedalaman 1,5 mm. Terdapat tiga item rasio kerusakan yang akan dianalisa pada penelitian ini. Detail ukuran rasio kerusakan dapat dilihat pada dan diilustrasikan pada Tabel 3.4. Gambar 3.19 menunjukkan tampak atas model *debonding* pada dari konstruksi *ramp door*.

Tabel 3.4 Detail dimensi kerusakan *debonding* variasi rasio.

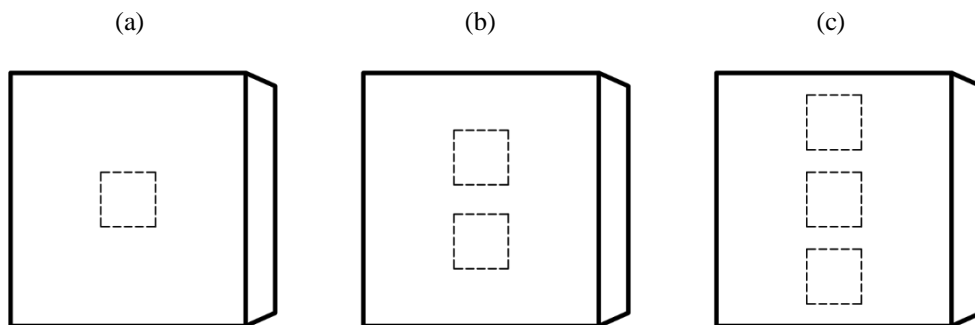
Model	Panjang (mm)	Lebar (mm)	Luas (mm ²)
Luas Seluruhnya	8	8.6	68.8
Luas Debonding 2.5%	1.3115	1.3115	1.72
Luas Debonding 5%	1.8547	1.8547	3.44
Luas Debonding 7.5%	2.2716	2.2716	5.16



Gambar 3.19 Variasi rasio kerusakan debonding (a) 2,5% (b) 5% (c) 7,5%

3.6.2. Pemodelan *Debonding* Variasi Jumlah Kerusakan

Pada pemodelan *debonding* dengan variasi jumlah kerusakan, model kerusakan *debonding* berbentuk persegi dengan rasio luas kerusakan sebesar 5% dari total luas *core material sandwich* dengan variasi jumlah yaitu sebanyak 1 buah, 2 buah, dan 3 buah kerusakan *debonding*. Dimensi kerusakan *debonding* dibuat sama seperti model (b) pada Gambar 3.19. Ilustrasi kerusakan *debonding* dapat dilihat seperti tampak pada Gambar 3.20.



Gambar 3.20 Variasi jumlah kerusakan debonding (a) 1 buah (b) 2 buah (c) 3 buah

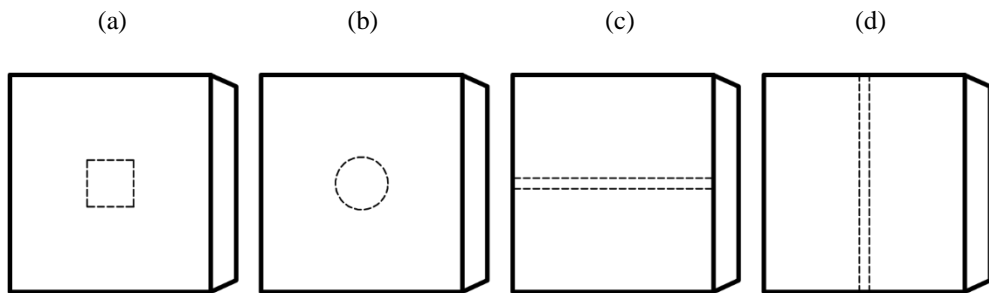
3.6.3. Pemodelan *Debonding* Variasi Rasio Kerusakan

Pemodelan *debonding* dengan variasi bentuk kerusakan, model kerusakan *debonding* yang digunakan memiliki rasio luas kerusakan sebesar 5% dari total luas *core material*

sandwich dengan variasi bentuk yaitu persegi, lingkaran, persegi panjang melintang, dan persegi panjang memanjang. Dimensi kerusakan *debonding* dibuat seperti tertera pada Tabel 3.5. Sedangkan untuk ilustrasi model *debonding* tertera pada Gambar 3.21.

Tabel 3.5 Dimensi masing masing bentuk kerusakan *debonding*

Model	Panjang	Lebar	Luas
Persegi	1.855	1.855	3.44
Lingkaran	r	1.047	3.44
Memanjang	8	0.43	3.44
Melintang	8.6	0.4	3.44

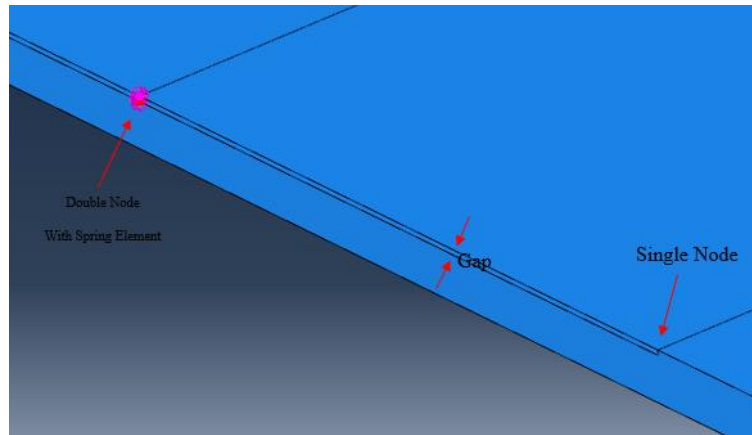


Gambar 3.21 Variasi bentuk kerusakan *debonding* (a) persegi (b) lingkaran (c) memanjang (d) melintang.

3.7. Metode Pemodelan Kerusakan *Debonding*

Pada tugas akhir ini, dilakukan pemodelan kerusakan berupa *debonding* dengan pengaplikasian *spring element* dan tanpa pengaplikasian *spring element*. Hal ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh penggunaan *spring element* pada pemodelan kerusakan *debonding* terhadap hasil simulasi dinamis pada *finite element software*. Penggunaan *spring element* diaplikasikan pada permukaan *face plate* dan *core* yang mengalami kerusakan berupa *debonding*.

Kerusakan *debonding* dimodelkan sebagai cacat buatan yang tertanam pada lapisan *core* pada *sandwich panel*. *Spring element* diaplikasikan pada zona *debonding* yang berada pada *core* dengan zona pada *face plate* yang tegak lurus dengan zona *debonding* tersebut. Ilustrasi tersebut dapat dilihat pada Gambar 3.22. Kerusakan *debonding* diasumsikan sebagai akibat dari tidak sempurnanya proses manufaktur pembuatan *sandwich panel*, sehingga kerusakan berupa *debonding* ini telah dimodelkan sebelum terjadinya simulasi dinamis.



Gambar 3.22 Detail *spring element* pada zona yang terdapat kerusakan *debonding*.

Pengaplikasian penggunaan *spring element* ini dimodelkan pada modul *interaction* dan menggunakan *tools 'spring'* pada *menu bar 'special'*.

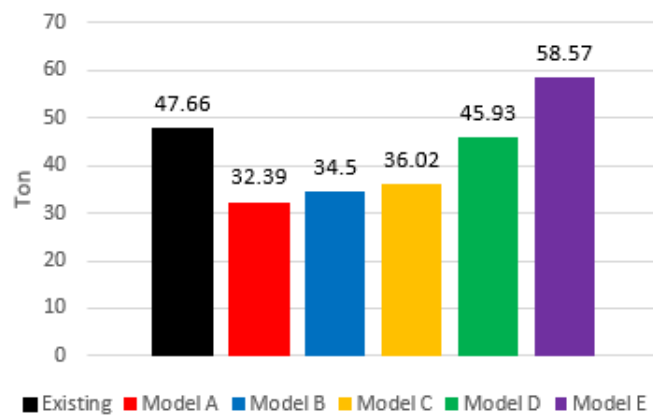
BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

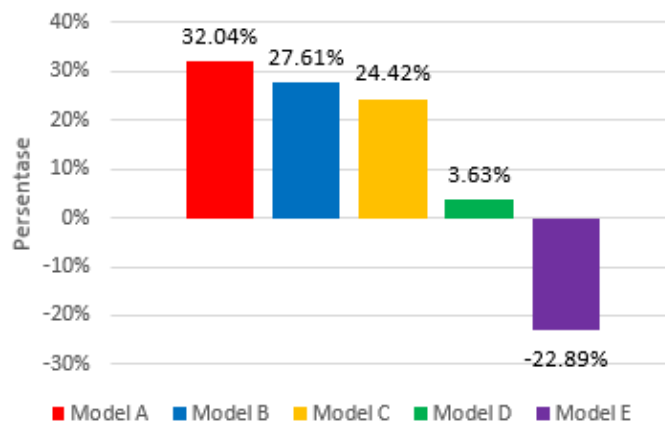
4.1. Analisis Statis Untuk Penentuan Model Optimal

Analisis statis pada sub bab ini digunakan untuk menentukan model *sandwich* yang paling optimal. Indikator penentuan model *sandwich* yang paling optimal adalah ditinjau dari presentase pengurangan berat dan presentase pengurangan nilai tegangan masing-masing konfigurasi model *sandwich ramp door* terhadap konstruksi *ramp door* konvensional yang berbahan baja.

Hasil simulasi statis didapat dari penelitian yang dilakukan oleh (Tuswan, et al., 2020). Data hasil simulasi statis dapat dilihat pada Tabel 3.2. Sedangkan untuk konfigurasi pada tiap-tiap model dapat dilihat pada Gambar 3.5.



Gambar 4.1 Nilai tegangan *vonmises* pada masing-masing model.

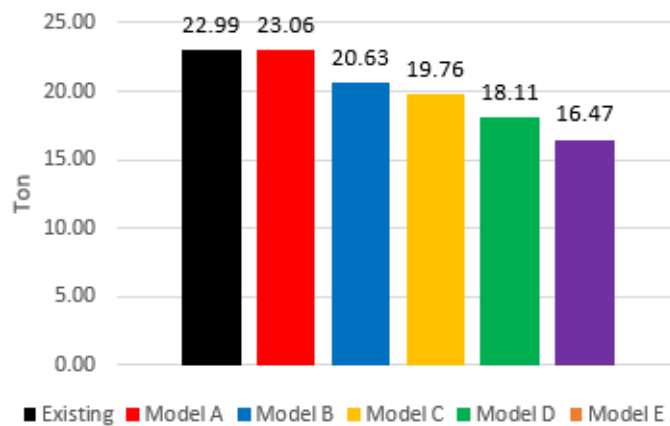


Gambar 4.2 Persentase pengurangan tegangan *vonmises* pada masing-masing model *sandwich* terhadap model konvensional.

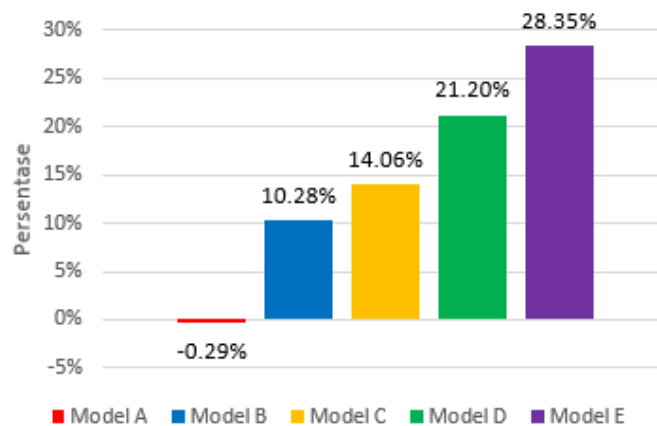
Grafik nilai tegangan *vonmises* pada masing-masing konstruksi terdapat pada Gambar 4.1, sedangkan Gambar 4.2 menunjukkan grafik persentase pengurangan tegangan *vonmises* pada masing-masing konstruksi. Dapat dilihat dari grafik tersebut, model *sandwich* A dan model *sandwich* B yang mempunyai konfigurasi jumlah penegar yang sama dengan model konvensional (*existing*), keduanya memiliki tegangan *vonmises* yang lebih rendah dibandingkan dengan model konvensional. Model *sandwich* A dapat mengurangi tegangan *vonmises* sebesar 32,04% sedangkan Model *sandwich* B dapat mengurangi tegangan *vonmises* sebesar 27,61%. Pada model *sandwich* A dengan konfigurasi tebal pelat 5mm-15mm-5mm menunjukkan hasil tegangan yang lebih rendah daripada model *sandwich* B dengan konfigurasi tebal pelat 5mm-15mm-3mm. Dari hasil tersebut dapat diketahui bahwa penggunaan material *sandwich* dapat mengurangi tegangan *vonmises* untuk konfigurasi jumlah penegar yang sama, serta konfigurasi ketebalan pelat *sandwich* dapat mempengaruhi besarnya pengurangan tegangan *vonmises*. Semakin tebal konfigurasi pelat *sandwich*, semakin besar juga pengurangan tegangan *vonmises* pada model konstruksi *sandwich* tersebut.

Model *sandwich* B, C, D, dan E mempunyai konfigurasi ketebalan pelat *sandwich* yang sama yaitu 5mm-15mm-3mm. Dari grafik pada Gambar 4.2 dapat dilihat bahwa presentase pengurangan tegangan *vonmises* secara berurutan pada konstruksi model *sandwich* B, C, D, dan E adalah sebesar 27,61%; 24,42%; 3,63%; dan -22,89%. Tanda negative pada nilai presentase pengurangan tegangan *vonmises* model *sandwich* E mempunyai arti bahwa pada model *sandwich* E tidak mengalami pengurangan tegangan *vonmises*, justru mengalami penambahan tegangan *vonmises*. Hal ini disebabkan jarak penegar yang terlalu jauh sehingga menyebabkan adanya beban terpusat yang besar. Dari data tersebut, dapat diketahui bahwa dengan konfigurasi ketebalan yang sama, semakin sedikit jumlah penegar, semakin jauh juga jarak antar penegar. Sehingga pengurangan tegangan *vonmises* dari konstruksi model *sandwich* semakin kecil, bahkan bisa mengakibatkan penambahan tegangan *vonmises* jika dibandingkan dengan konstruksi model konvensional.

Indikator selanjutnya untuk penentuan model konstruksi model *sandwich ramp door* kapal penumpang yaitu dari segi pengurangan berat. Pengurangan berat terhadap konstruksi kapal dapat berkontribusi meningkatkan berat muatan kapal sehingga dapat meningkatkan jumlah muatan yang dapat diangkut oleh kapal (Baidowi, et al., 2015). Perbandingan berat masing-masing model *sandwich* dapat dilihat pada Gambar 4.3. Sedangkan untuk grafik presentase pengurangan berat masing-masing model *sandwich* terdapat pada Gambar 4.4.



Gambar 4.3 Perbandingan berat masing-masing model *sandwich*.

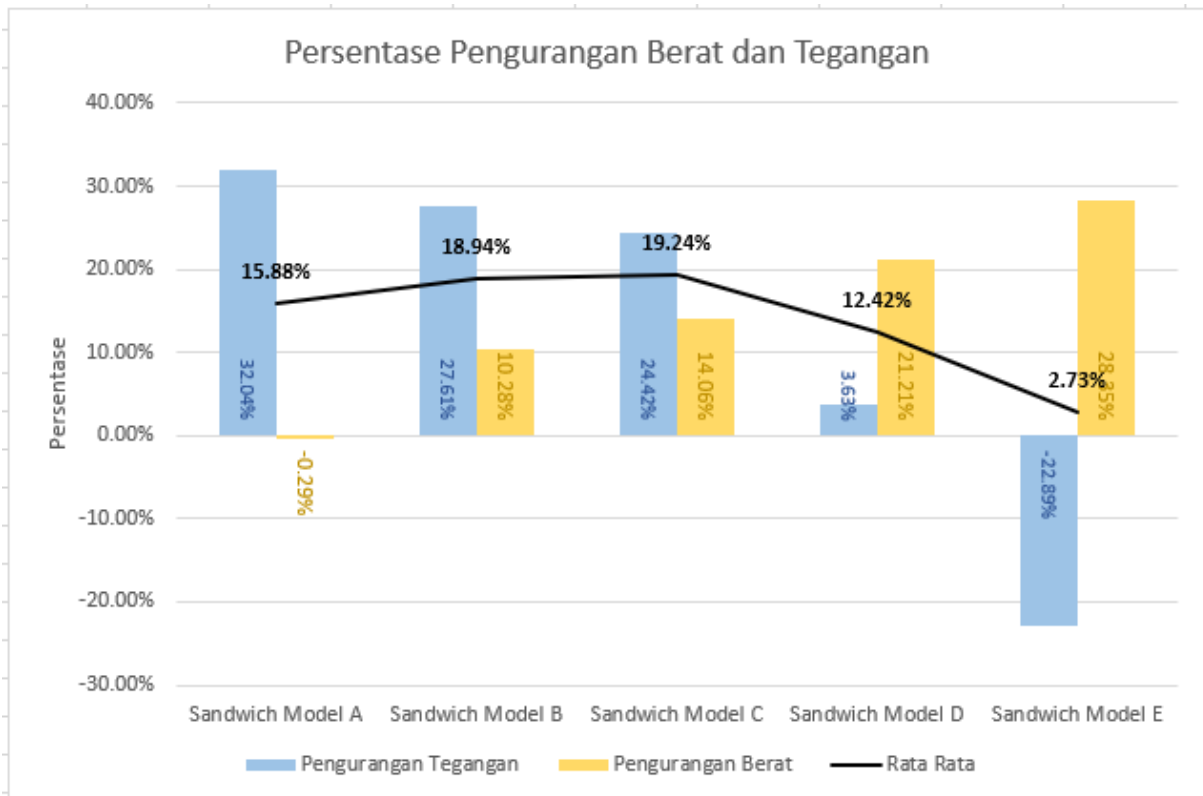


Gambar 4.4 Persentase pengurangan berat masing-masing model *sandwich* terhadap konstruksi konvensional.

Dari grafik tersebut, penerapan model *sandwich* dengan konfigurasi ketebalan 5mm-15mm-3mm menunjukkan pengurangan berat sekitar 10,28% sampai dengan 28,35%. Namun untuk model *sandwich* A dengan konfigurasi ketebalan 5mm-15mm-5mm justru mempunyai berat yang lebih tinggi dari pada konstruksi konvensional dengan jumlah penegar yang sama. Hal ini terjadi karena konfigurasi ketebalan pelat berbahan baja pada model *sandwich* A tidak berkurang ketebalannya dari konstruksi konvensional. Konstruksi konvensional memiliki ketebalan sebesar 10mm yang berbahan baja seluruhnya. Sedangkan untuk konstruksi model *sandwich* A memiliki ketebalan sebesar 10mm untuk material *face plate* berbahan baja dan 15mm untuk material *core* yaitu campuran resin dengan cangkang kerang. Dengan ketebalan pelat baja dan berat yang sama untuk material baja, model *sandwich* A justru mempunyai berat yang lebih tinggi akibat berat dari material *core*. Sehingga dapat disimpulkan bahwa penerapan konstruksi *sandwich panel* sangat tidak efisien jika total tebal keseluruhan *faceplate* yang berbahan baja pada konstruksi *sandwich panel* sama dengan tebal pelat konstruksi konvensional. Sedangkan untuk konfigurasi ketebalan material *sandwich panel* yang didesain

dengan pengurangan ketebalan *face plate* yang berbahan baja berkontribusi cukup besar dalam pengurangan berat dibandingkan dengan konstruksi *ramp door* konvensional.

Dari hasil data diatas yaitu penurunan tegangan *vonmises* dan penurunan berat yang menjadi indikator utama pemilihan model konstruksi *ramp door* menggunakan *sandwich panel*, diakumulasikan dan dihitung rata-rata dari kedua nilai tersebut. Sehingga didapat hasil analisis seperti tampak pada Gambar 4.5.



Gambar 4.5 Akumulasi persentase pengurangan berat dan tegangan masing-masing model *sandwich*

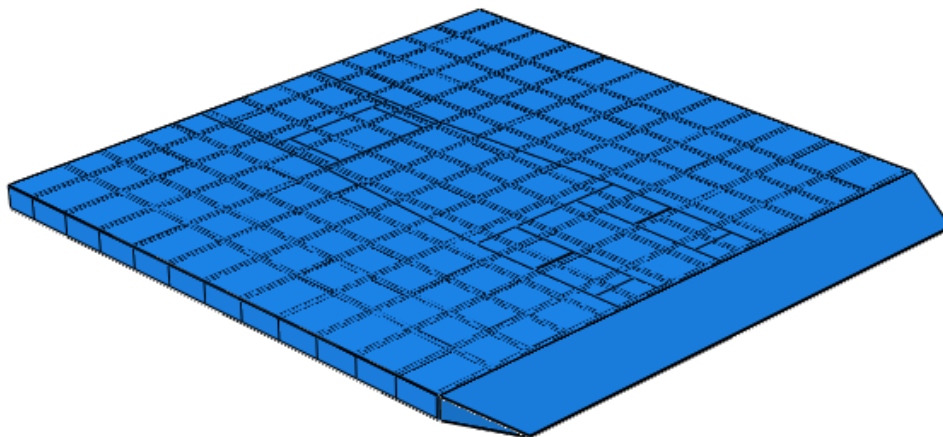
Bedasarkan Gambar 4.5, dapat diketahui bahwa pengurangan tegangan *vonmises* yang paling besar terjadi pada *sandwich* model A dengan persentase 32,04%, sedangkan untuk pengurangan berat yang paling tinggi yaitu pada konstruksi *sandwich* model E dengan 28,35%. Namun pada kedua model ekstrim tersebut tidak menunjukkan adanya konstruksi *sandwich* yang optimal. *Sandwich* model A memiliki pengurangan tegangan *vonmises* yang paling besar, namun justru mengalami penambahan berat pada konstruksi *sandwich* tersebut. Begitupun sebaliknya, pada *sandwich* model E memiliki pengurangan berat konstruksi yang paling besar namun justru mengalami penambahan tegangan *vonmises*.

Sandwich model C menunjukkan nilai akumulasi persentase pengurangan berat dan persentase pengurangan tegangan *vonmises* yang paling tinggi pada angka 19,24%. Hal ini

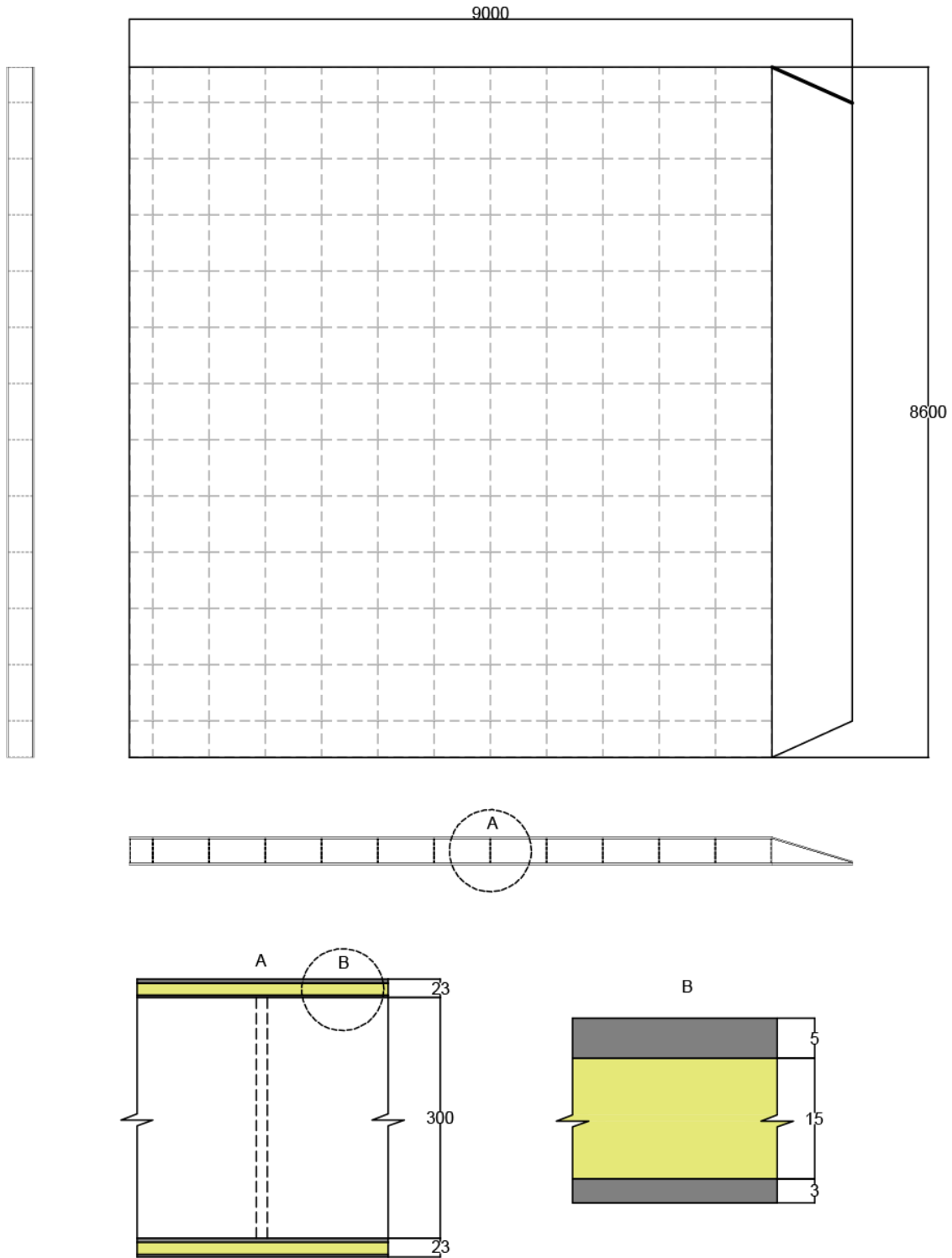
menunjukkan bahwa untuk menemukan desain konstruksi *sandwich ramp door* yang paling optimal tidak hanya dengan mengurangi berat konstruksi dengan mengurangi jumlah penegar atau mengurangi tebal konfigurasi *face plate* saja, namun juga harus dipertimbangkan kekuatan dari struktur konstruksi tersebut. Sehingga pada penelitian ini *sandwich* model C dipilih sebagai basis konstruksi *ramp door sandwich panel system* untuk menganalisis respon dinamis pada konstruksi yang mengalami kerusakan *debonding*. Visualisasi *sandwich* model C terlihat pada Gambar 4.6. Sedangkan *sandwich* model C yang dimodelkan pada *finite element software* sebagai model yang disimulasikan numerik tampak seperti Gambar 4.7. Detail konstruksi *ramp door sandwich panel* tampak pada Gambar 4.8.



Gambar 4.6 Ilustrasi konstruksi *ramp door sandwich* model C.



Gambar 4.7 Pemodelan konstruksi *ramp door sandwich* model C pada *finite element software*.



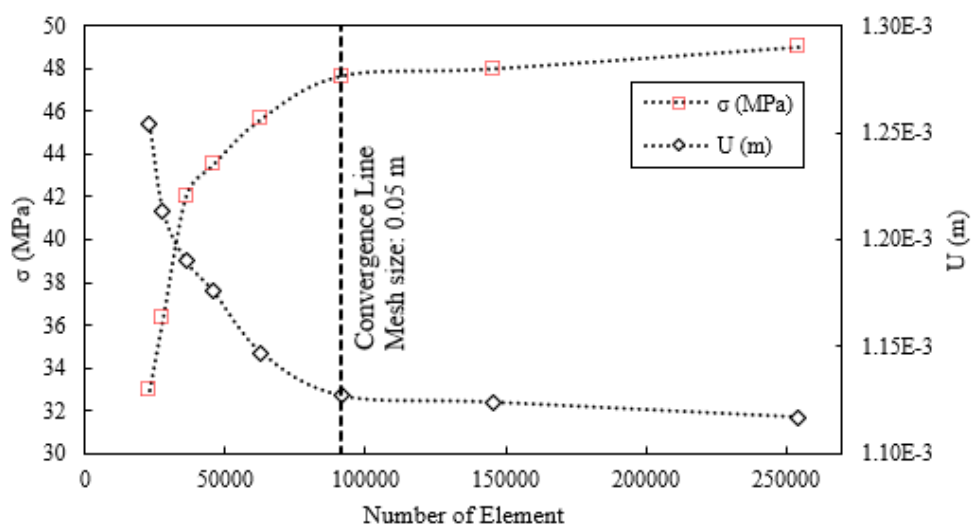
Gambar 4.8 Detail konstruksi *ramp door sandwich panel*.

4.2. Analisis Konvergensi

Sebelum melakukan proses simulasi numerik, hal yang wajib dilakukan yaitu analisis konvergensi. Analisis konvergensi ini bertujuan untuk mendapatkan besarnya ukuran meshing yang digunakan sehingga didapatkan hasil dengan akurasi yang tinggi. Selain itu analisis

konvergensi juga dapat meminimalisir waktu proses simulasi. Semakin banyak elemen yang digunakan, hasil dari simulasi semakin akurat namun membutuhkan waktu yang lama dalam proses simulasi. Begitupun sebaliknya, jika elemen yang digunakan untuk melakukan simulasi hanya sedikit, menyebabkan hasil simulasi yang kurang akurat.

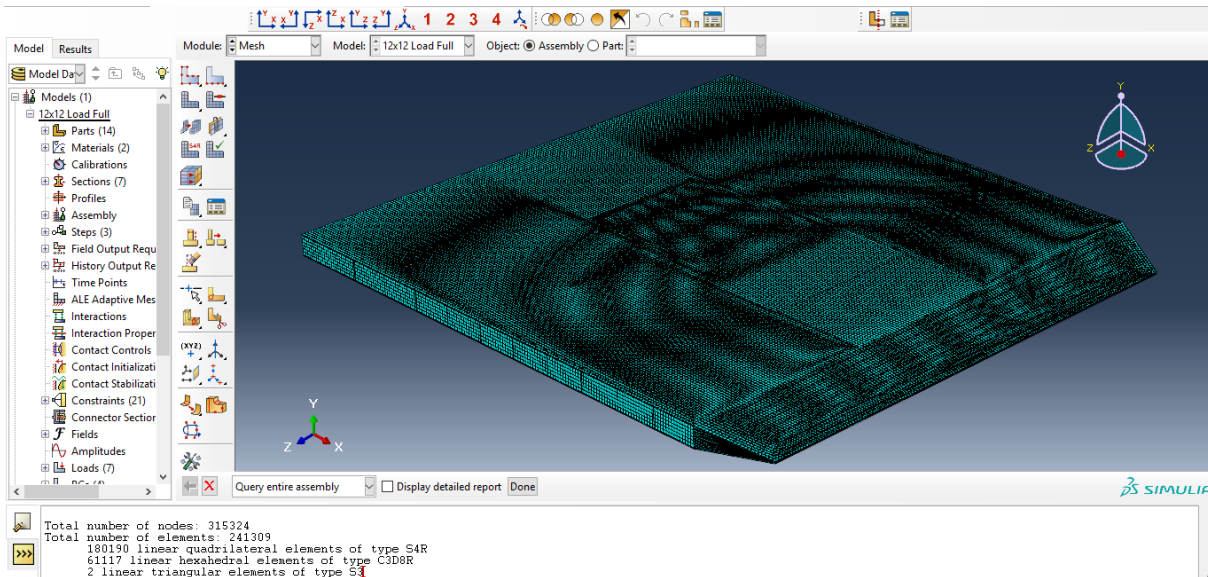
Pada penelitian ini, analisis konvergensi dilakukan dengan melakukan simulasi statis pada *sandwich* model C. Pemodelan *meshing* dilakukan secara keseluruhan konstruksi *sandwich* model dengan ukuran yang sama untuk semua *part*. Ukuran *meshing* yang diuji adalah pada range 0,1 m sampai dengan 0,03 m. Parameter yang digunakan sebagai acuan adalah nilai dari tegangan *vonmises* dan nilai deformasi pada konstruksi model *sandwich*. Pemodelan pada *finite element software* untuk simulasi ini menggunakan *boundary condition* yang sama seperti pada Gambar 3.13. Untuk *material properties* dari masing-masing jenis material menggunakan data seperti tampak pada Tabel 3.3. Sehingga hasil dari simulasi statis untuk analisis konvergensi ditampilkan dalam bentuk grafik pada Gambar 4.9.



Gambar 4.9 Hasil analisis konvergensi.

Dari grafik tersebut dapat dilihat pada ukuran *mesh* sebesar 0,05 m sudah menunjukkan nilai yang konvergen baik untuk tegangan *vonmises* maupun untuk besarnya deformasi yang terjadi pada konstruksi *sandwich* model. Namun pemodelan *meshing* pada model *sandwich* dilakukan modifikasi pada tiap *part* yang membutuhkan penambahan jumlah *meshing* dengan memperkecil ukuran *mesing* pada *part* tersebut. Hal ini bertujuan untuk mendapatkan hasil kontur yang lebih akurat pada bagian-bagian tersebut. *Part* yang dimaksud antara lain adalah *face plate* atas yang ukuran *meshing*-nya dimodifikasi menjadi 0,04 m, *part* penegar dengan *meshing* berukuran 0,03 m, dan *part* segitiga dengan *meshing* berukuran 0,02 m. Sehingga

untuk model konstruksi *sandwich* ini mempunyai total keseluruhan 241.309 buah elemen dan 315.324 *nodes*. Ilustrasi *meshing* pada konstruksi *sandwich* tampak seperti pada Gambar 4.10.



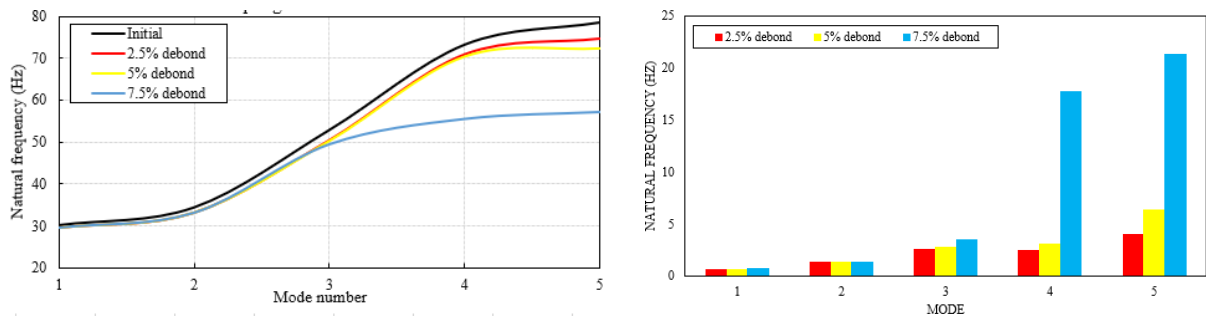
Gambar 4.10 Jumlah *meshing* elemen pada model konstruksi *sandwich*.

4.3. Pengaruh Rasio Kerusakan *Debonding* terhadap Respon Dinamis

Variasi pertama yang dianalisis yaitu perubahan respon dinamis yang terjadi karena besarnya rasio kerusakan *debonding* pada konstruksi *ramp door sandwich panel system*. Rasio kerusakan yang dimaksud adalah persentase luasan cacat berupa *debonding* terhadap luas keseluruhan pada permukaan *sandwich* tersebut. Pada analisis ini dilakukan perbandingan nilai frekuensi natural dari model *sandwich* yang sehat (tidak terjadi kerusakan berupa *debonding*) dengan model *sandwich* yang mengalami kerusakan *debonding* dengan rasio kerusakan sebesar 2,5%; 5%; dan 7,5%. Ilustrasi pemodelan kerusakan *debonding* dengan variasi rasio dapat dilihat pada Gambar 3.19. Untuk membandingkan pengaruh pendekatan pemodelan dengan pengaplikasian *spring element*, juga dilakukan analisis terhadap pemodelan dengan pengaplikasian *spring element* dan pemodelan tanpa pengaplikasian *spring element*. Hasil dari analisis ditampilkan pada Gambar 4.11 dengan rincian data pada Tabel 4.1 untuk pemodelan dengan pengaplikasian *spring element*, sedangkan untuk pemodelan tanpa pengaplikasian *spring element* tampak seperti pada Gambar 4.12, sedangkan untuk detail data hasil simulasi dapat dilihat pada Tabel 4.2.

Tabel 4.1 Data hasil simulasi respon dinamis untuk variasi rasio kerusakan *debonding* pemodelan dengan pengaplikasian *spring element*.

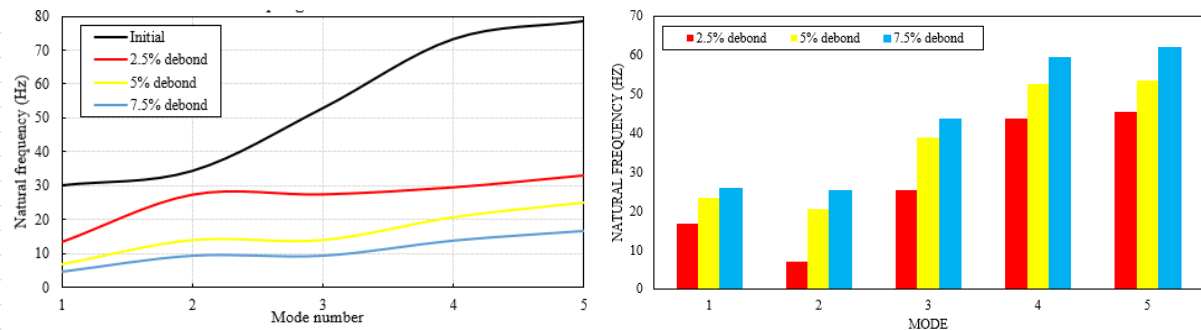
Mode	Nilai Natural Frekuensi				Penurunan Natural Frekuensi (Hz)		
	Initial	2.5%	5%	7.5%	2.5%	5%	7.5%
1	30.289	29.662	29.637	29.596	0.627	0.652	0.693
2	34.519	33.220	33.196	33.171	1.299	1.323	1.348
3	52.979	50.472	50.257	49.554	2.507	2.722	3.425
4	73.297	70.864	70.275	55.618	2.433	3.022	17.679
5	78.571	74.592	72.188	57.272	3.979	6.383	21.299



Gambar 4.11 (kiri) perbandingan nilai natural frekuensi, dan (kanan) penurunan nilai natural frekuensi untuk variasi rasio kerusakan *debonding* pemodelan dengan pengaplikasian *spring element*.

Tabel 4.2 Data hasil simulasi respon dinamis untuk variasi rasio kerusakan *debonding* pemodelan tanpa pengaplikasian *spring element*.

Mode	Nilai Natural Frekuensi				Penurunan Natural Frekuensi (Hz)		
	Initial	2.5%	5%	7.5%	2.5%	5%	7.5%
1	30.289	13.536	6.861	4.576	16.753	23.428	25.713
2	34.519	27.515	13.977	9.316	7.004	20.543	25.203
3	52.979	27.597	13.997	9.323	25.382	38.982	43.656
4	73.297	29.684	20.733	13.812	43.613	52.564	59.486
5	78.571	33.204	25.022	16.668	45.367	53.549	61.903



Gambar 4.12 (kiri) perbandingan nilai natural frekuensi, dan (kanan) penurunan nilai natural frekuensi untuk variasi rasio kerusakan *debonding* pemodelan tanpa pengaplikasian *spring element*.

Pada grafik tersebut, dapat diketahui bahwa berkat adanya kerusakan berupa *debonding* menyebabkan penurunan nilai natural frekuensi, baik pada model yang menggunakan *spring element* maupun model tanpa pengaplikasian *spring element*. Perbedaan yang sangat mencolok terlihat pada penurunan nilai frekuensi pada model dengan pengaplikasian *spring element* dan model tanpa pengaplikasian *spring element*. Nilai natural frekuensi yang terjadi pada pemodelan tanpa menggunakan *spring element* mengalami penurunan yang sangat jauh dari natural frekuensi model *ramp door sandwich* yang sehat. Hal ini disebabkan karena pada pemodelan kerusakan *debonding* tanpa pengaplikasian *spring element* mengabaikan interaksi kontak antar lapisan *face plate* dengan *core* pada zona *debonding*. Sehingga terjadi ketidaksesuaian hasil simulasi dengan kondisi nyata. Pengaruh pemodelan dengan dan tanpa pengaplikasian *spring element* ini akan dianalisis kembali pada variasi jumlah dan bentuk kerusakan *debonding*.

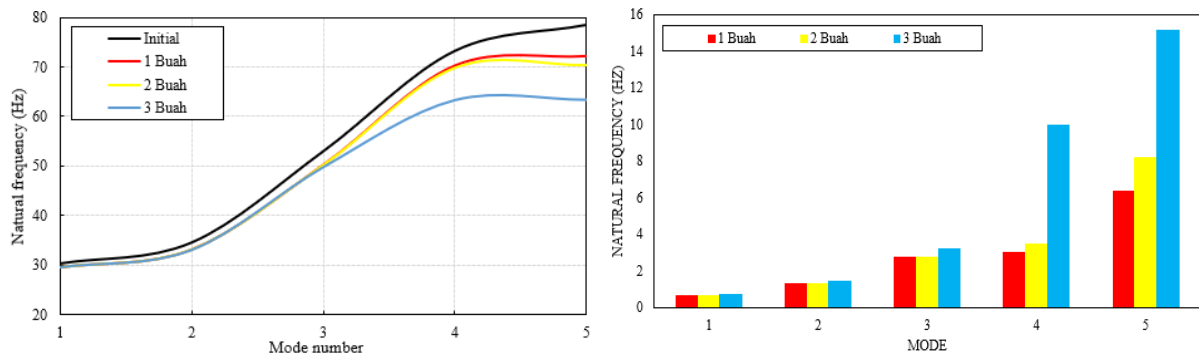
Selanjutnya analisis dilakukan pada pemodelan dengan pengaplikasian *spring element* dikarenakan hasil pemodelan tanpa pengaplikasian *spring element* dianggap kurang akurat. Grafik pada Gambar 4.11 menunjukkan bahwa adanya kerusakan *debonding* mengakibatkan penurunan natural frekuensi pada seluruh mode. Pada mode pertama, penurunan nilai natural frekuensi relatif kecil untuk ketiga variasi model dengan rasio kerusakan. Seiring bertambah besarnya mode, penurunan nilai natural frekuensi semakin besar. Terjadi penurunan nilai natural frekuensi yang besar pada mode tinggi. Hal ini dapat diartikan bahwa penurunan natural frekuensi pada mode tinggi lebih sensitif. Penurunan nilai natural frekuensi untuk variasi rasio mencapai angka tertinggi pada mode ke-5 dengan kerusakan *debonding* 7,5%. Penurunan frekuensi secara signifikan terjadi pada rasio kerusakan *debonding* 7,5% terhadap model *sandwich* yang sehat dengan range 0,693 Hz sampai 21,299 Hz. Untuk rasio kerusakan *debonding* sebesar 2,5% dan 5% juga terjadi penurunan nilai natural frekuensi, namun tidak terlalu ekstrim. Dari data tersebut dapat dilihat bahwa semakin besar rasio kerusakan, semakin besar pula penurunan nilai natural frekuensi. Penurunan natural frekuensi menyebabkan kekakuan suatu struktur juga turun. Sehingga semakin besar rasio kerusakan *debonding* pada konstruksi *ramp door sandwich*, mengakibatkan kekakuan konstruksi yang semakin rendah.

4.4. Pengaruh Jumlah Kerusakan *Debonding* terhadap Respon Dinamis

Analisis dampak jumlah kerusakan *debonding* terhadap respon dinamis juga dilakukan. Pemodelan kerusakan *debonding* berbentuk persegi dengan rasio luas kerusakan sebesar 5% untuk tiap buah kerusakan *debonding* dari total luas *core material sandwich* dan dimensi kerusakan *debonding* tampak seperti pada Gambar 3.20. Metode analisis yang dilakukan sama seperti yang dilakukan pada analisis dampak rasio kerusakan *debonding*. Untuk pemodelan dengan pengaplikasian *spring element*, data hasil analisis respon dinamis tertera pada Tabel 4.3, dan diilustrasikan dengan grafik pada Gambar 4.13. Sedangkan pemodelan tanpa pengaplikasian *spring element* data hasil analisis tertera pada Tabel 4.4, dan disajikan dalam bentuk grafik seperti pada Gambar 4.14.

Tabel 4.3 Data hasil simulasi respon dinamis untuk variasi jumlah kerusakan *debonding* pemodelan dengan pengaplikasian *spring element*.

Mode	Nilai Natural Frekuensi (Hz)				Penurunan Natural Frekuensi (Hz)		
	Initial	1 buah	2 buah	3 buah	1 buah	2 buah	3 buah
1	30.289	29.637	29.633	29.580	0.652	0.656	0.709
2	34.519	33.196	33.189	33.082	1.323	1.330	1.437
3	52.979	50.257	50.202	49.796	2.722	2.777	3.183
4	73.297	70.275	69.820	63.358	3.022	3.477	9.939
5	78.571	72.188	70.367	63.421	6.383	8.204	15.150

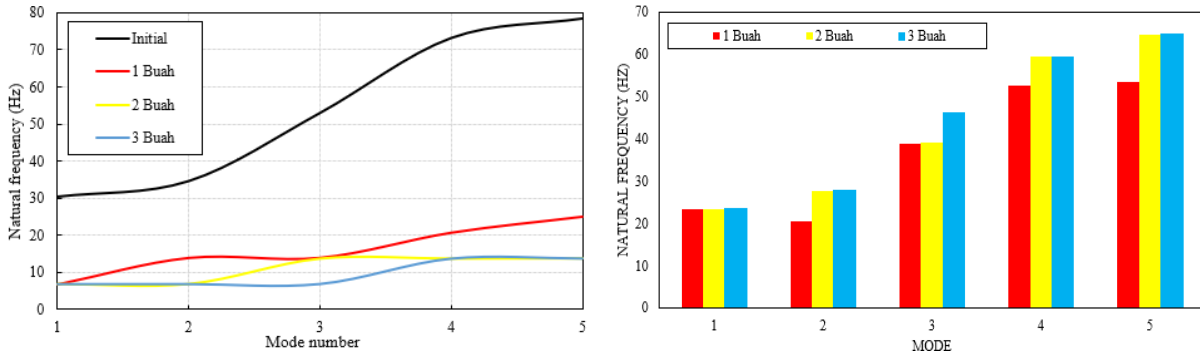


Gambar 4.13 (kiri) perbandingan nilai natural frekuensi, dan (kanan) penurunan nilai natural frekuensi untuk variasi jumlah kerusakan *debonding* pemodelan dengan pengaplikasian *spring element*.

Tabel 4.4 Data hasil simulasi respon dinamis untuk variasi jumlah kerusakan *debonding* pemodelan tanpa pengaplikasian *spring element*.

Mode	Nilai Natural Frekuensi (Hz)				Penurunan Natural Frekuensi (Hz)		
	Initial	1 buah	2 buah	3 buah	1 buah	2 buah	3 buah
1	30.289	6.861	6.818	6.812	23.428	23.471	23.477
2	34.519	13.977	6.819	6.823	20.543	27.700	27.696

3	52.979	13.997	13.853	6.844	38.982	39.126	46.135
4	73.297	20.733	13.855	13.858	52.564	59.442	59.439
5	78.571	25.022	13.923	13.888	53.549	64.648	64.683



Gambar 4.14 (kiri) perbandingan nilai natural frekuensi, dan (kanan) penurunan nilai natural frekuensi untuk variasi jumlah kerusakan *debonding* pemodelan tanpa pengaplikasian *spring element*.

Kerusakan berupa *debonding* menyebabkan penurunan natural frekuensi pada pemodelan dengan pengaplikasian *spring element* maupun tanpa pengaplikasian *spring element*. Analisis variasi jumlah kerusakan *debonding* antara model dengan dan tanpa pengaplikasian *spring element* menunjukkan hasil yang mirip dengan hasil analisis variasi rasio kerusakan *debonding* terkait perbedaan penurunan nilai natural frekuensi. Pada pemodelan dengan pengaplikasian *spring element* mengalami penurunan nilai natural frekuensi pada rentang 0,625 Hz sampai 15,150 Hz. Sedangkan untuk pemodelan tanpa pengaplikasian *spring element* mengalami penurunan nilai natural frekuensi pada rentang 23,428 Hz sampai 64,683 Hz. Hal ini menunjukkan penurunan nilai frekuensi yang sangat besar pada pemodelan tanpa pengaplikasian *spring element*. Sehingga mempertegas bahwa pemodelan tanpa pengaplikasian *spring element* pada konstruksi *ramp door sandwich* menunjukkan hasil yang kurang sesuai dengan kondisi sebenarnya.

Untuk setiap variasi jumlah kerusakan menunjukkan tren penurunan nilai natural frekuensi yang semakin besar pada mode tinggi. Pada mode rendah penurunan nilai natural frekuensi tidak begitu signifikan. Pada mode 3 rentang nilai penurunan natural frekuensi hanya terpaut 0,461 Hz antara model *sandwich* dengan jumlah kerusakan 1 dan 3 buah. Sedangkan pada mode 5, rentang nilai penurunan natural frekuensi terpaut sampai 8,767 Hz untuk kedua model tersebut. Hal ini menunjukkan bahwa penurunan nilai frekuensi natural pada konstruksi *ramp door sandwich* sensitif pada mode tinggi.

Pada Gambar 4.13 menunjukkan bahwa kerusakan *debonding* mempengaruhi penurunan nilai frekuensi natural konstruksi model *sandwich*. Penurunan natural frekuensi

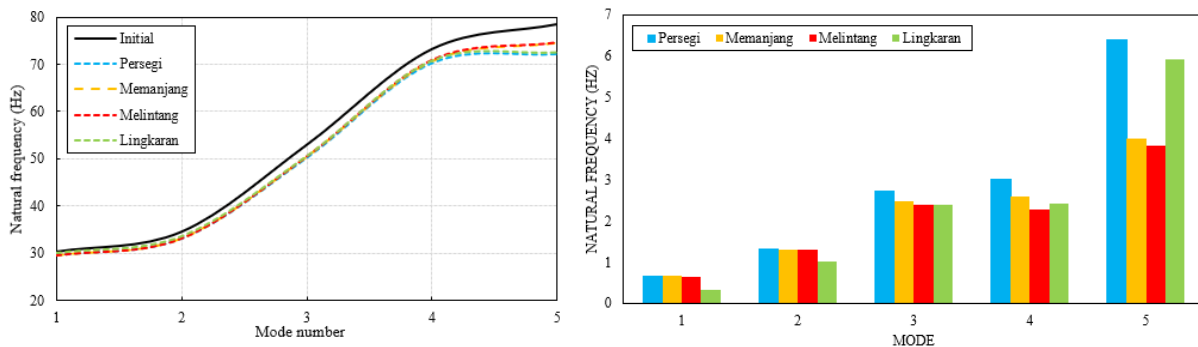
semakin besar seiring bertambahnya jumlah kerusakan *debonding*. Hal ini disebabkan bertambahnya jumlah kerusakan *debonding* diikuti dengan bertambahnya luasan rasio kerusakan *debonding*. Satu buah kerusakan *debonding* mempunyai rasio kerusakan *debonding* sebesar 5%, Dua buah kerusakan *debonding* mempunyai rasio kerusakan *debonding* 10%, dan tiga buah kerusakan *debonding* mempunyai rasio kerusakan *debonding* sebesar 15%. Hasil dari data tersebut selaras dengan hasil analisis pada sub bab sebelumnya. Sehingga semakin besar jumlah kerusakan *debonding* yang diikuti dengan bertambah besarnya rasio kerusakan *debonding* menyebabkan penurunan nilai natural frekuensi yang semakin besar. Penurunan natural frekuensi menyebabkan kekakuan suatu struktur juga turun. Sehingga semakin banyak jumlah kerusakan *debonding* pada konstruksi *ramp door sandwich*, mengakibatkan kekakuan konstruksi yang semakin rendah.

4.5. Pengaruh Bentuk Kerusakan *Debonding* terhadap Respon Dinamis

Analisis dampak bentuk kerusakan *debonding* dilakukan dengan rasio kerusakan yang sama yaitu sebesar 5% untuk berbagai macam bentuk kerusakan *debonding*. Bentuk dan dimensi yang sesuai dengan keterangan di Tabel 3.5 dan Gambar 3.21 pada bab sebelumnya. Metode yang digunakan pada analisis ini sama dengan metode analisis pada dua sub bab sebelumnya. Hasil dari analisis dampak bentuk kerusakan *debonding* ditampilkan pada Gambar 4.15 dengan rincian data pada Tabel 4.5 untuk pemodelan dengan pengaplikasian *spring element*, sedangkan untuk pemodelan tanpa pengaplikasian *spring element* tampak seperti pada Gambar 4.16, sedangkan untuk detail data hasil simulasi dapat dilihat pada Tabel 4.6.

Tabel 4.5 Data hasil simulasi respon dinamis untuk variasi bentuk kerusakan *debonding* pemodelan dengan pengaplikasian *spring element*.

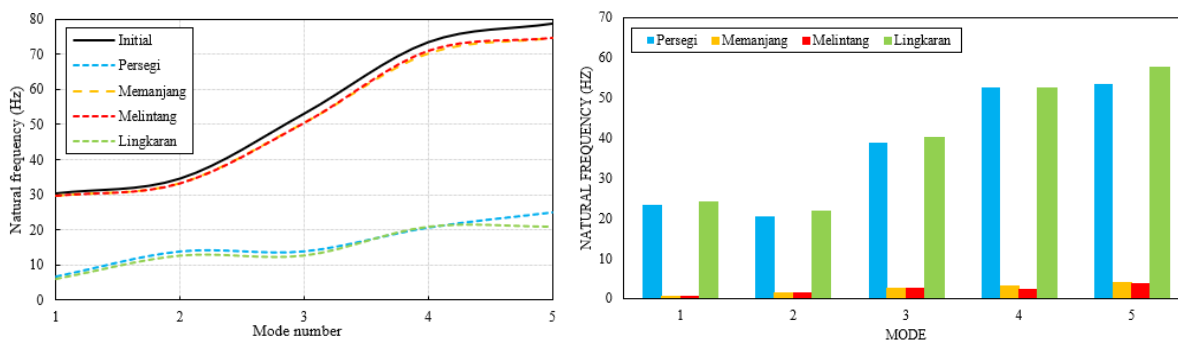
Mode	Nilai Natural Frekuensi (Hz)					Penurunan Natural Frekuensi (Hz)			
	Initial	Persegi	Memanjang	Melintang	Lingkaran	Persegi	Memanjang	Melintang	Lingkaran
1	30.289	29.637	29.631	29.652	29.962	0.652	0.658	0.637	0.327
2	34.519	33.196	33.214	33.225	33.507	1.323	1.305	1.294	1.012
3	52.979	50.257	50.504	50.589	50.575	2.722	2.475	2.390	2.404
4	73.297	70.275	70.703	71.019	70.881	3.022	2.594	2.278	2.416
5	78.571	72.188	74.573	74.738	72.647	6.383	3.998	3.833	5.924



Gambar 4.15 (kiri) perbandingan nilai natural frekuensi, dan (kanan) penurunan nilai natural frekuensi untuk variasi bentuk kerusakan *debonding* pemodelan dengan pengaplikasian *spring element*.

Tabel 4.6 Data hasil simulasi respon dinamis untuk variasi bentuk kerusakan *debonding* pemodelan tanpa pengaplikasian *spring element*.

Mode	Nilai Natural Frekuensi (Hz)					Penurunan Natural Frekuensi (Hz)			
	Initial	Persegi	Memanjang	Melintang	Lingkaran	Persegi	Memanjang	Melintang	Lingkaran
1	30.289	6.861	29.626	29.632	6.105	23.428	0.663	0.658	24.184
2	34.519	13.977	33.214	33.192	12.698	20.543	1.305	1.327	21.821
3	52.979	13.997	50.423	50.451	12.719	38.982	2.556	2.528	40.260
4	73.297	20.733	70.140	71.013	20.860	52.564	3.157	2.284	52.437
5	78.571	25.022	74.573	74.727	20.869	53.549	3.998	3.844	57.702



Gambar 4.16 (kiri) perbandingan nilai natural frekuensi, dan (kanan) penurunan nilai natural frekuensi untuk variasi bentuk kerusakan *debonding* pemodelan tanpa pengaplikasian *spring element*.

Pada seluruh model yang mengalami kerusakan *debonding* menyebabkan penurunan natural frekuensi terhadap model yang sehat. Hal ini terjadi pada pemodelan dengan dan tanpa pengaplikasian *spring element*. Grafik bentuk melintang dan memanjang pada pemodelan tanpa pengaplikasian *spring element* menunjukkan nilai natural frekuensi hampir yang sama dengan pemodelan dengan pengaplikasian *spring element*. Namun pada bentuk lingkaran dan persegi menunjukkan penurunan nilai natural frekuensi yang sangat tinggi sehingga hasil analisis perlu ditinjau ulang dengan mengaplikasikan *spring element* pada model *sandwich*. Hal ini disebabkan zona kerusakan *debonding* pada bentuk melintang dan memanjang tidak bersifat lokal. Sehingga pengaruh pemodelan dengan menggunakan *spring element* pada bentuk tersebut tidak terlalu signifikan.

Gambar 4.15 menunjukkan bahwa penurunan nilai natural frekuensi pada variasi bentuk kerusakan *debonding* tidak signifikan untuk setiap model. Penurunan nilai frekuensi yang cukup besar baru bisa terlihat pada mode ke 5. Pada fenomena ini menunjukkan bahwa penurunan nilai natural frekuensi lebih sensitif pada mode tinggi. Itupun hanya terjadi pada bentuk persegi dan lingkaran. Hal ini disebabkan kerusakan *debonding* berbentuk lingkaran dan persegi bersifat lokal. Dengan rasio kerusakan yang sama, bentuk kerusakan *debonding* yang bersifat lokal mengalami penurunan nilai natural frekuensi yang lebih besar. Penurunan natural frekuensi menyebabkan kekakuan suatu struktur juga turun. Sehingga dengan besar rasio kerusakan *debonding* sama, bentuk kerusakan *debonding* yang bersifat lokal pada konstruksi *ramp door sandwich* memiliki kekakuan konstruksi yang lebih rendah.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Bedasarkan pengujian yang telah dilakukan, kesimpulan yang didapatkan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Kerusakan berupa *debonding* mengakibatkan penurunan nilai natural frekuensi pada suatu konstruksi. Mode 5 merupakan mode yang paling sensitif terhadap penurunan nilai natural frekuensi. Pada mode 5 nilai natural frekuensi konstruksi *ramp door sandwich* dengan rasio kerusakan *debonding* sebesar 2,5% adalah 74,529 Hz dengan penurunan sebesar 3,979 Hz terhadap konstruksi *sandwich* yang sehat. Rasio kerusakan *debonding* sebesar 5% memiliki nilai natural frekuensi 72,188 Hz dengan penurunan sebesar 6,383 Hz terhadap konstruksi *sandwich* yang sehat. Rasio kerusakan *debonding* sebesar 7,5% memiliki nilai natural frekuensi 57,272 Hz dengan penurunan sebesar 21,299 Hz terhadap konstruksi *sandwich* yang sehat. Nilai natural frekuensi pada konstruksi yang mengalami kerusakan *debonding* semakin rendah seiring bertambahnya besar rasio kerusakan *debonding*. Semakin besar rasio kerusakan *debonding*, semakin besar juga penurunan nilai natural frekuensi pada konstruksi *rampdoor sandwich* yang menyebabkan menurunnya kekakuan konstruksi tersebut.
2. Jumlah kerusakan *debonding* mempengaruhi nilai natural frekuensi. Penurunan nilai natural frekuensi paling sensitif pada mode 5. Pada mode 5 nilai natural frekuensi konstruksi *ramp door sandwich* dengan dengan jumlah kerusakan *debonding* sebanyak 1 buah adalah 72,188 Hz dengan penurunan sebesar 6,383 Hz terhadap konstruksi *sandwich* yang sehat. Jumlah kerusakan *debonding* sebanyak 2 buah memiliki nilai natural frekuensi 70,367 Hz dengan penurunan sebesar 8,204 Hz terhadap konstruksi *sandwich* yang sehat. Jumlah kerusakan *debonding* sebanyak 3 buah memiliki nilai natural frekuensi 63, 421 Hz dengan penurunan sebesar 15,150 Hz terhadap konstruksi *sandwich* yang sehat. Nilai natural frekuensi pada konstruksi yang mengalami kerusakan *debonding* semakin rendah seiring bertambahnya jumlah kerusakan *debonding*. Semakin banyak jumlah kerusakan *debonding*, semakin besar juga penurunan nilai natural frekuensi pada konstruksi *rampdoor sandwich* yang menyebabkan menurunnya kekakuan konstruksi tersebut.

3. Bentuk kerusakan *debonding* mempengaruhi terhadap penurunan nilai natural frekuensi pada konstruksi. Pada mode 5 menunjukkan hasil yang paling sensitif terhadap penurunan nilai natural frekuensi. Pada mode 5 nilai natural frekuensi konstruksi *ramp door sandwich* dengan kerusakan *debonding* berbentuk persegi adalah 72,188 Hz dengan penurunan sebesar 6,383 Hz terhadap konstruksi *sandwich* yang sehat. Untuk kerusakan *debonding* berbentuk memanjang memiliki nilai natural frekuensi 74,573 Hz dengan penurunan sebesar 3,998 Hz terhadap konstruksi *sandwich* yang sehat. Untuk kerusakan *debonding* berbentuk melintang memiliki nilai natural frekuensi 74,738 Hz dengan penurunan sebesar 3,833 Hz terhadap konstruksi *sandwich* yang sehat. Untuk kerusakan *debonding* berbentuk lingkaran memiliki nilai natural frekuensi 72,647 Hz dengan penurunan sebesar 5,924 Hz terhadap konstruksi *sandwich* yang sehat. Bentuk kerusakan yang bersifat lokal mengalami penurunan natural frekuensi yang lebih besar. Dengan rasio luas kerusakan *debonding* yang sama, bentuk kerusakan yang bersifat lokal memiliki kekakuan yang lebih rendah daripada bentuk kerusakan yang bersifat non-lokal.
4. Pemodelan konstruksi *sandwich* tanpa pengaplikasian *spring element* menunjukkan hasil pengurangan nilai natural frekuensi yang sangat besar pada kerusakan *debonding* yang bersifat lokal. Sehingga hasil tersebut tidak dapat dijadikan acuan karena pada tahap pemodelan tanpa *spring element*, interaksi antar lapisan *face plate* dan *core* terabaikan. Pada bentuk kerusakan *debonding* yang bersifat non-lokal tidak menunjukkan perbedaan nilai natural frekuensi yang signifikan antara pemodelan dengan dan tanpa pengaplikasian *spring element*. Oleh karena itu konstruksi yang mengalami kerusakan berupa *debonding* direkomendasikan untuk menggunakan pengaplikasian *spring element* pada proses pemodelannya.

5.2. Saran

Bedasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, maka berikut adalah beberapa saran yang dapat dilakukan untuk menunjang penelitian selanjutnya adalah:

1. Analisis lebih lanjut terhadap respon dinamis pada konstruksi *ramp door* kapal penumpang. Karena pada penelitian ini hanya dianalisis respon dinamis berupa natural frekuensinya saja. Analisis respon dinamis seperti *modal dynamic* dan *steady state vibration analysis* sangat direkomendasikan untuk diteliti lebih lanjut.

2. Perlu dilakukan adanya alternatif metode lebih lanjut untuk mendeteksi adanya kerusakan *debonding* pada material *sandwich*. Hal ini disebabkan kondisi dari material *sandwich* yang tidak dapat diperiksa secara langsung (*visual test*).

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR PUSTAKA

- Abdullah, K., Zubaydi, A. & Budipriyanto, A., 2017. *Development of Sandwich Panel with Core from Clamshell Powder for Ship Structure*. Surabaya, Indonesia, Proceeding SENTA pp. 59-67 Faculty of Marine Technology, ITS.
- Baidowi, A., Utomo, E., D.K., F. & Indria, H., 2015. Penggunaan Sandwich Plate System (SPS) Pada Konstruksi Inner Bottom.
- Brooking, M. & Kennedy, S., 2004. *The Performance, Safety, and Production Benefits of SPS Structures for Double Hull Tankers*. s.l., Proceedings of the RINA Conference on Double Hull Tankers, London, UK.
- Budipriyanto, A; Haddara, M.R.; Swamidas, A S.J, 2007. Identification Of Damage On Ship'S Cross Stiffened Plate Panels Using Vibration Response. *Ocean Engineering*, Volume 34, 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*, Volume 45, pp. 959-968.
- Burlayenko, V. & Sadowski, T., 2011. *Numerical Modelling of Sandwich Plates with Partially Debonded Skin-to-Core Interface for Damage Detection*. s.l., in Proceedings of the 8th International Conference on Structural Dynamics EUROLYN 2011.
- Burlayenko, V. & Sadowski, T., 2018. Linear and Nonlinear Dynamic Analyses of Sandwich Panels with Face Sheet-to-Core Debonding. *Shock and Vibration*, Volume 2018.
- Carlsson, L. & Kardomateas, G., 2011. *Structural and Failure Mechanics of Sandwich Composites*. The Netherlands: Kluwer Academic Pub.
- Diwantara, H., 2019. *Analissi Kekuatan Rectangular O-Core Sandwich Panel Pada Rampdoor Kapal Menggunakan Metode Elemen Hingga*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Javanovic, M. et al., 2012. Experimental Determination Of Damaged Location On Thin Plate Using Frequency Measurement. *5th International Scientific Conference on Defensive Technologies OTEH 2012*.
- Kim, H. Y. & Hwang, W., 2002. Effect of debonding on natural frequencies and frequency response functions of honeycomb sandwich beams. *Computer and Structures*.
- Lloyd's Register, 2015. *Provisional Rules for the Application of Sandwich Panel Construction to Ship Structure*. s.l.:s.n.
- Maulidiya, S. & Rusli, 2017. Penentuan Frekuensi Natural dan Arah Pergerakan Gelombang (Studi Kasus: Jembatan Soekarno Hatta Kota Malang).

- Momcilovic, N. & Motok, M., 2009. *Estimation of Ship Lightweight Reduction by Means of Application of Sandwich Plate System*. Belgrade: Faculty of Mechanical Engineering, University of Belgrade, Serbia.
- 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.
- Tuswan, Kharis, A., Zubaydi, A. & Budipriyanto, A., 2019. Finite-element Analysis for Structural Strength Assessment of Marine Sandwich Material on Ship Side Shell Structure. *The 6th International Conference on Advanced Materials Science and Technology 2018, 6th ICAMST*.
- Tuswan, et al., 2020. *Influence of application of sandwich panel on static and dynamic behavior of ferry ro-ro ramp door..* Malang, (to be presented).
- Tuswan, Zubaydi, A., Budipriyanto, A. & Sujiatanti, S. H., 2019. *Comparative Study On Ferry Ro-Ro'S Car Deck Structural Strength By Means Of Application Of Sandwich Materials*. Surabaya, Proceeding of The 3rd International Conference on Marine Technology (SENTA) 2018.
- Winahyu, I. H., 2017. *Analisis Kerusakan Material Sandwich Panel Pada Konstruksi Kapal Menggunakan Getaran*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

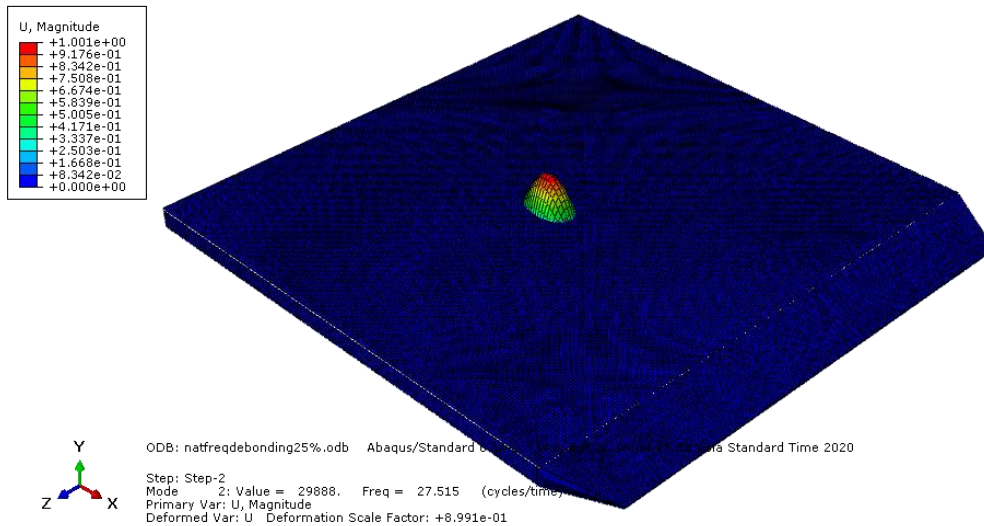
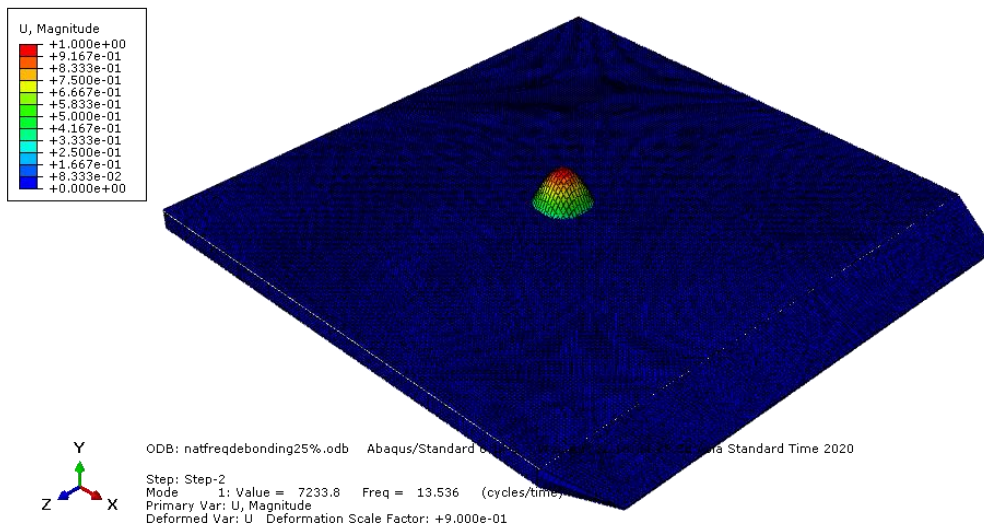
LAMPIRAN

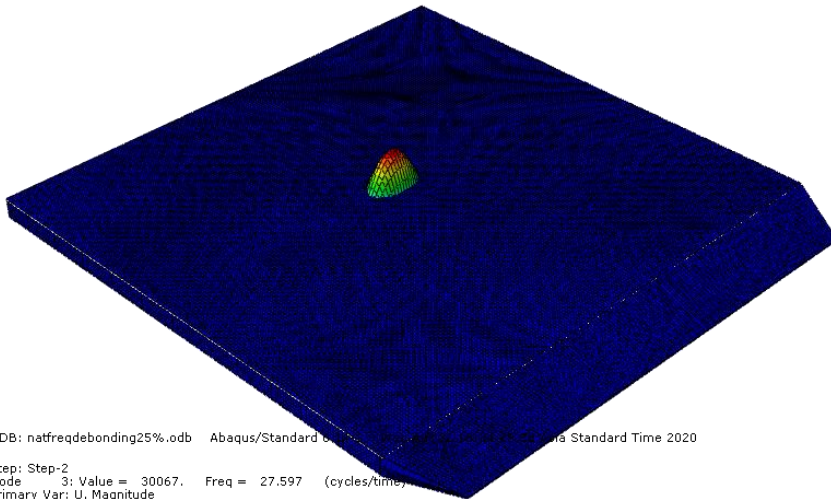
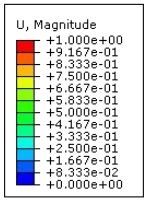
- Lampiran A Gambar Hasil Simulasi Numerik Variasi Rasio Kerusakan *Debonding*
- Lampiran B Gambar Hasil Simulasi Numerik Variasi Jumlah Kerusakan *Debonding*
- Lampiran C Gambar Hasil Simulasi Numerik Variasi Bentuk Kerusakan *Debonding*

LAMPIRAN A

GAMBAR HASIL SIMULASI NUMERIK VARIASI RASIO KERUSAKAN *DEBONDING*

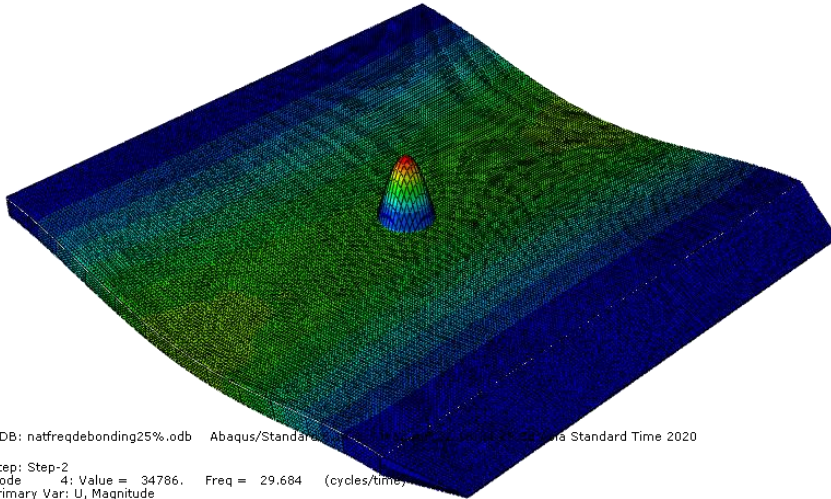
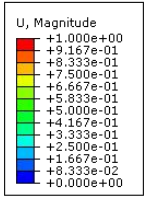
A. Rasio Kerusakan *Debonding* 2,5% Tanpa *Spring Element*





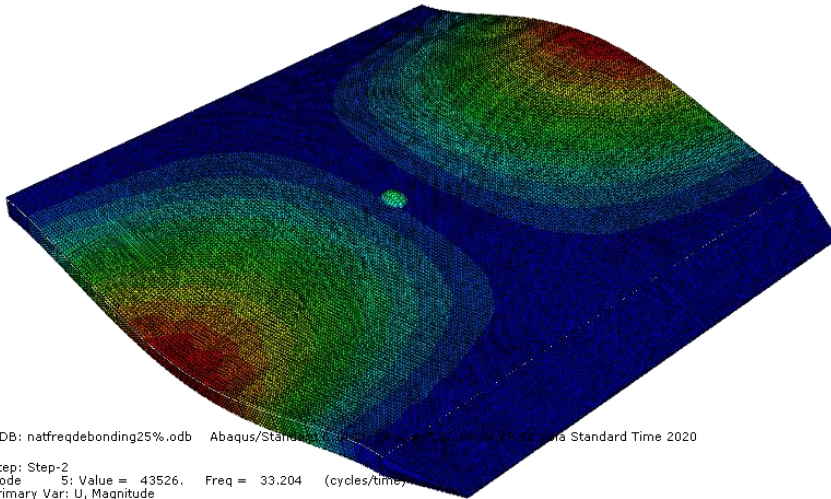
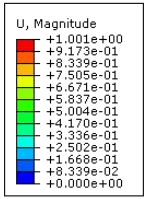
ODB: natfreqdebonding25%.odb Abaqus/Standard Analysis Results: natfreqdebonding25%.odb Standard Time 2020

Step: Step-2
 Mode: 3; Value = 30067. Freq = 27.597 (cycles/time)
 Primary Var: U, Magnitude
 Deformed Var: U Deformation Scale Factor: +9.000e-01



ODB: natfreqdebonding25%.odb Abaqus/Standard Analysis Results: natfreqdebonding25%.odb Standard Time 2020

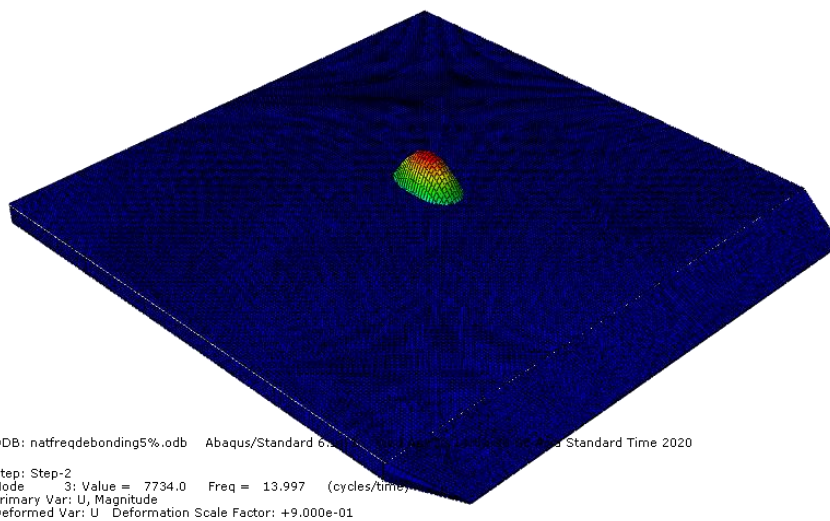
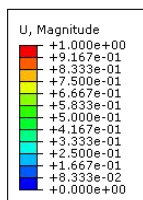
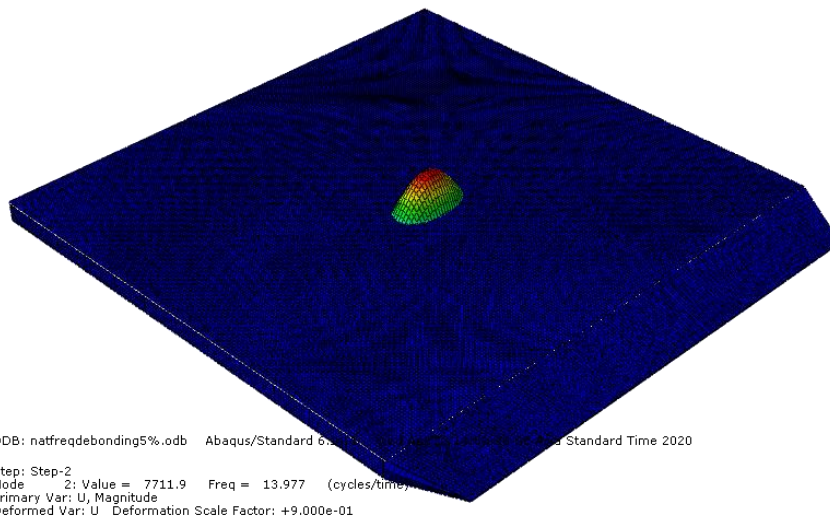
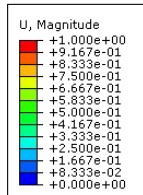
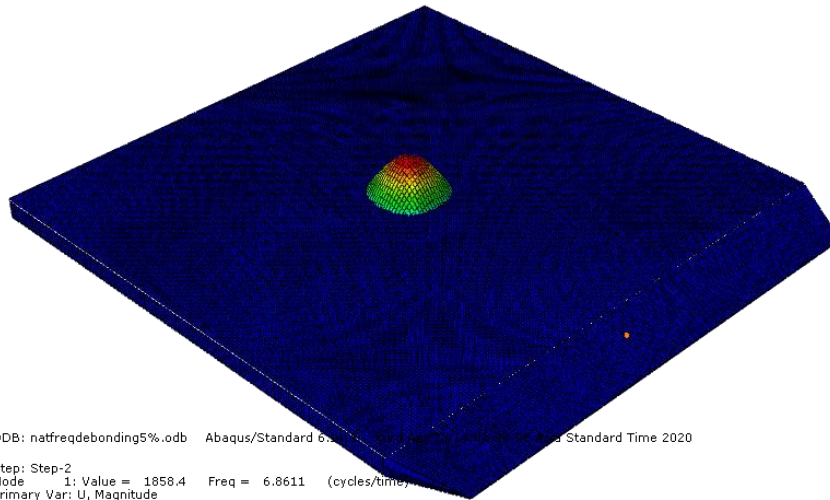
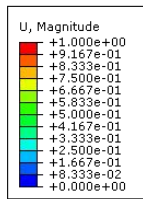
Step: Step-2
 Mode: 4; Value = 34786. Freq = 29.684 (cycles/time)
 Primary Var: U, Magnitude
 Deformed Var: U Deformation Scale Factor: +9.000e-01

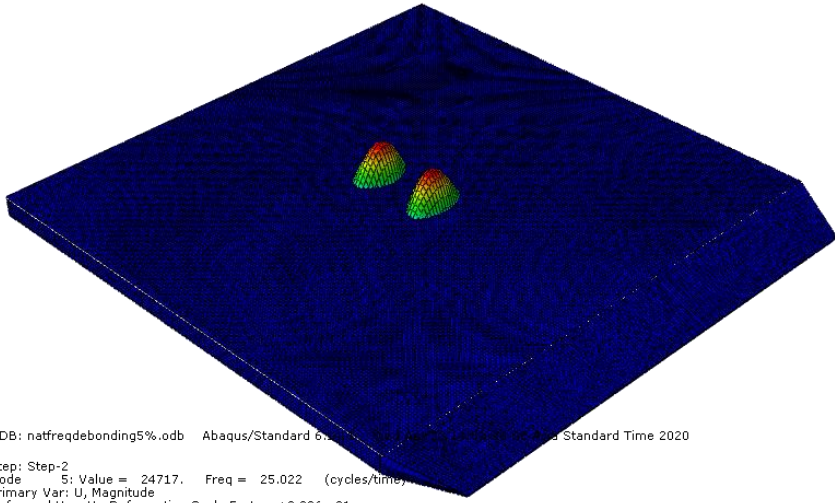
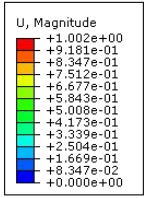
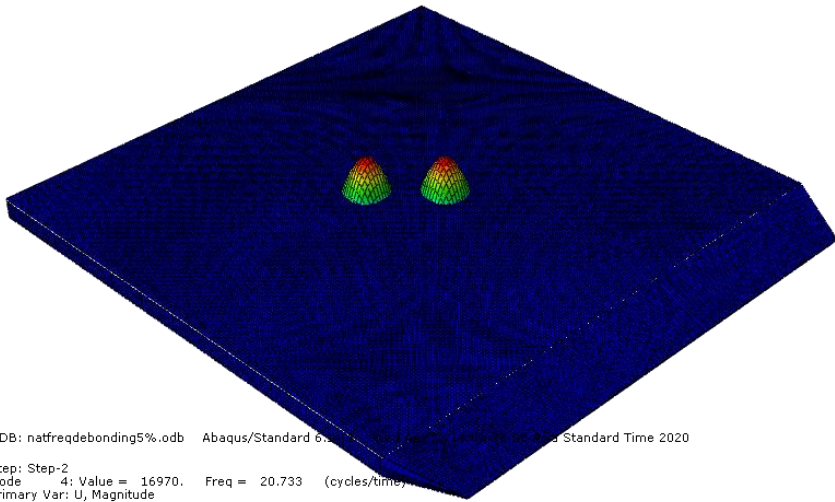
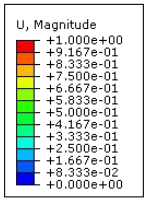


ODB: natfreqdebonding25%.odb Abaqus/Standard Analysis Results: natfreqdebonding25%.odb Standard Time 2020

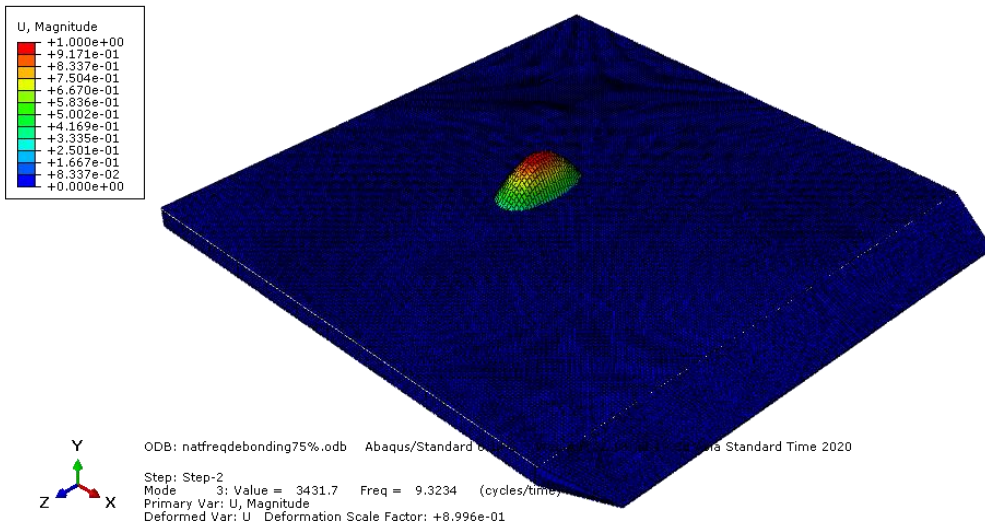
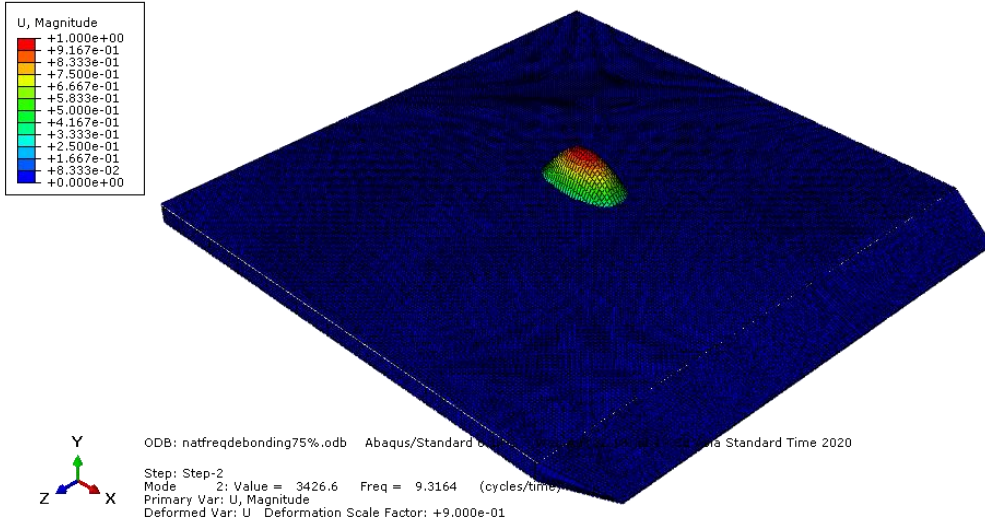
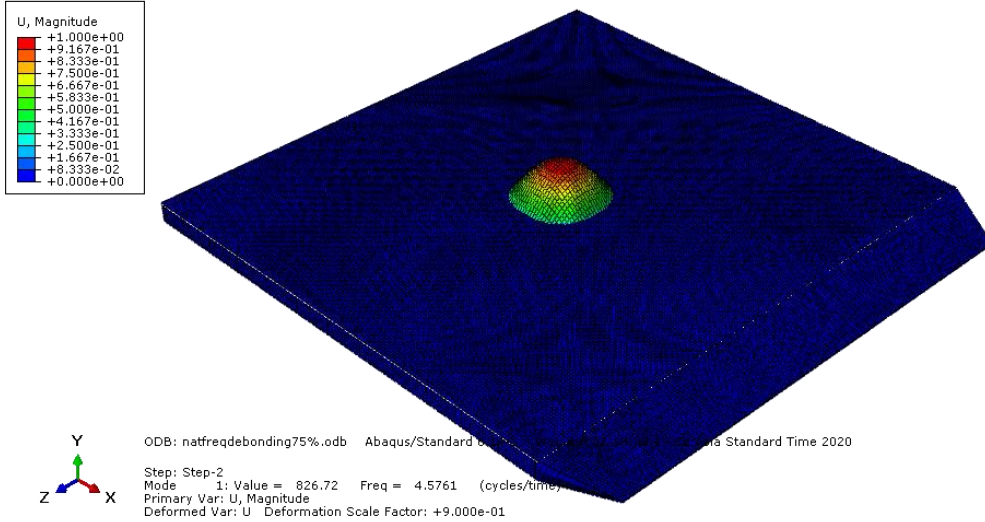
Step: Step-2
 Mode: 5; Value = 43526. Freq = 33.204 (cycles/time)
 Primary Var: U, Magnitude
 Deformed Var: U Deformation Scale Factor: +9.000e-01

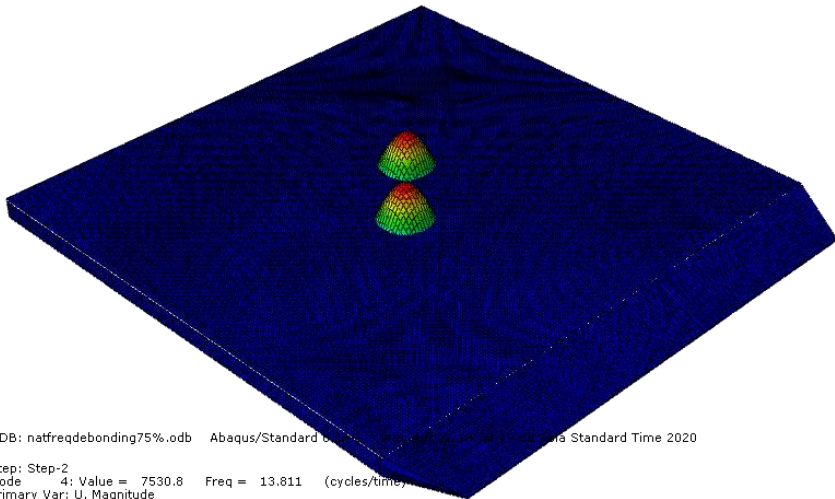
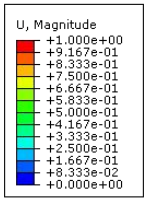
B. Rasio Kerusakan *Debonding* 5% Tanpa *Spring Element*





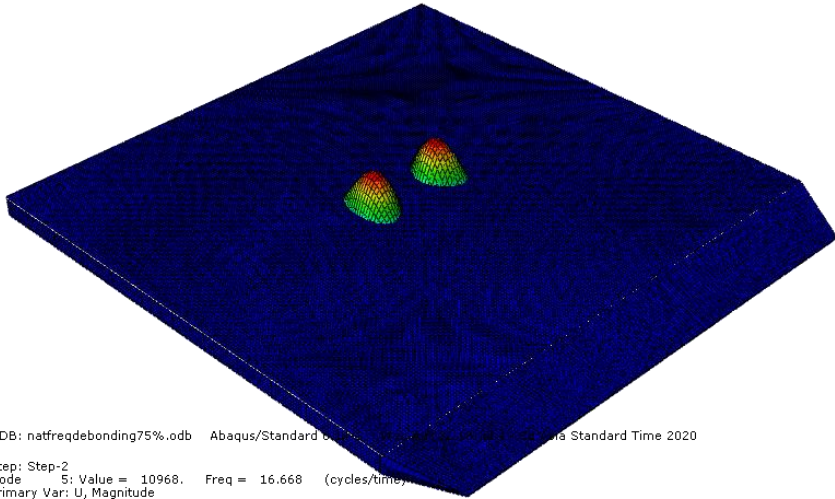
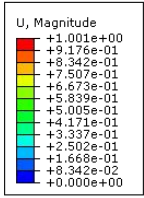
C. Rasio Kerusakan *Debonding* 7,5% Tanpa *Spring Element*





ODB: natfreqdebonding75%.odb Abaqus/Standard 6.14-1 2014/04/24 10:00:00 AM Abaqus/Standard Time 2020

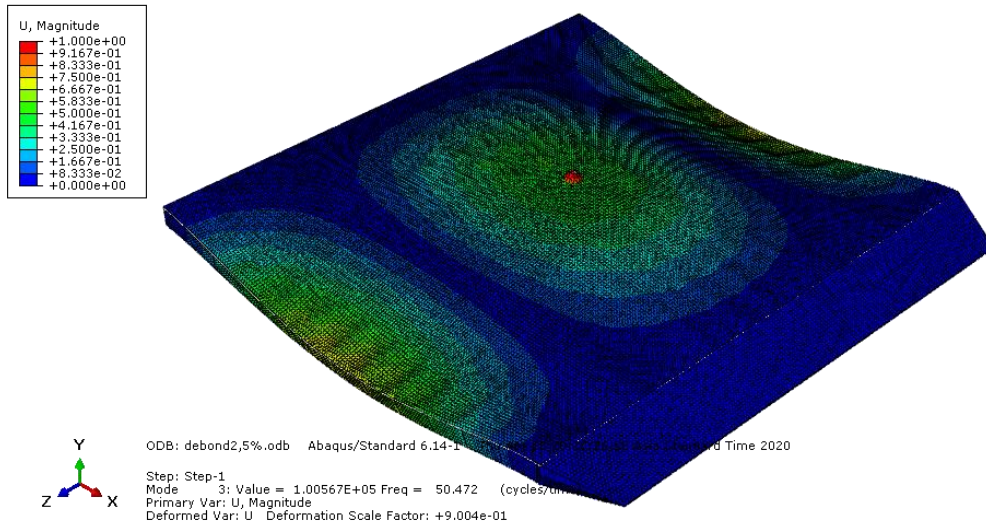
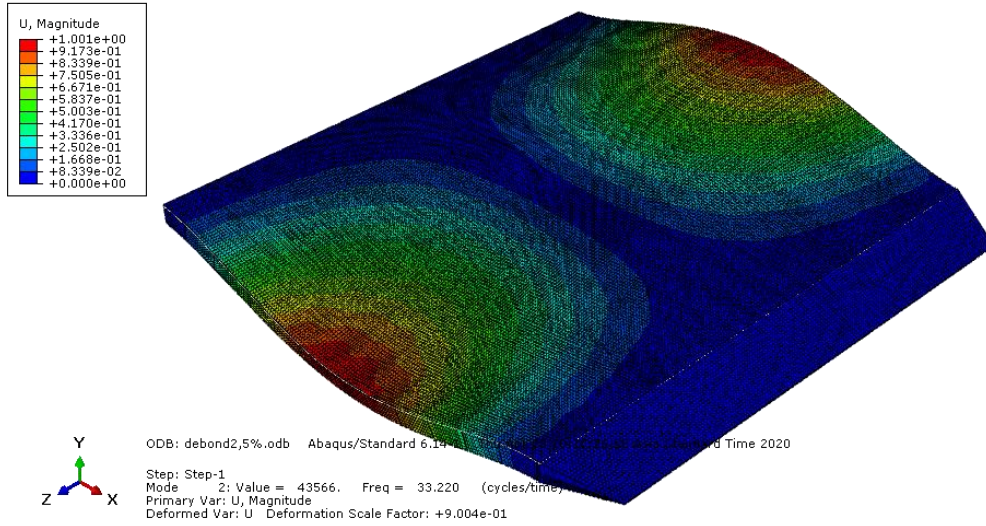
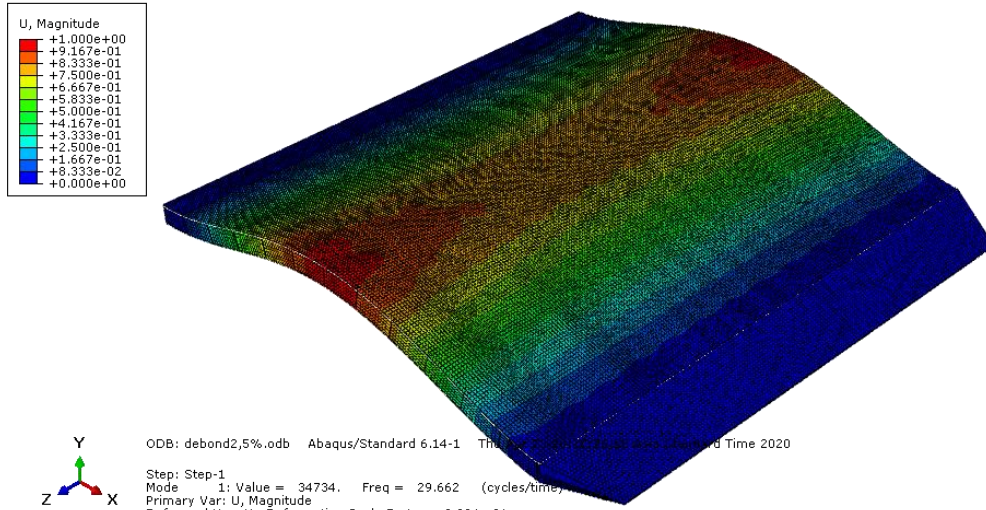
Step: Step-2
 Mode 4: Value = 7530.8 Freq = 13.811 (cycles/time)
 Primary Var: U, Magnitude
 Deformed Var: U Deformation Scale Factor: +9.000e-01

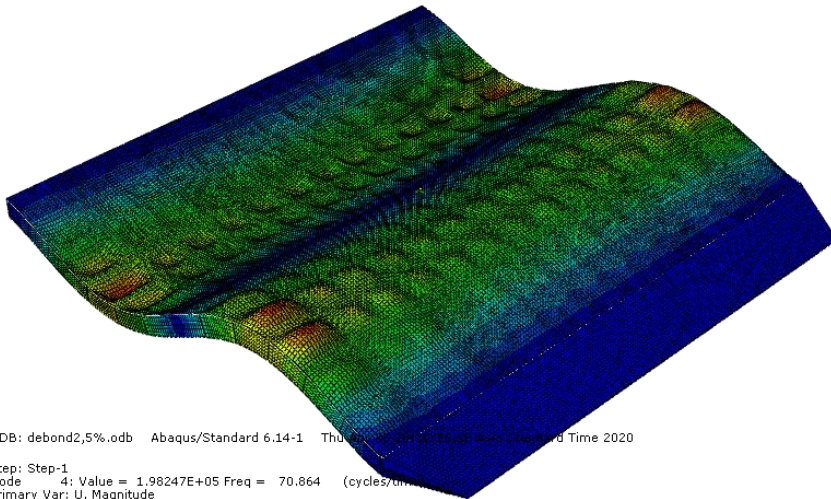
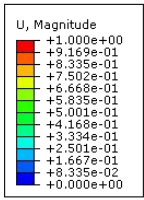


ODB: natfreqdebonding75%.odb Abaqus/Standard 6.14-1 2014/04/24 10:00:00 AM Abaqus/Standard Time 2020

Step: Step-2
 Mode 5: Value = 10968. Freq = 16.668 (cycles/time)
 Primary Var: U, Magnitude
 Deformed Var: U Deformation Scale Factor: +8.991e-01

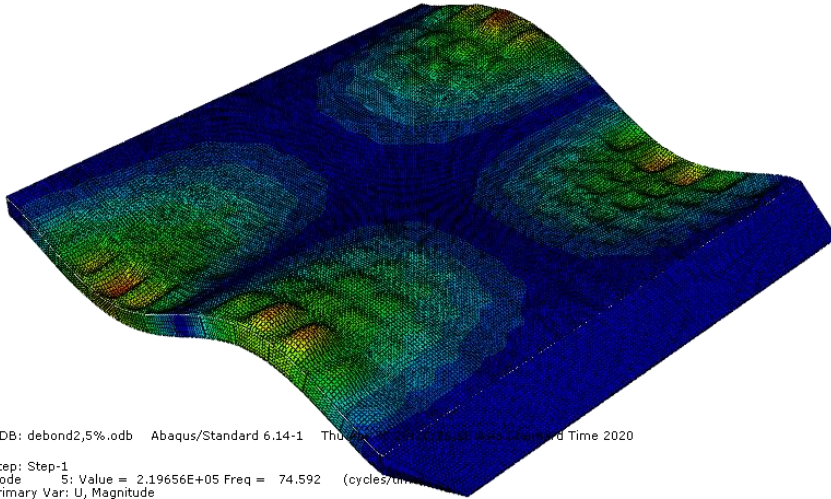
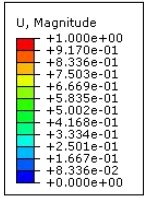
D. Rasio Kerusakan *Debonding* 2,5% Dengan *Spring Element*





ODB: debond2,5%.odb Abaqus/Standard 6.14-1 Thu Aug 01 10:27:20 AM CEST 2020

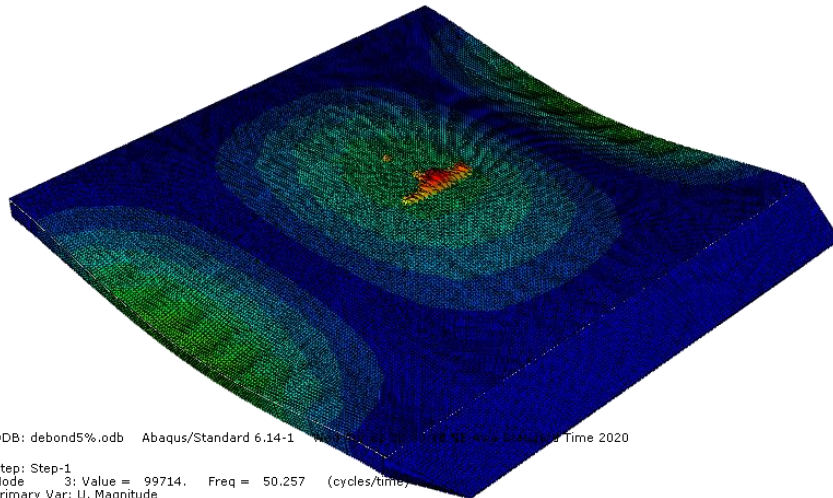
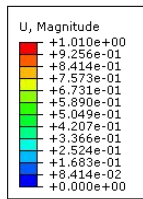
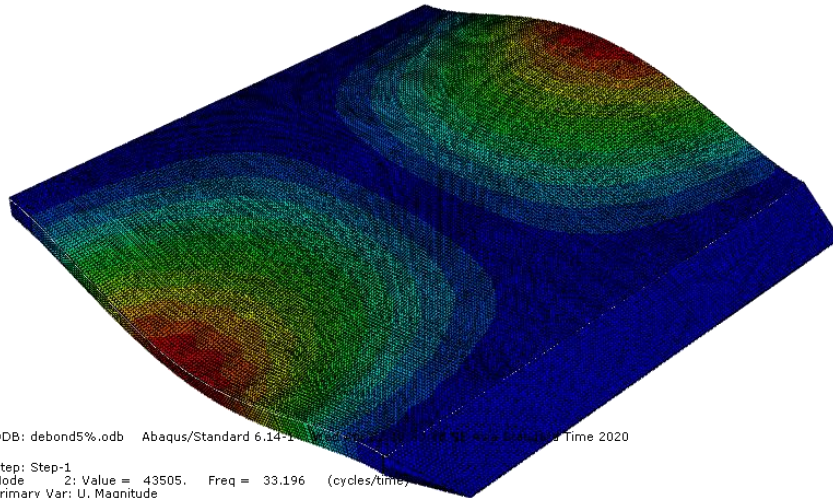
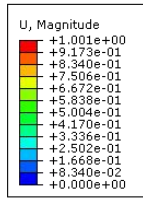
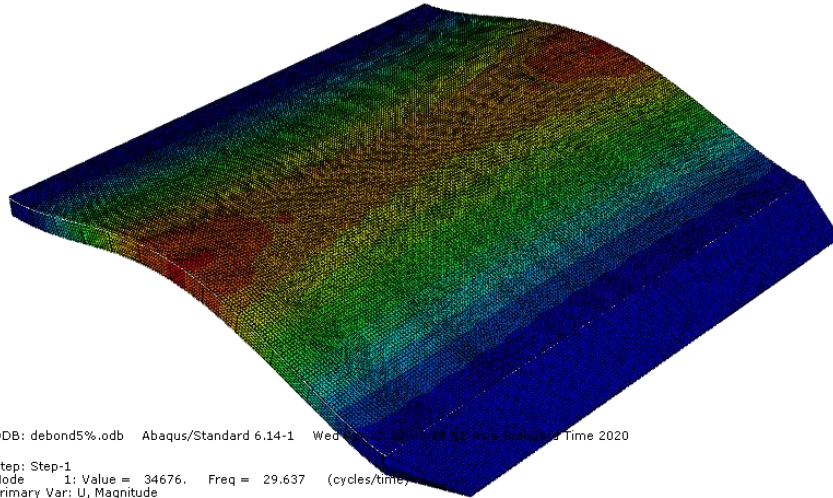
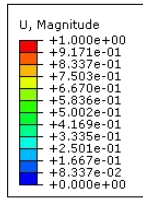
Step: Step-1
 Mode 4: Value = 1.98247E+05 Freq = 70.864 (cycles/unit)
 Primary Var: U, Magnitude
 Deformed Var: U Deformation Scale Factor: +9.004e-01

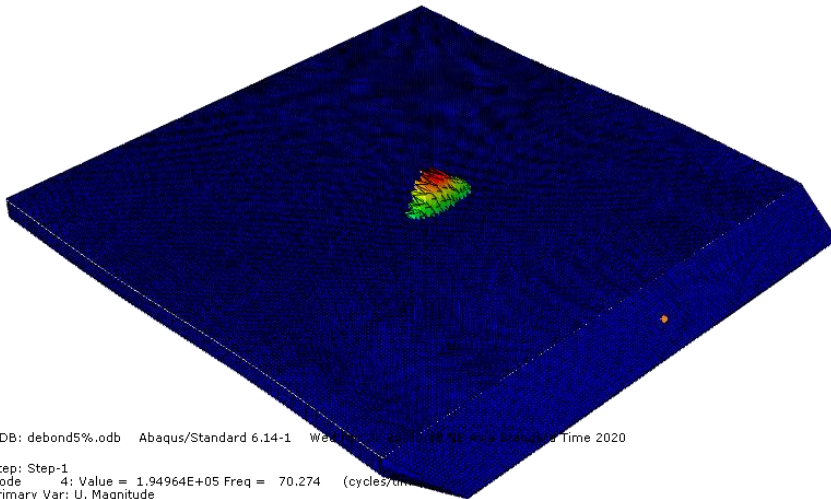
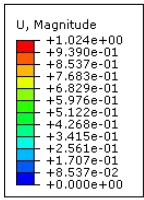


ODB: debond2,5%.odb Abaqus/Standard 6.14-1 Thu Aug 01 10:27:20 AM CEST 2020

Step: Step-1
 Mode 5: Value = 2.19656E+05 Freq = 74.592 (cycles/unit)
 Primary Var: U, Magnitude
 Deformed Var: U Deformation Scale Factor: +9.004e-01

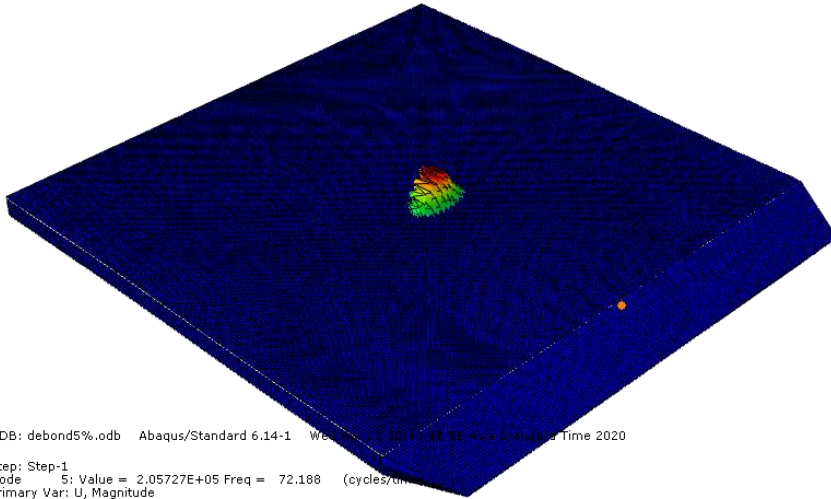
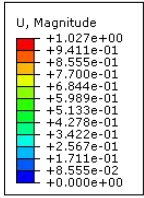
E. Rasio Kerusakan *Debonding* 5% Dengan *Spring Element*





ODB: debond5%.odb Abaqus/Standard 6.14-1 Wed Jul 26 15:09:51 Asia Standard Time 2020

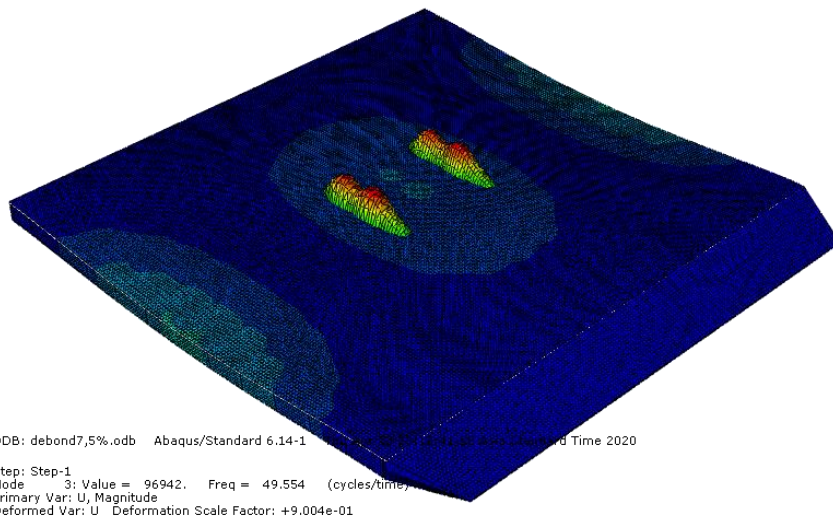
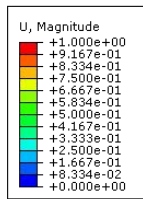
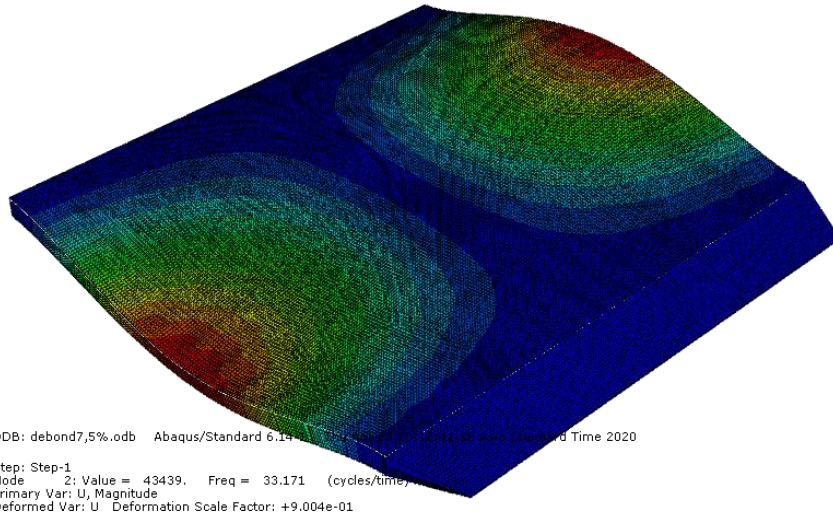
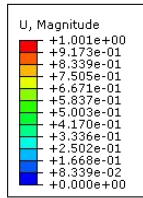
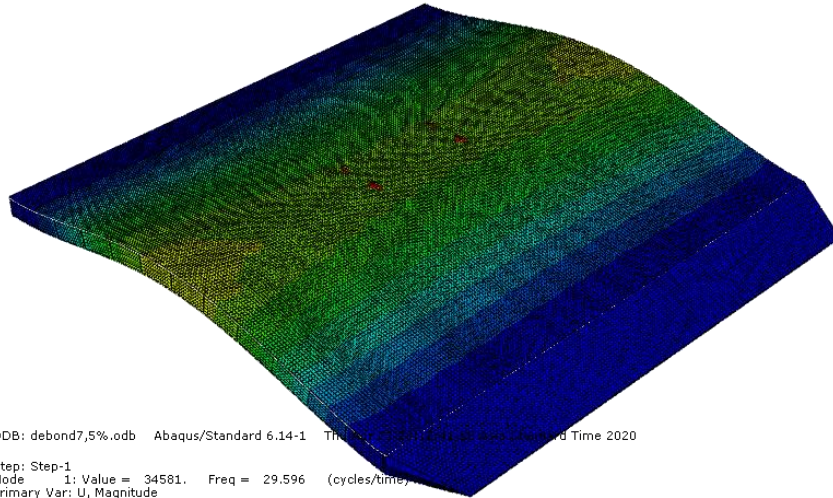
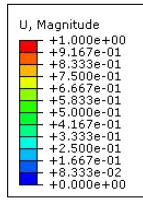
Step: Step-1
 Mode: 4; Value = 1.94964E+05 Freq = 70.274 (cycles/unit)
 Primary Var: U, Magnitude
 Deformed Var: U Deformation Scale Factor: +9.004e-01

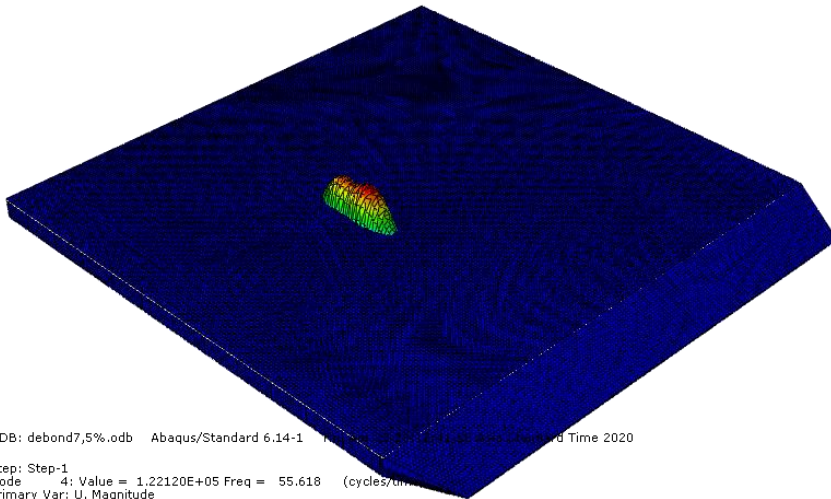
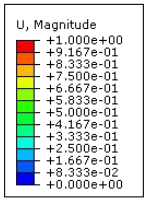


ODB: debond5%.odb Abaqus/Standard 6.14-1 Wed Jul 26 15:09:51 Asia Standard Time 2020

Step: Step-1
 Mode: 5; Value = 2.05727E+05 Freq = 72.188 (cycles/unit)
 Primary Var: U, Magnitude
 Deformed Var: U Deformation Scale Factor: +9.004e-01

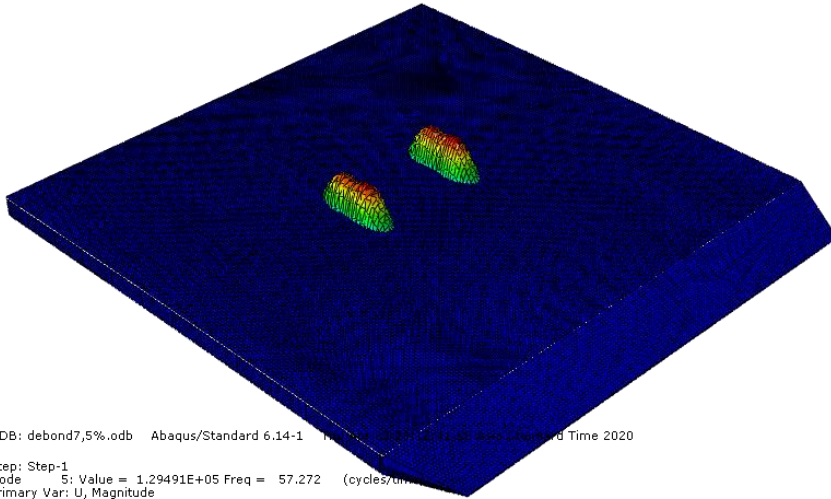
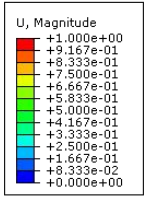
F. Rasio Kerusakan *Debonding* 7,5% Dengan *Spring Element*





ODB: debond7,5%.odb Abaqus/Standard 6.14-1 Thu Jul 20 11:41:05 AM CEST 2020

Step: Step-1
 Mode: 4; Value = 1.22120E+05 Freq = 55.618 (cycles/unit)
 Primary Var: U, Magnitude
 Deformed Var: U Deformation Scale Factor: +9.004e-01



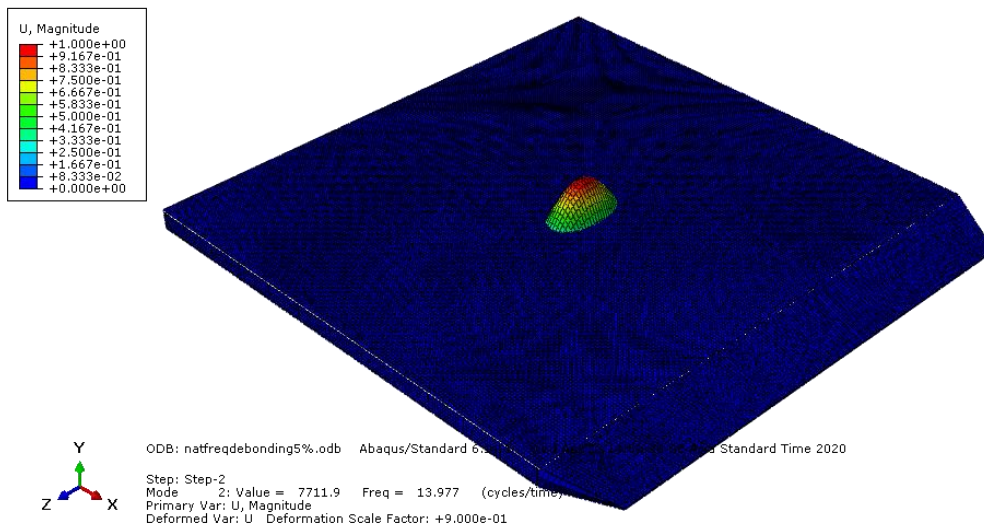
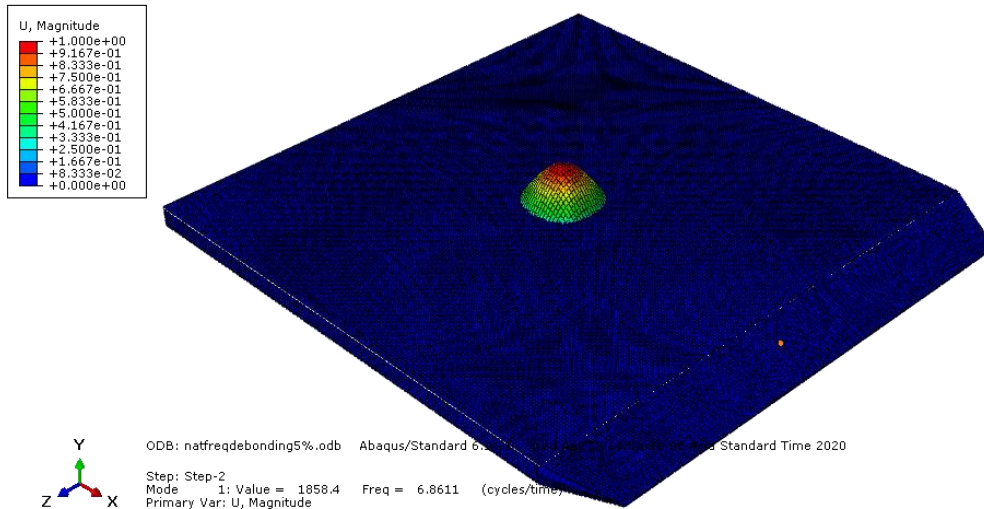
ODB: debond7,5%.odb Abaqus/Standard 6.14-1 Thu Jul 20 11:41:05 AM CEST 2020

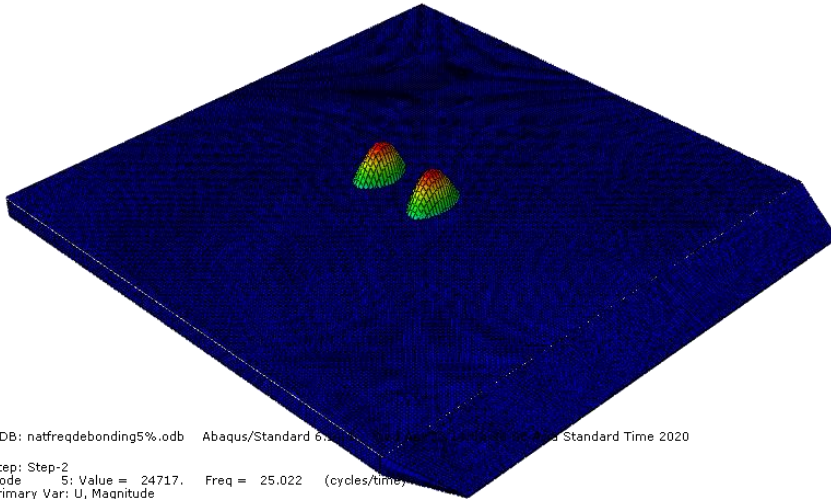
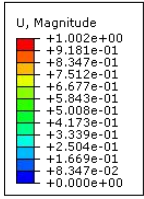
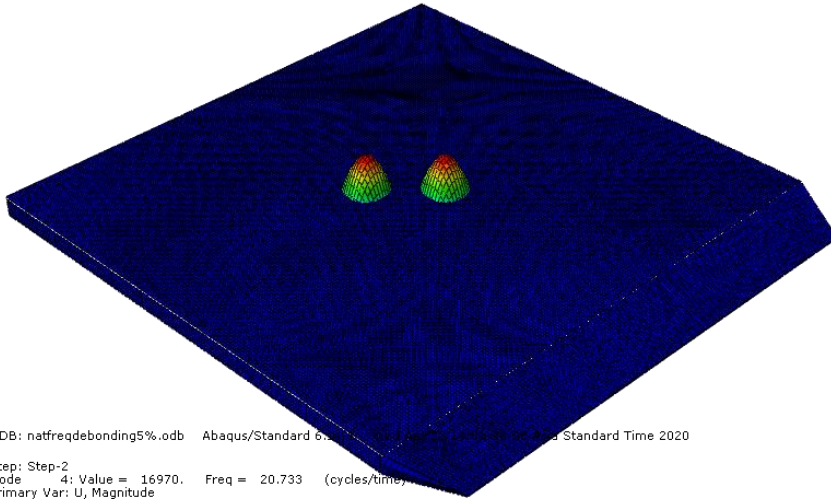
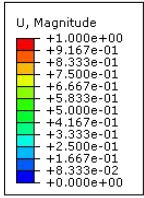
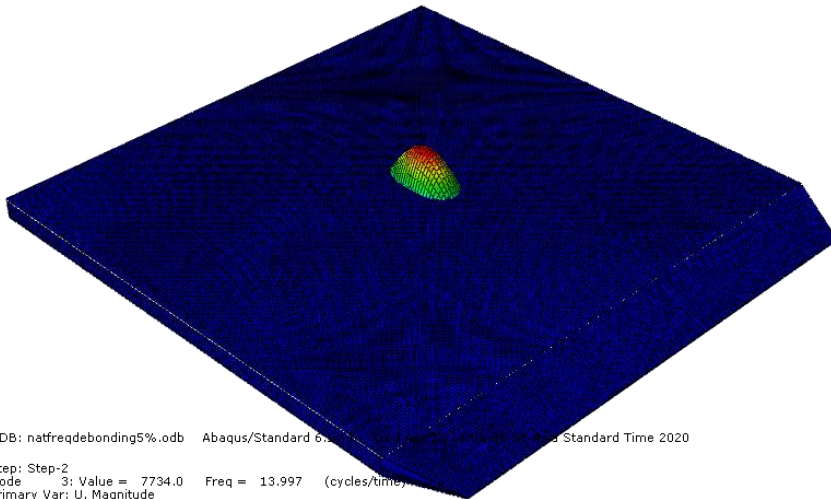
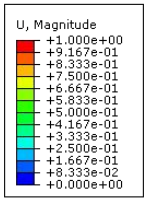
Step: Step-1
 Mode: 5; Value = 1.29491E+05 Freq = 57.272 (cycles/unit)
 Primary Var: U, Magnitude
 Deformed Var: U Deformation Scale Factor: +9.004e-01

LAMPIRAN B

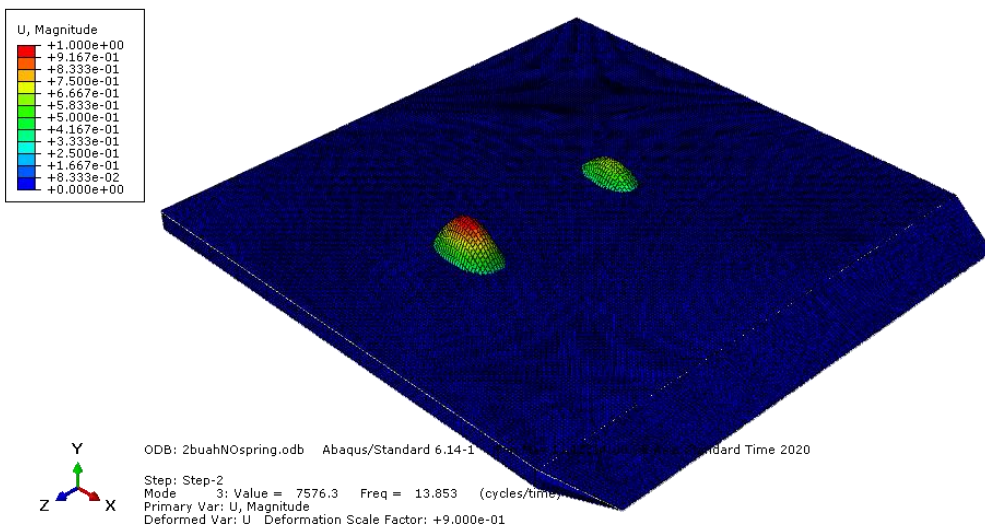
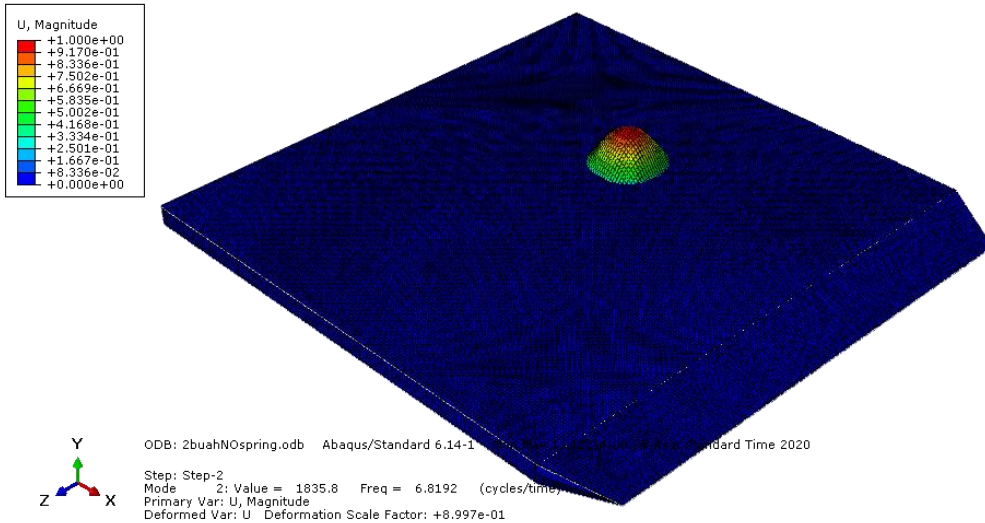
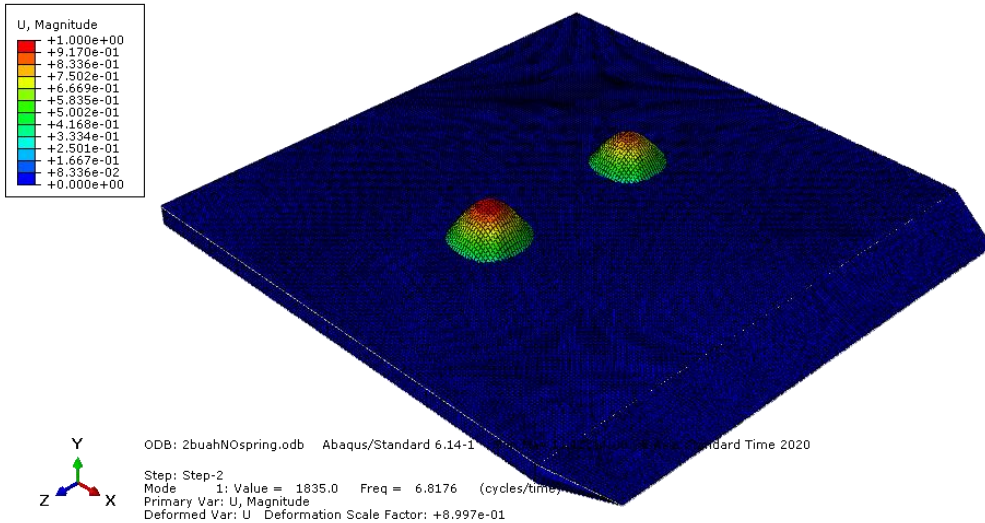
GAMBAR HASIL SIMULASI NUMERIK VARIASI JUMLAH KERUSAKAN *DEBONDING*

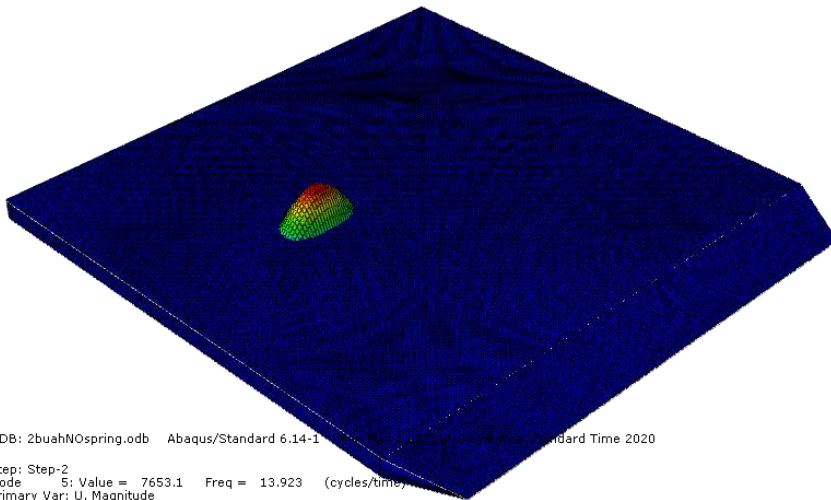
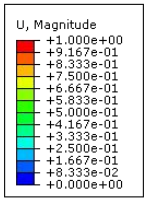
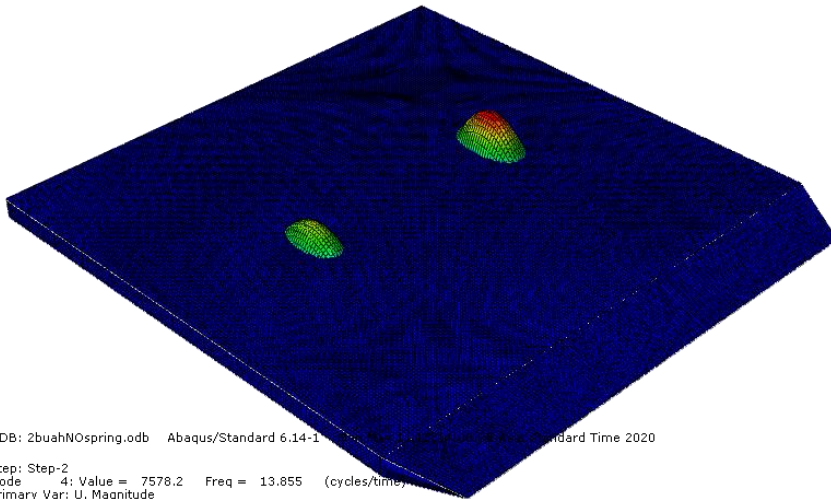
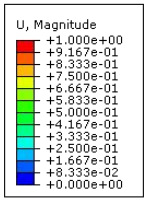
A. Jumlah Kerusakan *Debonding* 1 Buah Tanpa *Spring Element*



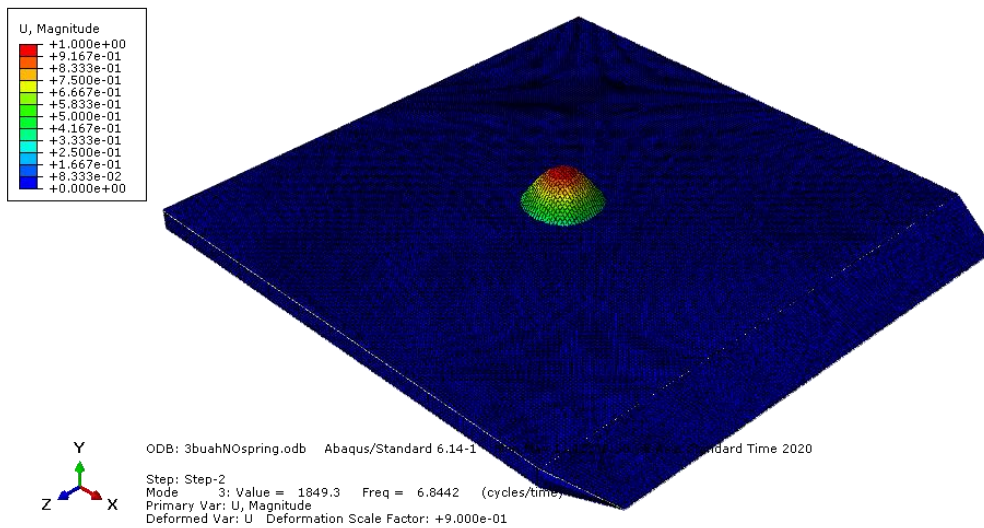
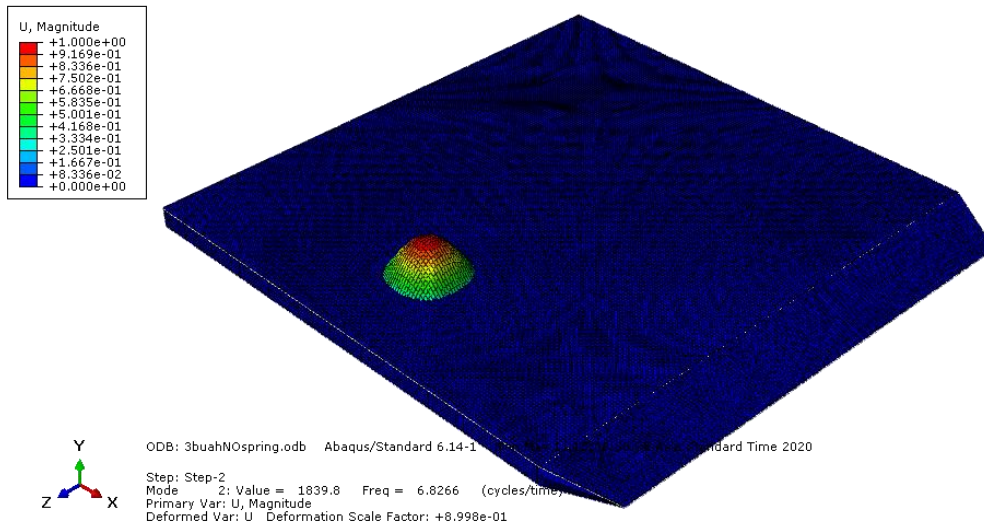
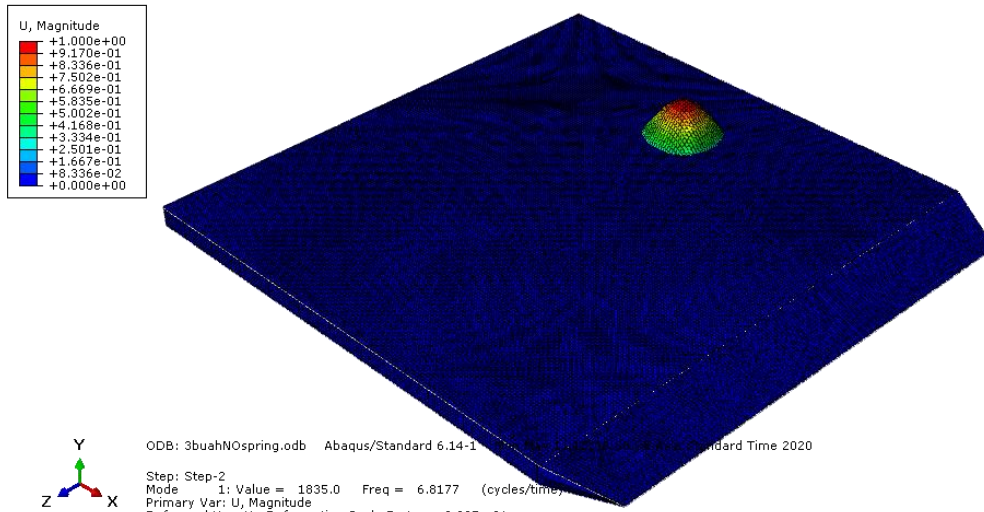


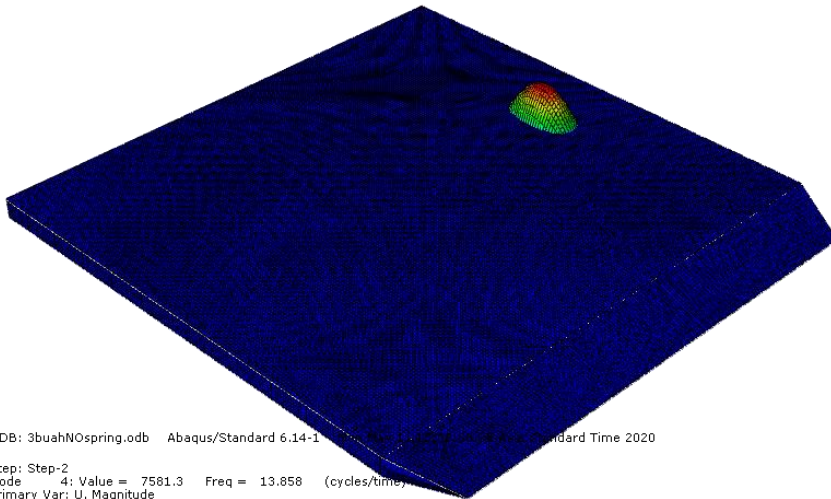
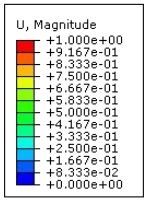
B. Jumlah Kerusakan *Debonding* 2 Buah Tanpa *Spring Element*





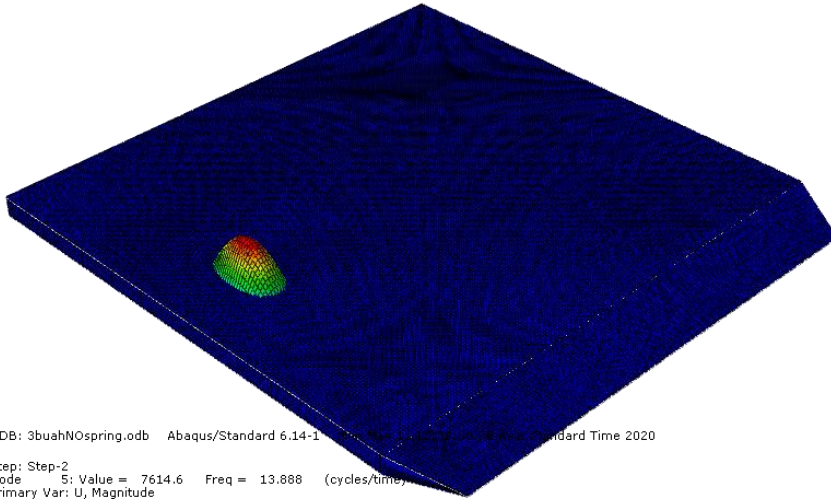
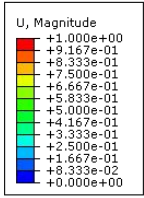
C. Jumlah Kerusakan *Debonding* 3 Buah Tanpa *Spring Element*





ODB: 3buahNOSpring.odb Abaqus/Standard 6.14-1 ... Standard Time 2020

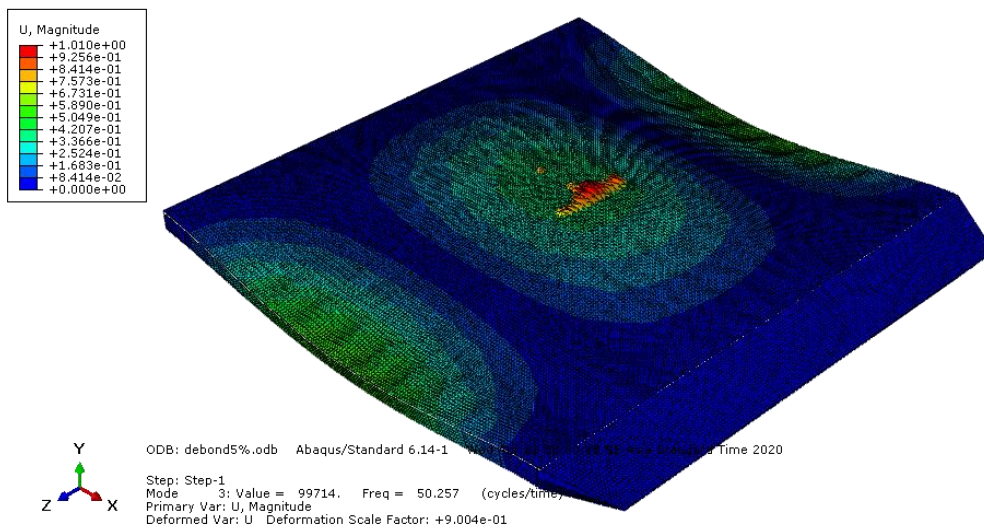
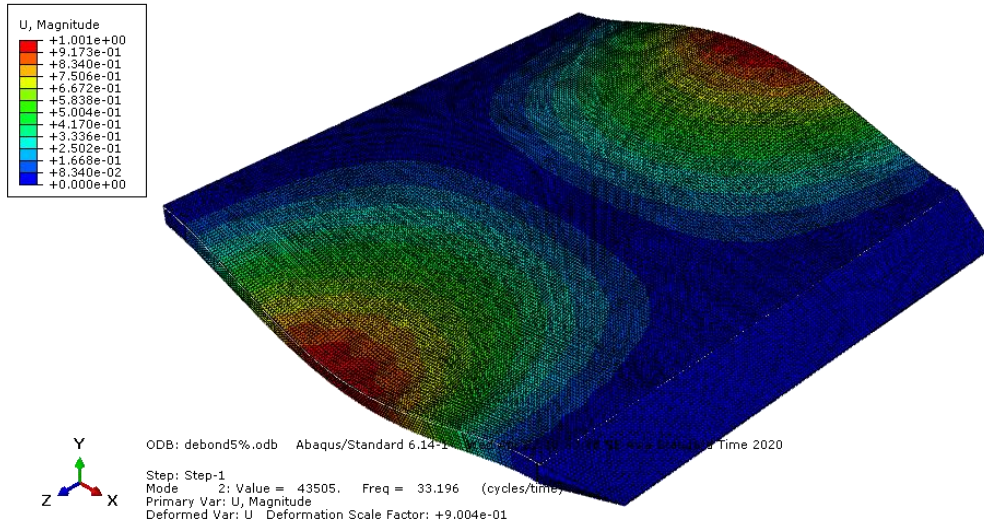
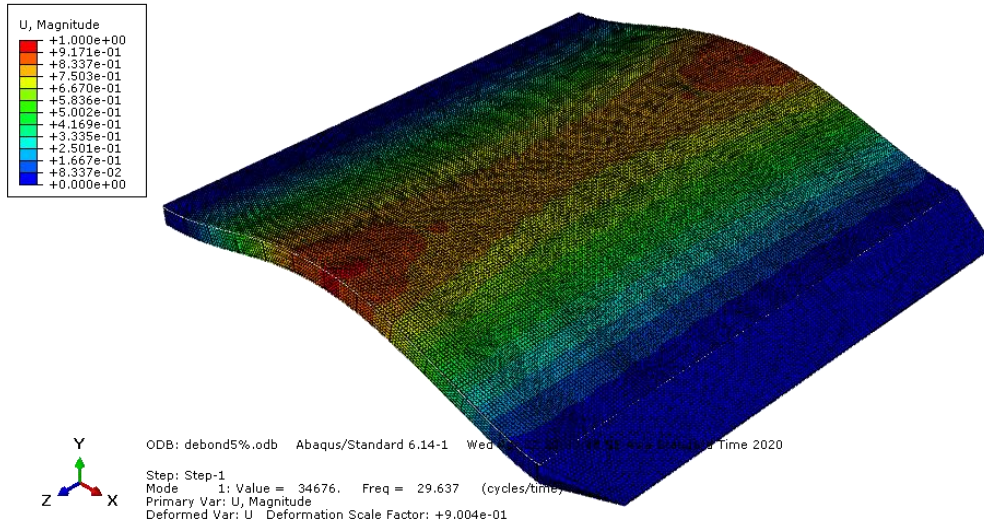
Step: Step-2
 Mode 4: Value = 7581.3 Freq = 13.858 (cycles/time)
 Primary Var: U, Magnitude
 Deformed Var: U Deformation Scale Factor: +9.000e-01

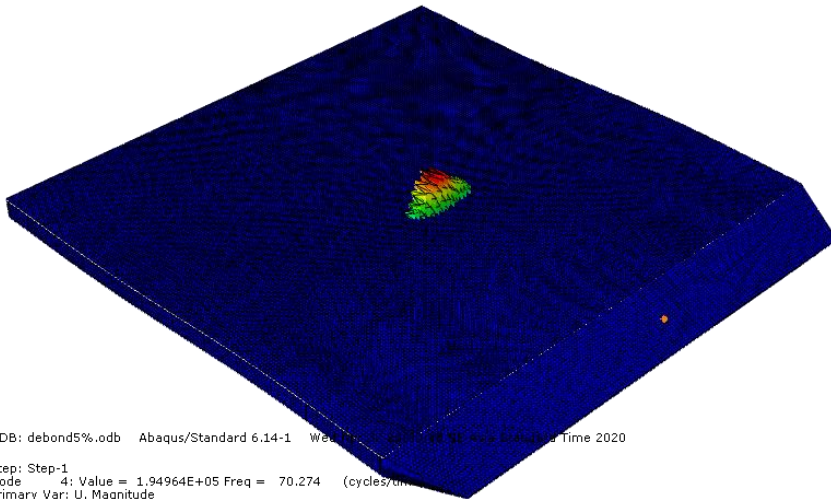
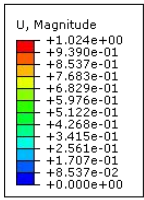


ODB: 3buahNOSpring.odb Abaqus/Standard 6.14-1 ... Standard Time 2020

Step: Step-2
 Mode 5: Value = 7614.6 Freq = 13.888 (cycles/time)
 Primary Var: U, Magnitude
 Deformed Var: U Deformation Scale Factor: +9.000e-01

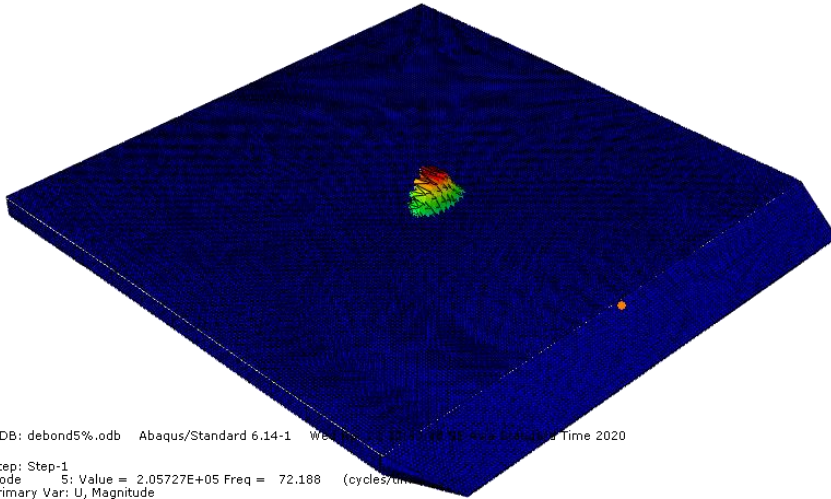
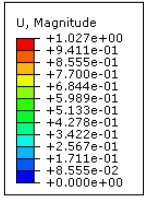
D. Jumlah Kerusakan *Debonding* 1 Buah Dengan *Spring Element*





ODB: debond5%.odb Abaqus/Standard 6.14-1 Wed Jul 26 15:09:51 Asia/Manila Time 2020

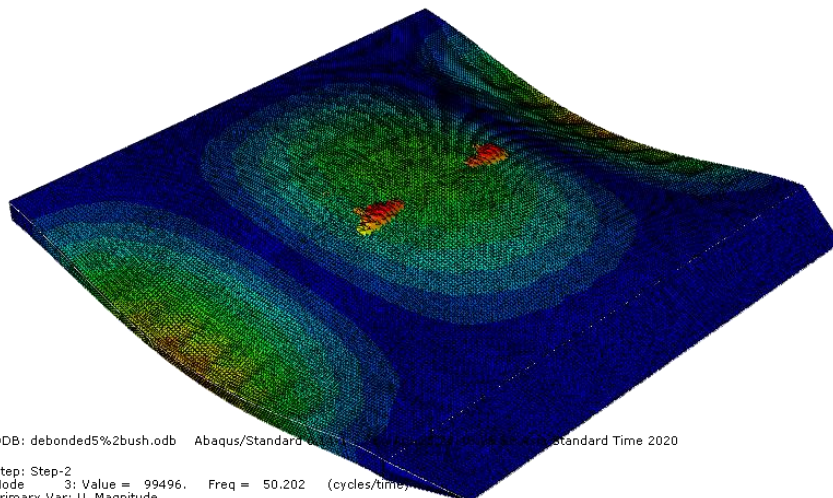
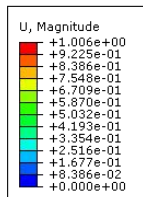
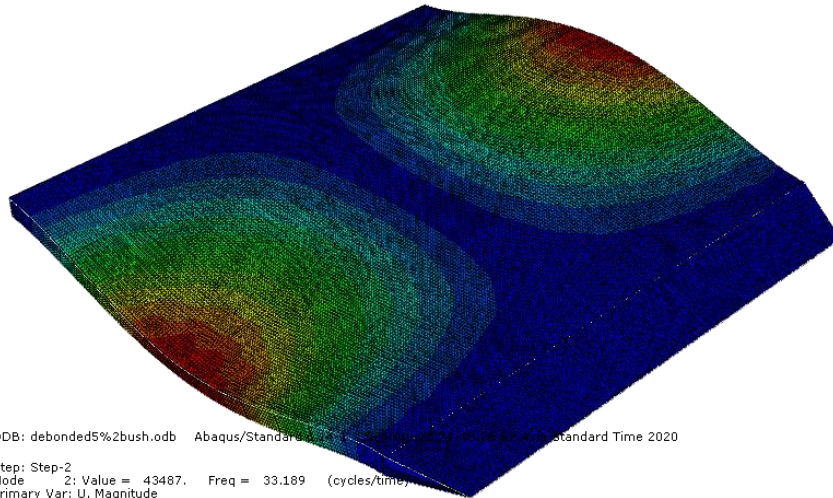
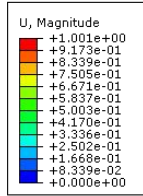
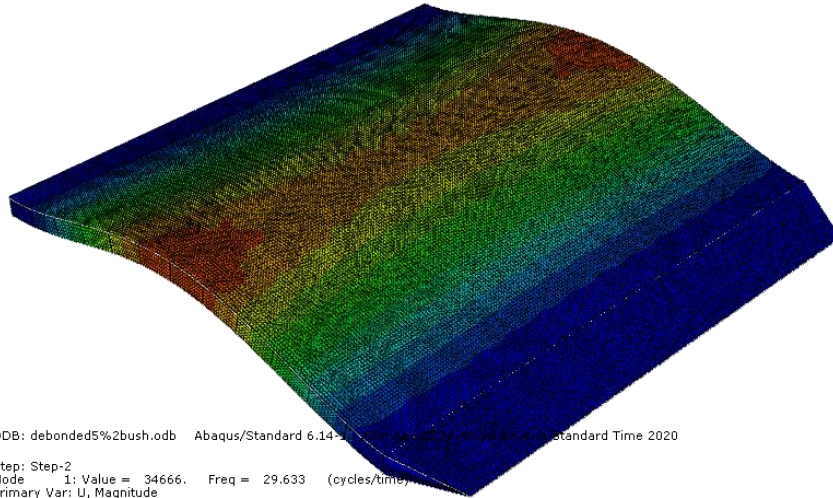
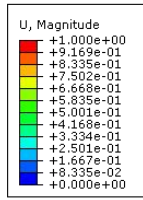
Step: Step-1
 Mode: 4; Value = 1.94964E+05 Freq = 70.274 (cycles/unit)
 Primary Var: U, Magnitude
 Deformed Var: U Deformation Scale Factor: +9.004e-01

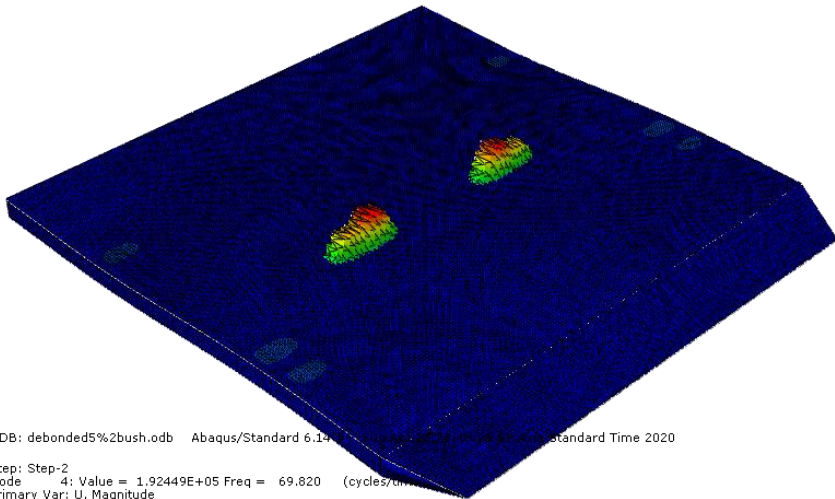
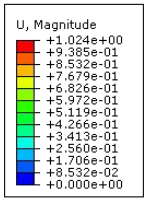


ODB: debond5%.odb Abaqus/Standard 6.14-1 Wed Jul 26 15:09:51 Asia/Manila Time 2020

Step: Step-1
 Mode: 5; Value = 2.05727E+05 Freq = 72.188 (cycles/unit)
 Primary Var: U, Magnitude
 Deformed Var: U Deformation Scale Factor: +9.004e-01

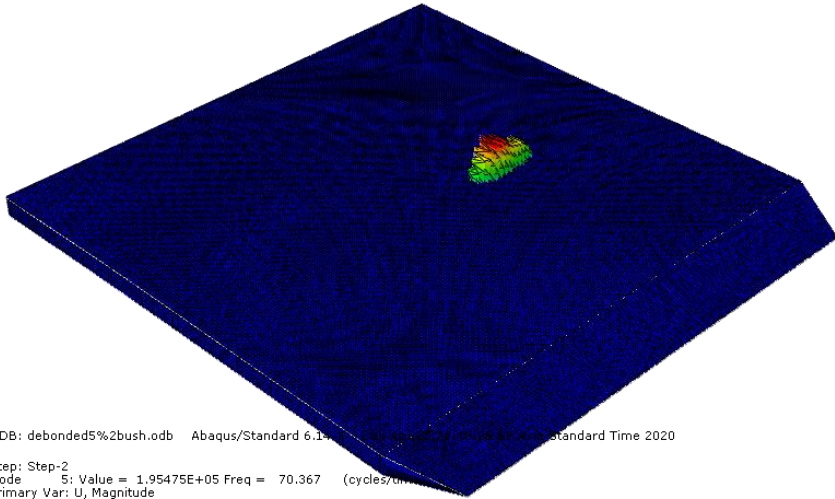
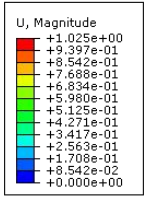
E. Jumlah Kerusakan *Debonding* 2 Buah Dengan *Spring Element*





ODB: debonded5%2bush.odb Abaqus/Standard 6.14-0 [Job: debonded5%2bush.odb] Standard Time 2020

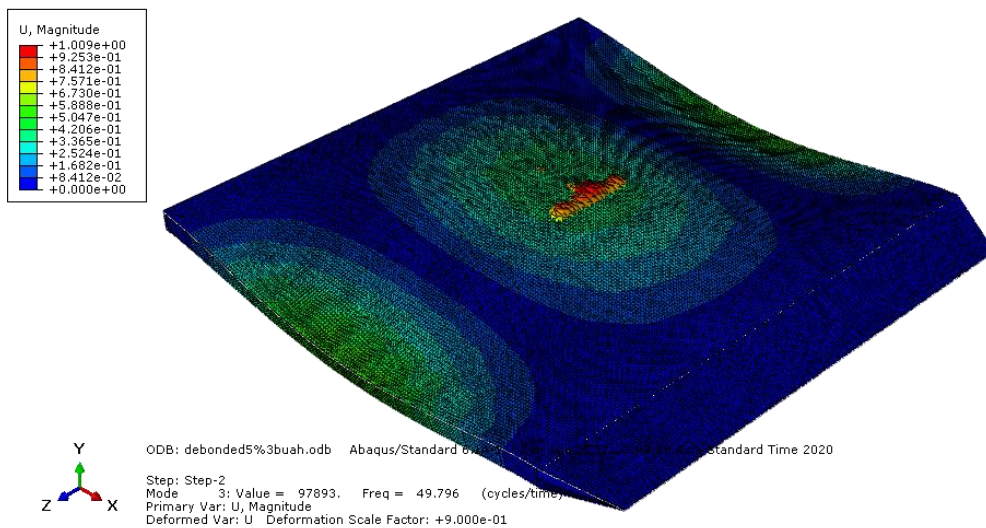
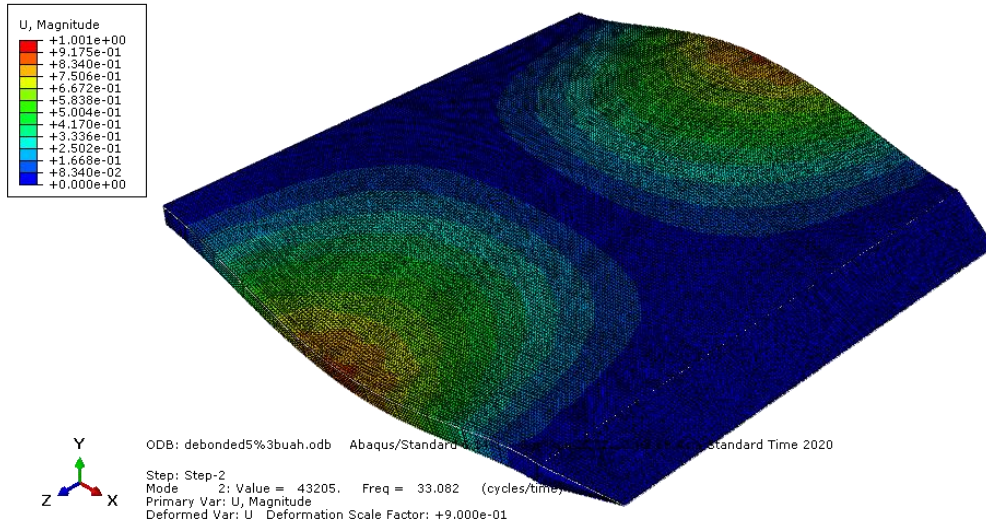
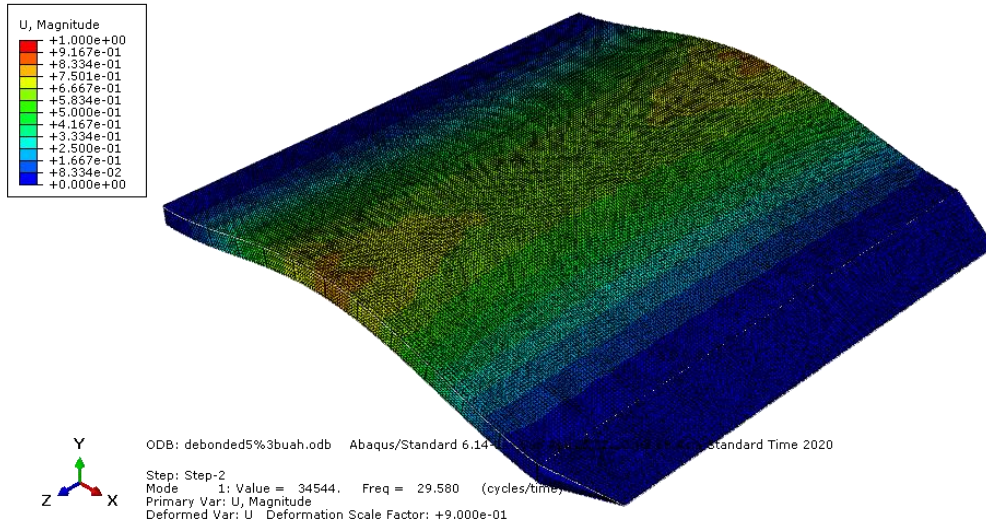
Step: Step-2
 Mode: 4; Value = 1.92449E+05 Freq = 69.820 (cycles/unit)
 Primary Var: U, Magnitude
 Deformed Var: U Deformation Scale Factor: +9.000e-01

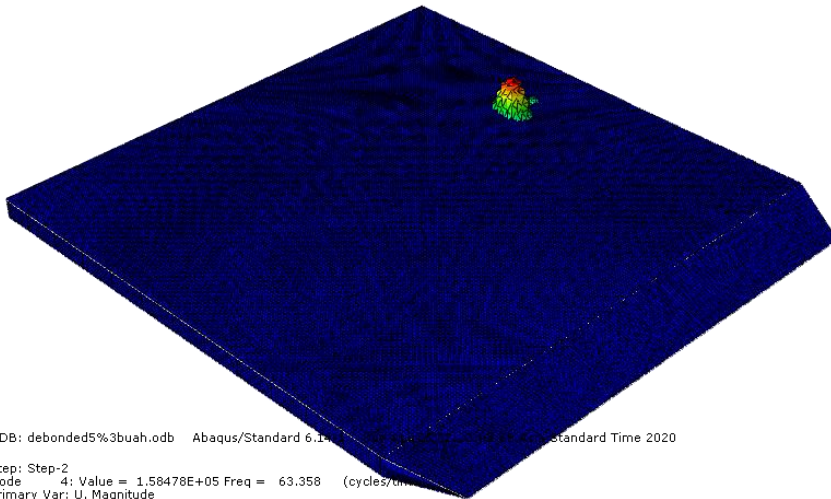
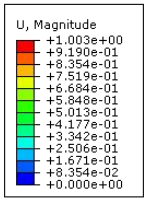


ODB: debonded5%2bush.odb Abaqus/Standard 6.14-0 [Job: debonded5%2bush.odb] Standard Time 2020

Step: Step-2
 Mode: 5; Value = 1.95475E+05 Freq = 70.367 (cycles/unit)
 Primary Var: U, Magnitude
 Deformed Var: U Deformation Scale Factor: +9.000e-01

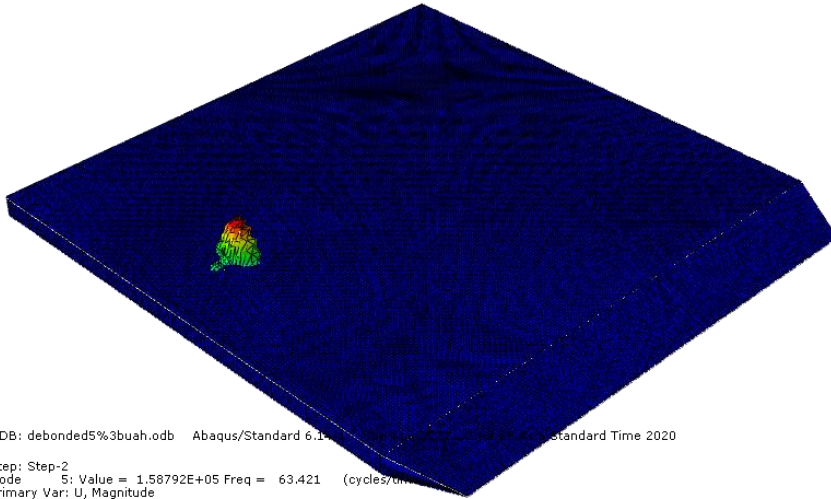
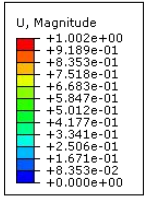
F. Jumlah Kerusakan *Debonding* 3 Buah Dengan *Spring Element*





ODB: debonded5%3buh.odb Abaqus/Standard 6.11.0-20120814.0000000000 Standard Time 2020

Step: Step-2
 Mode 4: Value = 1.58478E+05 Freq = 63.358 (cycles/unit)
 Primary Var: U, Magnitude
 Deformed Var: U Deformation Scale Factor: +8.977e-01



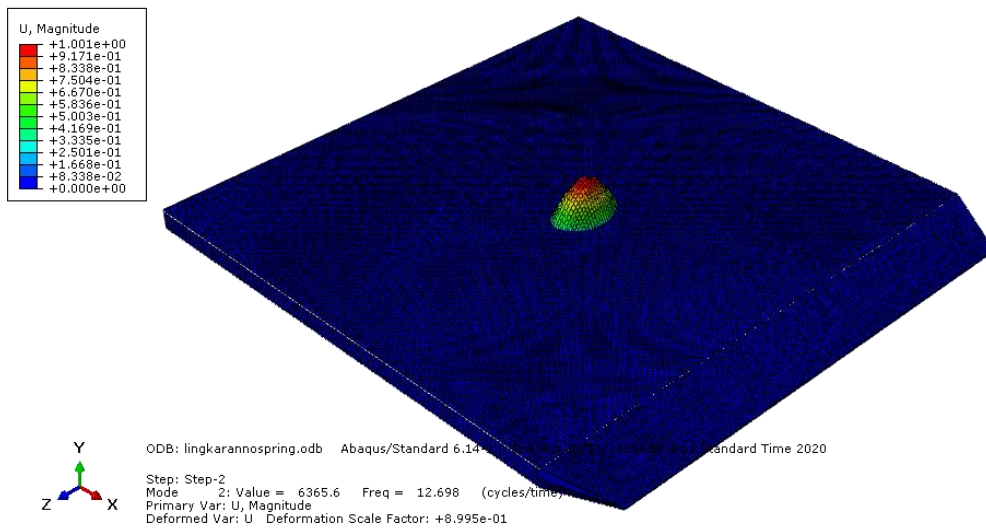
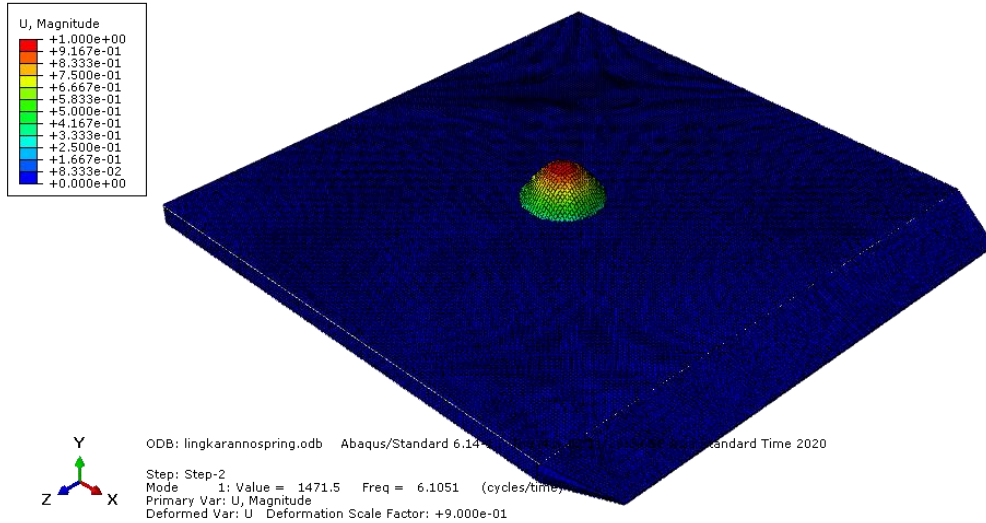
ODB: debonded5%3buh.odb Abaqus/Standard 6.11.0-20120814.0000000000 Standard Time 2020

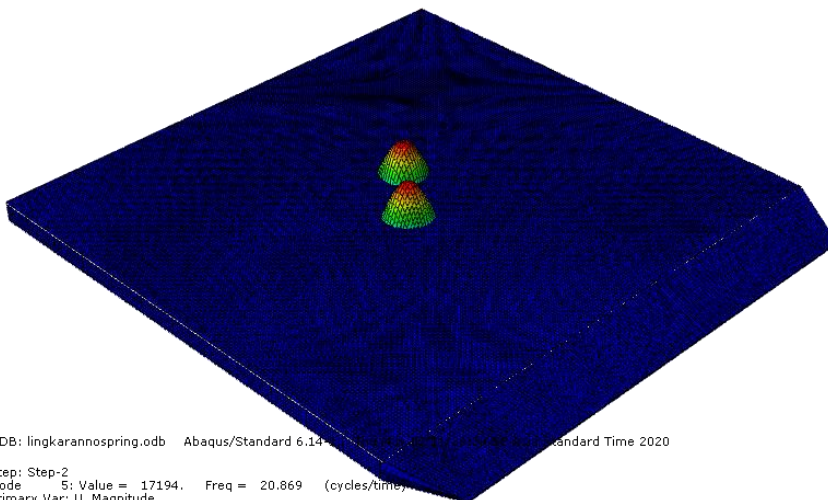
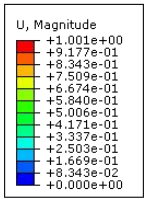
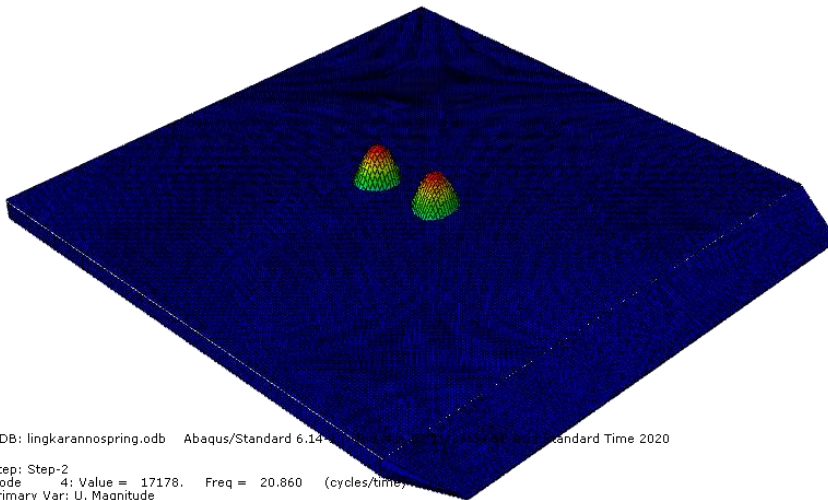
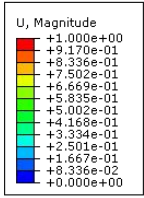
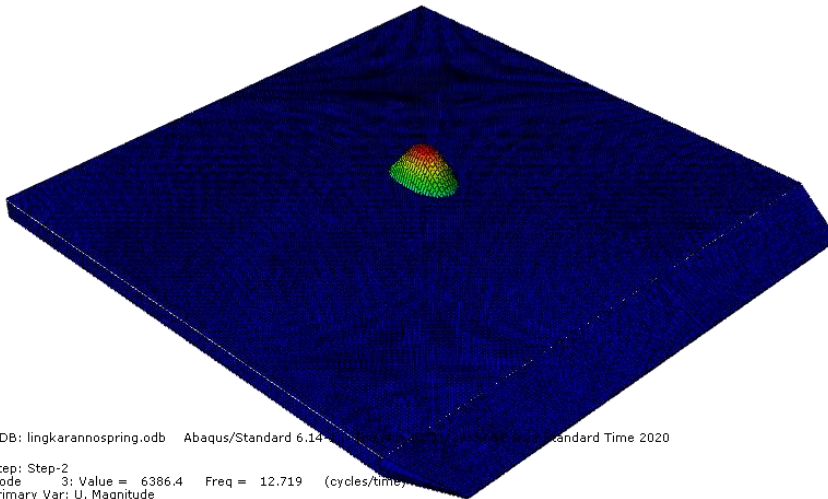
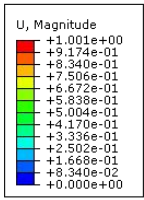
Step: Step-2
 Mode 5: Value = 1.58792E+05 Freq = 63.421 (cycles/unit)
 Primary Var: U, Magnitude
 Deformed Var: U Deformation Scale Factor: +8.979e-01

LAMPIRAN C

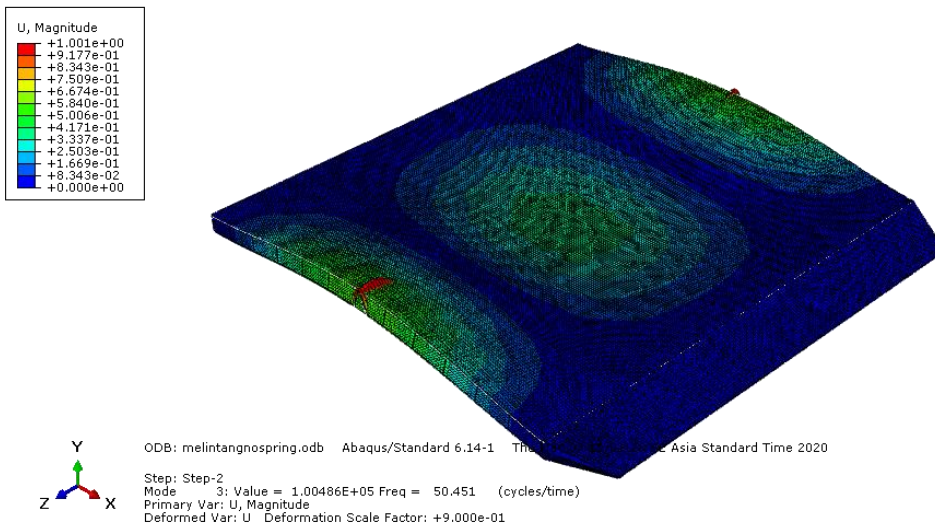
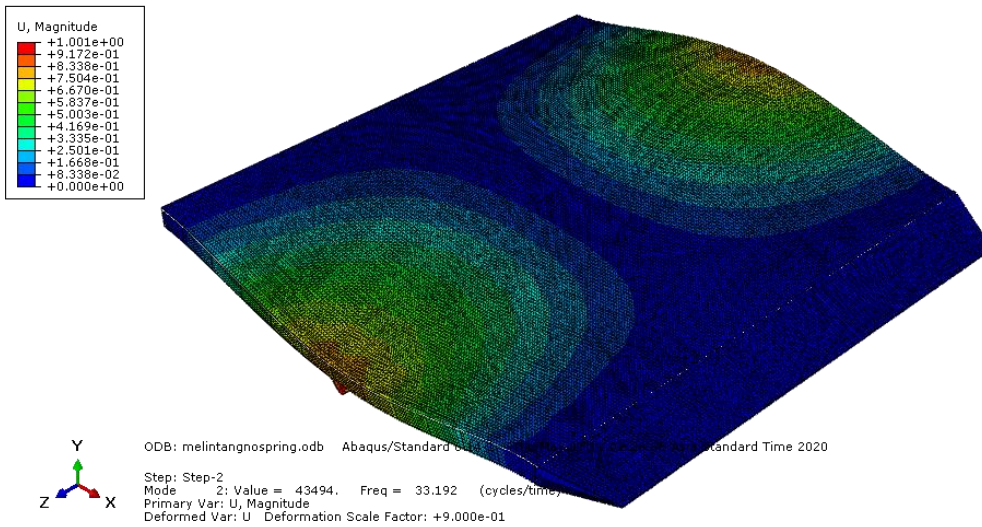
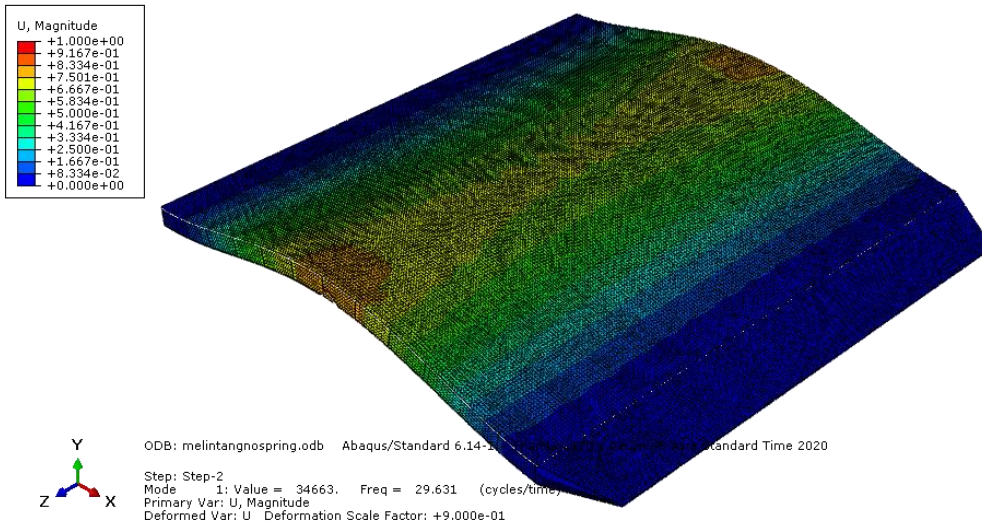
GAMBAR HASIL SIMULASI NUMERIK VARIASI BENTUK KERUSAKAN *DEBONDING*

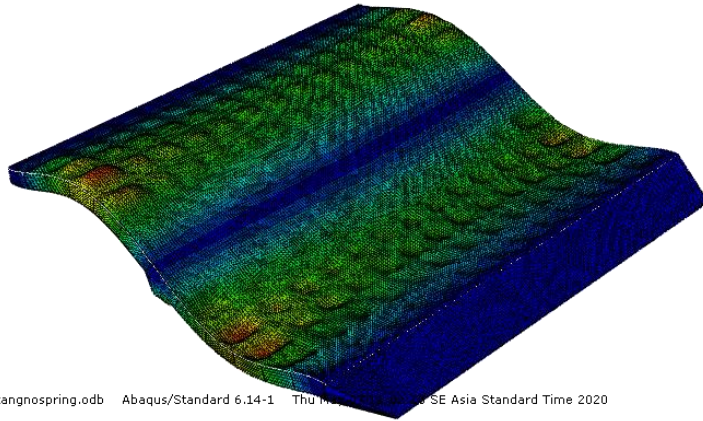
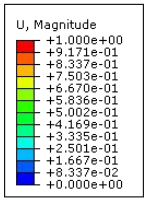
A. Bentuk Kerusakan *Debonding* Lingkaran Tanpa *Spring Element*





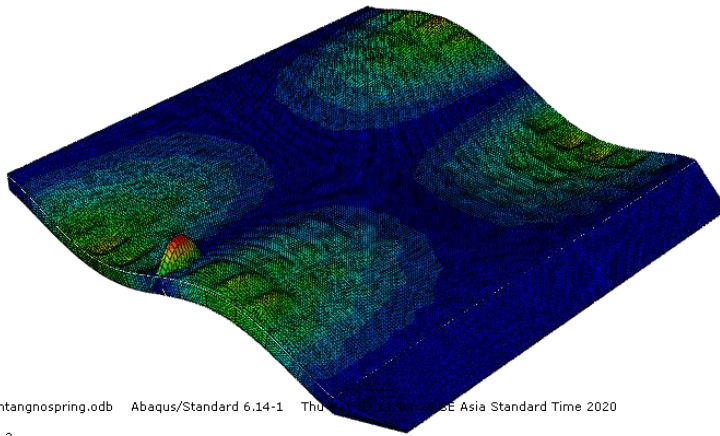
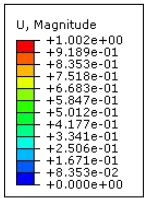
B. Bentuk Kerusakan *Debonding* Melintang Tanpa *Spring Element*





ODB: melintangnospring.odb Abaqus/Standard 6.14-1 Thu 11/11/2021 10:05:00 AM SE Asia Standard Time 2020

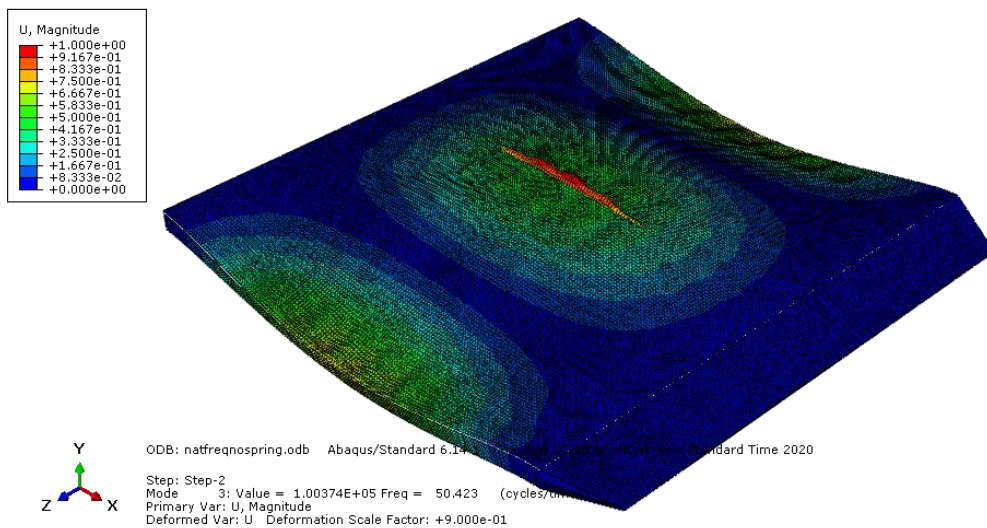
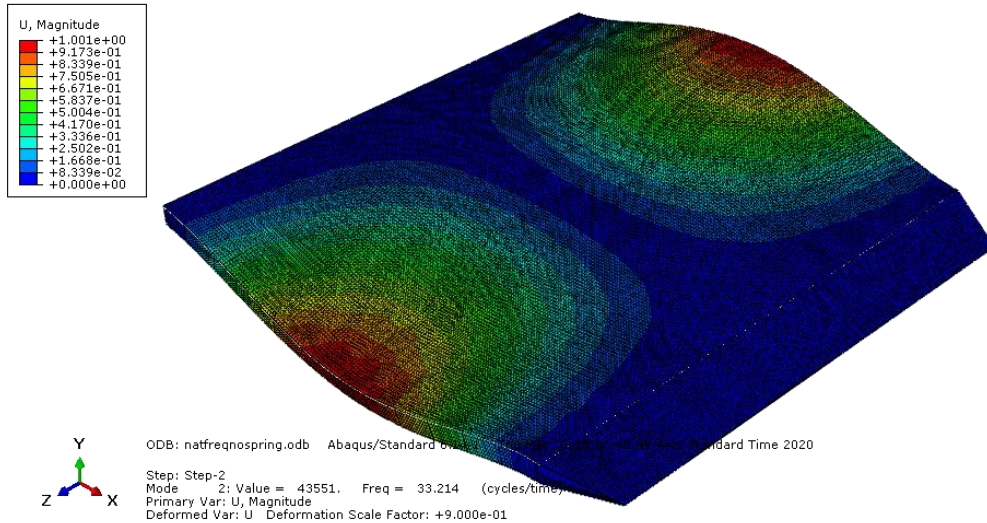
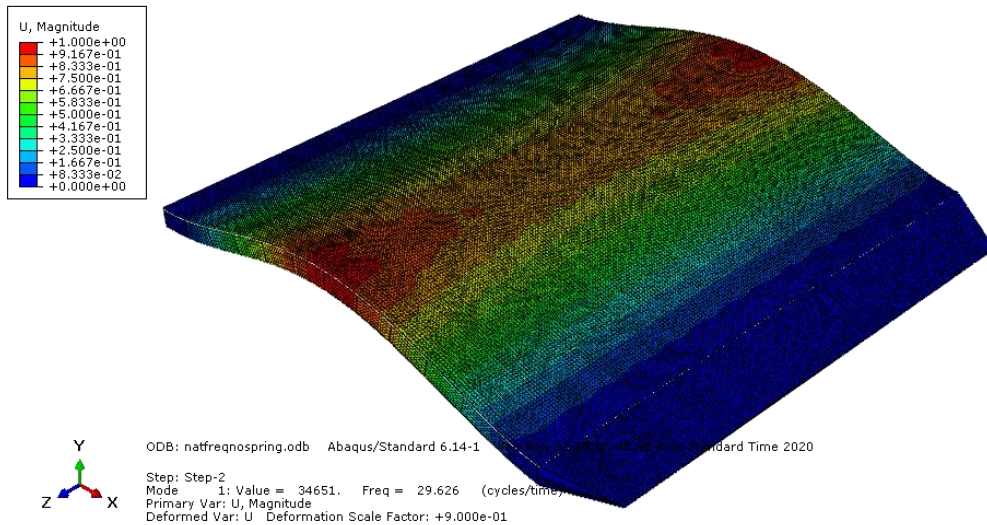
Step: Step-2
 Mode 4: Value = 1.99084E+05 Freq = 71.013 (cycles/time)
 Primary Var: U, Magnitude
 Deformed Var: U Deformation Scale Factor: +8.997e-01

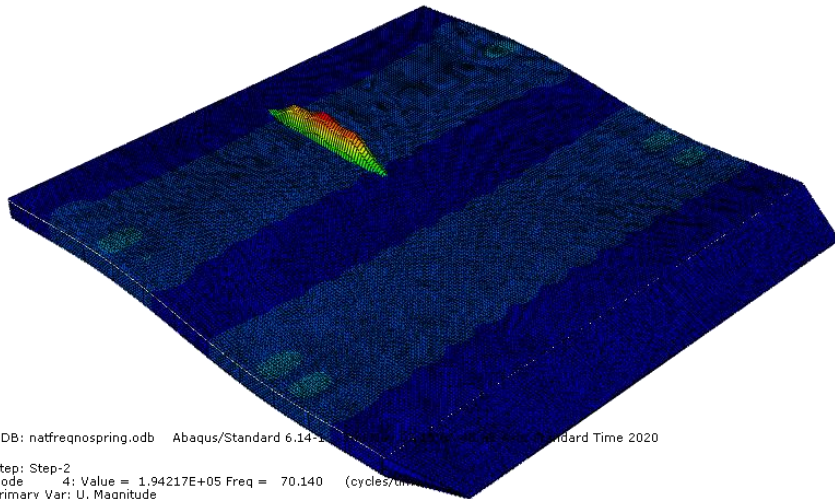
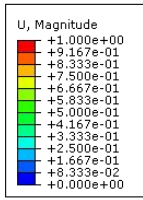


ODB: melintangnospring.odb Abaqus/Standard 6.14-1 Thu 11/11/2021 10:05:00 AM SE Asia Standard Time 2020

Step: Step-2
 Mode 5: Value = 2.20450E+05 Freq = 74.727 (cycles/time)
 Primary Var: U, Magnitude
 Deformed Var: U Deformation Scale Factor: +8.986e-01

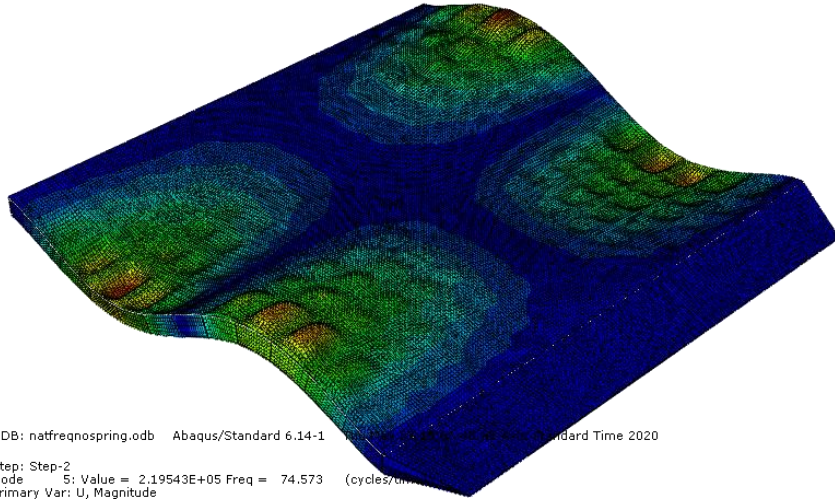
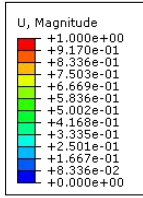
C. Bentuk Kerusakan *Debonding* Memanjang Tanpa *Spring Element*





ODB: natfreqspring.odb Abaqus/Standard 6.14-1 2020/05/20 14:00:00 Standard Time 2020

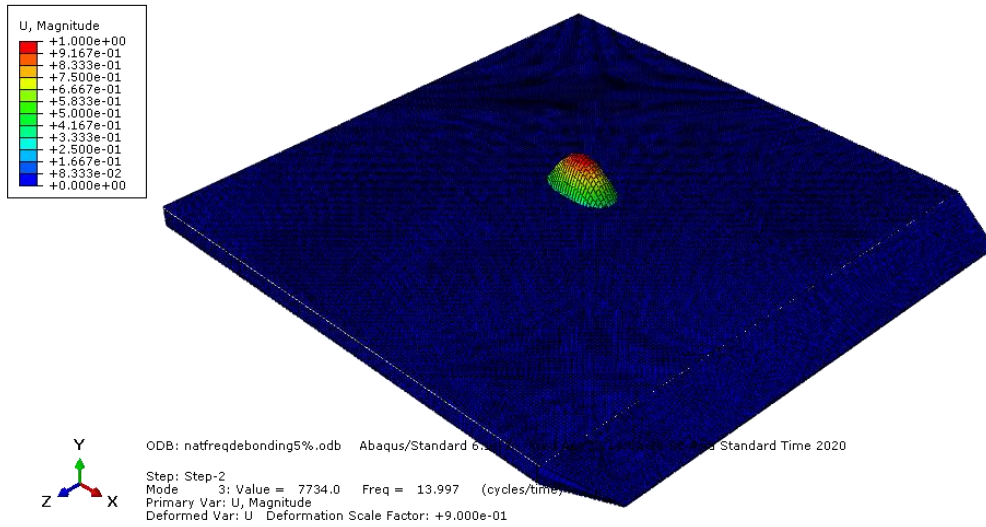
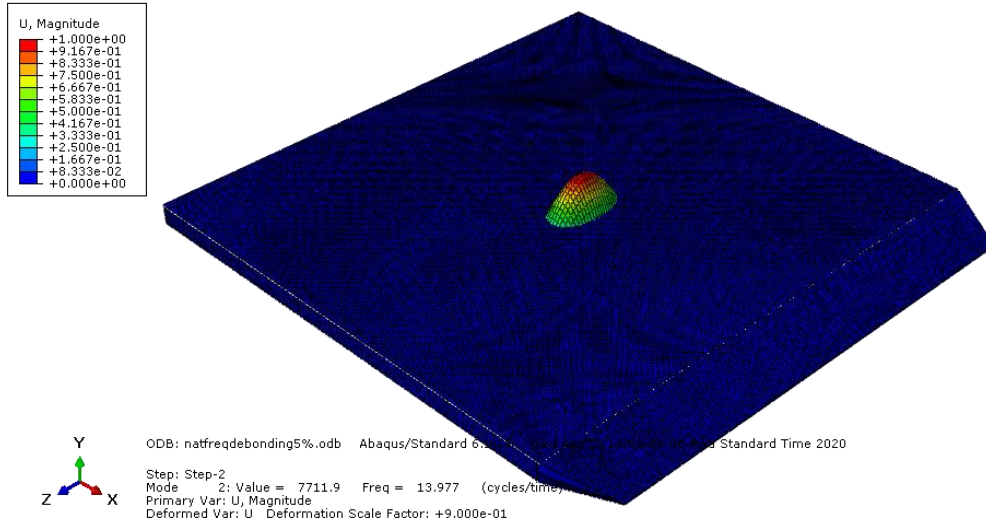
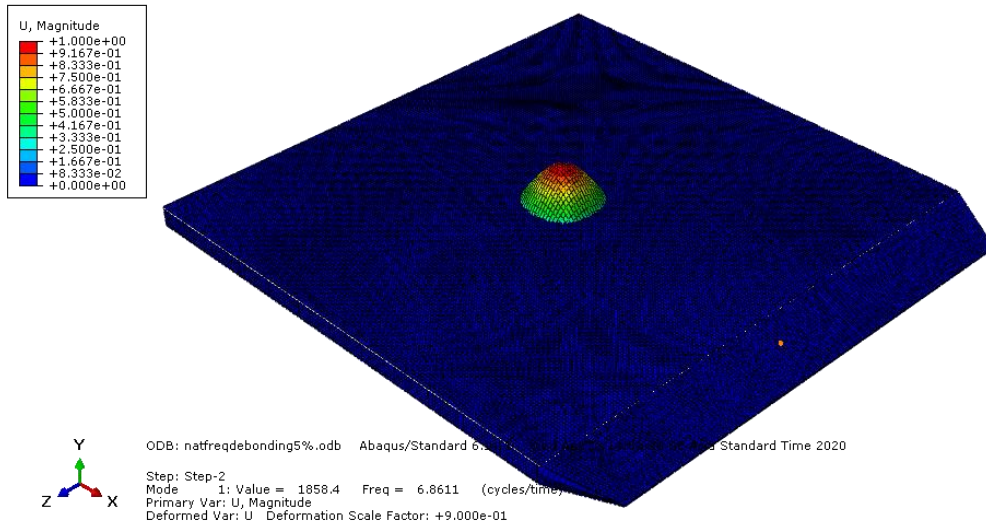
Step: Step-2
 Mode: 4; Value = 1.94217E+05 Freq = 70.140 (cycles/unit)
 Primary Var: U, Magnitude
 Deformed Var: U Deformation Scale Factor: +9.000e-01

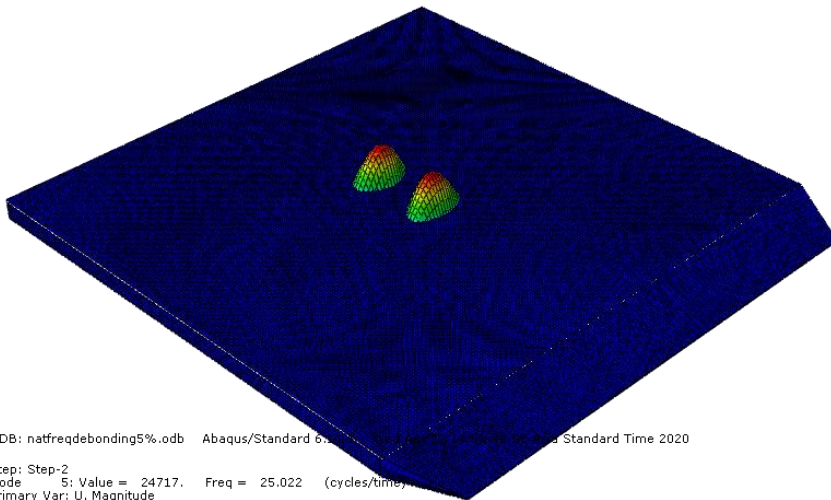
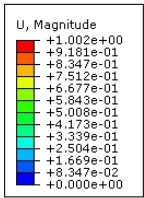
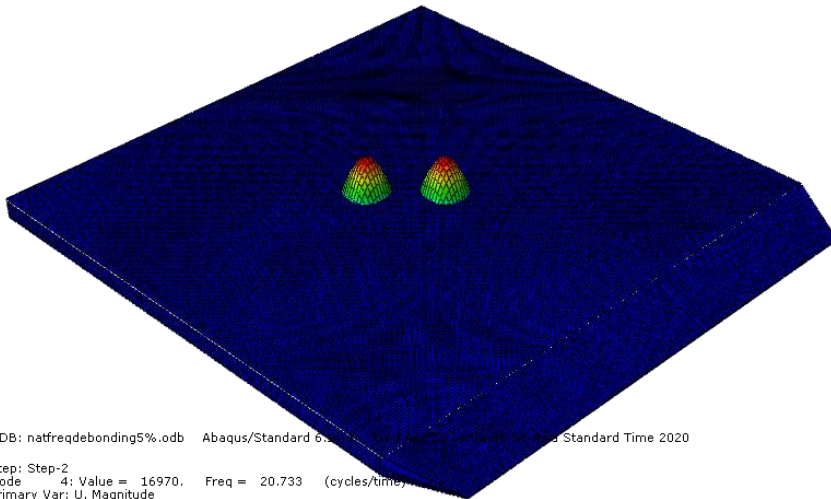
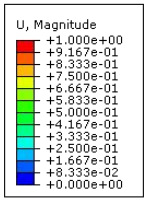


ODB: natfreqspring.odb Abaqus/Standard 6.14-1 2020/05/20 14:00:00 Standard Time 2020

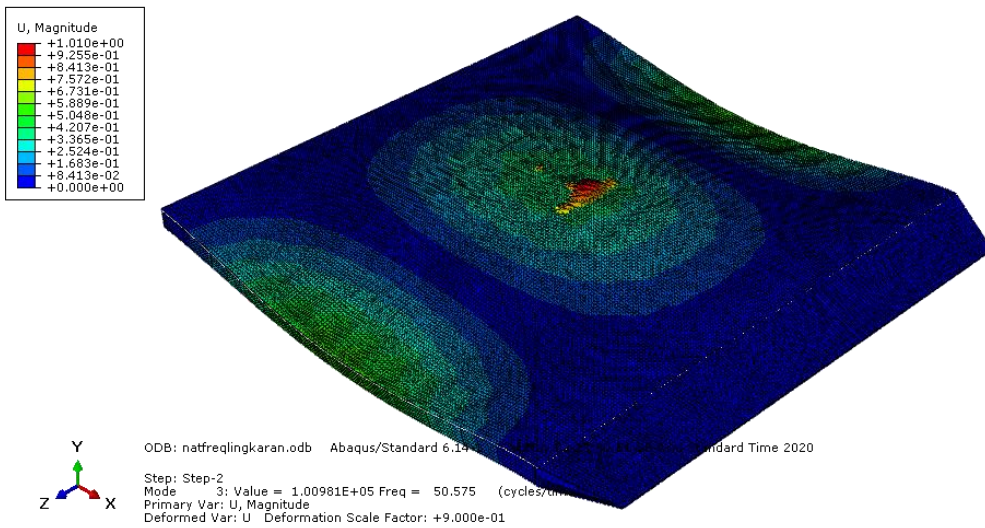
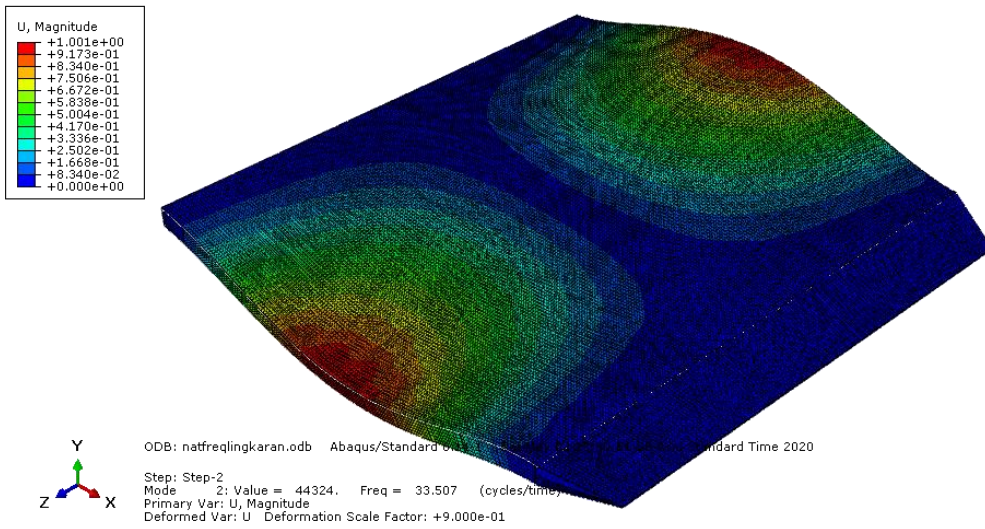
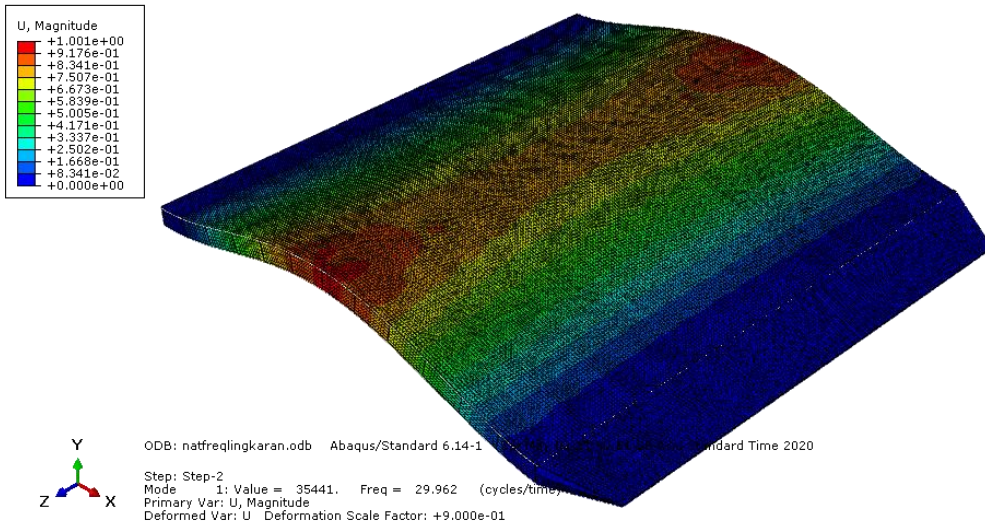
Step: Step-2
 Mode: 5; Value = 2.19543E+05 Freq = 74.573 (cycles/unit)
 Primary Var: U, Magnitude
 Deformed Var: U Deformation Scale Factor: +9.000e-01

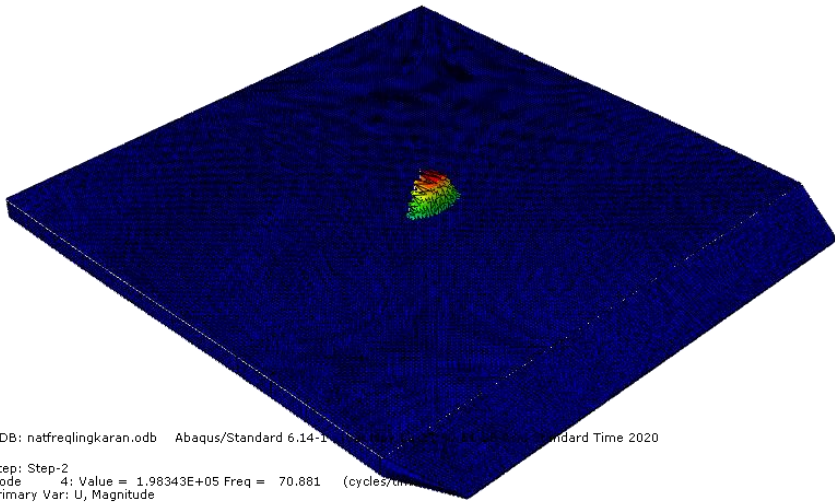
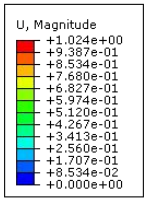
D. Bentuk Kerusakan *Debonding* Persegi Tanpa *Spring Element*





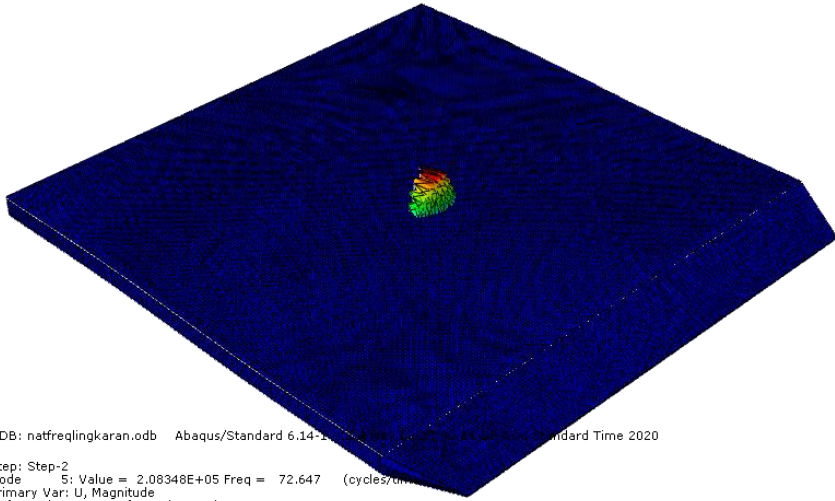
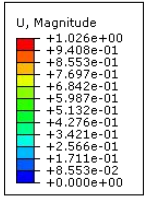
E. Bentuk Kerusakan *Debonding* Lingkaran Dengan *Spring Element*





ODB: natfreqingkaran.odb Abaqus/Standard 6.14-1 2020/05/20 14:27:00, Abaqus/Standard Time 2020

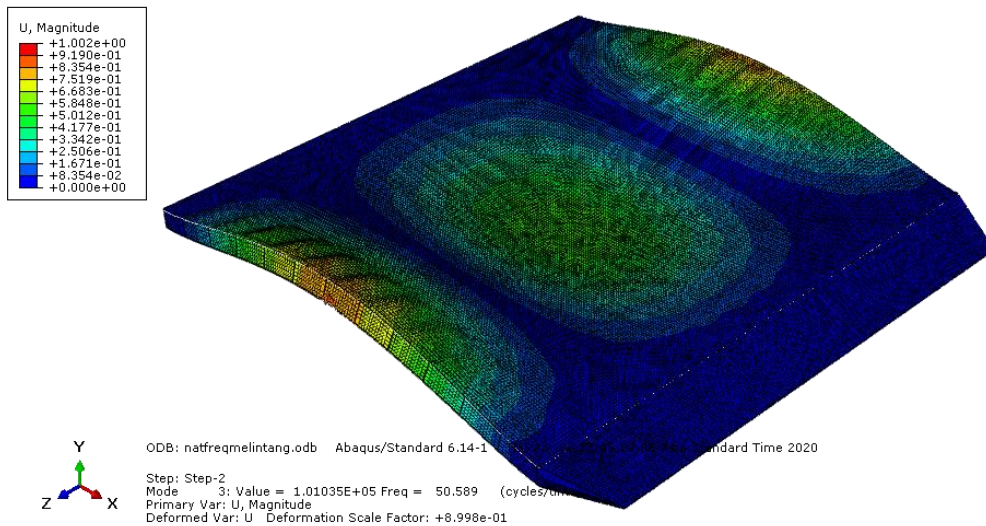
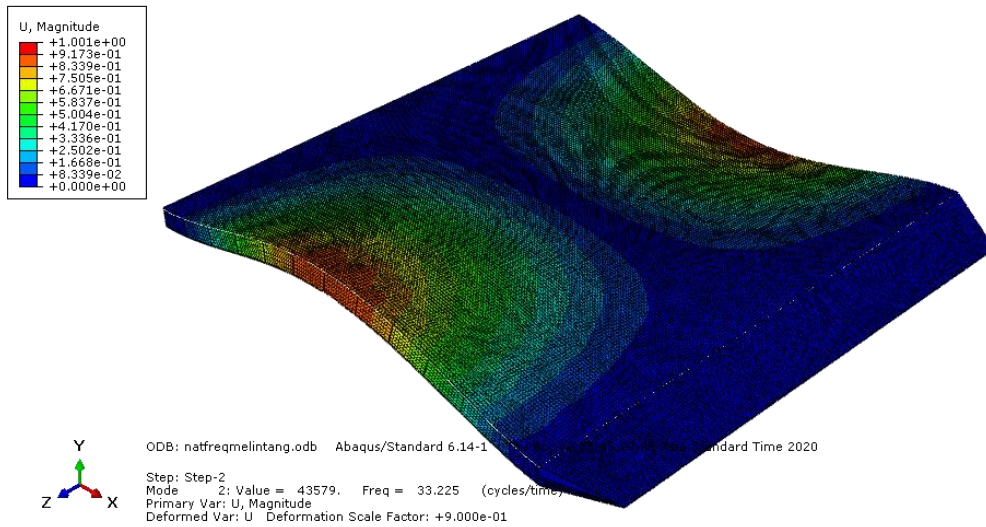
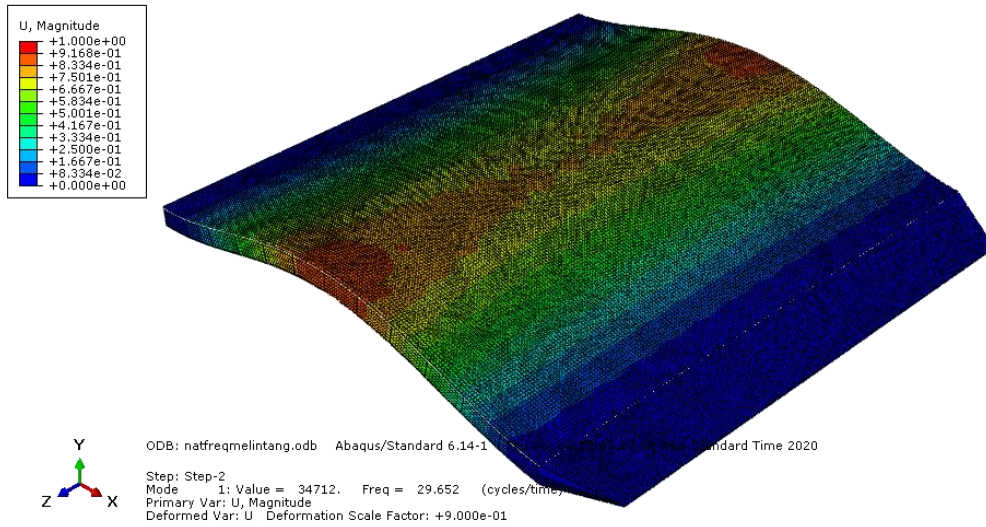
Step: Step-2
 Mode: 4; Value = 1.98343E+05 Freq = 70.881 (cycles/unit)
 Primary Var: U, Magnitude
 Deformed Var: U Deformation Scale Factor: +9.000e-01

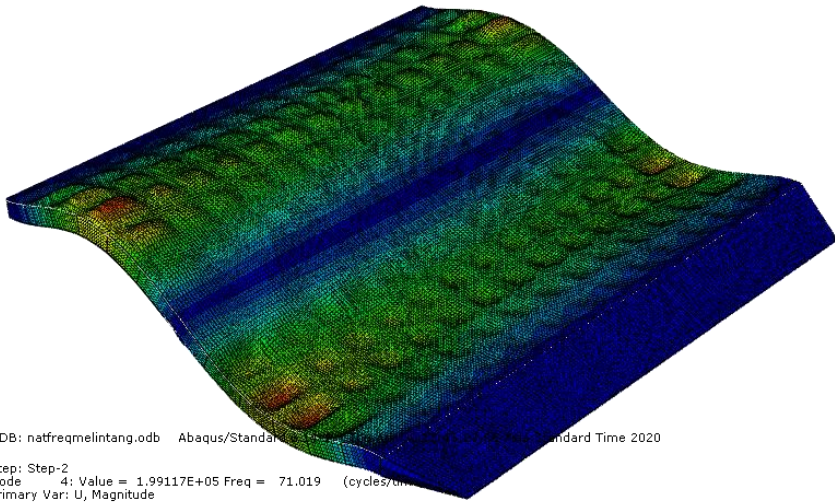
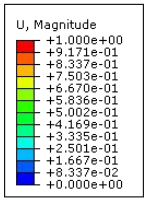


ODB: natfreqingkaran.odb Abaqus/Standard 6.14-1 2020/05/20 14:27:00, Abaqus/Standard Time 2020

Step: Step-2
 Mode: 5; Value = 2.08348E+05 Freq = 72.647 (cycles/unit)
 Primary Var: U, Magnitude
 Deformed Var: U Deformation Scale Factor: +9.000e-01

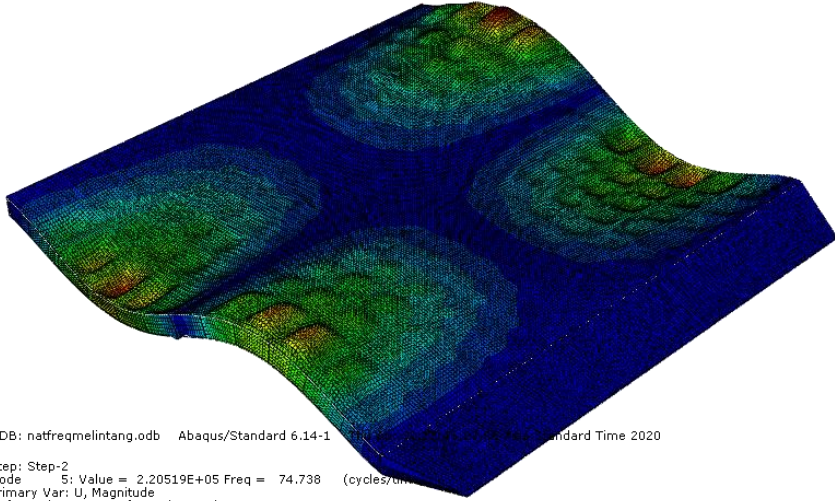
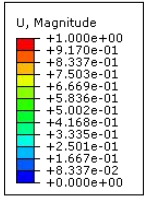
F. Bentuk Kerusakan *Debonding* Melintang Dengan *Spring Element*





ODB: natfreqmelintang.odb Abaqus/Standard 6.14-1 10/10/2019 10:05:00 AM Standard Time 2020

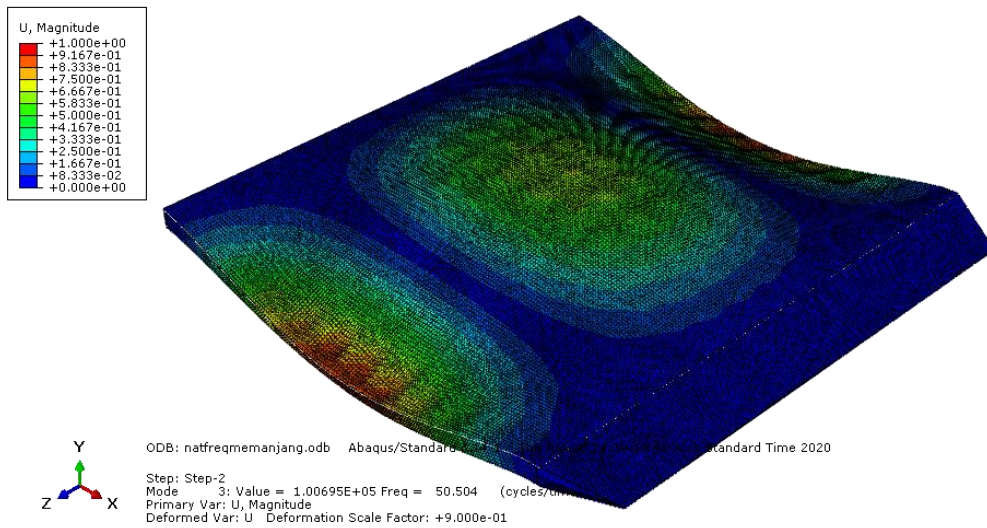
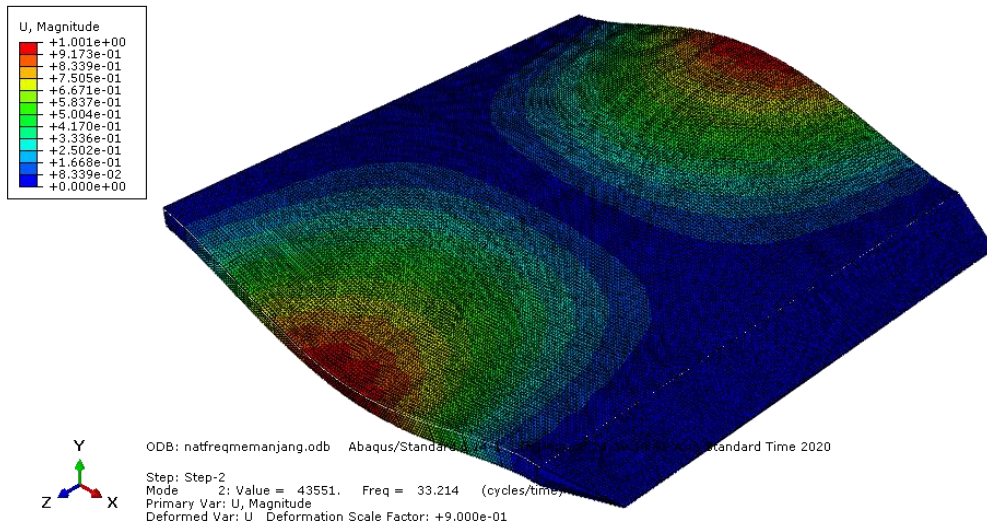
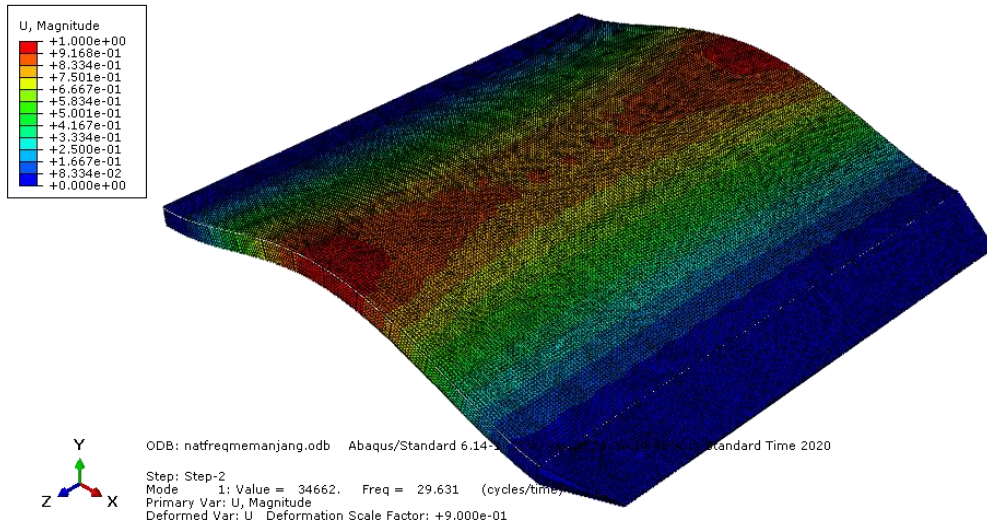
Step: Step-2
 Mode 4: Value = 1.99117E+05 Freq = 71.019 (cycles/unit)
 Primary Var: U, Magnitude
 Deformed Var: U Deformation Scale Factor: +8.997e-01

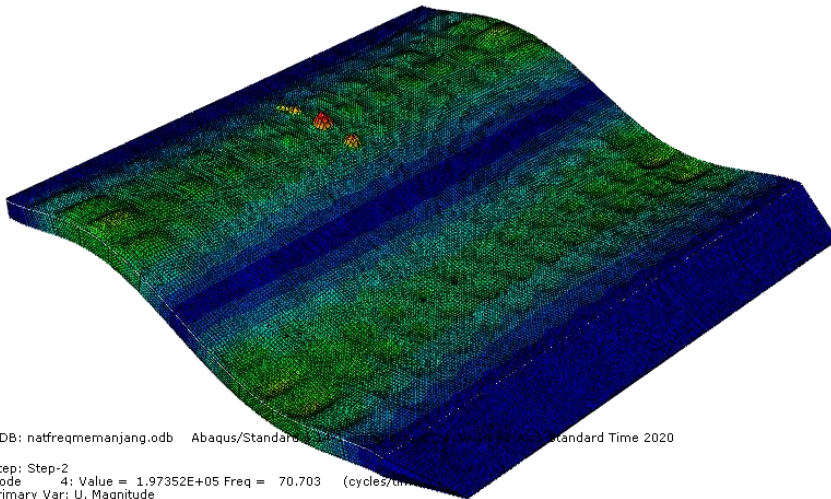
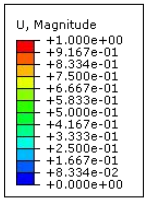


ODB: natfreqmelintang.odb Abaqus/Standard 6.14-1 10/10/2019 10:05:00 AM Standard Time 2020

Step: Step-2
 Mode 5: Value = 2.20519E+05 Freq = 74.738 (cycles/unit)
 Primary Var: U, Magnitude
 Deformed Var: U Deformation Scale Factor: +9.000e-01

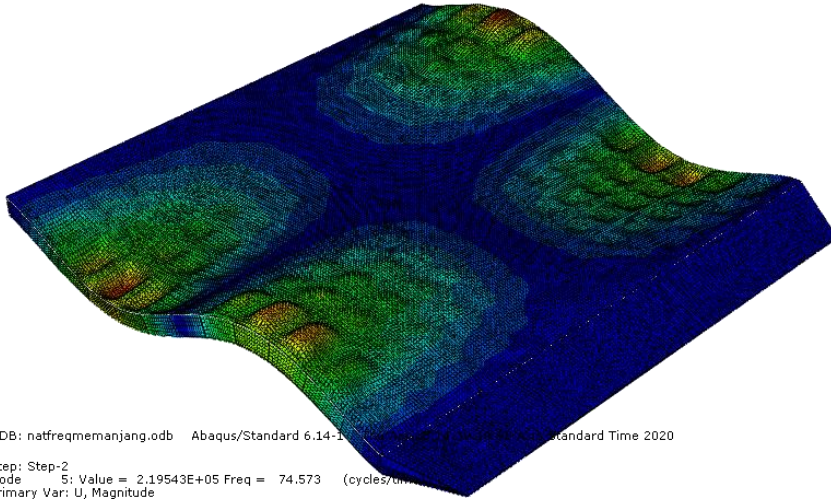
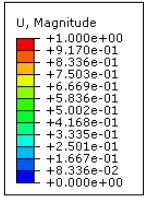
G. Bentuk Kerusakan *Debonding* Memanjang Dengan *Spring Element*





ODB: natfreqmemanjang.odb Abaqus/Standard 6.14-1 (64-bit) Abaqus/Standard Time 2020

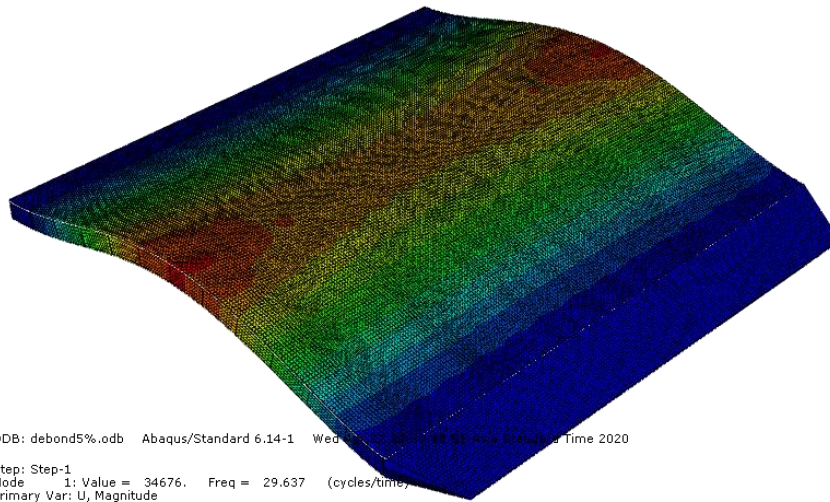
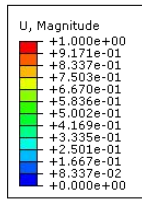
Step: Step-2
 Mode: 4; Value = 1.97352E+05 Freq = 70.703 (cycles/unit)
 Primary Var: U, Magnitude
 Deformed Var: U Deformation Scale Factor: +9.000e-01



ODB: natfreqmemanjang.odb Abaqus/Standard 6.14-1 (64-bit) Abaqus/Standard Time 2020

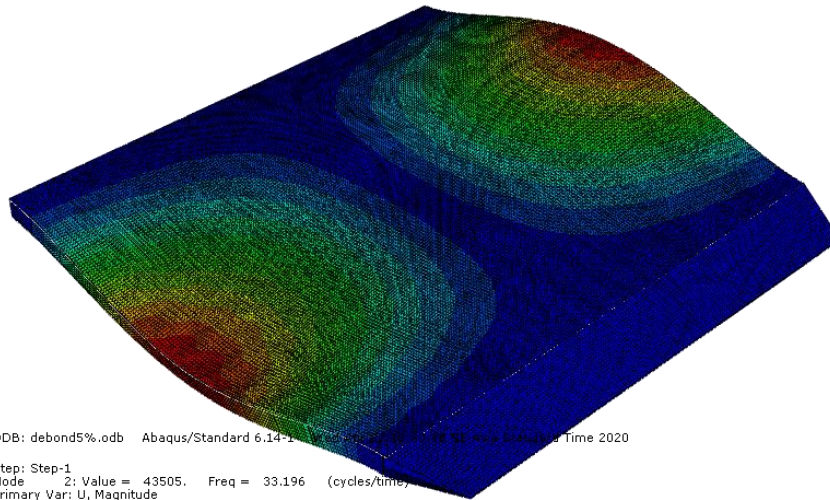
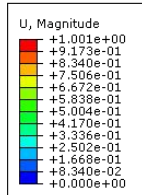
Step: Step-2
 Mode: 5; Value = 2.19543E+05 Freq = 74.573 (cycles/unit)
 Primary Var: U, Magnitude
 Deformed Var: U Deformation Scale Factor: +9.000e-01

H. Bentuk Kerusakan *Debonding* Persegi Dengan *Spring Element*



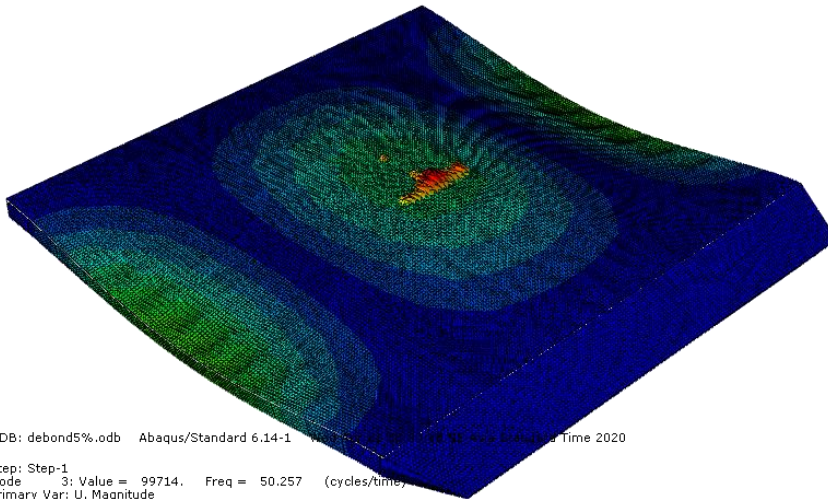
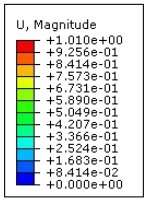
ODB: debond5%.odb Abaqus/Standard 6.14-1 Wed Aug 14 11:18:51 AM 2020

Step: Step-1
Mode 1: Value = 34676. Freq = 29.637 (cycles/time)
Primary Var: U, Magnitude
Deformed Var: U Deformation Scale Factor: +9.004e-01



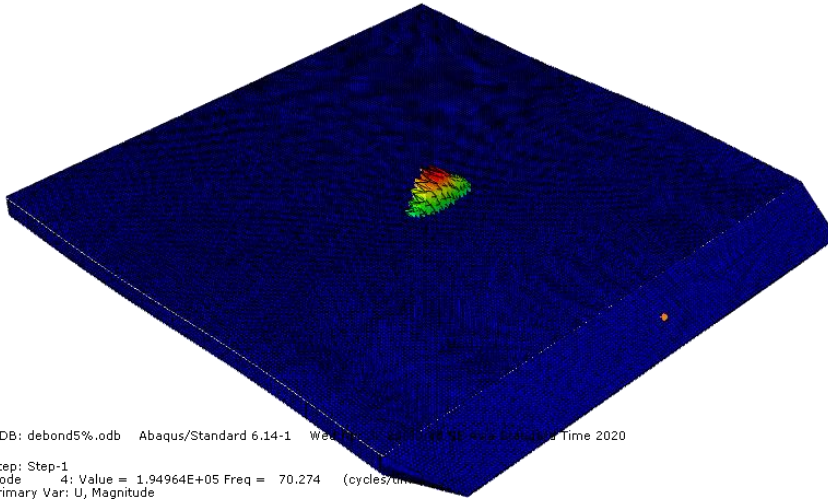
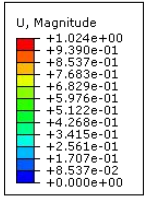
ODB: debond5%.odb Abaqus/Standard 6.14-1 Wed Aug 14 11:18:51 AM 2020

Step: Step-1
Mode 2: Value = 43505. Freq = 33.196 (cycles/time)
Primary Var: U, Magnitude
Deformed Var: U Deformation Scale Factor: +9.004e-01



ODB: debond5%.odb Abaqus/Standard 6.14-1 Wed Jul 26 12:58:59 PM Asia/Manila Time 2020

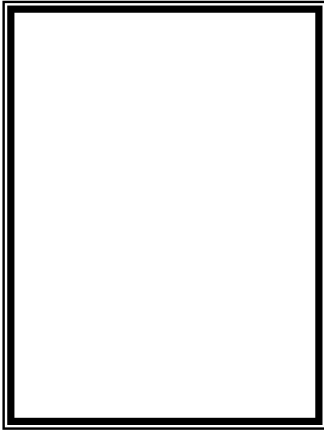
Step: Step-1
 Mode 3: Value = 99714. Freq = 50.257 (cycles/time)
 Primary Var: U, Magnitude
 Deformed Var: U Deformation Scale Factor: +9.004e-01



ODB: debond5%.odb Abaqus/Standard 6.14-1 Wed Jul 26 12:59:01 PM Asia/Manila Time 2020

Step: Step-1
 Mode 4: Value = 1.94964E+05 Freq = 70.274 (cycles/time)
 Primary Var: U, Magnitude
 Deformed Var: U Deformation Scale Factor: +9.004e-01

BIODATA PENULIS



Muhammad Fathi Ilham. Lahir di Malang pada tanggal 11 Januari 1998 hari Minggu pagi. Penulis adalah anak pertama dari dua bersaudara. Penulis menempuh pendidikan pada TK Muslimat NU 17 Malang, lalu melanjutkan pendidikan di SD Negeri Sukun III Malang, lalu SMP Negeri 8 Malang, dan SMA Negeri 1 Malang. Kemudian penulis melanjutkan pendidikan di Departemen Teknik Perkapalan ITS pada tahun 2016 melalui jalur SBMPTN.

Penulis mengambil Rumpun Mata Kuliah Konstruksi dan Kekuatan Kapal. Selama masa perkuliahan, penulis pernah menjalani beberapa organisasi yaitu antara lain *staff* ahli BIRO Media dan Informasi Kreatif Himatekpal 2017/2018, *staff* Departemen PSDM BEM FTK ITS 2017/2018, Pemandu Samudera X FTK ITS, dan menjabat sebagai ketua Departemen PSDM BEM FTK ITS 2019. Penulis juga aktif pada beberapa kepanitiaan pada lingkup jurusan, intitut, bahkan regional. Beberapa kepanitiaan tersebut adalah sebagai fasilitator acara Gerigi ITS 2017, *staff* Publikasi dan Dokumentasi NASDARC SAMPAN 10 Himatekpal, *comittee of Oil Rig Design and Competition* PETROLIDA 2018, dan ketua Ini Lho ITS regional Malang 2018. Penulis juga pernah menjadi *grader* untuk mata kuliah Gambar Teknik pada tahun 2017 di Departemen Teknik Perkapalan FTK ITS.

Email: elfathi54el@gmail.com