

## **TUGAS AKHIR**

# **PEMODELAN FEM UNTUK FENDER DI TERMINAL PENUMPANG BANDAR DELI MENGGUNAKAN SOFTWARE SOLIDWORKS**

*Diajukan Untuk Memenuhi Syarat-Syarat Memperoleh  
Gelar Sarjana Teknik Sipil Pada Fakultas Teknik  
Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara*

**Disusun Oleh:**

**MHD. TONDI ALFARIZI**

**1707210159**



**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA  
MEDAN  
2021**



## LEMBAR PERSETUJUAN PEMBIMBING

Tugas Akhir ini diajukan oleh:

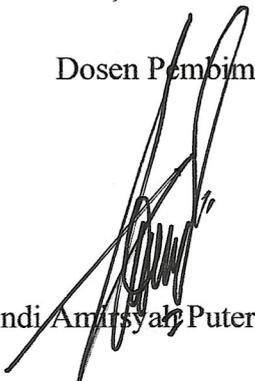
Nama : Mhd. Tondi Alfarizi  
NPM : 1707210159  
Program Studi : Teknik Sipil  
Judul Skripsi : Pemodelan FEM Untuk Fender Di Terminal Penumpang  
Bandar Deli Menggunakan *Software* Solidworks

DISETUJUI UNTUK DISAMPAIKAN KEPADA

PANITIA UJIAN SKRIPSI

Medan, 21 Oktober 2021

Dosen Pembimbing

  
Tondi Amirsyah Putera, ST., M.T

## HALAMAN PENGESAHAN

Tugas Akhir ini diajukan oleh:

Nama : Mhd. Tondi Alfarizi  
NPM : 1707210159  
Program Studi : Teknik Sipil  
Judul Skripsi : Pemodelan FEM Untuk Fender Di Terminal Penumpang  
Bandar Deli Menggunakan *Software* Solidworks  
Bidang Ilmu : Struktur

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Tim penguji dan diterima sebagai salah satu syarat yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Medan, 21 Oktober 2021

Mengetahui dan menyetujui:

Dosen Pembimbing

Tondi Amirsyah Putera, ST., M.T

Dosen Pemanding I

  
Dr. Ade Faisal, S.T, M.Sc

Dosen Penguji II

  
Assoc. Prof. Dr. Fahrizal Z., M.Sc

Ketua Prodi Teknik Sipil

  
Assoc. Prof. Dr. Fahrizal Z., M.Sc

## SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Mhd. Tondi Alfarizi  
Tempat/Tanggal Lahir : Medan/ 10 Maret 1999  
NPM : 1707210159  
Fakultas : Teknik  
Program Studi : Teknik Sipil

Menyatakan dengan sesungguhnya dan sejujurnya, bahwa laporan Tugas Akhir saya yang berjudul:

“Pemodelan FEM Untuk Fender Di Terminal Penumpang Bandar Deli Menggunakan *Software* Solidworks”.

Bukan merupakan plagiarisme, pencurian hasil karya milik orang lain, hasil kerja orang lain untuk kepentingan saya karena hubungan material dan non-material, ataupun segala kemungkinan lain, yang pada hakekatnya bukan merupakan karya tulis Tugas Akhir saya secara orisinil dan otentik.

Bila kemudian hari diduga ada ketidaksesuaian antara fakta dengan kenyataan ini, saya bersedia di proses oleh Tim Fakultas yang dibentuk untuk melakukan verifikasi, dengan sanksi terberat berupa pembatalan kelulusan/kerjasama saya.

Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan kesadaran sendiri dan tidak atas tekanan ataupun paksaan dari pihak manapun demi menegakkan integritas akademik di Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Medan, 21 Oktober 2021  
Saya yang menyatakan,



Mhd. Tondi Alfarizi

## ABSTRAK

### PEMODELAN FEM UNTUK FENDER DI TERMINAL PENUMPANG BANDAR DELI MENGGUNAKAN *SOFTWARE SOLIDWORKS*

Mhd. Tondi Alfarizi

1707210159

Tondi Amirsyah Putera, S.T, M.T

Fender merupakan bantalan yang diletakkan di depan dermaga yang berfungsi untuk melindungi badan kapal dan dermaga karena gesekan pada saat kapal merapat yang menghasilkan energi yang disebut *berthing energy*. Apabila fender tidak dapat menahan beban yang bekerja maka gaya bentur yang terjadi akan mempengaruhi struktur dermaga sehingga struktur dermaga akan mengalami kerusakan. Di dalam tugas akhir ini dilakukan pemodelan dan simulasi fender untuk terminal penumpang Bandar Deli dengan 3 jenis pemodelan yaitu V fender, M fender dan *rectangular* fender dengan lendutan yang diijinkan oleh pabrikan sebesar 45% dari tinggi fender. Dihasilkan energi bentur senilai 0,712 ton-m dan gaya sandar senilai 0,766 ton yang berasal dari kapal KM. Kelud berkapasitas 3175 DWT. Analisis FEM dilakukan dengan bantuan *software* Solidworks untuk mendapatkan nilai tegangan dan *displacement* yang selanjutnya dilakukan perhitungan nilai kekakuan masing-masing tipe fender untuk mengetahui kekuatan struktur. Perhitungan analisa mendapatkan nilai tegangan dan *displacement* untuk V fender senilai 0,03618 N/mm<sup>2</sup> dan 1,2134 mm, M fender senilai 0,17476 N/mm<sup>2</sup> dan 8,0253 mm, dan untuk *rectangular* fender senilai 0,21319 N/mm<sup>2</sup> dan 3,3476 mm. Hasilnya menunjukkan bahwa ketiga jenis fender aman terhadap deformasi plastis dan memenuhi lendutan ijin.

Kata kunci: fender, analisa tegangan, analisa *displacement*.

## **ABSTRACT**

### **FEM MODELING OF FENDER AT BANDAR DELI PASSENGER TERMINAL USING SOLIDWORKS**

Mhd. Tondi Alfarizi  
1707210159

Tondi Amirsyah Putera, S.T, M.T

*Fender is a barrier pad that placed in front of the pier. Fender is used to protect vessels and the pier for the friction when it docking that producing berthing energy. If the fender is not able to withstand the working load, then the berthing forces that occurs will affect the structure of the pier so it can be damaged. In this final project, modeling and simulation of fenders for Bandar Deli passenger terminal is designed out with 3 types of modeling, they are V fender, M fender and rectangular fender with the allowable deflection by the manufacturer is 45% of the fender height. The resulting of berthing energy is 0,712 ton-meters and the berthing forces is 0,766 tons obtained from KM Kelud vessel which 3175 DWT. FEM analysis was carried out with Solidworks to obtain the stress and displacement values, then the stiffness value of fender was calculated to determine the strength of the structure. The calculation obtaining stress and displacement values for each fender are 0,03618 N/mm<sup>2</sup> and 1,2134 mm for V fender, 0,17476 N/mm<sup>2</sup> and 8,0253 mm for M fender, and 0,21319 N/mm<sup>2</sup> and 3,3476 mm for rectangular fender. The results show that all types of fenders are safe against plastic deformation.*

*Keywords: Fender, stress analysis, displacement analysis*

## KATA PENGANTAR

Dengan nama Allah Yang Maha Pengasih lagi Maha Penyayang. Segala puji dan syukur penulis ucapkan kehadirat Allah SWT yang telah memberikan karunia dan nikmat yang tiada terkira. Salah satu dari nikmat tersebut adalah keberhasilan penulis dalam menyelesaikan laporan Tugas Akhir ini yang berjudul “Pemodelan FEM Untuk Fender Di Terminal Penumpang Bandar Deli Menggunakan *Software Solidworks*” sebagai syarat untuk meraih gelar akademik Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara (UMSU), Medan.

Banyak pihak telah membantu dalam menyelesaikan laporan Tugas Akhir ini, untuk itu penulis menghaturkan rasa terimakasih yang tulus dan dalam kepada:

1. Bapak Tondi Amirsyah Putera, ST, MT selaku Dosen Pembimbing yang telah banyak membimbing dan mengarahkan penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
2. Bapak Dr. Ade Faisal selaku Dosen Pembimbing I yang telah memberikan koreksi dan masukan kepada penulis dalam menyelesaikan tugas akhir ini.
3. Bapak Assoc. Prof. Dr. Fahrizal Zulkarnain, M.Sc selaku Dosen Pembimbing II sekaligus Ketua Program Studi Teknik Sipil, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara yang telah memberikan koreksi dan masukan kepada penulis dalam menyelesaikan tugas akhir ini.
4. Ibu Rizki Efrida S.T, M.T selaku selaku Sekretaris Program Studi Teknik Sipil, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
5. Bapak Munawar Alfansury Siregar, S.T, M.T selaku Dekan Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
6. Seluruh Bapak/Ibu Dosen di Program Studi Teknik Sipil, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara yang telah banyak memberikan ilmu ketekniksipilan kepada penulis.
7. Bapak/Ibu Staf Administrasi di Biro Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

8. Orang Tua Penulis, Bapak Sori Muda Siregar dan Ibu Nurma Sari Daulay yang telah memberikan kasih sayang tanpa batas, membesarkan, membimbing, memberikan dukungan baik moral maupun materil dan doa-doa terbaik yang tidak pernah putus hingga hari ini serta Kakak tersayang Chairina Sari Siregar dan Ade Irma SM Siregar yang telah memberikan dukungan dan semangat dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
9. Bapak Riky Armadi selaku *vice president* divisi *Project Manager* Fasilitas PT. Pelindo 1 (Persero) serta staf-staf yang telah membantu dan mengizinkan untuk melaksanakan tugas akhir ini.
10. Sahabat penulis Abdur Rozak, Taufiqurrahman, Nurul Wahidah Siregar, Mariadly Rizky Abdillah, Farhan, Lisa Handayani Sihotang, Okky Aditya Fahreza teman-teman kelas D-1 Pagi, CK Angkot, The Curutz, Lapak's serta keluarga besar Teknik Sipil 2017 serta teman sejawat lainnya yang tidak mungkin namanya disebut satu per satu terimakasih atas dukungan dan kerjasamanya selama ini.

Laporan Tugas Akhir ini tentunya masih jauh dari kesempurnaan, untuk itu penulis berharap kritik dan masukan yang konstruktif untuk menjadi bahan pembelajaran berkesinambungan penulis di masa depan. Semoga laporan Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi dunia konstruksi teknik sipil.

Medan, 2021

Mhd. Tondi Alfarizi

## DAFTAR ISI

LEMBAR PERSETUJUAN PEMBIMBING	i
HALAMAN PENGESAHAN	ii
SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR	iii
ABSTRAK	iv
<i>ABSTRACT</i>	v
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR TABEL	x
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR NOTASI	xiii
BAB 1 PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	1
1.3 Tujuan Penelitian	2
1.4 Ruang Lingkup	2
1.5 Manfaat Penelitian	3
1.6 Sistematika Penulisan	3
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Pelabuhan	5
2.1.1 Pengertian Pelabuhan	5
2.1.2 Fungsi Pelabuhan	5
2.2 Dermaga	6
2.2.1 Gaya – Gaya Yang Bekerja Pada Dermaga	6
2.3 Kapal	11
2.4 Fender	12
2.4.1 Pengertian Fender	12
2.4.2 Tipe – Tipe Fender	14
2.4.3 Perencanaan Fender	14
2.4.4 Kerusakan Pada Fender	19
2.5 Tegangan ( <i>Stress</i> )	19
	viii

2.6	Deformasi ( <i>Displacement</i> )	20
2.7	Kekuatan Luluh ( <i>Yield Strength</i> )	20
2.8	Kekakuan ( <i>Stiffness</i> )	20
2.9	<i>Finite Element Method</i> (FEM)	21
BAB 3 METODE PENELITIAN		
3.1	Umum	23
3.2	Analisis Gaya – Gaya yang Bekerja	24
3.3	Pemodelan Fender	24
3.4	Input Definisi Material Pada Pemodelan	28
3.5	<i>Fixtures Advisor</i>	29
3.6	Pembebanan Beban	30
3.6.1	V Fender	30
3.6.2	M Fender	31
3.6.3	<i>Rectangular</i> Fender	32
3.7	Meshing	32
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN		
4.1	<i>Stress</i> (Tegangan)	34
4.1.1	V Fender	34
4.1.2	M Fender	35
4.1.3	<i>Rectangular</i> fender	36
4.1.4	Perbandingan Tegangan	37
4.2	<i>Displacement</i>	38
4.2.1	V Fender	39
4.2.2	M Fender	40
4.2.3	<i>Rectangular</i> fender	41
4.2.4	Perbandingan <i>Displacement</i>	42
4.3	Kekakuan ( <i>Stiffness</i> )	43
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN		
5.1	Kesimpulan	45
5.2	Saran	46
DAFTAR PUSTAKA		
LAMPIRAN		
DAFTAR RIWAYAT HIDUP		

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Kecepatan merapat kapal pada dermaga	8
Tabel 2.2	Gaya <i>bollard</i> dan jarak antara <i>bollard</i>	11
Tabel 2.3	Jarak antara fender	18
Tabel 3.1	Dimensi V Fender 400H × 1500L	24
Tabel 3.2	Gaya reaksi dan energi fender M fender 1000L	25
Tabel 3.3	Dimensi M fender 300H × 1000L	25
Tabel 3.4	Dimensi dan gaya reaksi dan energi <i>rectangular</i> fender	27
Tabel 4.1	Tabel hasil perhitungan kekakuan masing-masing jenis fender	43

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Jenis Dermaga	6
Gambar 2.2	Dermaga bentuk jari untuk dua tambatan	7
Gambar 2.3	Dermaga bentuk jari untuk dua tambatan	7
Gambar 2.4	Jarak pusat berat kapal sampai titik sandar kapal	9
Gambar 2.5	Jari-jari putaran di sekeliling pusat berat kapal	10
Gambar 2.6	Dimensi kapal	12
Gambar 2.7	Defleksi fender karena benturan kapal	13
Gambar 2.8	Kurva defleksi-gaya suatu fender	13
Gambar 2.9	Benturan kapal pada dermaga	16
Gambar 2.10	Posisi kapal terhadap fender	17
Gambar 2.11	Posisi kapal pada waktu membentur fender	17
Gambar 2.12	Jarak antara fender	18
Gambar 2.13	Konsep dasar pembagian suatu benda menjadi beberapa elemen	22
Gambar 3.1	Diagram Alir	23
Gambar 3.2	Detail dimensi V Fender 400H × 1500L	24
Gambar 3.3	Hasil pemodelan V Fender 400H × 1500L	25
Gambar 3.4	Detail dimensi M fender 300H × 1000L	26
Gambar 3.5	Hasil pemodelan M fender 300H × 1000L	26
Gambar 3.6	Detail dimensi <i>rectangular</i> fender	27
Gambar 3.7	Hasil pemodelan <i>rectangular</i> fender 150H × Ø75	27
Gambar 3.8	Input material karet ( <i>rubber</i> ) pada <i>software</i>	28
Gambar 3.9	Penerapan tumpuan jepit/ <i>fixed geometry</i> pada model V Fender 400H × 1500L	29
Gambar 3.10	Penerapan tumpuan jepit/ <i>fixed geometry</i> pada model M fender 300H × 1000L	29
Gambar 3.11	Penerapan tumpuan jepit/ <i>fixed geometry</i> pada model <i>rectangular</i> fender 150H × Ø75	30
Gambar 3.12	Penerapan beban pada model V Fender 400H × 1500L	31
Gambar 3.13	Penerapan beban pada model M fender 300H × 1000L	31

Gambar 3.14	Penerapan beban pada model <i>rectangular</i> fender 150H × Ø75	32
Gambar 3.15	<i>Meshing</i> pada model V Fender 400H × 1500L	33
Gambar 3.16	<i>Meshing</i> pada model M fender 300H × 1000L	33
Gambar 3.17	<i>Meshing</i> pada model <i>rectangular</i> fender 150H × Ø75	33
Gambar 4.1	Distribusi tegangan ( <i>stress</i> ) pada V fender 400H × 1500L	34
Gambar 4.2	Grafik tegangan ( <i>stress</i> ) V fender 400H × 1500L	35
Gambar 4.3	Distribusi tegangan ( <i>stress</i> ) pada M fender 300H × 1000L	35
Gambar 4.4	Grafik tegangan ( <i>stress</i> ) M fender 300H × 1000L	36
Gambar 4.5	Distribusi tegangan ( <i>stress</i> ) pada <i>rectangular</i> fender 150H × Ø75	36
Gambar 4.6	Grafik tegangan ( <i>stress</i> ) <i>rectangular</i> fender 150H × Ø75	37
Gambar 4.7	Grafik perbandingan tegangan ( <i>stress</i> ) antar jenis fender	37
Gambar 4.8	Distribusi <i>displacement</i> pada V fender 400H × 1500L	39
Gambar 4.9	Grafik <i>displacement</i> V fender 400H × 1500L	39
Gambar 4.10	Distribusi <i>displacement</i> pada M fender 300H × 1000L	40
Gambar 4.11	Grafik <i>displacement</i> M fender 300H × 1000L	40
Gambar 4.12	Distribusi <i>displacement</i> pada <i>rectangular</i> fender 150H × Ø75	41
Gambar 4.13	Grafik <i>displacement</i> <i>rectangular</i> fender	41
Gambar 4.14	Perbandingan <i>displacement</i> antar jenis fender	42
Gambar 4.15	Perbandingan kekakuan antar jenis fender	44

## DAFTAR NOTASI

- [F] = Vektor beban atau gaya titik simpul elemen (node)
- [K] = Matriks kekakuan batang
- [u] = Vektor peralihan atau perpindahan (*displacement*)
- A = Luas penampang ( $\text{mm}^2$ )
- $A_c$  = Luas tampang kapal yang terendam air ( $\text{m}^2$ )
- $A_w$  = Proyeksi bidang yang tertiuip angin ( $\text{m}^2$ )
- B = Lebar kapal (m)
- $C_b$  = Koefisien blok kapal
- $C_c$  = Koefisien bentuk dari tambatan (diambil 1)
- $C_e$  = Koefisien eksentrisitas
- $C_m$  = Koefisien massa
- $C_s$  = Koefisien kekerasan (diambil 1)
- d = Draft kapal (m)
- D = Defleksi fender
- E = Energi benturan (ton meter)
- F = Gaya bentur yang diserap sistem fender
- g = Percepatan gravitasi ( $\text{m/d}^2$ )
- h = Tinggi fender (m)
- K = Kekakuan/*stiffness* (kN/mm)
- L = Jarak maksimum antara fender (m)
- $L_{pp}$  = Panjang garis air (m)
- l = Jarak sepanjang permukaan air dermaga dari pusat berat kapal sampai titik sandar kapal.
- P = Gaya normal (N)
- $Q_a$  = Tekanan angin ( $\text{kg/m}^2$ )
- R = Gaya akibat arus (kgf)
- $R_w$  = Gaya akibat angin (kg)
- r = Jari – jari kelengkungan sisi haluan kapal (m)
- V = Komponen tegak lurus sisi dermaga dari kecepatan kapal pada saat

- membentur dermaga (m/d)
- $V_c$  = Kecepatan arus (m/d)
- $W$  = *Displacement* (berat) kapal
- $\gamma_0$  = Berat jenis air laut (t/m<sup>3</sup>)
- $\sigma$  = Tegangan normal (Mpa)
- $\delta$  = Lendutan (mm)

# BAB 1

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Pelabuhan (*port*) adalah wilayah yang terlindung dari gelombang yang dilengkapi dengan fasilitas meliputi dermaga. Dermaga merupakan struktur pelabuhan yang berfungsi bagi kapal untuk merapat dan berambat. Merapatnya kapal ke dermaga menyisakan kecepatan kapal baik yang digerakkan oleh mesinnya sendiri (kapal kecil) atau ditarik oleh kapal tunda (kapal besar) sehingga menyebabkan benturan antara dermaga dengan kapal. Benturan tersebut dapat mengakibatkan kerusakan yang dapat dihindari dengan memerlukan suatu struktur pada dermaga yang biasa disebut fender (Triatmodjo, 2009).

Fender adalah bantalan yang berfungsi untuk melindungi badan kapal dikarenakan gesekan antara dermaga dan kapal yang disebabkan oleh gerak karena arus, angin dan gelombang (Fauzan, 2018). Untuk mendapatkan jenis dan dimensi fender yang efektif maka perlu dilakukan analisis dan perhitungan beban yang bekerja pada fender seperti beban tumbukan kapal. Gaya yang besar yang diteruskan ke dermaga serta jenis dan dimensi fender yang tidak efektif akan menyebabkan fender tidak dapat bekerja maksimal sehingga fender mengalami kerusakan dan harus segera diganti.

(Wahid, 2011) mengemukakan beberapa jenis kerusakan pada fender meliputi retak halus, retak dalam dan karet bagian pinggir karet fender rusak (*torn off*), pecah pada karet fender, karet fender yang lepas dan hancur sebagian, rusak permukaan, karet fender melengkung, kerusakan campuran, baut pada fender lepas atau putus, dan angkur pada fender lepas. Maka dari itu analisa fender diperlukan sehingga fender yang dipilih dapat bekerja maksimal terhadap gaya bentur kapal.

### 1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang disajikan, maka rumusan masalah yang akan dikaji adalah:

1. Berapa besar nilai energi bentur yang bekerja oleh kapal yang bersandar?

2. Bagaimana nilai *stress* dari fender akibat gaya yang bekerja?
3. Bagaimana nilai *displacement* dari fender akibat gaya yang bekerja?
4. Bagaimana kekakuan dari masing-masing tipe fender akibat gaya yang bekerja?

### 1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penulisan tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Untuk mengetahui nilai energi bentur yang bekerja oleh kapal yang bersandar.
2. Untuk mengetahui nilai *stress* dari fender akibat gaya yang bekerja.
3. Untuk mengetahui nilai *displacement* dari fender akibat gaya yang bekerja.
4. Untuk mengetahui kekakuan dari masing-masing tipe fender akibat gaya yang bekerja.

### 1.4 Ruang Lingkup

Dengan keterbatasan yang dimiliki dan mempertimbangkan luasnya faktor-faktor yang berpengaruh, maka dalam studi kasus ini digunakan batasan-batasan masalah sebagai berikut:

1. Kapal yang digunakan pada perhitungan gaya adalah kapal terbesar yang bersandar pada terminal penumpang Bandar Deli yaitu kapal KM. Kelud dengan berat 3175 DWT.
2. Penelitian ini tidak meninjau perencanaan biaya, manajemen konstruksi maupun memperhitungkan proses desain pelabuhan, dan dermaga serta tidak melakukan analisis pengangkutan sehingga angkur diasumsikan menjadi perletakan jepit.
3. Hasil analisis yang diperoleh difokuskan/ dititik beratkan pada struktur fender dimana fender yang dianalisis terdiri dari 3 jenis fender dimana satu fender merupakan fender yang telah terpasang di terminal penumpang Bandar Deli, dan dua fender lainnya ditentukan berdasarkan hasil perhitungan gaya dan jenis fender yang tersedia dalam data dengan lendutan maksimal fender sebesar 45%.

4. Pemodelan dan analisis elemen hingga merupakan analisis non linier menggunakan bantuan perangkat lunak komputer dengan hasil akhir yang ditinjau dalam penelitian ini terdiri dari 2 (dua) hasil meliputi: *stress*, *displacement*.
5. Data yang didapatkan merupakan data sekunder yang diperoleh dari PT. Pelabuhan Indonesia I (Persero).

### **1.5 Manfaat Penelitian**

Dari hasil pemodelan fender dengan menggunakan pemodelan elemen hingga maka diharapkan tugas akhir ini dapat memberikan manfaat untuk mengetahui bagaimana menghitung gaya yang bekerja pada sistem fender dan memberikan informasi perbandingan tegangan, *displacement* serta kekakuan antar jenis fender terhadap gaya yang besarnya sama.

### **1.6 Sistematika Penulisan**

Untuk memperjelas tahapan yang di lakukan dalam studi ini, di dalam penulisan tugas akhir ini dikelompokkan ke dalam 5 (lima) bab dengan sistematika pembahasan sebagai berikut:

#### **BAB 1 PENDAHULUAN**

Bab ini berisikan latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan studi kasus, manfaat studi kasus dan sistematika penulisan.

#### **BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA**

Bab ini meliputi pengambilan teori dari beberapa sumber bacaan dan narasumber yang mendukung analisa permasalahan yang berkaitan dengan tugas akhir ini.

#### **BAB 3 METODE PENELITIAN**

Bab ini membahas tentang pendiskripsikan dan langkah langkah yang akan dilakukan. Cara memperoleh data-data yang relevan dengan studi kasus yang berisikan objek, alat-alat, tahapan dan kebutuhan data.

#### BAB 4 ANALISA DATA

Bab ini membahas tentang proses pengolahan data, penyajian data dan hasil data.

#### BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini berisikan kesimpulan logis berdasarkan analisa data, temuan dan bukti yang disajikan sebelumnya yang menjadi dasar untuk menyusun suatu saran sebagai suatu usulan.

## BAB 2

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Pelabuhan

##### 2.1.1 Pengertian Pelabuhan

Berdasarkan Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 61 Tahun (2009) tentang Kepelabuhan. Pelabuhan adalah tempat yang terdiri atas daratan atau perairan dengan batas-batas tertentu sebagai tempat kegiatan pemerintahan dan kegiatan pengusahaan yang dipergunakan sebagai tempat kapal bersandar, naik turun penumpang, atau bongkar muat barang, berupa terminal dan tempat berlabuh kapal yang dilengkapi dengan fasilitas keselamatan dan keamanan pelayaran pelayaran dan kegiatan penunjang pelabuhan serta sebagai tempat perpindahan intra-dan antar moda transportasi.

Pelabuhan (*port*) merupakan kawasan perairan yang terlindung dari ombak dan memiliki fasilitas terminal laut salah satunya dermaga. Dermaga berfungsi untuk bongkar muat barang, gudang laut (*transito*) dan lokasi penyimpanan serta gudang barang - barang yang disimpang selama menunggu pengiriman ke daerah tujuan (Triatmodjo, 2009).

Dari uraian diatas maka dapat disimpulkan bahwa pelabuhan merupakan tempat yang dilengkapi bangunan – bangunan sebagai tempat bertambat dan berlabuhnya kapal, naik turunnya penumpang, gudang laut, *crane – crane* bongkar muat barang, dan sebagai pintu gerbang suatu negara untuk kegiatan kepelabuhanan.

##### 2.1.2 Fungsi Pelabuhan

Menurut (Harahap, 2019) fungsi dari pelabuhan adalah sebagai berikut:

1. Mata rantai (*link*) yaitu pelabuhan merupakan tempat menyalurkan barang dari tempat asal barang ke tempat tujuan barang dikirimkan.
2. Titik temu (*Interface*) yaitu pelabuhan sebagai tempat pertemuan dua modetransportasi.

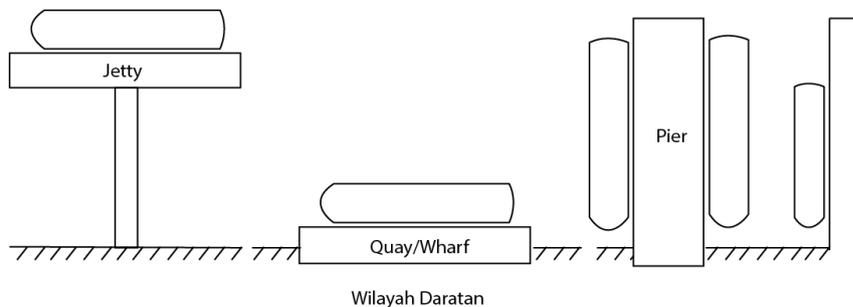
3. Pintu gerbang (*gateway*) yaitu pelabuhan sebagai pintu gerbang suatu negara atau area bagi lalu lintas perdagangan yang harus mematuhi peraturan dan prosedur yang berlaku di daerah dimana pelabuhan tersebut berada.

## 2.2 Dermaga

Dermaga merupakan struktur bangunan pelabuhan yang berfungsi untuk merapat dan menambatkan kapal yang akan menaik-turunkan penumpang dan melakukan kegiatan bongkar muat barang (Ngainuni'mah & Ni'mah, 2006).

(Triatmodjo, 2009) menjelaskan dalam bukunya yang berjudul “Perencanaan Pelabuhan” bahwa tipe dermaga terbagi 2 (dua), yaitu wharf (*quai*) dan pier (*jetty*).

- a. Wharf adalah dermaga yang sejajar dengan garis pantai dan dapat juga berupa tembok yang berdiri diatas pantai yang berfungsi sebagai penahan tanah yang ada dibelakangnya.
- b. Pier atau jetty merupakan sebuah dermaga yang menjorok kelaut dan dibangun dengan membentuk sudut dengan garis pantai sehingga dapat berbentuk T atau L.



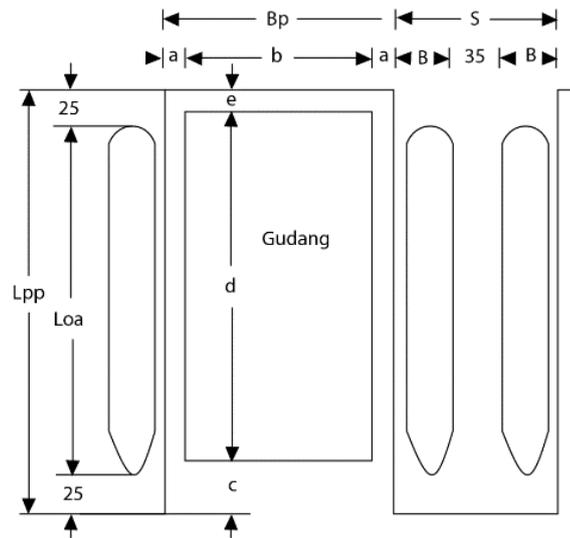
Gambar 2.1: Jenis Dermaga (Abidin et al., 2018).

### 2.2.1 Gaya – Gaya Yang Bekerja Pada Dermaga

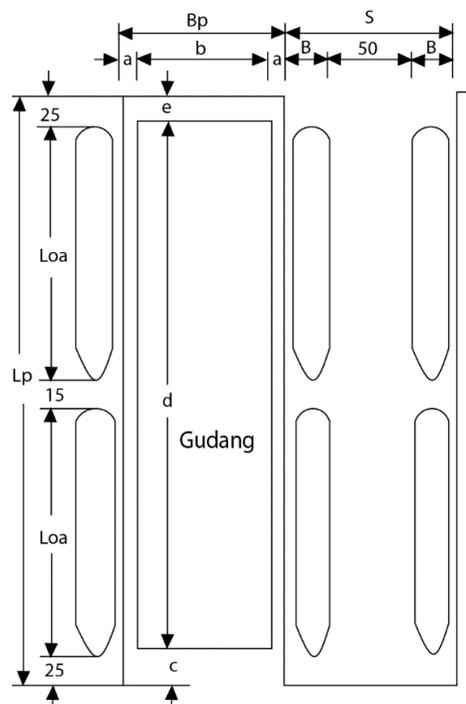
Gaya – gaya yang bekerja pada dermaga terbagi menjadi gaya vertikal yang meliputi berat sendiri bangunan dermaga, beban hidup, beban peralatan dan sebagainya dan gaya horizontal meliputi gayaambat akibat angin, arus dan gelombang serta gaya benturan kapal ketika merapat ke dermaga.

### 2.2.1.1 Gaya Sandar (*Berthing Forces*)

Gaya sandar (*berthing forces*) merupakan gaya yang ditimbulkan oleh benturan kapal dengan dermaga dikarenakan kapal masih mempunyai kecepatan dimana dalam perencanaannya benturan menghantam sisi depan dermaga pada sudut  $10^\circ$ .



Gambar 2.2: Dermaga bentuk jari untuk dua tambatan (Triatmodjo, 2009).



Gambar 2.3: Dermaga bentuk jari untuk dua tambatan (Triatmodjo, 2009).

Tipe fender yang digunakan dapat mempengaruhi hubungan antara gaya dan energi benturan kapal yang besar energinya diberikan oleh Pers. 2.1.

$$E = \frac{WV^2}{2g} C_m C_e C_s C_c \quad (2.1)$$

Dimana berat kapal (W) yang bersandar dapat dihitung dengan Pers. 2.2 untuk kapal kargo dan Pers. 2.3 untuk kapal tanker.

$$\log W = 0,511 + 0,913 \times \log DWT \quad (2.2)$$

$$\log W = 0,332 + 0,956 \times \log DWT \quad (2.3)$$

Dalam perencanaan dermaga dan sistem fender, kecepatan merapat kapal merupakan salah satu faktor penting. Persamaan berikut merupakan persamaan untuk mendapatkan koefisien massa tergantung pada gerakan air di sekeliling kapal. Kecepatan merapat kapal diberikan dalam Tabel 2.1.

Tabel 2.1: Kecepatan merapat kapal pada dermaga (Triatmodjo, 2009).

Ukuran kapal (DWT)	Kecepatan Merapat	
	Pelabuhan (m/d)	Laut Terbuka (m/d)
Sampai 500	0,25	0,30
500 – 10.000	0,15	0,20
10.000 – 30.000	0,15	0,15
Di atas 30.000	0,12	0,15

Koefisien massa tergantung pada gerakan air di sekeliling kapal, yang dapat dihitung dengan Pers. 2.4.

$$C_m = 1 + \frac{\pi}{2C_b} \frac{D}{B} \quad (2.4)$$

Dimana:

$$C_b = \frac{W}{L_{pp} B d \gamma_o} \quad (2.5)$$

Kapal yang merapat ke dermaga akan membentuk sudut terhadap dermaga sehingga pada saat kapal menyentuh dermaga, kapal akan berputar hingga sejajar

dengan dermaga dan perputaran ini menyebabkan berkurangnya energi benturan oleh kapal yang akan diserap oleh dermaga.

Koefisien eksentrisitas merupakan perbandingan antara energi sisa dan kinetik kapal yang merapat didapatkan berdasarkan Pers. 2.6.

$$C_e = \frac{1}{1 + \left(\frac{l}{r}\right)^2} \quad (2.6)$$

Panjang garis air ( $L_{pp}$ ) dapat dihitung dengan Pers. 2.7 dan Pers. 2.8.

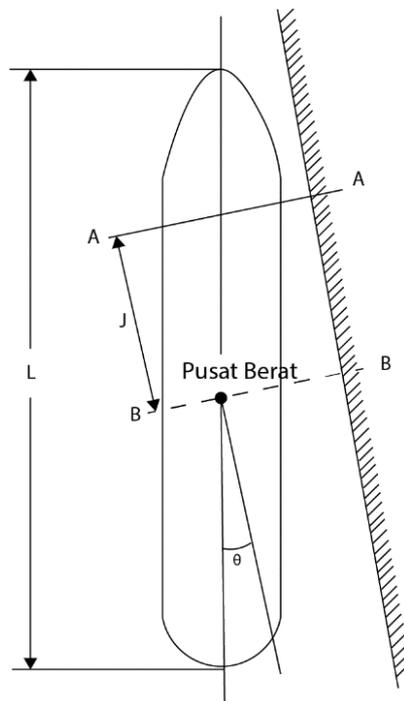
$$\text{Kapal barang} : L_{pp} = 0,846L_{oa}^{1,0193} \quad (2.7)$$

$$\text{Kapal tangker} : L_{pp} = 0,852L_{oa}^{1,0201} \quad (2.8)$$

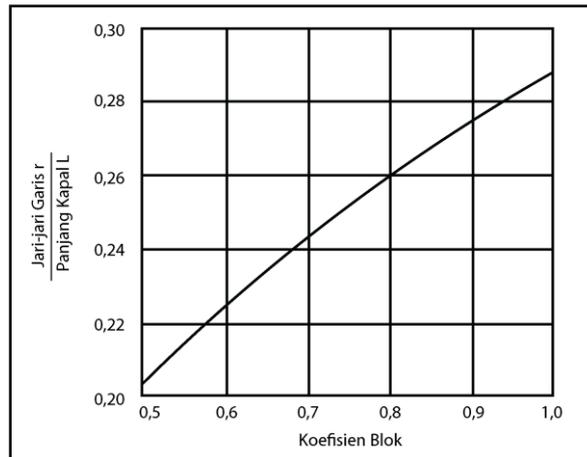
Titik kontak pertama antara kapal dan dermaga adalah suatu titik dari  $\frac{1}{4}$  panjang kapal pada dermaga dan  $\frac{1}{3}$  panjang kapal dengan nilai  $l$  adalah:

$$\text{Dermaga} : l = \frac{1}{4} L_{oa}$$

$$\text{Dolphin} : l = \frac{1}{6} L_{oa}$$



Gambar 2.4: Jarak pusat berat kapal sampai titik sandar kapal (Triatmodjo, 2009).



Gambar 2.5: Jari-jari putaran di sekeliling pusat berat kapal (Triatmodjo, 2009).

### 2.2.1.2 Gaya Tambat (*Mooring Forces*)

*Bollard* merupakan alat penambat yang ditanam/diangker pada dermaga berfungsi untuk menambatkan kapal dengan menggunakan tali yang gunanya menahan gerakan kapal yang disebabkan oleh tiupan angin dan arus yang disebut gaya tambat (*mooring forces*). Berikut ini metode untuk menghitung gaya akibat angin dan arus.

#### 1. Gaya akibat angin

Besar gaya angin tergantung pada arah dan kecepatan hembus angin. Arah angin yang mengarah ke arah dermaga akan menimbulkan gaya benturan dermaga sedangkan arah angin yang meninggalkan dermaga akan menghasilkan gaya tarikan kapal pada alat penambat. Besarnya gaya angin dapat dihitung dengan Pers. 2.9, Pers. 2.10 dan Pers 2.11.

- a. Gaya longitudinal apabila angin datang dari arah haluan ( $\alpha = 0^\circ$ )

$$R_w = 0,42Q_a A_w \quad (2.9)$$

- b. Gaya longitudinal apabila angin datang dari arah buritan ( $\alpha = 180^\circ$ )

$$R_w = 0,5Q_a A_w \quad (2.10)$$

- c. Gaya lateral apabila angin datang dari arah lebar ( $\alpha = 90^\circ$ )

$$R_w = 1,1Q_a A_w \quad (2.11)$$

Dimana:

$$Q_a = 0,063v^2 \quad (2.12)$$

2. Gaya akibat arus

Gaya ditimbulkan arus yang bekerja pada bagian kapal yang terendam juga diteruskan ke pada alat penambat dan dermaga yang besarnya diberikan oleh Pers. 2.13.

$$R_a = C_c \gamma_0 A_c \left( \frac{V_c^2}{2g} \right) \quad (2.13)$$

3. Gaya pada *bollard*

Dimensi *bollard* dan pengangkerannya harus direncanakan sehingga mampu menahan gaya tarikan kapal yang minimal bisa memutuskan tali penambat. Tabel 2.2 memberikan perkiraan jarak antara *bollard* dan gaya rencana *bollard*.

Tabel 2.2: Gaya *bollard* dan jarak antara *bollard* (Triatmodjo, 2009).

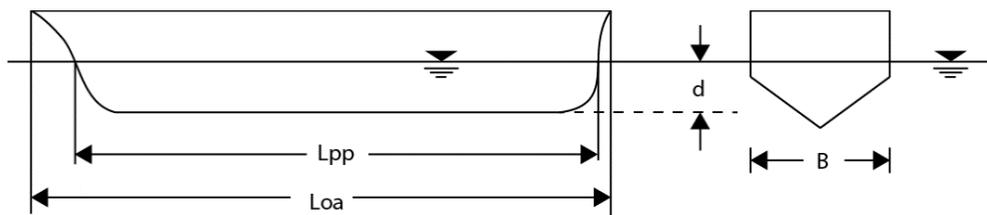
<i>Displacement</i> kapal (ton)	Gaya <i>bollard</i> P (kN)	Jarak antara <i>bollard</i> (m)	Gaya <i>Bollard</i> tegak lurus tambatan (kN/m)	Gaya <i>bollard</i> sepanjang tambatan (kN/m)
2.000	100	5 – 10	15	10
5.000	200	10 – 15	15	10
10.000	300	15	20	15
20.000	500	20	25	20
30.000	600	20	30	20
40.000	800	20 – 25	35	20
100.000	1.000	25	40	25
200.000	1.500	30	50	30

### 2.3 Kapal

Menurut KBBI (2009), kapal adalah kendaraan pengangkut penumpang dan barang di laut, sungai dan lain sebagainya. Pada pelabuhan marina jenis kapal yang bertambat adalah kapal *yatch* yang merupakan kapal motor yang digunakan untuk transportasi dan kapal pesiar yang dipakai untuk pelayanan pesiar dilengkapi dengan fasilitas penginapan dan tempat – tempat hiburan lainnya.

Dimensi kapal diperlukan sebagai salah satu faktor yang berhubungan langsung pada perencanaan pelabuhan dan fasilitas – fasilitas yang harus tersedia di pelabuhan. Terdapat beberapa istilah dimensi kapal yang digunakan dalam perencanaan pelabuhan yaitu:

1. LOA (*Length Over All*) merupakan panjang kapal yang diukur dari haluan kapal terdepan sampai buritan kapal paling belakang. Merupakan ukuran utama yang diperlukan dalam kaitannya dengan panjang dermaga.
2. LWL (*Length on design Water Line*) merupakan panjang kapal yang diukur dari haluan kapal pada garis air sampai buritan kapal pada garis air laut.
3. LBP (*Length Between Perpendicular*) merupakan panjang kapal yang diukur dari haluan kapal pada garis air sampai tinggi kemudi.
4. Lebar Kapal (*Beam*) merupakan jarak maksimum antara dua sisi kapal.



Gambar 2.6: Dimensi kapal (Triatmodjo, 2009).

## 2.4 Fender

### 2.4.1 Pengertian Fender

Fender merupakan bantalan yang diletakkan di depan dermaga yang berfungsi untuk melindungi badan kapal karena gesekan kapal dengan dermaga pada saat kapal merapat (Fauzan, 2018).

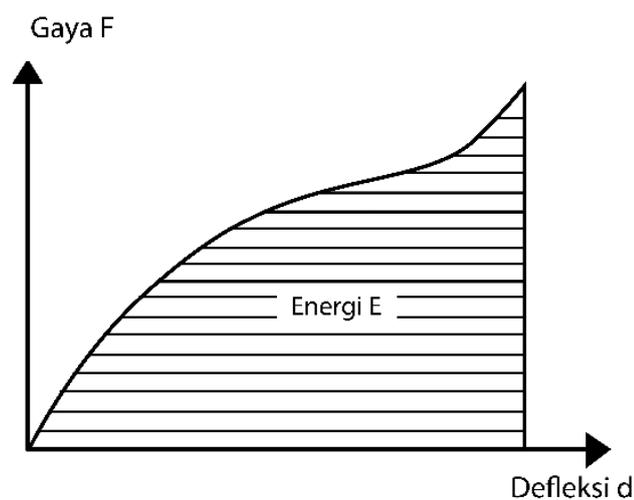
Tipe dan defleksi fender yang diijinkan mempengaruhi gaya yang diteruskan ke dermaga. Defleksi terjadi ketika adanya kapal yang membentur fender sehingga fender tersebut menyerap energi benturan kapal dan meneruskan gaya benturan tersebut ke struktur dermaga.



Gambar 2.7: Defleksi fender karena benturan kapal (Triatmodjo, 2009).

Gambar 2.7 menunjukkan defleksi fender karet tipe V, yaitu pada kondisi awal sebelum dibentur kapal (defleksi 0%), kemudian mengalami defleksi 20% dan 45%. Dalam perencanaan fender, biasanya ditetapkan bahwa defleksi maksimum yang diijinkan adalah sebesar 45%.

Setiap jenis fender memiliki bentuk hubungan defleksi-gaya masing – masing. Seperti pada Gambar 2.8 merupakan contoh bentuk kurva defleksi-gaya salah satu fender, di mana absis merupakan defleksi  $d$  (%) dan ordinat merupakan gaya yang diteruskan ke dermaga  $F$  (ton). Besarnya energi yang diserap untuk defleksi fender tertentu ditunjukkan melalui luasan antara kurva dan sumbu defleksi ( $d$ ). Gambar tersebut menunjukkan bahwa semakin besar defleksi, semakin besar gaya yang diteruskan ke struktur. Di atas suatu nilai defleksi tertentu ( $d=45\%$ ), gaya naik sangat besar. Fender yang baik adalah yang bisa menyerap sejumlah besar energi benturan (kinetik) dan akan meneruskan gaya reaksi yang rendah ke struktur tambatan dan dinding kapal.



Gambar 2.8: Kurva defleksi-gaya suatu fender (Triatmodjo, 2009).

### 2.4.2 Tipe – Tipe Fender

Fender dibuat dari bahan elastis, seperti kayu dan karet. Penggunaan fender kayu sudah tidak banyak digunakan mengingat harga kayu yang tidak murah dan masalah lingkungan yang muncul akibat penebangan pohon sehingga penggunaan fender kayu saat ini telah digantikan oleh penggunaan fender karet.

Fender karet diproduksi oleh pabrik dengan bentuk dan ukuran berbeda yang tergantung pada fungsinya. Fender dengan tipe yang sama tetapi diproduksi oleh pabrik yang berbeda bisa mempunyai karakteristik yang berbeda disetiap fendernya. Fender karet dapat dibedakan menjadi dua tipe (Triatmodjo, 2009), yaitu:

1. Fender yang dipasang pada struktur dermaga, yang masih dapat dibedakan menjadi fender tekuk (*buckling fender*) yaitu fender yang menglaami tekuk jika menerima gaya tekan, seperti fender V, fender tipe A, fender *Cell* dan fender tak tekuk (*non-buckling fender*) seperti fender dari ban mobil bekas dan fender silinder.
2. Fender terapung yang ditempatkan antara kapal dan struktur dermaga, seperti fender *pneumatic*.

### 2.4.3 Perencanaan Fender

Gaya – gaya yang terjadi pada waktu penambatan kapal adalah benturan kapal, gesekan dan tekanan antara kapal dan dermaga. Gesekan antara kapal dan dermaga dan tekanan kapal pada dermaga dapat menyebabkan kerusakan sehingga dipasang fender di depan sisi dermaga untuk mencegah kerusakan akibat gaya – gaya tersebut. Untuk menentukan dimensi dan jenis fender diperlukan jumlah energi yang diserap dan gaya maksimum yang terjadi.

Kondisi arus, angin, gelombang, ukuran kapal, kecepatan dan arah kapal pada waktu merapat ke dermaga merupakan faktor yang mempengaruhi tipe fender yang akan dipasang.

### 2.4.3.1 Prosedur Perencanaan Fender

Struktur dermaga dianggap tidak menyerap energi benturan dikarenakan struktur dermaga yang kaku. Energi benturan tersebut sebagian diserap dan ditahan oleh fender. Prosedur perencanaan fender diberikan berikut ini.

- a. Menentukan energi benturan kapal, yang didasarkan pada kapal terbesar yang merapat di dermaga.
- b. Menentukan energi yang dapat diserap oleh dermaga. Energi tersebut sama dengan setengah gaya reaksi fender ( $F$ ) dikalikan dengan defleksinya ( $d$ ) seperti pada Pers. 2.14.

$$E = \frac{Fd}{2} \quad (2.14)$$

- c. Energi yang akan diserap oleh fender adalah energi yang ditimbulkan oleh benturan kapal dikurangi energi yang diserap dermaga.
- d. Pilih fender yang mampu menyerap energi yang sudah dihitung di atas berdasarkan karakteristik yang dikeluarkan oleh pabrik pembuatnya.

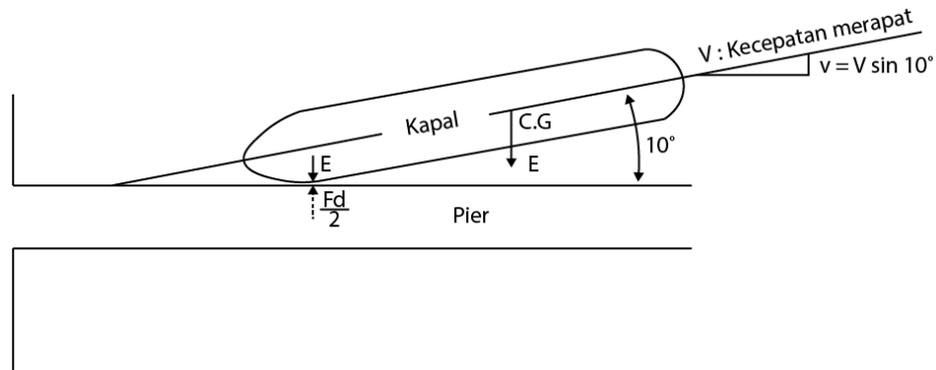
### 2.4.3.2 Hubungan Energi dan Gaya

Kapal yang merapat ke dermaga membentuk sudut terhadap sisi dermaga dan mempunyai kecepatan tertentu. Dalam perencanaan fender dianggap bahwa kapal bermuatan penuh dan merapat dengan sudut  $10^\circ$  terhadap sisi depan dermaga, seperti terlihat dalam Gambar 2.9. Pada saat merapat tersebut sisi depan kapal membentur fender, dan menimbulkan energi benturan yang diserap oleh fender dan dermaga. Kecepatan merapat kapal diproyeksikan dalam arah tegak lurus dan memanjang dermaga. Komponen dalam arah tegak lurus sisi dermaga diperhitungkan untuk merencanakan fender.

Ketika kapal membentur fender, fender mengalami defleksi dari nilai nol sampai nilai maksimum yang diijinkan. Gaya reaksi fender meningkat dengan pertambahan nilai defleksi. Kerja yang dilakukan oleh dermaga adalah:

$$K = \frac{1}{2}Fd \quad (2.15)$$

Gambar 2.9 menunjukkan kapal yang membentur dermaga pada saat merapat. Karena benturan tersebut fender memberikan gaya reaksi  $F$ . Apabila  $d$  adalah defleksi fender, maka terdapat hubungan seperti ini.



Gambar 2.9: Benturan kapal pada dermaga (Triatmodjo, 2009).

$$E = \frac{1}{2}Fd \quad (2.16)$$

$$\frac{1W}{2g} V^2 = \frac{1}{2}Fd \quad (2.17)$$

$$F = \frac{W}{gd} V^2 \quad (2.18)$$

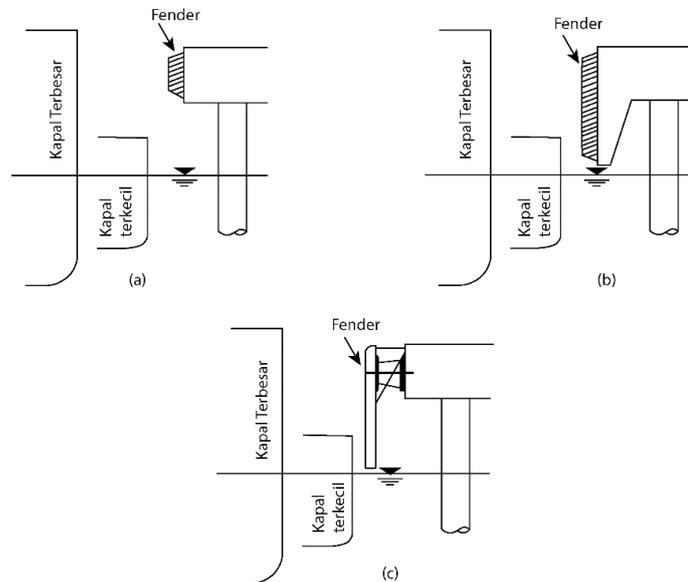
Pada umumnya nilai defleksi  $d$  yang diijinkan adalah sebesar 45%. Untuk fender kayu adalah tebal kayu dibagi 20. Sistem fender direncanakan untuk menyerap energi tersebut dan gaya yang ditahan oleh dermaga tergantung pada tipe fender.

Pabrik pembuat fender memberikan karakteristik fender yang diproduksinya dalam bentuk grafik dan tabel yang memberikan hubungan antara energi yang diserap, reaksi dan defleksi fender. Setelah energi benturan kapal dihitung, kemudian ditentukan tipe fender yang digunakan. Dari tabel, untuk tipe fender yang dipilih dapat diketahui gaya reaksi fender yang selanjutnya digunakan untuk merencanakan struktur dermaga.

#### 2.4.3.3 Posisi Daerah Yang Dilindungi

Tipe fender yang digunakan dan penempatannya pada sisi depan dermaga harus dapat melindungi dan menyerap energi benturan dari semua jenis dan ukuran

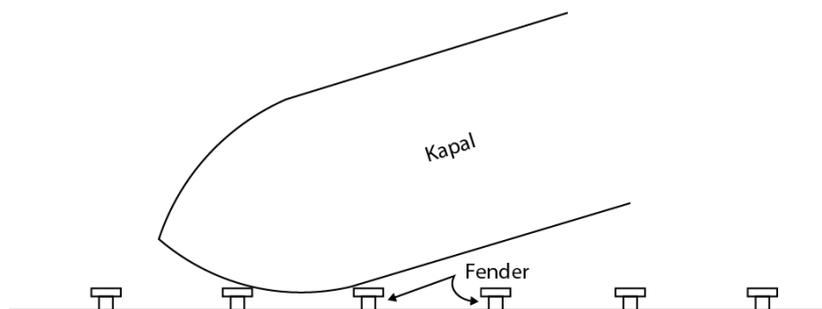
kapal untuk berbagai elevasi muka air laut. Gambar 2.10 menunjukkan posisi penempatan fender terhadap beberapa ukuran kapal.



Gambar 2.10: Posisi kapal terhadap fender (Triatmodjo, 2009).

Pada Gambar 2.10.a fender dapat melindungi dermaga benturan kapal besar, tetapi untuk ukuran kapal yang lebih kecil fender tersebut tidak berfungsi dengan baik. Untuk dapat melindungi dermaga terhadap benturan kapal dari berbagai ukuran maka digunakan fender yang lebih panjang dengan penempatan seperti terlihat dalam Gambar 2.10.b dan c.

Dalam arah horizontal jarak antara fender harus ditentukan sedemikian rupa sehingga dapat menghindari kontak langsung antara kapal dan dinding dermaga. Gambar 2.11 adalah posisi kapal yang membentur fender pada waktu bergerak merapat ke dermaga.

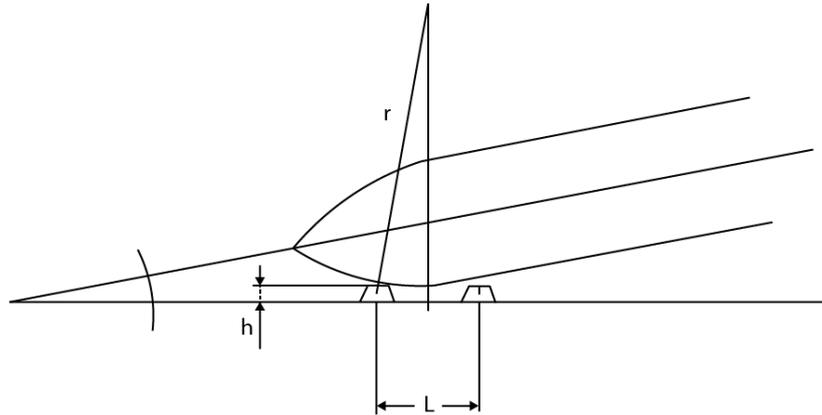


Gambar 2.11: Posisi kapal pada waktu membentur fender (Triatmodjo, 2009).

Pers. 2.18 dapat digunakan untuk menentukan jarak maksimum antara fender.

$$L = 2\sqrt{r^2 - (r - h)^2} \quad (2.19)$$

Apabila data jari – jari kelengkungan sisi haluan kapal tidak diketahui, maka Pers. 2.17 untuk kapal barang dan Pers. 2.18 untuk kapal tanker dapat digunakan sebagai pedoman untuk menghitungnya.



Gambar 2.12: Jarak antara fender (Triatmodjo, 2009).

Kapal barang dengan bobot 500 – 50.000 DWT

$$\log r = -1,055 + 0,650 \log (\text{DWT}) \quad (2.20)$$

Kapal tanker dengan bobot 5.000 – 200.000 DWT

$$\log r = -0,113 + 0,440 \log (\text{DWT}) \quad (2.21)$$

OCDI (Overseas Coastal Area Development Institute of Japan, 1991) memberikan jarak interval antara fender sebagai fungsi kedalaman air seperti diberikan dalam Tabel 2.3.

Tabel 2.3: Jarak antara fender (Triatmodjo, 2009).

Kedalaman Air (m)	Jarak Antara Fender (m)
4 ~ 6	4 ~ 7
6 ~ 8	7 ~ 10
8 ~ 10	10 ~ 15

#### 2.4.4 Kerusakan Pada Fender

Fender yang direncanakan memiliki umur. Umur fender ini akan menurun apabila pemilihan fender tidak tepat, proses instalasi tidak benar. Kerusakan ini dapat mengakibatkan fender tidak bekerja maksimal dan fender menjadi semakin rusak sehingga harus diganti. Beberapa jenis kerusakan pada fender (Wahid, 2011) adalah:

1. Retak halus, yang terjadi akibat retak atau lecet pada permukaan.
2. Karet fender pecah dan retak dalam, dimana terjadinya retakan besar pada karet fender yang disebabkan karena energi kinetik yang diserap fender tidak sesuai dengan kemampuannya.
3. Karet fender rusak pada bagian pinggir (*Torn Off*), terjadi kerusakan pada bagian pinggir permukaan luar dari karet fender yang diakibatkan tertabrak bagian kapal yang tajam.
4. Karet pada fender lepas dan hancur sebagian, yang terjadi akibat dari kelanjutan kerusakan dari pecahnya karet fender akibat estimasi kekuatan fender tidak sesuai dengan perhitungan.
5. Rusak permukaan, yang disebabkan karena gesekan badan kapal yang kasar dengan fender.
6. Karet fender melengkung, dimana posisi karet fender sudah tidak sesuai lagi dengan perencanaan, melengkung dan tidak dapat kembali ke bentuk semula dikarenakan estimasi kekuatan fender tidak sesuai dengan perhitungan.
7. Kerusakan campuran, adalah kombinasi dari kerusakan-kerusakan yang telah disebutkan sebelumnya.
8. Baut pada fender lepas atau putus.
9. Angkur pada fender lepas, dikarenakan tekanan yang terjadi pada fender sangat besar yang disebabkan oleh beton yang tidak kuat menjepit angkur.

#### 2.5 Tegangan (*Stress*)

(Sutikno, 2011) mendefinisikan tegangan sebagai besaran gaya persatuan luas permukaan benda yang dikenakan oleh gaya yang secara sistematis ditulis pada Pers. 2.22.

$$\sigma = \frac{P}{A} \quad (2.22)$$

Tegangan dibagi menjadi dua macam, yaitu tegangan normal dan tegangan geser. Tegangan normal adalah tegangan yang bekerja tegak lurus pada permukaan benda, sedangkan tegangan geser yaitu tegangan yang bekerja sejajar dengan permukaan benda.

## 2.6 Deformasi (*Displacement*)

Deformasi (*displacement*) adalah perubahan bentuk dan ukuran secara fisik yang terjadi karena penyerapan energi akibat adanya gaya yang bekerja pada suatu benda (Roza, 2019). Deformasi terbagi menjadi 2 (dua) yaitu:

- a. Deformasi elastis, yaitu deformasi yang terjadi akibat adanya beban yang bekerja pada suatu material yang apabila beban ditiadakan, maka material tersebut kembali seperti ukuran dan bentuk semua seperti sebelum diberikan beban.
- b. Deformasi plastis, yaitu deformasi yang apabila material diberi beban dan kemudian beban tersebut ditiadakan, maka ukuran dan bentuk material tersebut secara berubah permanen/ tidak bisa kembali ke bentuk semula.

## 2.7 Kekuatan Luluh (*Yield Strength*)

Kekuatan luluh (*yield strength*) merupakan suatu gambaran dari kemampuan material menahan deformasi permanen (Sembiring, 2021). Sehingga *yield strength* merupakan harga tegangan terendah dimana material benda mengalami deformasi plastis akibat suatu gaya. Apabila tegangan yang terjadi pada benda tersebut melebihi nilai *yield strength*, maka benda mengalami perubahan bentuk dan ukuran secara permanen.

## 2.8 Kekakuan (*Stiffness*)

Kekakuan (*stiffness*) merupakan ukuran tegangan yang dibutuhkan untuk mengubah satuan bentuk suatu bahan. Besaran kekakuan suatu bahan adalah modulus elastisitasnya, yang didapat dengan membagi tegangan suatu yang satuan

yang diterima bahan dengan perubahan satuan bentuk bahan tersebut sehingga dapat ditulis seperti pada Pers. 2.23.

$$K = \frac{F}{\delta} \quad (2.23)$$

Modulus elastisitas didefinisikan sebagai ukuran kekakuan, dimana semakin besar harga modulus pada suatu tingkat pembebanan tertentu maka semakin kecil regangan elastis yang terjadi. Dapat dikatakan material tersebut semakin kaku (*stiff*).

## 2.9 Finite Element Method (FEM)

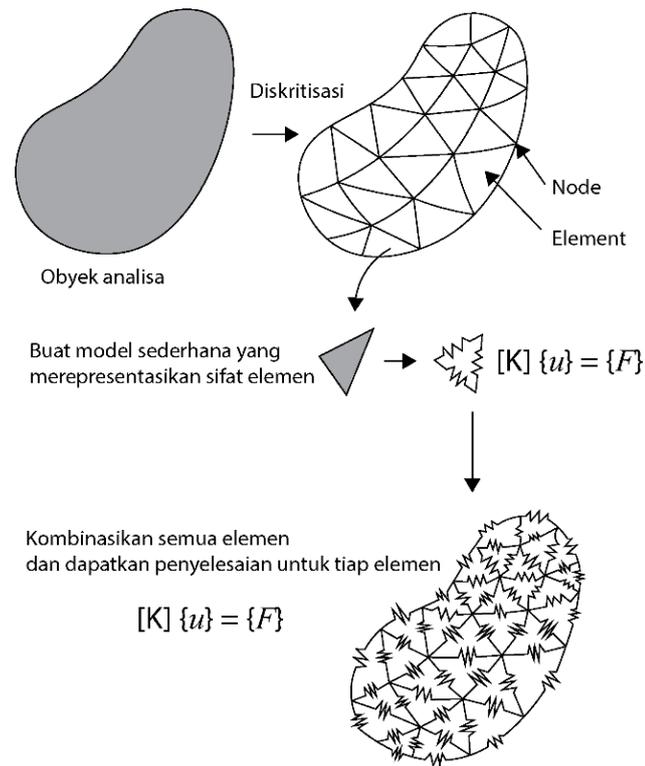
*Finite Element Method* (FEM) atau metode elemen hingga adalah metode numerik berbasis komputer untuk memecahkan masalah teknik dalam geometri bidang atau volume yang geometri tersebut dibagi menjadi elemen-elemen (Cornelis, 2017). Secara sistematis, FEM didefinisikan sebagai teknik numerik untuk menyelesaikan problem yang dinyatakan dalam persamaan diferensial (Naradiagung, 2009). Tujuan utama analisis dengan menggunakan metode elemen hingga adalah untuk memperoleh pendekatan tegangan dan peralihan (*displacement*) yang terjadi pada suatu struktur.

Langkah awal simulasi menggunakan elemen hingga adalah dengan membagi (*dicretizing*) struktur/sistem menjadi beberapa elemen-elemen yang berhingga (*mesh*) yang dihubungkan pada titik-titik sudut yang disebut *nodal* atau *node* yang mengikat satu sama lain. (Naradiagung, 2009) menjelaskan langkah-langkah dalam FEM bisa diringkas sebagai berikut:

1. Membagi objek analisa ke dalam elemen elemen kecil.
2. Melakukan modelisasi sederhana yang berlaku untuk setiap elemen.
3. Membuat formula sederhana untuk setiap elemen.
4. Mengkombinasikan seluruh elemen dan membuat persamaan simultan yang mencakup semua variabel seperti pada Pers. 2.24.

$$[K] \{u\} = \{F\} \quad (2.24)$$

Langkah-langkah tersebut dapat dilihat pada Gambar 2.13.



Gambar 2.13: Konsep dasar pembagian suatu benda menjadi beberapa elemen (Naradiagung, 2009).

Digunakan perangkat lunak komputer *Solidworks* untuk menggambarkan dan menganalisis model fender yang diteliti. Tahap penggunaan perangkat lunak *solidworks* adalah sebagai berikut:

1. Menggambar/ membuat model yang akan disimulasikan,
2. Menentukan jenis analisis yang akan dihitung,
3. Menentukan jenis material model yang telah digambar,
4. Menentukan titik tumpu pada model,
5. Memasukkan besarnya beban yang akan disimulasikan,
6. Proses *meshing* (membagi model menjadi elemen-elemen sederhana).
7. Melakukan analisis oleh perangkat lunak dengan hasil akhir yang diperoleh berupa *stress* (tegangan) dan *displacement* (deformasi).

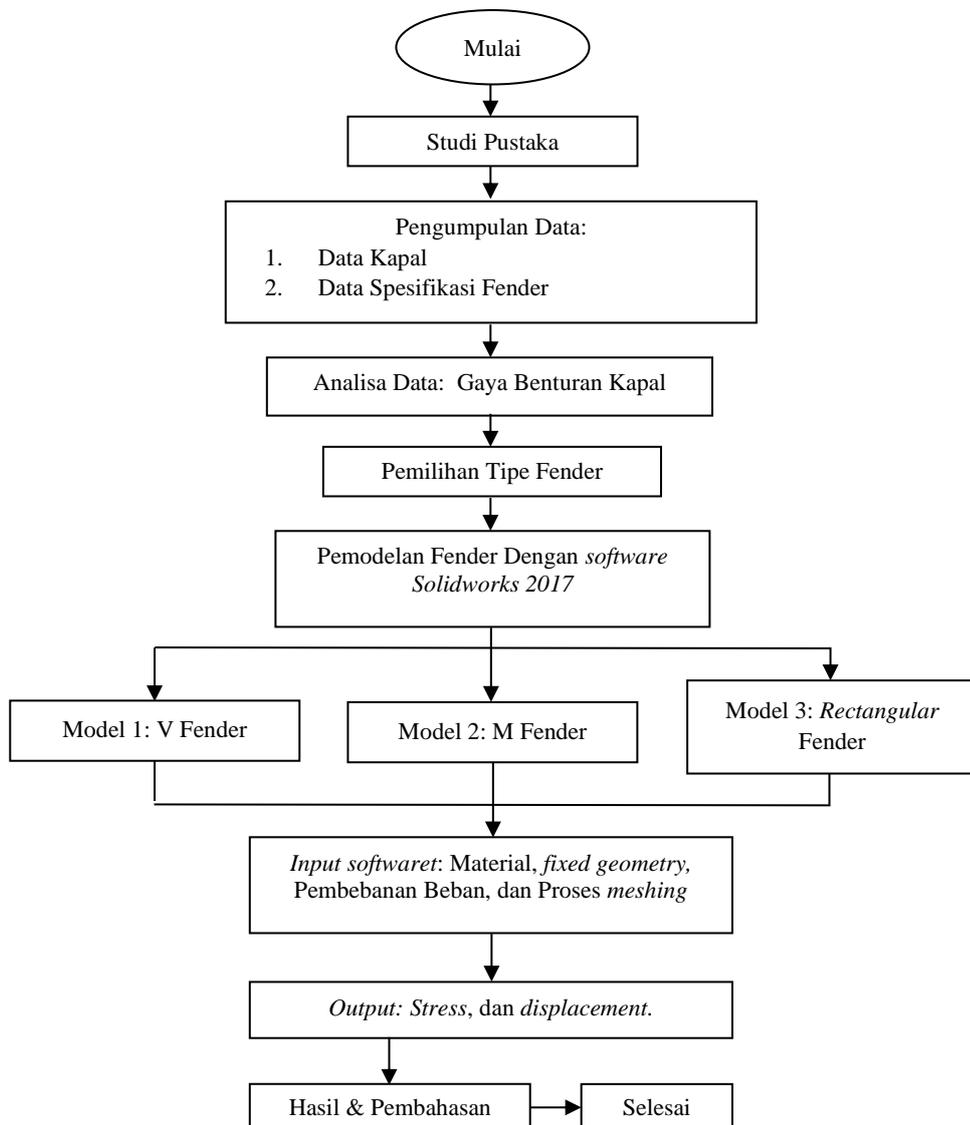
Masing-masing hasil akhir yang diperoleh menggunakan perangkat lunak *solidworks* berupa gambar dengan nilai perhitungan maksimum ditunjukkan dengan warna merah dan nilai minimum ditunjukkan dengan warna biru.

## BAB 3

### METODE PENELITIAN

#### 3.1 Umum

Langkah-langkah dalam perencanaan dan analisis fender pada tugas akhir ini dilakukan dengan beberapa tahapan. Langkah-langkahnya dapat dilihat pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1: Diagram Alir.

### 3.2 Analisis Gaya – Gaya yang Bekerja

Data dalam perhitungan gaya-gaya yang bekerja berupa data sekunder yang berisi spesifikasi kapal, dan data dimensi fender yang diperoleh dari PT. Pelabuhan Indonesia I (Persero) pada tahun 2021. Gaya berupa gaya sandar kapal dimana perhitungan gaya yang bekerja dalam analisis ini terdapat dalam lampiran 1. Diperoleh hasil (E) sebesar 0,172 ton-m dan gaya akibat benturan kapal diperoleh sebesar 0,76573 ton yang kemudian gaya tersebut di distribusikan terhadap luas permukaan fender.

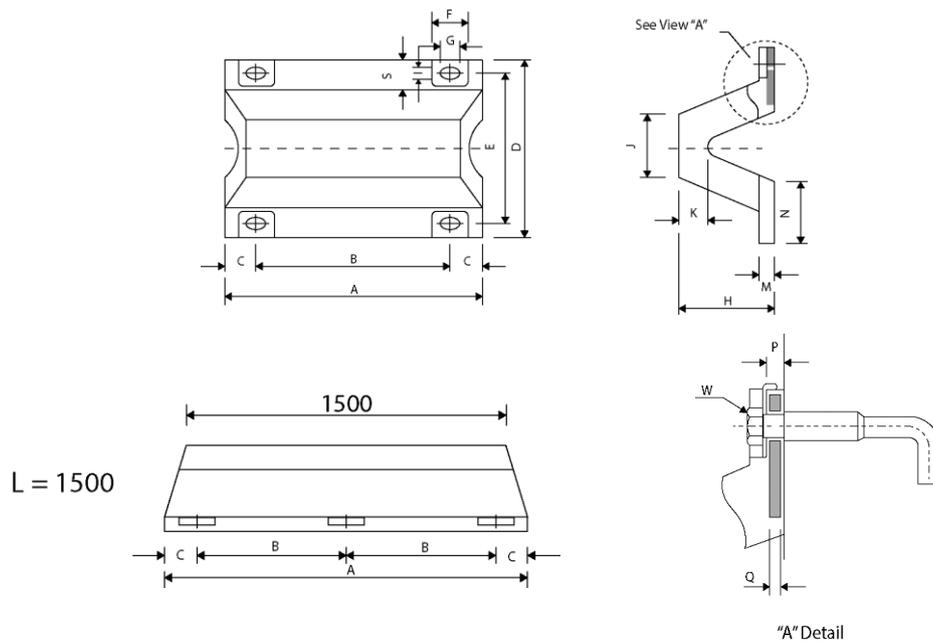
### 3.3 Pemodelan Fender

#### 3.3.1 V Fender

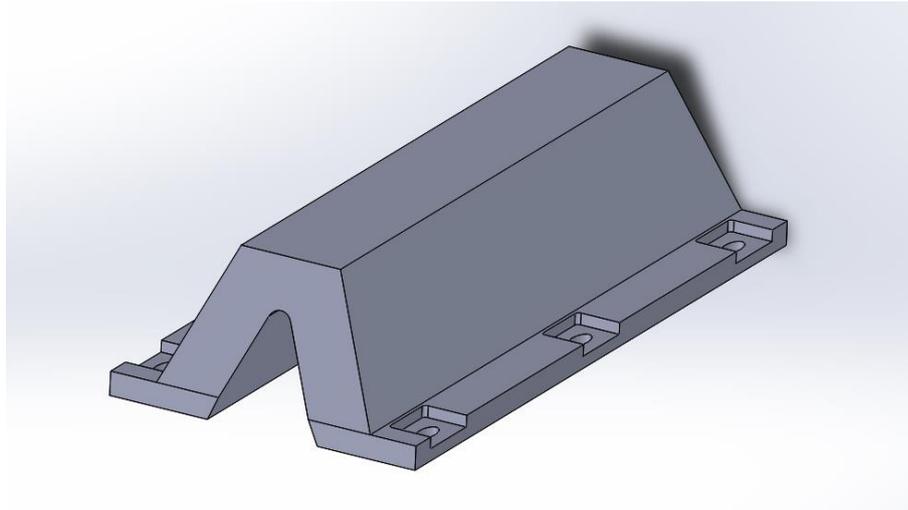
Fender yang digunakan pada terminal penumpang Bandar Deli merupakan V Fender 400H × 1500L dengan defleksi maksimal 45% dan dimensinya terdapat pada Tabel 3.1. Hasil pemodelan seperti pada Gambar 3.3.

Tabel 3.1: Dimensi V Fender 400H × 1500L.

Size		A	B	C	D	E	F	G	S	I	J	K	H	M	N	P	Q	W
Height	Length																	
400H	1500	1700	700	150	800	670	165	84	120	42	260	120	400	60	256	31	19	1½"



Gambar 3.2: Detail dimensi V Fender 400H × 1500L.



Gambar 3.3: Hasil pemodelan V Fender 400H × 1500L.

### 3.3.2 M Fender

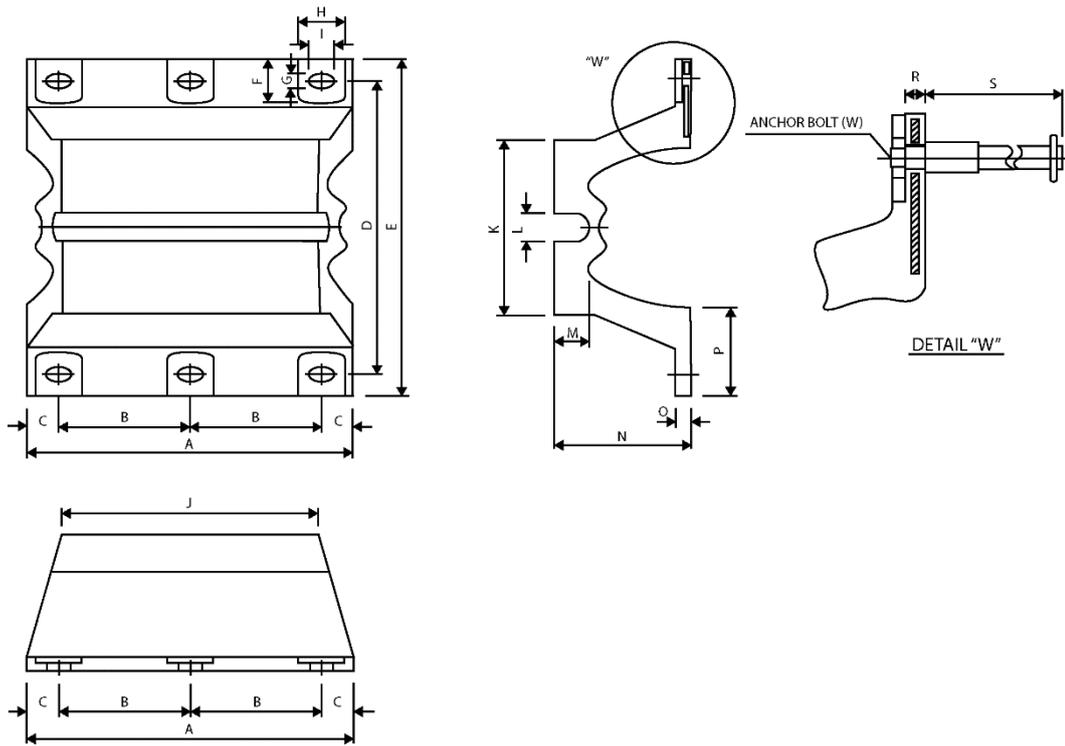
Berdasarkan data yang tersedia, digunakan fender tipe M 1000L dengan defleksi maksimal 45% untuk model kedua dengan dimensi disesuaikan dengan perhitungan gaya yang bekerja dilihat dari Tabel 3.2. Pada lampiran 1 didapat gaya akibat benturan kapal sebesar 0,172 ton-m maka digunakan M fender 300 × 1000L yang mempunyai nilai energi diserap  $E = 2,97$  ton-m ( $>0,172$  ton-m). Dimensi dari M fender 300 × 1000L dapat dilihat pada Tabel 3.3 dengan hasil pemodelan seperti pada Gambar 3.5.

Tabel 3.2: Gaya reaksi dan energi fender M fender 1000L.

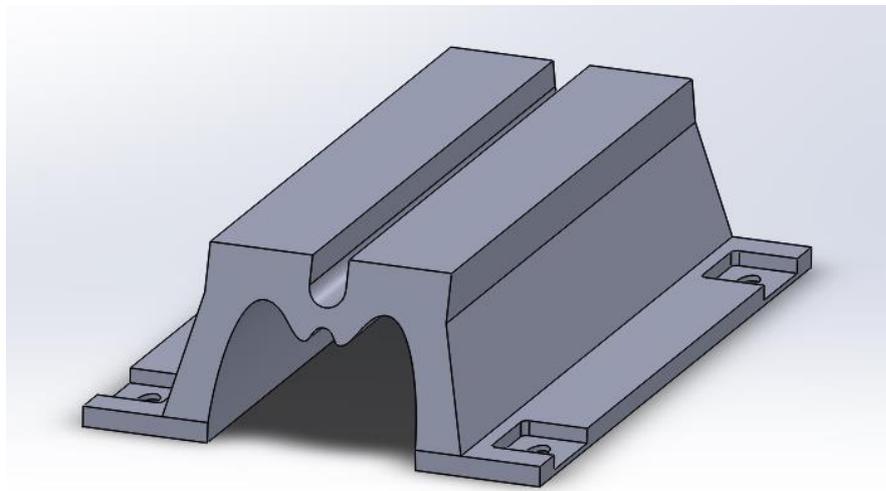
Tipe	CA		CB	
	EA (ton-m)	RF (ton)	EA (ton-m)	RF (ton)
KMF 300	3.70	30.87	2.97	26.91
KMF 400	6.90	41.04	5.22	35.82
KMF 500	10.53	51.39	8.28	44.82
KMF 600	15.12	61.74	11.97	53.82
KMF 800	26.91	82.35	21.15	72.00

Tabel 3.3 Dimensi M fender 300H × 1000L.

Size		A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	O	N	P	R	S
Height	Length																		
300	1000	1150	870	130	640	750	105	35	140	70	1000	396	60	75	33	300	204	24	230



Gambar 3.4: Detail dimensi M fender 300H × 1000L.



Gambar 3.5: Hasil pemodelan M fender 300H × 1000L.

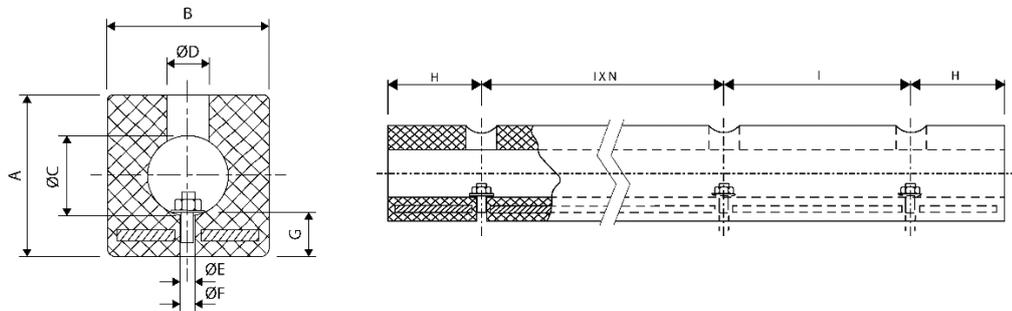
### 3.3.3 Rectangular Fender

Tabel 3.4 merupakan tabel dimensi dan gaya reaksi dan energi *rectangular* fender yang digunakan sebagai model ketiga dengan defleksi maksimal 45%. Pada lampiran 1 didapat energi benturan (E) sebesar 0,172 ton-m, maka digunakan

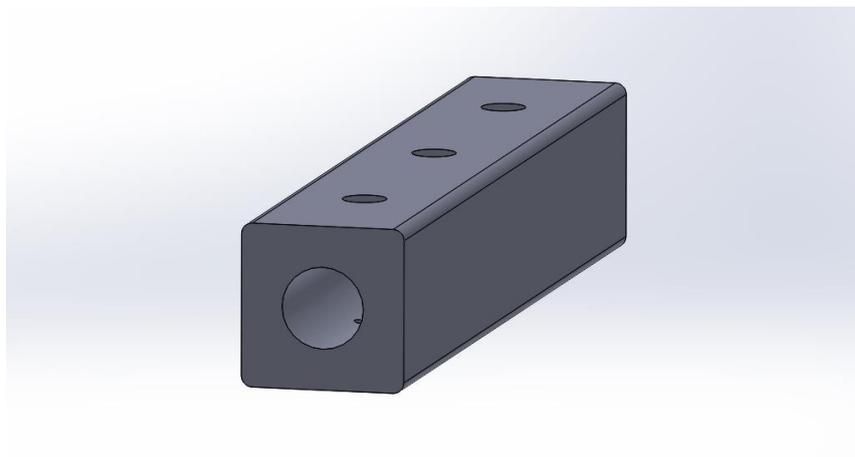
*rectangular* fender 150 H × Ø75 yang mempunyai nilai energi diserap E = 0,34 ton-m (>0,172 ton-m). Detail dari *rectangular* fender dapat dilihat pada Gambar 3.6 dan hasil pemodelan seperti pada Gambar 3.7.

Tabel 3.4: Dimensi dan gaya reaksi dan energi *rectangular* fender.

Size	A	B	C	D	E	F	G	H	I	KRCF	
										EA (Ton-m)	RF (ton)
150 H × Ø 75	150	150	75	40	M12	14	40	150	250	0,34	12,87
200 H × Ø 100	200	200	100	40	M16	18	60			0,62	17,16
250 H × Ø 125	250	250	250	48	M20	22	80			0,95	21,45
300 H × Ø 150	300	300	300	60	M24	26	90	200	350	1,39	25,74
400 H × Ø 200	400	400	400	76	M30	32	100			2,47	34,32
500 H × Ø 250	500	500	500	90	M36	40	125			3,85	42,90



Gambar 3.6: Detail dimensi *rectangular* fender.

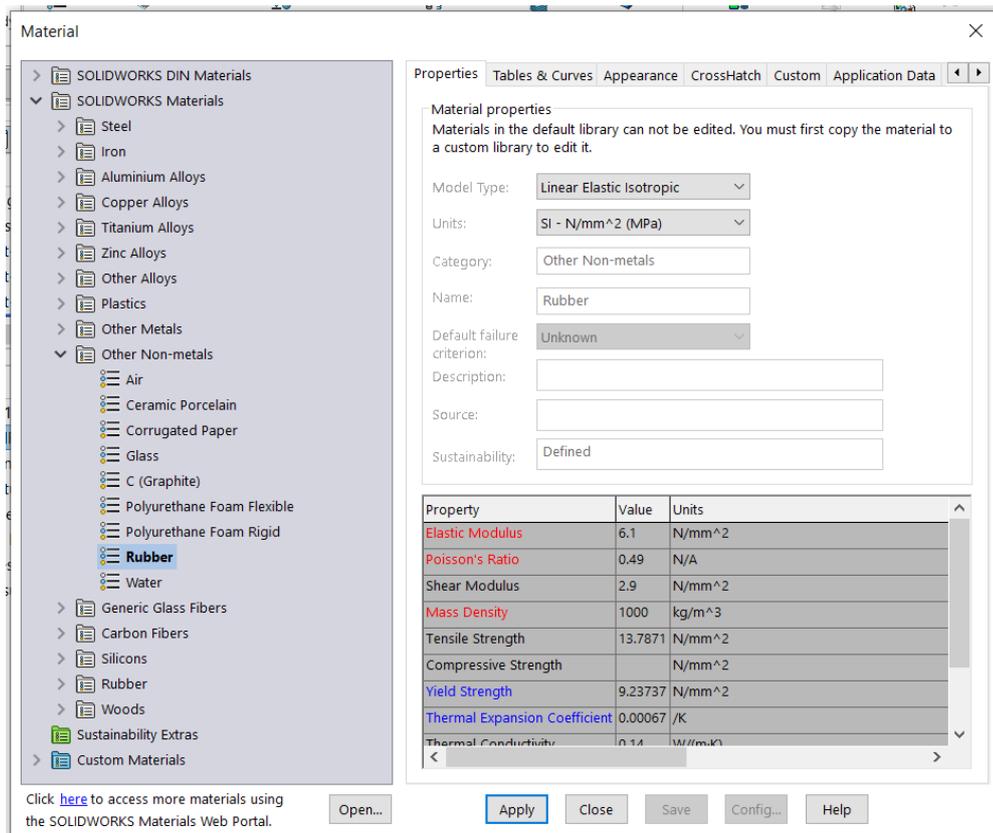


Gambar 3.7: Hasil pemodelan *rectangular* fender 150H × Ø75.

### 3.4 Input Definisi Material Pada Pemodelan

Fender merupakan material karet. Sebelum melakukan analisis fender, terdapat beberapa spesifikasi yang harus diisi. Gambar 3.8 merupakan spesifikasi material untuk ketiga jenis fender yang digunakan pada analisis menggunakan *software* atau dapat dilihat sebagai berikut:

1. *Elastic Modulus* : 6,1 N/mm<sup>2</sup>
2. *Poisson's Ratio* : 0,49
3. *Shear Modulus* : 2,9 N/mm<sup>2</sup>
4. *Mass Density* : 1000 kg/m<sup>3</sup>
5. *Tensile Strength* : 13,78971 N/mm<sup>2</sup>
6. *Yield Strength* : 9,23737 N/mm<sup>2</sup>
7. *Thermal Expansion Coefficient* : 0,00067 /K
8. *Thermal Conductivity* : 0,14 W/(m.K)



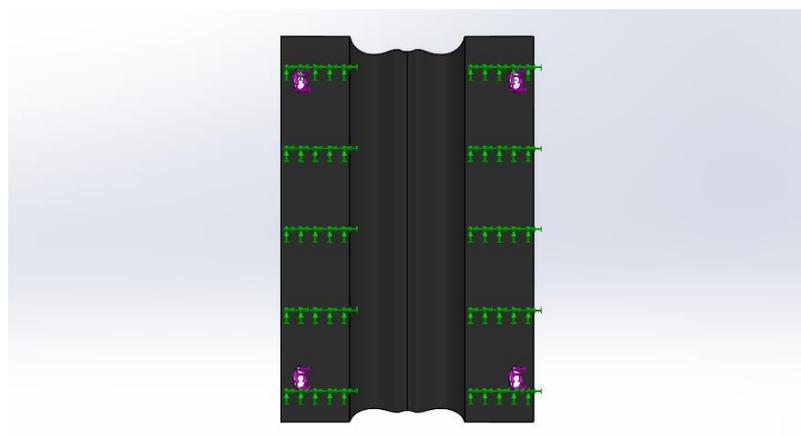
Gambar 3.8: Input material karet (*rubber*) pada *software*.

### 3.5 Fixtures Advisor

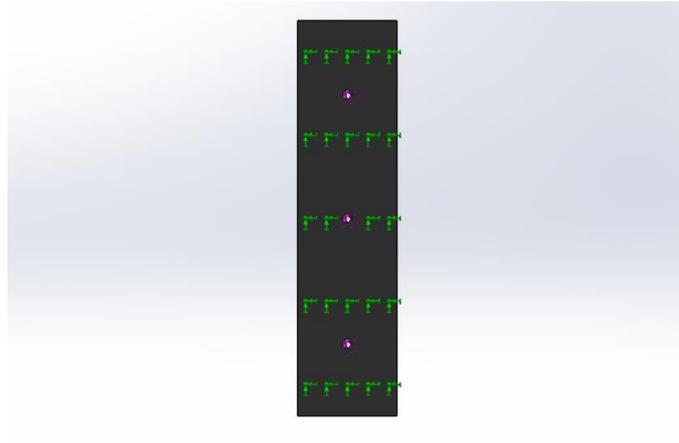
*Fixed advisor* merupakan langkah untuk memberikan dan menentukan titik tumpuan sehingga tidak mengalami pergeseran. Baut dan dinding yang berinteraksi pada fender diasumsikan sebagai tumpuan *fixed geometry*/jepit dikarenakan struktur fender diam. Tumpuan jepit terletak disetiap lubang baut serta permukaan bawah fender seperti pada Gambar 3.9 untuk V Fender, Gambar 3.10 untuk M Fender dan Gambar 3.11 untuk *rectangular* fender.



Gambar 3.9: Penerapan tumpuan jepit/ *fixed geometry* pada model V Fender 400H × 1500L.



Gambar 3.10: Penerapan tumpuan jepit/*fixed geometry* pada model M fender 300H × 1000L.



Gambar 3.11: Penerapan tumpuan jepit/*fixed geometry* pada model *rectangular fender* 150H × Ø75.

### 3.6 Pembebanan Beban

Beban yang diterima fender sesuai dengan perhitungan *berthing forces* yang terdapat pada lampiran 1 yaitu sebesar 7509,25 N. Beban yang bekerja disesuaikan terhadap waktu yang berbanding lurus dengan rasio beban mulai dari 0,01 detik sampai dengan 1 detik dengan kelipatan disesuaikan secara *default* pada *software* dan diasumsikan merata pada permukaan fender yang berinteraksi dengan bagian kapal yang menabrak fender dengan nilai distribusi sebagai berikut.

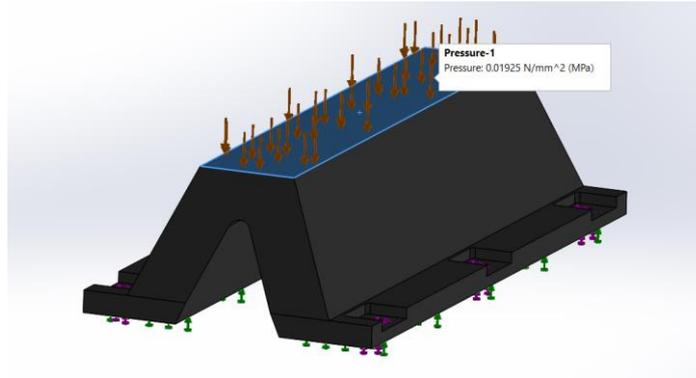
#### 3.6.1 V Fender

Pada Tabel 3.1, dimensi permukaan fender adalah 260 mm × 1500 mm sehingga luas permukaan fender dan nilai beban merata yang bekerja:

$$\begin{aligned}
 \text{Luas permukaan V fender} &= J \times L \\
 &= 260 \times 1500 \\
 &= 390000 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Beban yang bekerja} &= \frac{7509,25}{390000} \\
 &= 0,01925 \text{ N/mm}^2
 \end{aligned}$$

Diperoleh beban merata sebesar 0,01925 N/mm<sup>2</sup> dengan penerapan beban pada V fender dapat dilihat pada Gambar 3.12.



Gambar 3.12: Penerapan beban pada model V Fender 400H × 1500L.

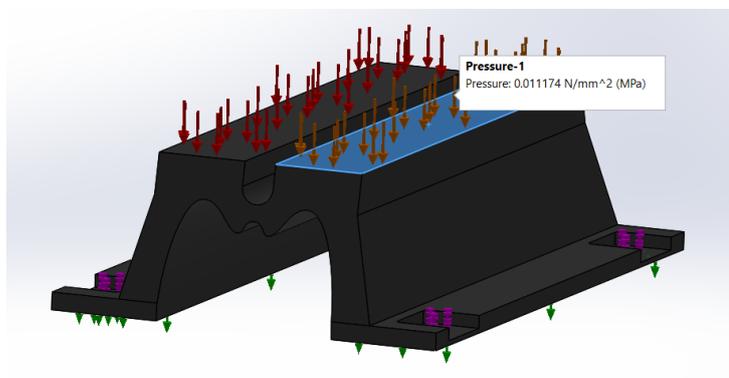
### 3.6.2 M Fender

Dimensi M fender dapat dilihat pada Tabel 3.2 sehingga luas permukaan fender dan nilai beban merata yang bekerja pada permukaan fender adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 \text{Luas permukaan M fender} &= (K - L) \times J \\
 &= (396 - 60) \times 1000 \\
 &= 336000 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Beban yang bekerja} &= \frac{7509,25}{336000} \\
 &= 0,02235 \text{ N/mm}^2
 \end{aligned}$$

Diperoleh total beban merata untuk seluruh permukaan sebesar 0,02235 N/mm<sup>2</sup> dan beban untuk sebuah permukaan sebesar 0,011174 N/mm<sup>2</sup> dengan penerapan beban pada M fender dapat dilihat pada Gambar 3.13.



Gambar 3.13: Penerapan beban pada model M fender 300H × 1000L.

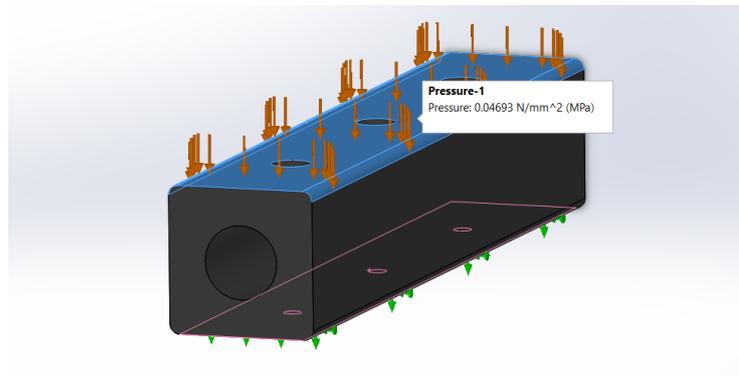
### 3.6.3 Rectangular Fender

Permukaan *rectangular* fender berbentuk persegi panjang yang dimensinya dapat dilihat pada Tabel 3.4. Luas permukaan fender dan beban merata yang bekerja pada *rectangular* fender adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned}\text{Luas permukaan } \textit{rectangular} \text{ fender} &= B \times L \\ &= 200 \times ((2 \times 150) + (2 \times 250)) \\ &= 160000 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Beban yang bekerja} &= \frac{7509,25}{160000} \\ &= 0,04693 \text{ N/mm}^2\end{aligned}$$

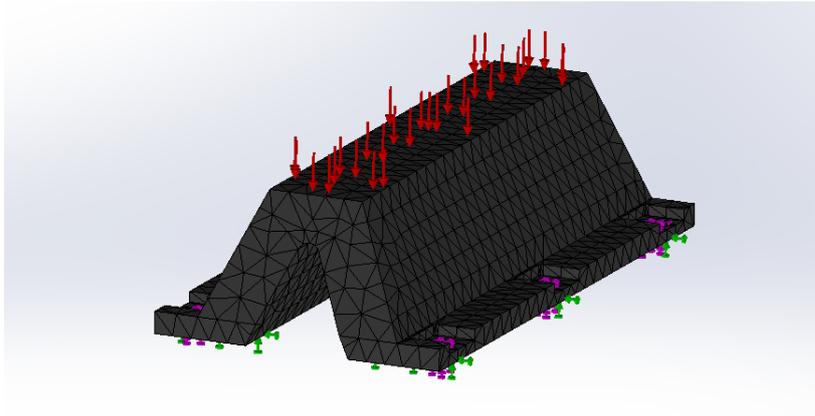
Diperoleh beban merata sebesar  $0,04693 \text{ N/mm}^2$  dengan penerapan beban pada *rectangular* fender dapat dilihat pada Gambar 3.14.



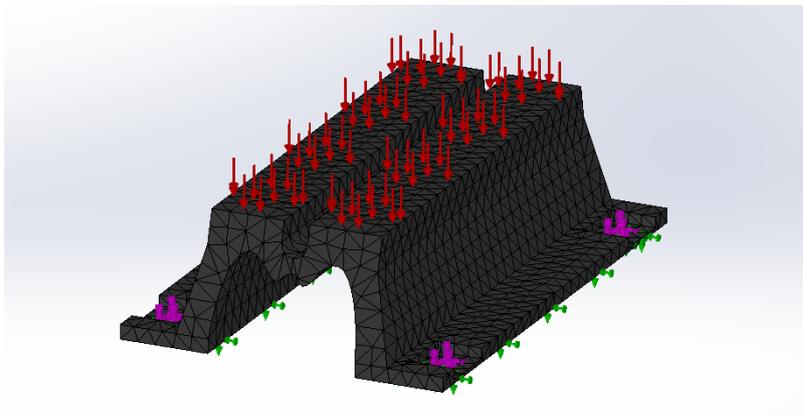
Gambar 3.14: Penerapan beban pada model *rectangular* fender  $150H \times \text{Ø}75$ .

### 3.7 Meshing

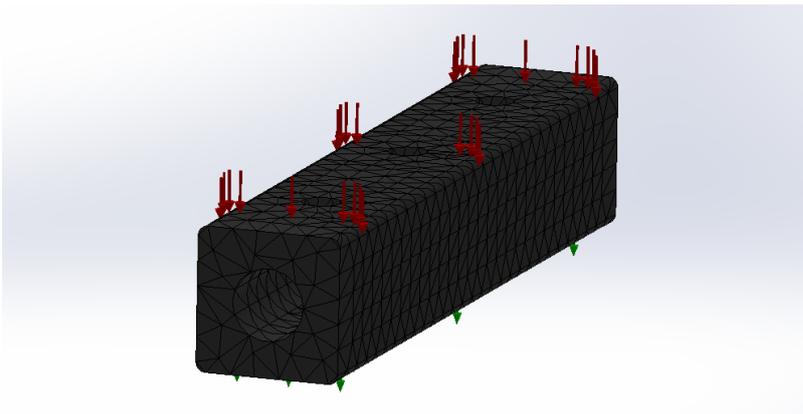
Meshing merupakan proses simulasi yang membagi geometri menjadi elemen-elemen sederhana. *Meshing* juga dapat mempengaruhi akurasi serta kecepatan saat melakukan *running* analisis. Semakin kecil *meshing* yang dibuat maka semakin bagus pula akurasi yang di dapat saat melakukan *running* analisis. Dalam analisis fender ini *meshing* dilakukan secara *default* tanpa mengatur ukuran dari *meshing* tersebut. Penerapan *meshing* pada masing-masing model dapat dilihat pada Gambar 3.15, Gambar 3.16, Gambar 3.17.



Gambar 3.15: *Meshing* pada model V Fender 400H × 1500L.



Gambar 3.16: *Meshing* pada model M fender 300H × 1000L.



Gambar 3.17: *Meshing* pada model *rectangular* fender 150H × Ø75.

## BAB 4

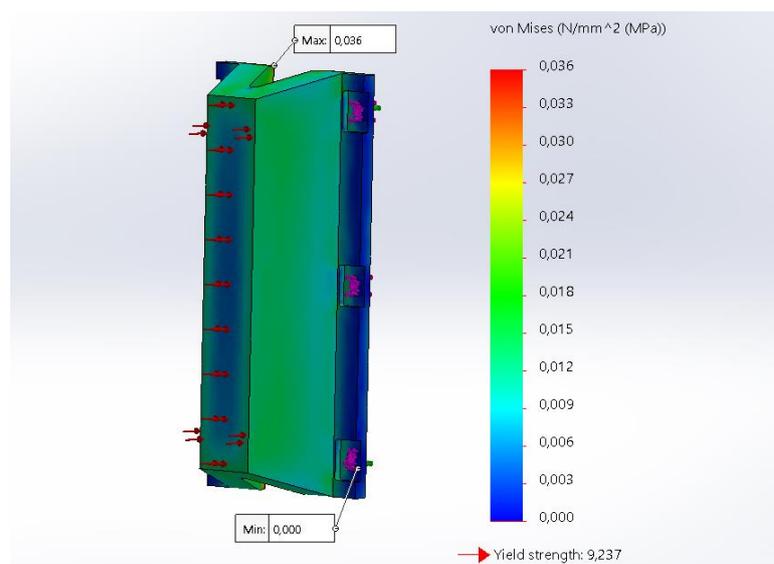
### HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 4.1 Stress (Tegangan)

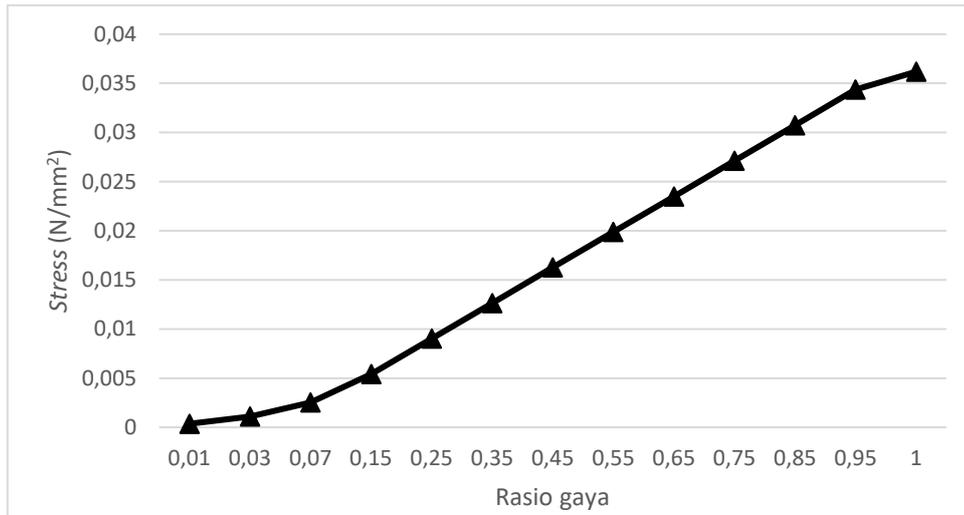
Pada subbab ini membahas hasil analisa tegangan menggunakan *software* Solidworks. Analisa berupa analisa non linier. Beban didistribusikan secara merata untuk setiap permukaan masing-masing fender dengan beban bekerja secara bertahap sesuai rasio *default* berdasarkan *software* dengan nilai 1 (satu) menyatakan bahwa beban bekerja seratus persen sesuai analisa pada lampiran 1. Hasil analisa ditunjukkan oleh gambar dengan gradasi warna dimana warna merah menunjukkan letak tegangan maksimum dan warna biru menunjukkan letak tegangan minimum. Hasil tegangan maksimal yang bekerja kemudian dicek terhadap *yield strength* dengan syarat (*Maximum stress < Yield strength*), apabila memenuhi maka struktur fender tersebut aman terhadap deformasi plastis begitu pula sebaliknya.

##### 4.1.1 V Fender

Pada Gambar 4.1 terlihat distribusi tegangan yang terjadi pada model V fender 400H × 1500L dengan beban yang digunakan yaitu sebesar 0,01925 N/mm<sup>2</sup>.



Gambar 4.1: Distribusi tegangan (*stress*) pada V fender 400H × 1500L.

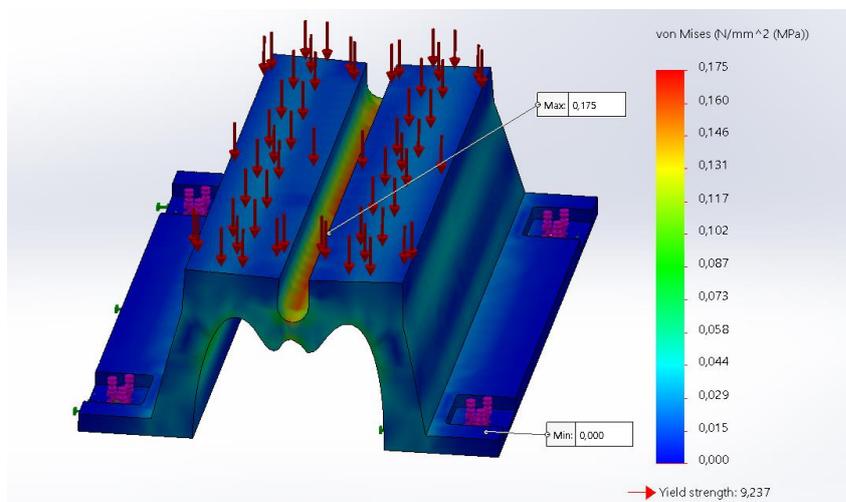


Gambar 4.2: Grafik tegangan (*stress*) V fender 400H × 1500L.

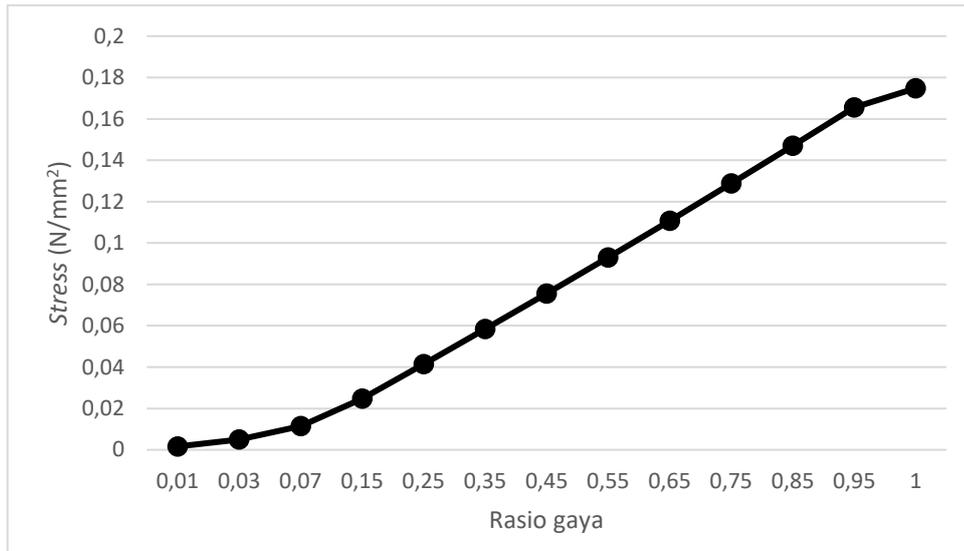
Gambar 4.2 merupakan hasil analisa tegangan (*stress*) non linier V fender. Berdasarkan perhitungan dari analisis distribusi menggunakan *software* diperoleh nilai tegangan maksimum sebesar 0,036 MPa dan nilai tegangan minimum sebesar 0,000 MPa.

#### 4.1.2 M Fender

Gambar 4.3 menunjukkan hasil simulasi tegangan pada model M fender 300H × 1000L dengan beban total pada permukaan fender yang digunakan yaitu sebesar 0,02235 N/mm<sup>2</sup>.



Gambar 4.3: Distribusi tegangan (*stress*) pada M fender 300H × 1000L.

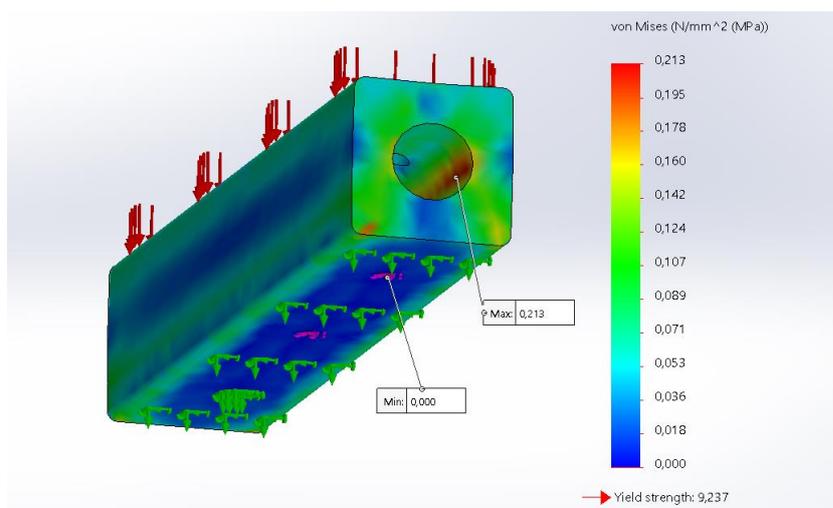


Gambar 4.4: Grafik tegangan (*stress*) M fender 300H × 1000L.

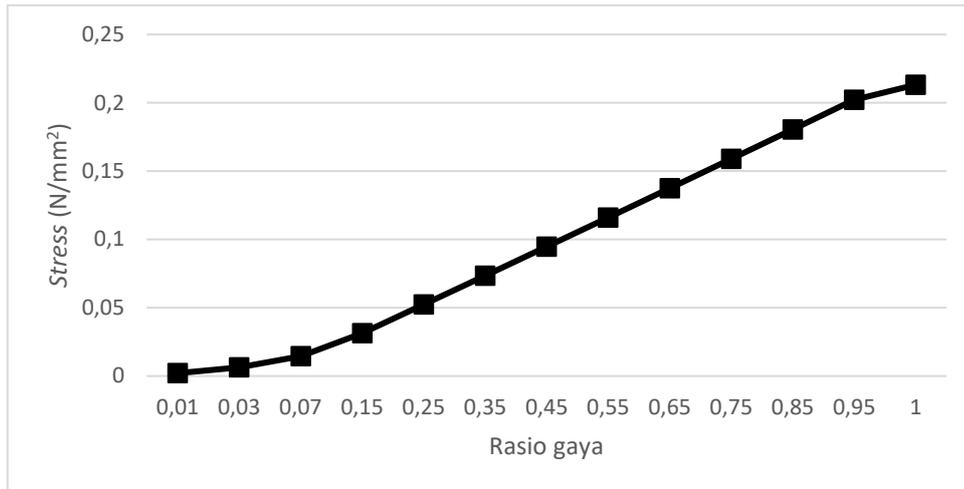
Dapat dilihat pada Gambar 4.4 yang merupakan hasil analisa tegangan (*stress*) non linier untuk M fender dengan nilai tegangan maksimum sebesar 0,175 MPa dan nilai tegangan minimum sebesar 0,000 MPa.

#### 4.1.3 Rectangular fender

Gambar 4.5 merupakan distribusi tegangan pada model *rectangular* fender 150H × Ø75 dengan beban yang digunakan yaitu sebesar 0,04693 N/mm<sup>2</sup>.



Gambar 4.5: Distribusi tegangan (*stress*) pada *rectangular* fender 150H × Ø75.

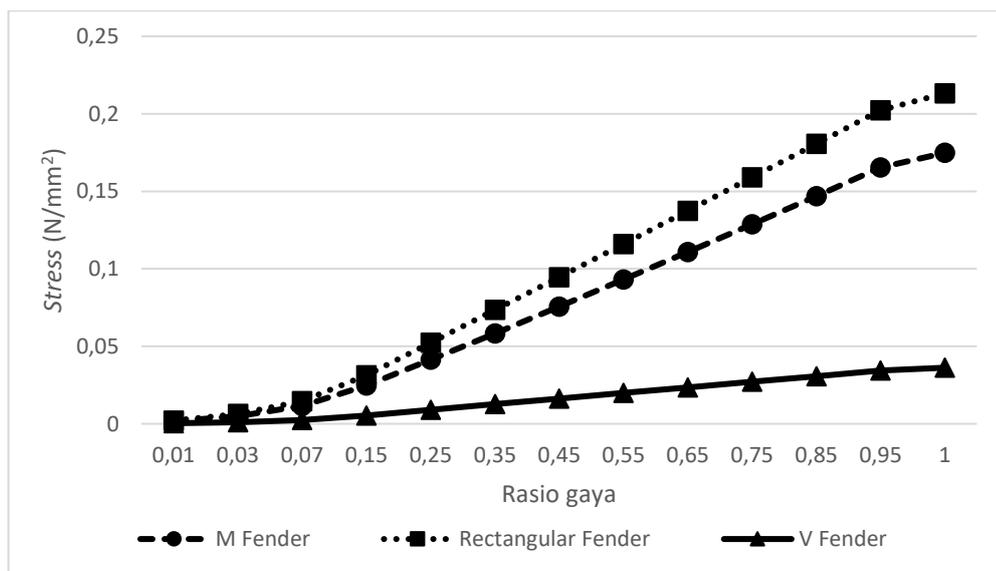


Gambar 4.6: Grafik tegangan (*stress*) rectangular fender 150H × Ø75.

Dari hasil analisis non linier yang dilakukan dengan menggunakan *software* didapatkan nilai tegangan maksimum senilai 0,213 mm dan minimum senilai 0,000 mm yang dapat dilihat pada Gambar 4.5 dan Gambar 4.6.

#### 4.1.4 Perbandingan Tegangan

Gambar 4.7 merupakan grafik perbandingan tegangan untuk ketiga jenis fender yang dianalisis. Terlihat bahwa M fender memiliki tegangan tertinggi dari kedua jenis fender lainnya dengan nilai 0,393 N/mm<sup>2</sup>.



Gambar 4.7: Grafik perbandingan tegangan (*stress*) antar jenis fender.

Seperti pada subbab 2.7, agar fender tidak mengalami deformasi plastis maka nilai tegangan tidak boleh melewati nilai *yield strength*, sehingga peninjauan kegagalan struktur untuk ketiga jenis fender terhadap tegangan adalah sebagai berikut:

a. V fender

$$\text{Maximum stress} < \text{yield strength}$$

$$0,036 \text{ N/mm}^2 < 9,237 \text{ N/mm}^2 \quad (\text{Memenuhi})$$

b. M fender

$$\text{Maximum stress} < \text{yield strength}$$

$$0,175 \text{ N/mm}^2 < 9,237 \text{ N/mm}^2 \quad (\text{Memenuhi})$$

c. *Rectangular* fender

$$\text{Maximum stress} < \text{yield strength}$$

$$0,213 \text{ N/mm}^2 < 9,237 \text{ N/mm}^2 \quad (\text{Memenuhi})$$

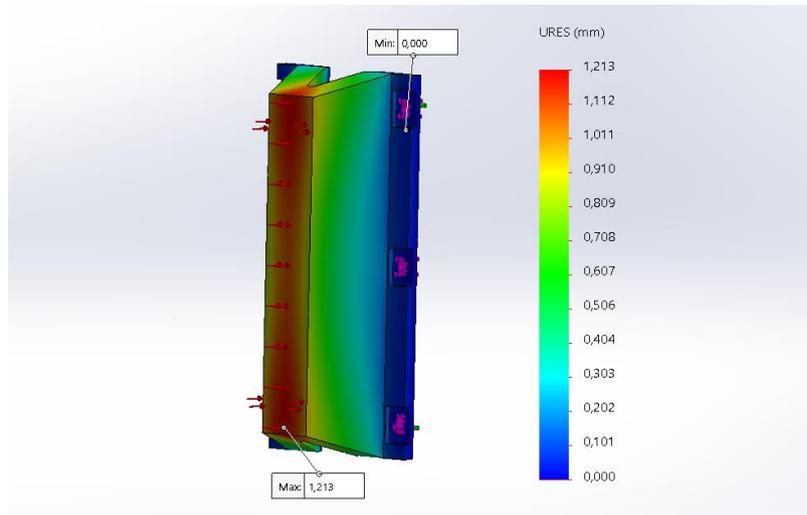
Maka struktur dari V fender, M fender maupun *rectangular* fender aman atau tidak mengalami deformasi plastis terhadap gaya yang bekerja sebesar 7509,25 ton dikarenakan tegangan maksimal yang terjadi berada dibawah angka *yield strength* senilai 9,237 N/mm<sup>2</sup>.

## 4.2 *Displacement*

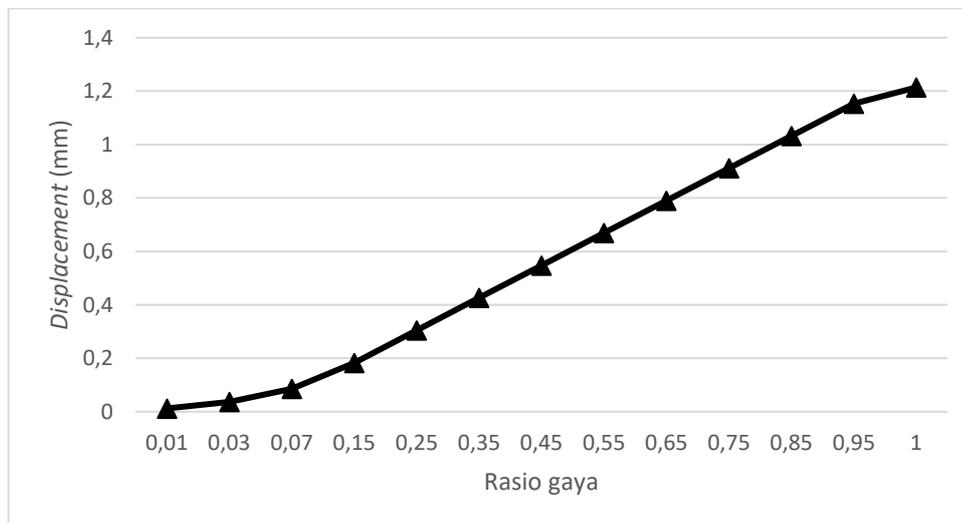
Subbab ini membahas hasil analisa *displacement* menggunakan *software* Solidworks. Sama seperti pada analisa *stress* pada analisa ini juga berupa analisa non linier dengan beban didistribusikan secara merata untuk setiap permukaan masing-masing fender dengan beban bekerja secara bertahap sesuai rasio *default* berdasarkan *software* dimana nilai 1 (satu) menyatakan bahwa beban bekerja seratus persen sesuai analisa pada lampiran 1. Hasil analisa ditunjukkan dengan gradasi warna pada gambar dimana warna merah menunjukkan letak *displacement* maksimum dan warna biru menunjukkan *displacement* minimum. Hasil analisa kemudian dicek berdasarkan lendutan ijin yang diijinkan oleh pabrikan fender sebesar 45% dari tinggi (*height*) itu sendiri (*maximum displacement* < 45% H fender).

#### 4.2.1 V Fender

Gambar 4.8 merupakan distribusi *displacement* pada model V Fender 400H × 1500L dengan beban maksimal yang digunakan yaitu sebesar 0,01925 N/mm<sup>2</sup>.



Gambar 4.8: Distribusi *displacement* pada V fender 400H × 1500L.

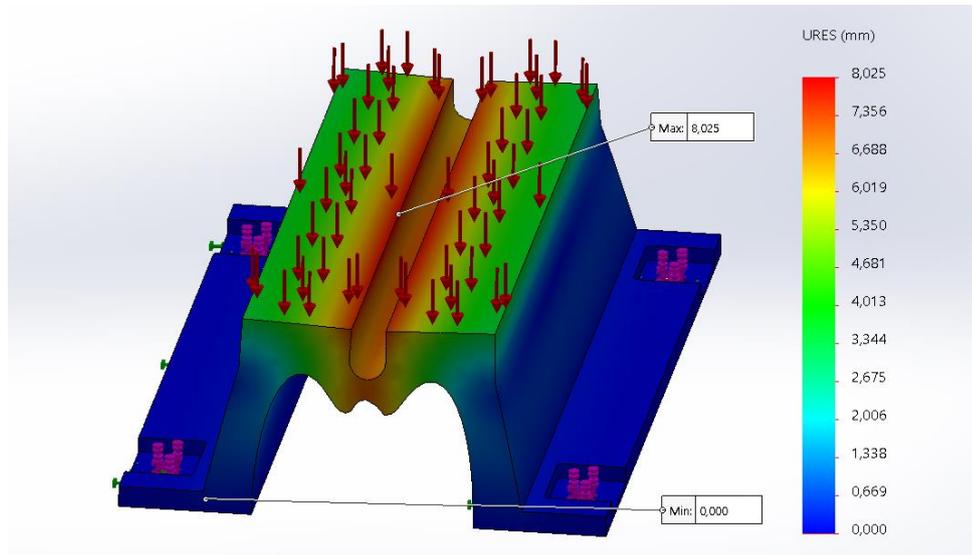


Gambar 4.9: Grafik *displacement* V fender 400H × 1500L.

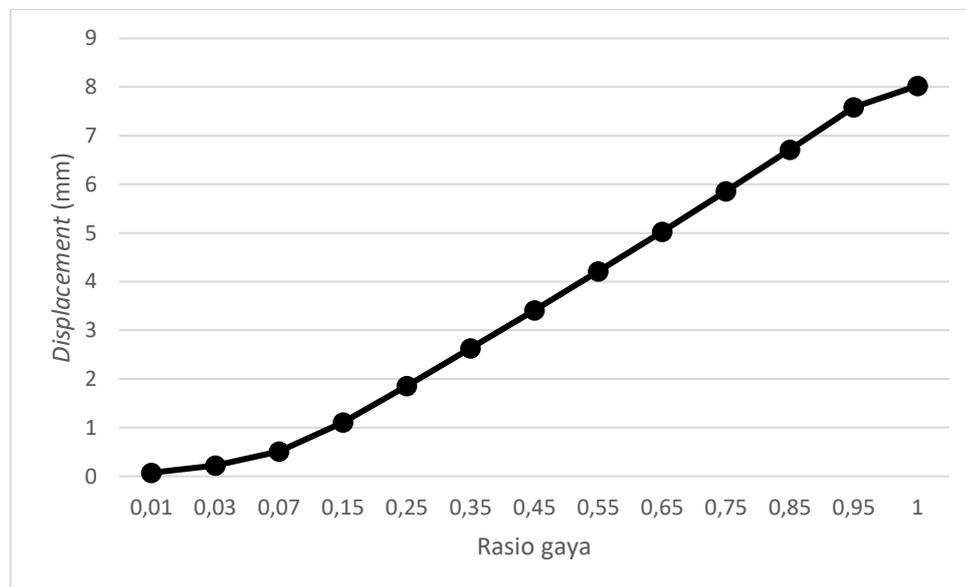
Didapatkan nilai maksimum *displacement* ditunjukkan dengan warna merah sebesar 1,213 mm dan nilai minimum dari *displacement* didapatkan sebesar 0,000 mm. Gambar 4.9 adalah nilai grafik hubungan *displacement* terhadap waktu dimana waktu berbanding lurus terhadap rasio beban yang dianalisis.

#### 4.2.2 M Fender

Gambar 4.10 merupakan distribusi *displacement* pada model M fender 300H × 1000L dengan beban yang digunakan yaitu sebesar 0,02235 N/mm<sup>2</sup>.



Gambar 4.10: Distribusi *displacement* pada M fender 300H × 1000L.

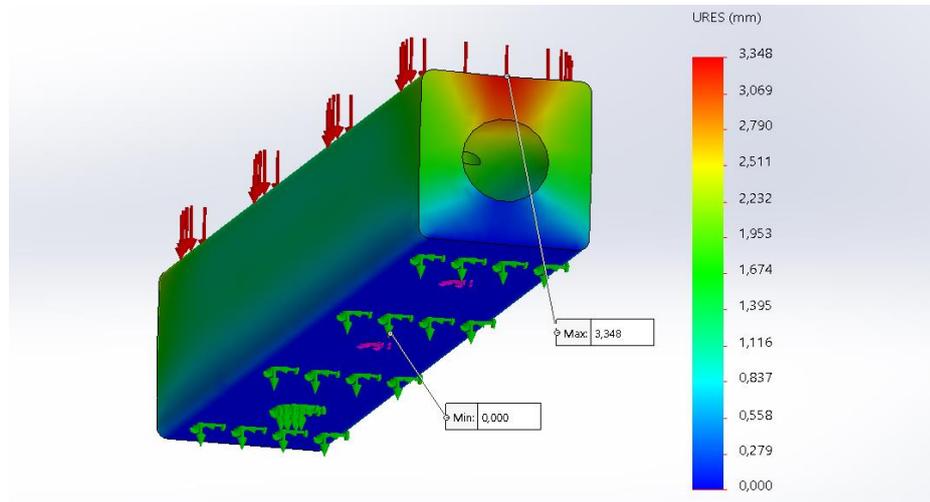


Gambar 4.11: Grafik *displacement* M fender 300H × 1000L.

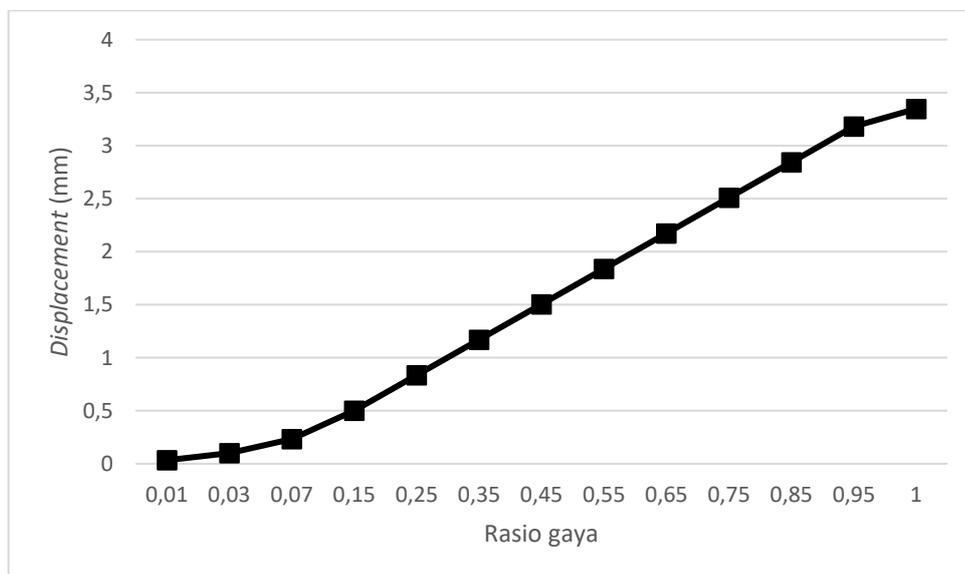
Didapatkan nilai maksimum *displacement* ditunjukkan dengan warna merah sebesar 8,025 mm dan nilai minimum dari *displacement* didapatkan sebesar 0,000 mm dengan nilai grafik hubungan *displacement* seperti pada Gambar 4.11.

### 4.2.3 Rectangular fender

Gambar 4.12 merupakan distribusi *displacement* pada model *rectangular* fender 150H × Ø75 dengan beban yang digunakan yaitu sebesar 0,04693 N/mm<sup>2</sup>.



Gambar 4.12: Distribusi *displacement* pada *rectangular* fender 150H × Ø75.

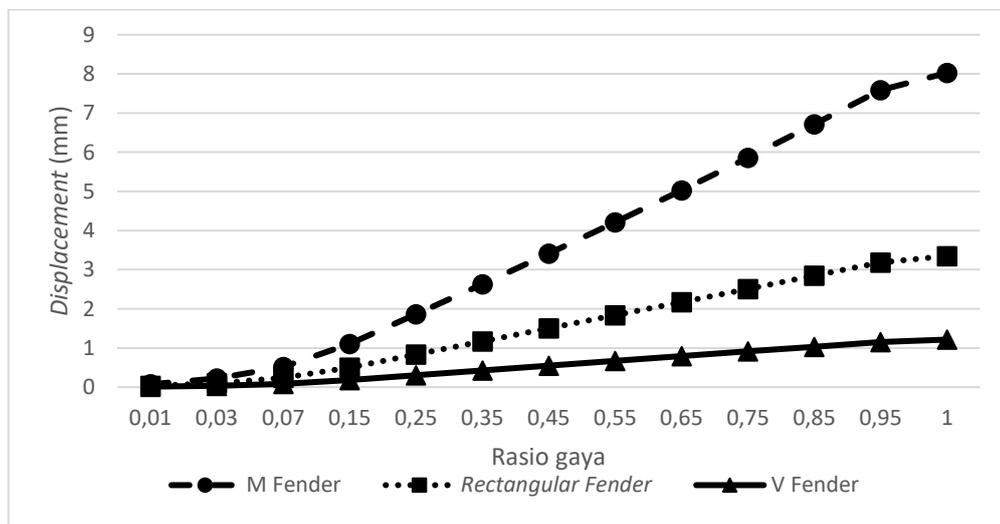


Gambar 4.13: Grafik *displacement* *rectangular* fender.

Didapatkan nilai maksimum *displacement* ditunjukkan dengan warna merah sebesar 3,348 mm dan nilai minimum dari *displacement* didapatkan sebesar 0,000 mm dengan nilai grafik hubungan *displacement* seperti pada Gambar 4.13.

#### 4.2.4 Perbandingan *Displacement*

Gambar 4.14 merupakan grafik perbandingan *displacement* untuk ketiga jenis fender yang dianalisis. M fender merupakan fender yang memiliki nilai *displacement* tertinggi dengan nilai 16,001 mm dibandingkan dengan kedua jenis fender lainnya apabila gaya bentur fender senilai 7509,25 N. Lendutan ini terjadi karena M fender memiliki celah dibagian tengah permukaan fender yang pada saat gaya bekerja, sehingga pada celah tersebut fender mengalami kenaikan *displacement*.



Gambar 4.14: Perbandingan *displacement* antar jenis fender.

Hasil analisa membuktikan bahwa V fender, M fender maupun *rectangular* fender aman karena fender memenuhi kriteria lendutan izin maksimal sebesar 45% sesuai dengan perhitungan berikut:

a. V fender

$$\text{Max. displacement} < 45\% \text{ tinggi fender}$$

$$1,213 \text{ mm} < \left( \frac{45}{100} \times 400 \right)$$

$$1,213 \text{ mm} < 180 \text{ mm}$$

b. M fender

$$\text{Max. displacement} < 45\% \text{ tinggi fender}$$

$$8,025 \text{ mm} < \left( \frac{45}{100} \times 300 \right)$$

$$8,025 \text{ mm} < 135 \text{ mm}$$

c. *Rectangular* fender

$$\text{Max. displacement} < 45\% \text{ tinggi fender}$$

$$3,348 \text{ mm} < \left( \frac{45}{100} \times 150 \right)$$

$$3,348 \text{ mm} < 67,5 \text{ mm}$$

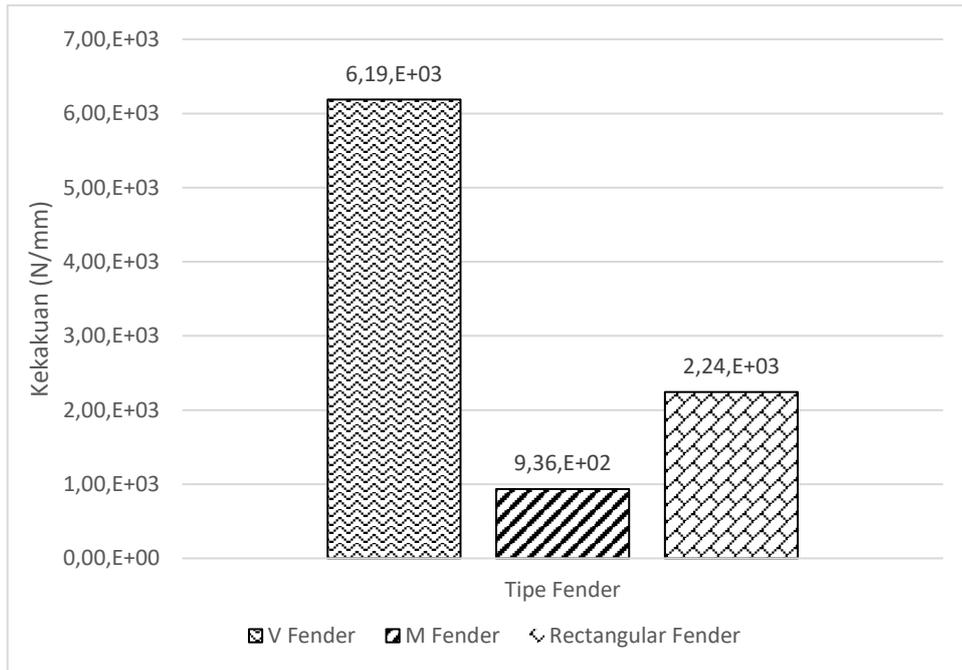
Oleh karena itu dapat disimpulkan bahwa V fender 400H × 1500L, M fender 300H × 1000L, maupun *rectangular* fender 150H × Ø75 tidak mengalami kegagalan lendutan terhadap beban yang diterima.

### 4.3 Kekakuan (*Stiffness*)

Berdasarkan Pers. 2.23 yang mana kekakuan diperoleh dari perbandingan antara beban dengan besarnya deformasi maka dengan nilai gaya bentur yang terjadi pada fender seperti perhitungan dalam lampiran 1 sebesar 7509,25 N, diperoleh nilai-nilai kekakuan yang bekerja pada masing-masing tipe fender sesuai pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1: Tabel hasil perhitungan kekakuan masing-masing jenis fender.

Rasio Gaya	Kekakuan V Fender (N/mm)	Kekakuan M Fender (N/mm)	Kekakuan <i>Rectangular</i> Fender (N/mm)
0,01	6,17,E+05	1,03,E+05	2,25,E+05
0,03	2,06,E+05	3,44,E+04	7,50,E+04
0,07	8,81,E+04	1,47,E+04	3,21,E+04
0,15	4,11,E+04	6,80,E+03	1,50,E+04
0,25	2,47,E+04	4,04,E+03	8,99,E+03
0,35	1,76,E+04	2,86,E+03	6,42,E+03
0,45	1,37,E+04	2,20,E+03	4,99,E+03
0,55	1,12,E+04	1,78,E+03	4,08,E+03
0,65	9,51,E+03	1,49,E+03	3,46,E+03
0,75	8,24,E+03	1,28,E+03	2,99,E+03
0,85	7,28,E+03	1,12,E+03	2,64,E+03
0,95	6,51,E+03	9,90,E+02	2,36,E+03
1	6,19,E+03	9,36,E+02	2,24,E+03



Gambar 4.15: Perbandingan kekakuan antar jenis fender.

Pada Tabel 4.1 dan Gambar 4.15 terlihat bahwa V fender memiliki kekakuan yang lebih besar daripada kekakuan pada M fender dan *rectangular* fender saat beban bekerja maksimal. Terlihat nilai kekakuan secara berurut senilai 935,697 N/mm untuk M fender, 2243,17 N/mm untuk *rectangular* fender, dan 6188,60 N/mm untuk V fender. Pada subbab 2.8 nilai kekakuan dipengaruhi oleh modulus elastisitas. Akan tetapi pada penelitian ini nilai material adalah sama sehingga nilai kekakuan dipengaruhi oleh lendutan yang terjadi pada fender yang diakibatkan oleh dimensi fender.

## BAB 5

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1 Kesimpulan

Dari hasil analisis data dan pembahasan maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Kapal KM. Kelud dengan DWT sebesar 3175 DWT bekerja energi bentur sebesar 0,172 ton-m, dipilih fender dengan tipe:
  - a. V fender 400H × 1500L
  - b. M fender 300H × 1000L
  - c. *Rectangular* fender 150H × Ø75
2. Ketiga jenis fender tidak mengalami deformasi plastis dikarenakan tegangan yang bekerja tidak melebihi *yield strength* dengan hasil tegangan (*stress*) maksimum didapat sebagai berikut:
  - a. V fender 400H × 1500L = 0,03618 N/mm<sup>2</sup>
  - b. M fender 300H × 1000L = 0,17476 N/mm<sup>2</sup>
  - c. *Rectangular* fender 150H × Ø75 = 0,21319 N/mm<sup>2</sup>
3. Ketiga jenis fender memenuhi syarat izin lendutan maksimal yang diterbitkan oleh pabrikan sebesar 45% dari tinggi fender tersebut dengan hasil *displacement* maksimum didapatkan sebagai berikut:
  - a. V fender 400H × 1500L = 1,2134 mm
  - b. M fender 300H × 1000L = 8,0253 mm
  - c. *Rectangular* fender 150H × Ø75 = 3,3476 mm
4. Diperoleh nilai kekakuan untuk masing-masing tipe fender sebagai berikut:
  - a. V fender 400H × 1500L = 6188,60 N/mm
  - b. M fender 300H × 1000L = 935,697 N/mm
  - c. *Rectangular* fender 150H × Ø75 = 2243,17 N/mmBesarnya lendutan berpengaruh terhadap kekakuan. Semakin kaku suatu bahan maka *displacement* yang terjadi semakin kecil begitu pula sebaliknya.

## 5.2 Saran

Setelah melakukan penelitian ini penulis memberikan saran yang perlu diperhatikan sebagai berikut:

1. Perlu dilakukan analisa pengangkuran dan biaya pada penelitian selanjutnya.
2. Disarankan untuk mengkaji lebih dalam mengenai beban yang bekerja.
3. Melakukan perhitungan selain menggunakan *software* Solidworks.

## DAFTAR PUSTAKA

- Abidin, M. Z., Wiranto, P., & Lukman, H. (2018). *Perencanaan Fender Dermaga (Studi Kasus Dermaga Pengangkut Minyak, Luwuk Banggai Provinsi Sulawesi Tengah)*. 1, 1–13.
- Cornelis, C. I. (2017). *Analisis Springback Pada Tube AISI 304L Berpenampang Segiempat Pada Proses Rotary Draw Bending*. Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Fauzan. (2018). Perencanaan Fender Dermaga (Jetty) Kapal Dengan Bobot 10000 DWT. *Ensiklopedia Of Journal*, 1(1), 153–157. <https://doi.org/10.33559/eoj.v1i1.93>
- Harahap, A. A. (2019). *Analisis Tingkat Pelayanan Dermaga Angkutan Penumpang di Pelabuhan Belawan*. Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
- Naradiagung, R. (2009). *Simulasi FEM dan Proses Produksi Alat Pengukur Kestabilan Putaran Roda Depan Sepeda Motor*. Universitas Indonesia.
- Ngainuni'mah, & Ni'mah, Z. (2006). *Perencanaan Dermaga Bongkar Batubara PLTU Cilacap*. Universitas Diponegoro.
- Presiden Republik Indonesia. (2009). *Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 61 Tahun 2009 Tentang Kepelabuhanan*.
- Roza, F. (2019). *Analisa Kegagalan Fatigue pada Batang Penghubung Sepeda Motor*. Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
- Sembiring, E. M. D. (2021). *Analisis Statik Pada Bucket Teeth Excavator CAT 320D Menggunakan Software Solidworks* [Universitas Sanata Dharma]. <https://repository.unsri.ac.id/12539/>
- Sutikno, E. (2011). *Analisis Tegangan Akibat Pembebanan Statis Pada Desain Carbody TeC Railbus Dengan Metode Elemen Hingga*. 2(1), 65–81.
- Triatmodjo, B. (2009). *Perencanaan Pelabuhan*. Beta Offset.
- Wahid, R. S. (2011). *Evaluasi Kondisi Lingkungan dan Olah Gerak Kapal Terhadap Kerusakan Fender Pada Pelabuhan Merak*. Universitas Indonesia.

## LAMPIRAN 1

### PERHITUNGAN GAYA SANDAR (*BERTHING FORCES*)

Untuk menghitung *berthing forces*/ gaya sandar kapal diperlukan beberapa data. Data berikut merupakan data sekunder yang diperoleh dari PT. Pelindo 1 (Persero) pada tahun 2021. Data-data tersebut meliputi:

Nama kapal	: KM. Kelud
<i>Dead Weight Tonnage</i>	: 3175 DWT
Panjang kapal (LOA)	: 146,5 m
<i>Length Between Perpendicular</i> (LPP)	: 130 m
Lebar/ <i>Beam</i> (B)	: 23,4 m
Sarat/ <i>draft</i> (d)	: 5,9 m
Berat jenis air laut ( $\gamma_0$ )	: $1025 \text{ kg/m}^3 = 1,025 \text{ t/m}^3$

#### 1. Menghitung nilai V

Berdasarkan Tabel 2.1 untuk kapal dengan nilai DWT 3175 maka diambil kecepatan merapat kapal sebesar 0,15 m/s

$$\begin{aligned}V &= v \times \sin 10^\circ \\ &= 0,15 \times \sin 10^\circ \\ &= 0,026 \text{ m/s}\end{aligned}$$

#### 2. Menghitung Nilai Cm

$$\text{Log } W = 0,511 + 0,913 \times \log \text{DWT}$$

$$\text{Log } W = 0,511 + 0,913 \times \log 3175$$

$$W = 5106,132 \text{ ton}$$

$$\begin{aligned}C_b &= \frac{W}{L_{pp} \times b \times d \times \gamma_0} \\ &= \frac{5106,132}{130 \times 23,4 \times 5,9 \times 1,025} \\ &= 0,278\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
C_m &= 1 + \frac{\pi}{2 \times C_b} \times \frac{d}{B} \\
&= 1 + \frac{\pi}{2 \times 0,278} \times \frac{5,9}{23} \\
&= 2,427
\end{aligned}$$

### 3. Menghitung Nilai Ce

Dengan menggunakan Gambar 2.5 untuk  $C_b = 0,278$  (diambil nilai  $C_b$  minimum dalam grafik yaitu 0,5) didapat:

$$\begin{aligned}
\frac{r}{Loa} &= 0,205 \\
r &= 30,033 \text{ m}
\end{aligned}$$

Untuk kapal yang bersandar di dermaga:

$$\begin{aligned}
l &= \frac{1}{4} \times Loa \\
&= \frac{1}{4} \times 146,5 \\
&= 36,625 \text{ m}
\end{aligned}$$

Sehingga nilai koefisien Ce sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
C_e &= \frac{1}{1 + \left(\frac{l}{r}\right)^2} \\
&= \frac{1}{1 + \left(\frac{36,625}{30,033}\right)^2} \\
&= 0,402
\end{aligned}$$

### 4. Menghitung Nilai E

$$\begin{aligned}
E &= \frac{W \times V^2}{2 \times g} \times C_m \times C_e \times C_s \times C_c \\
&= \frac{5106,132 \times 0,026^2}{2 \times 9,81} \times 2,427 \times 0,402 \times 1 \times 1 \\
&= 0,172 \text{ ton-m}
\end{aligned}$$

**5. Gaya Akibat Benturan Kapal (*Berthing Forces*)**

$$E = \frac{F \times D}{2}$$

$$F = \frac{2 \times E}{D}$$

$$= \frac{2 \times 0,172}{0,45}$$

$$= 0,76573 \text{ ton}$$



**UMSU**

Unggul | Cerdas | Terpercaya

Bila menjawab surat ini agar disebutkan nomor dan tanggalnya

**MAJELIS PENDIDIKAN TINGGI PENELITIAN & PENGEMBANGAN**  
**UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA**  
**FAKULTAS TEKNIK**

Jalan Kapten Mukhtar Basri No. 3 Medan 20238 Telp. (061) 6622400 - EXT. 12  
Website : <http://fatek.umsu.ac.id> E-mail : [fatek@umsu.ac.id](mailto:fatek@umsu.ac.id)

Nomor : 404 / II.3-AU/UMSU-07/F/2021  
Lamp : 1 Lembar  
Hal : Pengambilan Data  
Kepada :  
Yth. Bapak/Ibu **Direktur SDM Dan Umum**  
**PT. Pelindo I (Persero)**

Medan, 20 Rajab 1442 H  
04 Maret 2021 M

Di : Tempat

Assalamu'alaikum Wr. Wb

Dengan hormat,

Kami memohon kesediaan Bapak untuk menerima dan memberikan izin bagi Mahasiswa kami yang akan melakukan Pengambilan Data di **PT. Pelindo I (Persero)** untuk penulisan Tugas Akhir, guna menyelesaikan program pendidikan Strata Satu (S-I) di Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Nama : Mhd. Tondi Alfarizi  
NPM : 1707210159  
Semester : VIII (Delapan)  
Jurusan : Teknik Sipil  
Judul Tugas Akhir : **Analisis Pengaruh Tipe Fender Terhadap Kapal Bersandar Dengan Menggunakan Pemodelan Elemen Hingga.**

*Pembimbing I* : Tondi Amirsyah Putra, S.T.,M.T

Demikian harapan kami atas bantuan dan kerjasama yang Bapak /Ibu berikan kami ucapkan terima kasih.  
Wassalamu'alaikum Wr. Wb



. Dekan  
  
**Munawar Alfansury Siregar, S.T.,M.T**  
NIDN: **0101017202**  


Cc : File

Nomor : KP.40/2 /II /PI-21.TU

Medan, 10 Maret 2021

Lampiran :

Kepada

Perihal : Persetujuan Pengambilan Data/Riset

Yth. Dekan Fakultas Teknik  
Universitas Muhammadiyah  
Sumatera Utara

di

Tempat

Memperhatikan surat Saudara Nomor : 404/II.3-AU/UMSU-07/F/2021 tanggal 04 Maret 2021 Perihal Pengambilan Data.

Sehubungan hal tersebut, bahwa pada prinsipnya kami menyetujui pelaksanaan pengambilan data / riset dimaksud yang dilaksanakan secara daring atas nama :

NO	Nama	NIM	Program Studi
1	Mhd. Tondi Alfarizi	1707210159	Teknik Sipil

untuk pelaksanaan permintaan data dimaksud kepada Mahasiswa/i agar memperhatikan hal-hal sebagai berikut :

1. Sebelum memulai riset wajib melapor kepada Divisi Umum Kantor Pusat PT. Pelabuhan Indonesia I (Persero).
2. Mentaati semua aturan yang berlaku di perusahaan dan Wajib memahaminya.
3. Menggunakan data yang telah diperoleh dengan sebaik-baiknya dan tidak menyebar luaskan data tersebut tanpa seizin perusahaan.

Demikian disampaikan atas perhatian dan kerjasamanya diucapkan terima kasih.

a.n. DIREKTUR SDM DAN UMUM  
SENIOR VICE PRESIDENT UMUM



WIDYA GUSTANTO

GRHA PELINDO SATU

Jl. Lingkar Pelabuhan No. 1 Belawan

Medan - 20411

Telp. (061) - 41000055 (Hunting)

Fax. (061) - 88800059

E-mail : pelabuhan1@pelindo1.co.id

Website : www.pelindo1.co.id

**LEMBAR ASISTENSI**

**NAMA** : MHD. TONDI ALFARIZI  
**NPM** : 1707210159  
**JUDUL** : “ANALISIS PENGARUH TIPE FENDER TERHADAP KAPAL BERSANDAR DENGAN MENGGUNAKAN PEMODELAN ELEMEN HINGGA”

NO	TANGGAL	KETERANGAN	PARAF
1	12 / 2021 / 03	<ul style="list-style-type: none"> <li>•&gt; Menambah Referensi Bab 2 dari Penelitian - penelitian sebelumnya</li> <li>•&gt; Lebih mempersempit Maksud, Tujuan, dan Ruang Lingkup Penelitian</li> <li>•&gt; Melengkapi Bab 3 (Menggambar Pemodelan Tipe Fender yang akan dianalisis)</li> </ul>	
2.	21 / 3-2021	Aca Seminar Proposal	

Mengetahui,  
Pembimbing Tugas Akhir

(Tondi Amirsyah Putera, S.T., M.T)



**UMSU**  
Unggul | Cerdas | Terpercaya

**FAKULTAS TEKNIK**  
**UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA**  
**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL**

Jalan Kapten Muchtar Basri No. 3 Medan 20238 Telp. (061) 6622400  
Website: <http://fatek.umsu.ac.id> E-mail: [fatek@umsu.ac.id](mailto:fatek@umsu.ac.id)

**LEMBAR ASISTENSI**

**NAMA** : MHD. TONDI ALFARIZI  
**NPM** : 1707210159  
**JUDUL** : "ANALISIS PENGARUH TIPE FENDER TERHADAP KAPAL BERSANDAR DENGAN MENGGUNAKAN PEMODELAN ELEMEN HINGGGA (STUDI KASUS PELABUHAN PENUMPANG BANDAR DELI)"

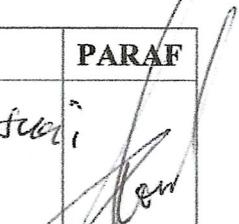
NO	TANGGAL	KETERANGAN	PARAF
①	10/8-2021	- Masalah dan baray diselesaikan - tujuan juga diselesaikan - Bab II → teori EEM ke solid. - Bab III → masalah penyusunan analisis gaya kehwan - edg ditampin - Bab IV → Conyhten.	
②	12/8-2021	Langkah Analisis Bab IV → untuk standard Deformasi pada Fender	

**Mengetahui,**  
**Pembimbing Tugas Akhir**

(Tondi Amarsyah Putera, ST, MT)

**LEMBAR ASISTENSI**

**NAMA** : MHD. TONDI ALFARIZI  
**NPM** : 1707210159  
**JUDUL** : "PEMODELAN FEM UNTUK FENDER DI PELABUHAN  
PENUMPANG BANDAR DELI MENGGUNAKAN  
SOFTWARE SOLIDWORKS"

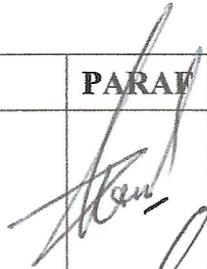
NO	TANGGAL	KETERANGAN	PARAF
3	24/8-2021	- Pastikan Material sesuai Jenis tipe kemutuban - Coba tinjau kembali penyusunan beban pada Fender	
4	31/8-2021	- Lanjutkan lagi bab <u>IV</u> → permasalahan bebeleduan bisa dinyalakan	

Mengetahui,  
Pembimbing Tugas Akhir

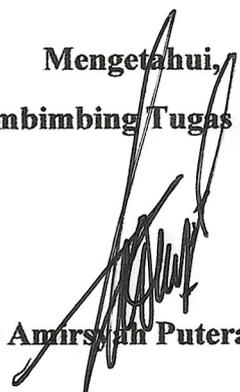
(Tondi Amisyah Putera, S.T., M.T)

**LEMBAR ASISTENSI**

**NAMA** : MHD. TONDI ALFARIZI  
**NPM** : 1707210159  
**JUDUL** : "PEMODELAN FEM UNTUK FENDER DI PELABUHAN PENUMPANG BANDAR DELI MENGGUNAKAN SOFTWARE SOLIDWORKS"

NO	TANGGAL	KETERANGAN	PARAF
5	11/9-2021	Perbaiki masalah kekeliruan	
6	21/9-2021	Ara Untuk Seminar NL: perbaiki	

**Mengetahui,**  
**Pembimbing Tugas Akhir**

  
(Tondi Amirsyah Putera, S.T., M.T)

## DAFTAR RIWAYAT HIDUP



### DATA DIRI PESERTA

Nama Lengkap : Mhd. Tondi Alfarizi  
Panggilan : Tondi  
Tempat, Tanggal Lahir : Medan, 10 Maret 1999  
Jenis Kelamin : Laki-laki  
Alamat : Jl. Marelan V Gg. Pertama Lk. 17  
Agama : Islam

Nama Orang Tua

Ayah : Sorimuda Siregar  
Ibu : Nurmasari Daulay  
No. HP : +62822-3612-4844  
E-mail : [tondialfarizisiregar@gmail.com](mailto:tondialfarizisiregar@gmail.com)

### RIWAYAT PENDIDIKAN

Nomor Pokok Mahasiswa : 1707210159  
Fakultas : Teknik  
Program Studi : Teknik Sipil  
Perguruan Tinggi : Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara  
Alamat Perguruan Tinggi : Jl. Kapten Muchtar Basri No. 3 Medan 20238

No	Tingkat Pendidikan	Nama dan Tempat	Tahun Kelulusan
1	SD	SD SWASTA MELATI MEDAN	2011
2	SMP	SMP SWASTA PERTIWI MEDAN	2014
3	SMA	SMAN 3 MEDAN	2017
4	Melanjutkan kuliah di Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara Tahun 2017 sampai selesai.		