

Perencanaan *Half Pipe* Fender Pada Kapal Dengan Variasi Desain

Devany Rizki Verdiana¹, Agung Prasetyo Utomo², Bambang Teguh Setiawan³

¹Program Studi Teknik Perancangan dan Kontruksi Kapal, Jurusan Teknik Bangunan Kapal, Politeknik
Perkapalan Negeri Surabaya, Surabaya 60111

²Dosen Jurusan Teknik Bangunan Kapal,

E-mail: drizki@student.ppns.ac.id

Abstrak

Fender merupakan suatu struktur yang terpasang pada sisi kapal dan atau dermaga untuk melindungi lambung kapal dari benturan dengan dermaga. Fender harus melindungi kapal, struktur dermaga, dan fender itu sendiri. Penelitian ini membahas perencanaan fender dengan variasi desain ditinjau dari efisiensi fender dalam meredam energi benturan, dan koreksi tegangan yang terjadi terhadap teori kegagalan pada kecepatan *berthing* 0,496 m/s. Material fender yang digunakan adalah *steel* standar JIS G3444 STK 500 grade B dengan nilai tegangan luluh 356 MPa. Terdapat 4 model fender yang digunakan pada penelitian ini yaitu model A, B, C, D. Hasil analisa model A menunjukkan nilai tegangan terbesar pada fender yaitu 121 MPa, efisiensi fender 2,6% dan nilai *safety factor* 2,9. Pada model B tegangan sebesar 103 MPa terjadi pada fender, efisiensi fender 3,1% dan nilai *safety factor* 3,46. Hasil analisa model C menunjukkan nilai tegangan 112 MPa, efisiensi fender 2,9% dan nilai *safety factor* 3,18. Analisa model D diperoleh nilai tegangan pada fender 121 MPa, efisiensi fender 2,7% dan nilai *safety factor* 2,9. Tegangan yang diizinkan yaitu 167,82 MPa sehingga keempat model memenuhi. Berdasarkan hasil analisa, model fender yang optimal adalah fender B, yaitu model dengan penebalan pada lambung kapal sesuai yang diisyaratkan BKI yaitu 8 mm.

Keyword: fender, analisa elemen hingga, *von mises stress*, *berthing energy*, *berthing velocity*

1. PENDAHULUAN

Fender merupakan suatu struktur yang terpasang pada sisi kapal dan atau dermaga untuk melindungi lambung kapal dari benturan dengan dermaga. Fungsi utama dari fender adalah untuk meredam energi tumbukan yang diakibatkan oleh benturan kapal ketika bersandar di dermaga setiap waktu dan tanpa adanya maintenance. (Trelleborg, 2007). Agung Putra,dkk (2017) telah mempelajari efektifitas fender dalam mengurangi kerusakan badan kapal akibat benturan dengan dermaga. Pemasangan fender akan mengurangi kerusakan pada badan kapal sehingga kerugian yang akan terjadi dapat dikurangi.

Sehubungan dengan penjelasan latar belakang diatas, dapat ditarik beberapa rumusan masalah yakni berapa nilai *berthing energy* yang terjadi pada tiap kecepatan, bagaimana nilai tegangan maksimal setiap model fender, dan bagaimana desain fender yang optimal untuk menahan setiap benturan yang terjadi. Model fender setengah pipa diberikan penguat pada beberapa penelitian. Budiando,dkk (2018) telah mempelajari dengan menambahkan penebalan plat pada area pemasangan fender untuk mengurangi tegangan dan deformasi yang terjadi pada badan kapal. Selain itu Bagus Setiawan Permana (2022) juga telah mempelajari bahwa dengan menambahkan penguat profil I pada fender dapat mengurangi tegangan dan defleksi. Modifikasi model tersebut kemudian digunakan sebagai referensi model dalam penelitian ini. Perbedaan dalam penelitian ini yaitu merencanakan fender pada kapal, dimulai dari pemilihan material fender dan peletakkannya, perhitungan efisiensi fender dalam meredam benturan, dan titik terjadinya benturan dan besarnya pembebanan yang dilakukan.

Tujuan dari penelitian ini yaitu untuk mengetahui desain fender yang optimal pada setiap pembebanan dan untuk mengetahui nilai tegangan, deformasi, dan nilai keamanan setiap model fender dengan menggunakan metode elemen hingga.

2. METODOLOGI

2.1 Data Primer

Data primer yang dibutuhkan dalam penelitian antara lain:

a. Ukuran utama kapal:

Tipe kapal = *survey vessel*
LOA mld = 75,6 m
Hull

LBP	= 68,43 m
B mld	= 17,1 m
D mld	= 5,6 m
T	= 4 m

- b. Gambar profil konstruksi kapal
- c. Katalog pipa
- d. Data kapal pemandang

2.3 Perhitungan Berthing Velocity

Berdasarkan Shibata Fender Team Desain Manual, berthing velocity ditentukan sesuai tabel dibawah.

Tabel 1. Perbandingan *Displacement* dengan *Berthing Velocity*

Displacement MD (t)	a	a	c	d*	e**
1,000	0.179	0.343	0.517	0.669	0.865
3,000	0.136	0.269	0.404	0.524	0.649
5,000	0.117	0.236	0.352	0.459	0.558

Displacement kapal sebesar 4680 ton, sehingga dilakukan interpolasi linear pada displacement 3000 dan 5000 ton untuk menemukan *berthing velocity* yang tepat.

2.4 Perhitungan Berthing Energy

Perhitungan berthing energy hampir sama dengan perhitungan energi kinetik dan dikalikan dengan beberapa koefisien. Berthing energy dapat ditentukan dengan persamaan berikut:

$$EN = 0,5 \times M \times VB^2 \times CM \times CE \times CC \times CS \quad (1)$$

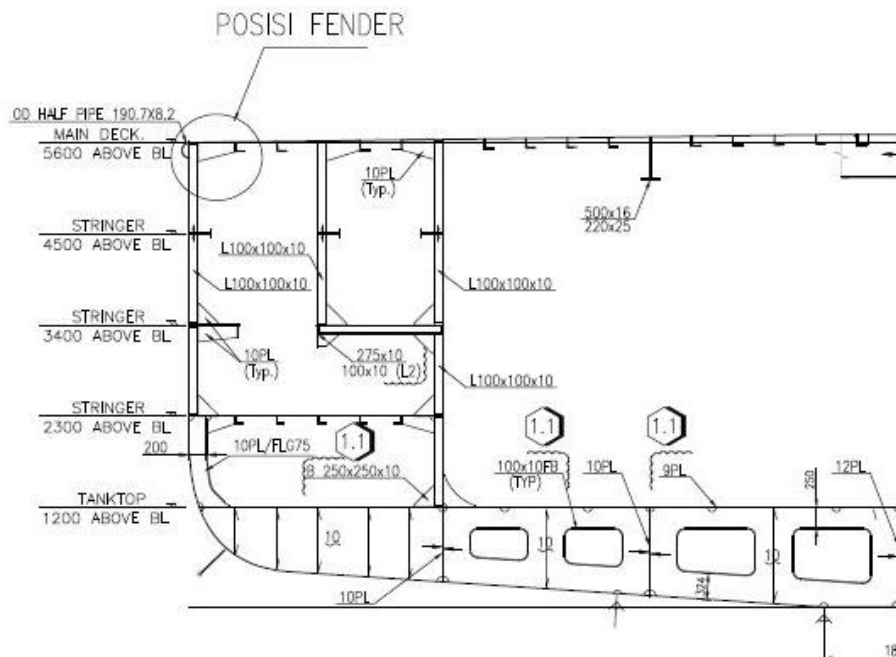
2.4 Perhitungan Abnormal Berthing Energy

Abnormal berthing energy besarnya sama dengan nilai minimum penyerapan energi fender dan diperoleh dengan mengalikan faktor keamanan dengan berthing energy, sehingga model matematisnya seperti berikut:

$$EA = Fs \times EN \quad (2)$$

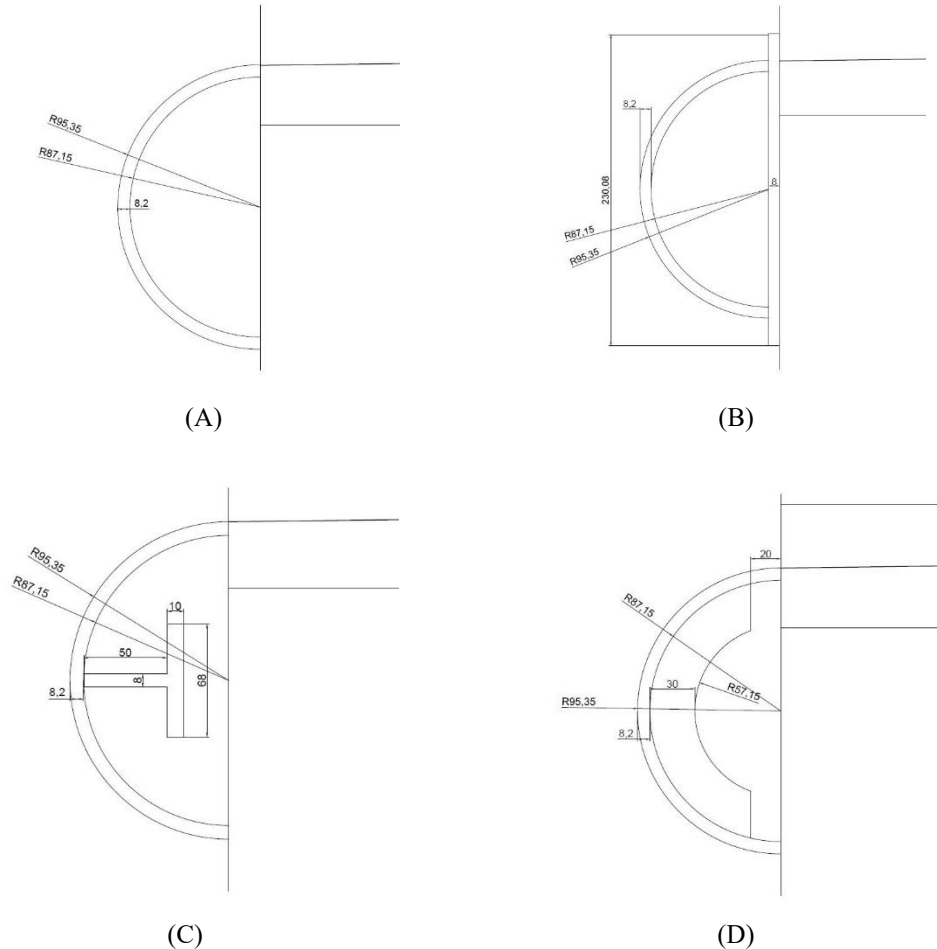
2.2 Desain Fender

Permodelan geometri terdiri dari dua bagian yaitu bagian konstruksi kapal dan fender. Penelitian menggunakan kasus midship berthing, sehingga permodelan konstruksi kapal digambar pada frame 52 sampai 54. Fender dipasang pada dek utama atau setinggi 5,6 m dari base line seperti pada gambar dibawah:



Gambar.1 Posisi Pemasangan *Half Pipe* Fender

Variasi model fender diperoleh dari penelitian sebelumnya dan diperoleh 3 model (A, B, C) dan 1 model variasi baru (D). Model A merupakan model fender setengah pipa tanpa adanya modifikasi penguat. Diameter pipa yang digunakan yaitu 190,7 mm dan tebal 8,2 mm. Model B merupakan modifikasi dari model A dengan menambahkan doubling pelat 230,7 x 8 mm pada lambung kapal. Penambahan tebal plat diatur dalam BKI Vol II. Model C merupakan modifikasi dari model A dengan menambahkan penguat memanjang profil T, dengan web 50 x 8 mm dan face 68 x 10 mm. Model D merupakan modifikasi dari model A dengan penambahan penguat secara melintang berbentuk setengah ring dan ditempatkan mengikuti posisi frame kapal. Gambar setiap model dapat dilihat dibawah:



Gambar.2 (A) Model Fender A, (B) Model Fender B, (C) Model Fender C, (D) Model Fender D

2.3 Permodelan Geometri

Pembuatan model geometri dilakukan dengan *software* Catia V5. Model dibuat dua bagian, konstruksi kapal dan fender dengan fitur *part* desain kemudian digabung pada fitur *assembly part*.

2.4 Pendefinisian Material

Material konstruksi kapal menggunakan baja standar ASMT A36 dan untuk fender JIS G-3444 *grade* B. *Material properties* dapat dilihat pada tabel dibawah.

Tabel.2 *Material Properties* Fender

Material	Steel
Young's modulus	2e+011N_m ²
Poisson's ratio	0,266
Density	7860 kg_m ³
Coefficient of thermal expansion	1,17e+005 Kdeg
Yield strength	3,56+008 N_m ²

Tabel.3 *Material Properties* Konstruksi Kapal

Material	Steel
Young's modulus	2e+011N_m ²
Poisson's ratio	0,266

Density	7860 kg_m ³
Coefficient of thermal expansion	1,17e+005 Kdeg
Yield strength	2,5+008 N_m ²

2.5 Meshing

Meshing menggunakan *octree tetrahedral* dengan ukuran *mesh* 65 mm. Ukuran *mesh* diperoleh dengan *mesh independence study*.

2.6 Boundary Condition

Boundary condition atau syarat batas yang dilakukan dengan penjepit/*clamp* pada ujung part sebagai syarat batas.

2.7 Pembebanan

Pembebanan diberikan pada permukaan fender berupa *berthing energy* yang dinotasikan sebagai gaya terdistribusi.

2.8 Perhitungan Efisiensi Fender

Efisiensi fender dihitung dari rasio antara energi yang tersalurkan pada konstruksi kapal dengan minimum penyerapan energi fender.

$$Eff = E_{let}/R_{het} \quad (3)$$

2.9 Menentukan Model Fender yang Optimal

Menentukan model fender yang optimal ditinjau dari efisiensi fender, koreksi terhadap teori kegagalan, dan tingkat faktor keamanan. Teori kegagalan yang digunakan yaitu *von mises theory*. Tegangan izin ditentukan dengan persamaan dibawah.

$$Tegangan\ izin = \sqrt{2} \times Yield\ Strength/3 \quad (4)$$

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Nilai Berthing Energy

Berdasarkan sub bab 2.2 dengan metode interpolasi linear diperoleh *berthing velocity* untuk kapal dengan displacement 4680 ton yaitu 0,120 m/s, 0,241 m/s, 0,360 m/s, 0,496 m/s, dan 0,573 m/s. Dilanjutkan dengan perhitungan *berthing energy* sesuai pada sub bab 2.3, dihasilkan nilai *berthing energy* untuk tiap kecepatan yaitu 50,190 kNm, 202,437 kNm, 451,712 kNm, 766,659 kNm, dan 1144,368 kNm. Setelah itu dilakukan perhitungan nilai abnormal *berthing energy* sesuai sub bab 2.4. Faktor keamanan bernilai 2 dikarenakan kapal penelitian merupakan kategori work boat, sehingga dihasilkan nilai abnormal *berthing energy* secara berurutan 100,380 kNm, 404,875 kNm, 903,423 kNm, 1533,317 kNm, dan 2288,735 kNm. Berikut tabel dari hasil perhitungan yang dilakukan:

Tabel.3 Perhitungan *Berthing Energy*

Berthing Velocity (m/s)	Berthing Energy (kNm)	Abnormal Berthing Energy (kNm)
0,120	50,190	100,380
0,241	202,437	404,875
0,360	451,712	903,423
0,496	766,659	1533,317
0,573	1144,368	2288,735

3.2 Tegangan Maksimal Pada Setiap Model

Nilai tegangan maksimal dan defleksi yang diperoleh berdasarkan perhitungan sebagai berikut:

- Model A

Tabel.4 Hasil Perhitungan Tegangan dan Defleksi Model A

VB (m/s)	F (kN)	Von mises (MPa)	Defleksi (mm)
0,120	50,190	8,018	0,029
0,241	202,437	32,342	0,116
0,360	451,712	72,166	0,259
0,469	766,659	122,482	0,440
0,573	1144,368	182,825	0,657

- Model B

Tabel.5 Hasil Perhitungan Tegangan dan Defleksi Model B

VB (m/s)	F (kN)	Von mises (MPa)	Defleksi (mm)
0,120	50,190	7,247	0,026
0,241	202,437	29,231	0,106
0,360	451,712	65,226	0,237
0,469	766,659	111,793	0,402
0,573	1144,368	166,870	0,600

- Model C

Tabel.6 Hasil Perhitungan Tegangan dan Defleksi Model B

VB (m/s)	F (kN)	Von mises (MPa)	Defleksi (mm)
0,120	50,190	7,979	0,029
0,241	202,437	32,183	0,116
0,360	451,712	71,813	0,258
0,469	766,659	121,882	0,438
0,573	1144,368	181,930	0,654

- Model D

Tabel.7 Hasil Perhitungan Tegangan dan Defleksi Model D

VB (m/s)	F (kN)	Von mises (MPa)	Defleksi (mm)
0,120	50,190	2,086	0,007
0,241	202,437	8,412	0,030
0,360	451,712	18,770	0,067
0,469	766,659	31,857	0,115
0,573	1144,368	47,552	0,171

Perhitungan dilakukan sebagai validasi hasil analisis. Hasil tegangan dan defleksi/displacement dari analisis metode elemen hingga dapat dilihat dari tabel berikut:

- Model A

Tabel.8 Hasil Analisa Tegangan dan *Displacement* Model A

Analisis	Tegangan Von Mises (MPa)	Displacement (mm)
Analisis 1	7,91	0,036
Analisis 2	31,9	0,145
Analisis 3	71,2	0,322
Analisis 4	121	0,547
Analisis 5	180	0,817

- Model B

Tabel.9 Hasil Analisa Tegangan dan *Displacement* Model B

Analisis	Tegangan Von Mises (MPa)	Displacement (mm)
Analisis 1	6,76	0,031
Analisis 2	27,2	0,126
Analisis 3	60,8	0,281
Analisis 4	103	0,478
Analisis 5	154	0,713

- Model C

Tabel.10 Hasil Analisa Tegangan dan *Displacement* Model C

Analisis	Tegangan Von Mises (MPa)	Displacement (mm)
Analisis 1	7,35	0,032
Analisis 2	29,6	0,130
Analisis 3	66,1	0,289
Analisis 4	112	0,490
Analisis 5	168	0,732

- Model D

Tabel.11 Hasil Analisa Tegangan dan *Displacement* Model D

Analisis	Tegangan Von Mises (MPa)	Displacement (mm)
Analisis 1	7,90	0,036
Analisis 2	31,9	0,144
Analisis 3	71,1	0,321
Analisis 4	121	0,546
Analisis 5	180	0,814

Dari hasil analisa dan perhitungan kemudian dilakukan validasi hasil dengan mebandingkan keduanya. Hasil koreksi dapat dilihat pada tabel berikut:

Model A

Tabel.12 Validasi Hasil Tegangan Von Mises

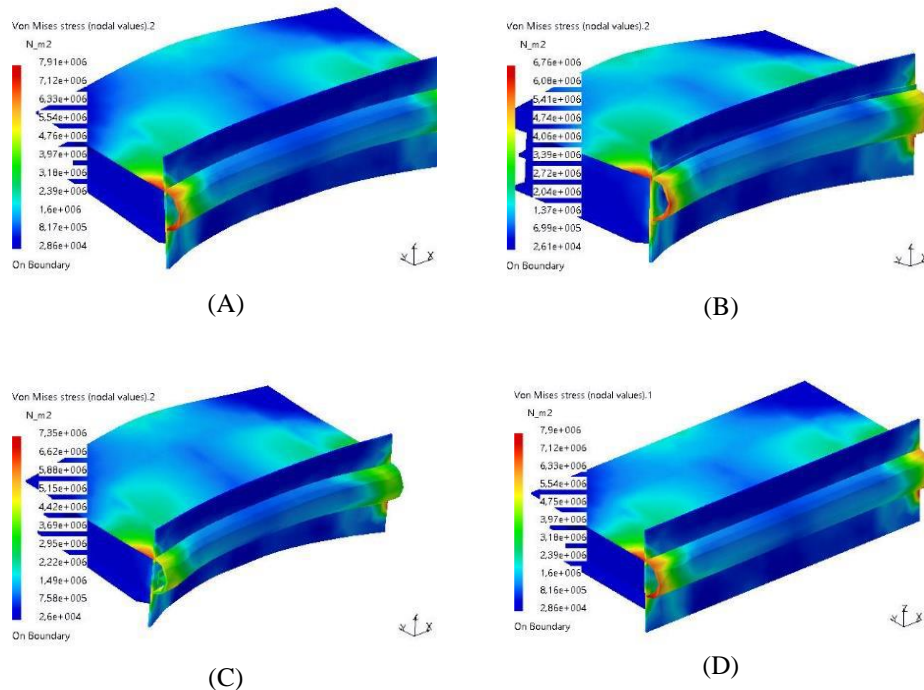
VB (m/s)	F (kN)	Von Mises (MPa)		Koreksi (%)
		Perhitungan	Analisa	
0,120	50,190	8,018	7,91	0,678
0,241	202,437	32,342	31,9	0,688
0,360	451,712	72,166	71,2	0,674
0,469	766,659	122,482	121	0,609
0,573	1144,368	182,825	180	0,779

Model A

Tabel.13 Validasi Hasil Displacement

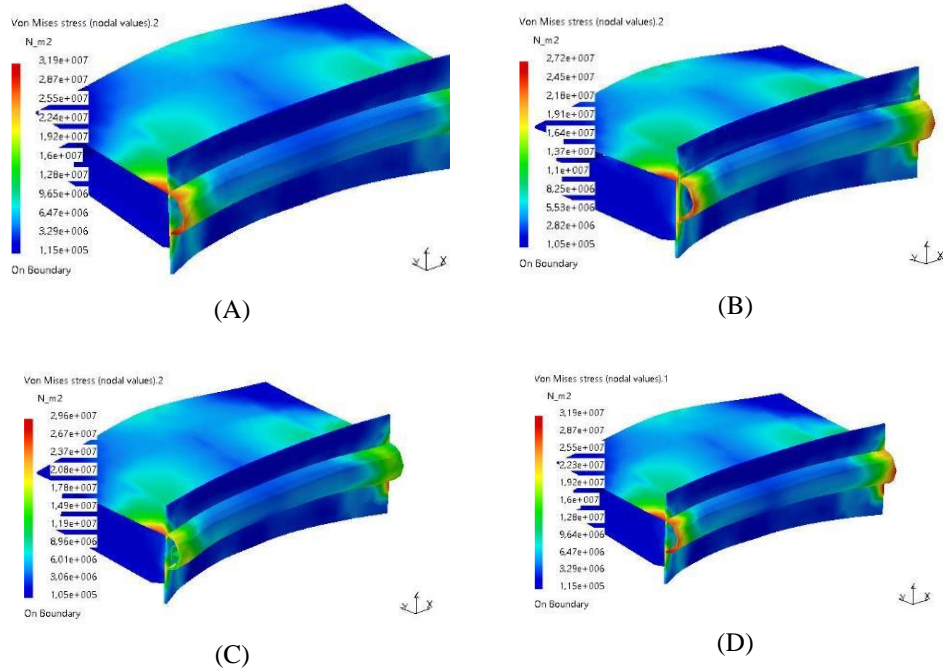
VB (m/s)	F (kN)	Displacement (mm)		Koreksi (%)
		Perhitungan	Analisa	
0,120	50,190	0,029	0,036	10,769
0,241	202,437	0,116	0,145	11,111
0,360	451,712	0,259	0,322	10,843
0,469	766,659	0,440	0,547	10,841
0,573	1144,368	0,657	0,817	10,855

Berdasarkan analisis yang telah dilakukan, berikut dokumentasi nilai tegangan von mises pada setiap model fender untuk kasus pembebanan yang berbeda. Untuk memudahkan, analisis pada berthing velocity 0,120 m/s disebut analisis 1 dan begitu seterusnya. Hasil tegangan von mises pada kecepatan 0,120 m/s dapat dilihat seperti berikut:



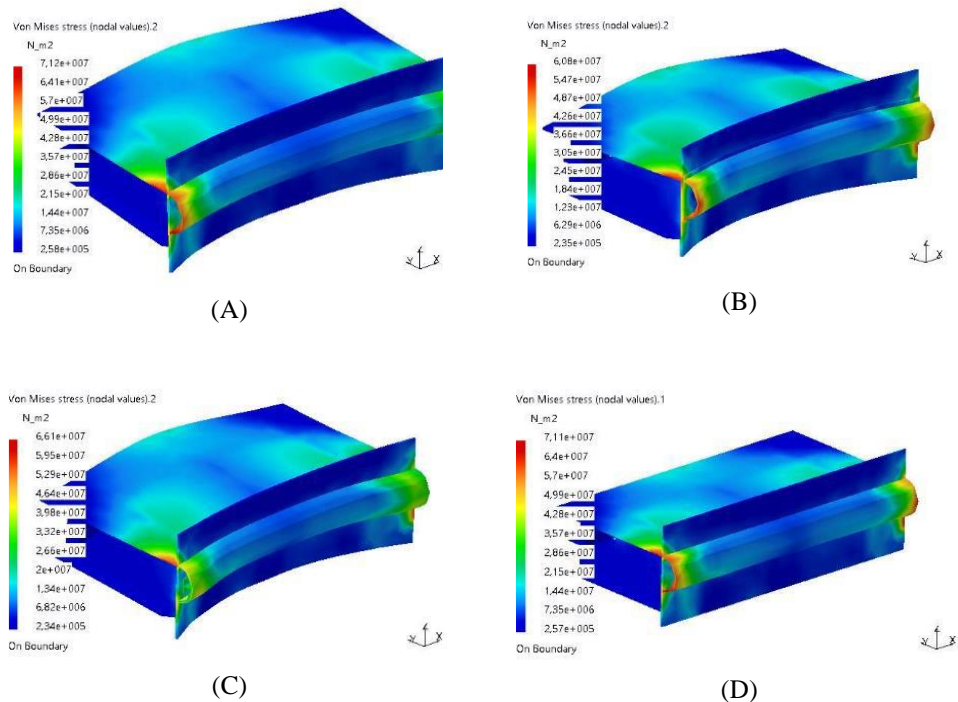
Gambar.3 (A) Hasil Analisis 1 Model A, (B) Hasil Analisis 1 Model B, (C) Hasil Analisis 1 Model C, (D) Hasil Analisis 1 Model D

Gambar dibawah merupakan hasil analisis pada kecepatan 0,241 m/s untuk setiap model



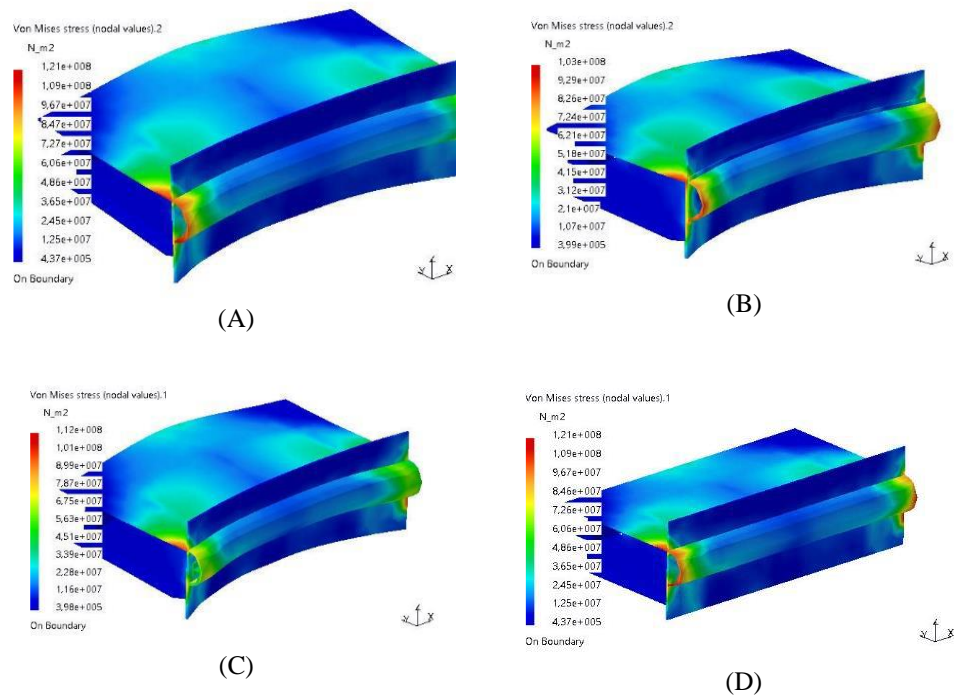
Gambar. 4 (A) Hasil Analisis 2 Model A, (B) Hasil Analisis 2 Model B, (C) Hasil Analisis 2 Model C, (D) Hasil Analisis 2 Model D

Gambar dibawah merupakan hasil analisis pada kecepatan 0,360 m/s untuk setiap model



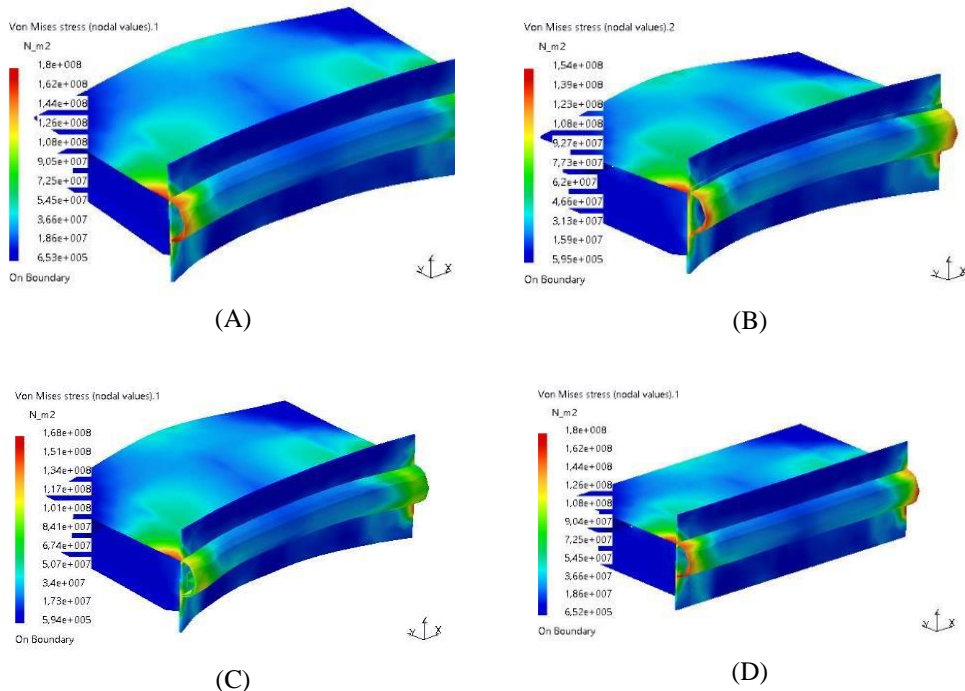
Gambar.5 (A) Hasil Analisis 3 Model A, (B) Hasil Analisis 3 Model B, (C) Hasil Analisis 3 Model C, (D) Hasil Analisis 3 Model D

Gambar dibawah merupakan hasil analisis pada kecepatan 0,469 m/s untuk setiap model



Gambar.6 (A) Hasil Analisis 4 Model A, (B) Hasil Analisis 4 Model B, (C) Hasil Analisis 4 Model C, (D) Hasil Analisis 4 Model D

Gambar dibawah merupakan hasil analisis pada kecepatan 0,573 m/s untuk setiap model



Gambar.7 (A) Hasil Analisis 5 Model A, (B) Hasil Analisis 5 Model B, (C) Hasil Analisis 5 Model C, (D) Hasil Analisis 5 Model D

3.3 Menentukan Model Fender yang Optimal

Pemilihan fender yang optimal ditinjau dari efisiensi fender, koreksi terhadap teori kegagalan, dan faktor keamanan. Efisiensi fender dihitung dengan membandingkan antara energy minimum yang mampu diresap fender pada kecepatan 0,120 m/s yaitu 100,380 kNm dengan reaksi atau energi yang diteruskan ke struktur

kapal untuk setiap model fender. Nilai efisiensi fender yang tinggi menunjukkan bahwa fender lebih efektif meredam benturan yang terjadi. Hasil perhitungan efisiensi fender dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel.14 Efisiensi Fender

Model	Minimum Absorption Energy	Fender Reaction	Efficiency (%)
A	100380 Nm	3789193,744	2,6
B		3238299,584	3,1
C		3520932,24	2,9
D		3784403,36	2,7

Selain itu ditinjau juga dari koreksi terhadap teori kegagalan. Berdasarkan *von mises theory* tegangan maksimal yang diizinkan untuk material konstruksi yaitu 117,85 MPa dan untuk fender yaitu 167,82 MPa. Koreksi dilakukan pada tegangan saat berthing velocity 0,469 m/s dikarenakan untuk kecepatan 0,573 m/s termasuk kondisi ekstrim. Tabel hasil koreksi seperti berikut:

Tabel.15 Koreksi Terhadap Teori Kegagalan

Model	Tegangan Maksimal (MPa)	Tegangan Izin	Faktor Keamanan	Kesimpulan
A	121	167,82	2,9	Memenuhi
B	103		3,46	Memenuhi
C	112		3,18	Memenuhi
D	121		2,9	Memenuhi

Berdasarkan tabel diatas, keempat model memenuhi teori kegagalan, sehingga konstruksi kapal aman. Dari hasil analisa yang dilakukan diperoleh model fender yang optimal yaitu model B dengan tegangan maksimal 103 MPa, faktor keamanan 3,46, dan efisiensi fender 3,1 %.

4. KESIMPULAN

4.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, dapat diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. *Berthing energy* atau energi benturan kapal ketika bersandar dipelabuhan berbanding lurus dengan kecepatan kapal saat sandar. Semakin besar kecepatannya semakin besar juga nilai *berthing energy*-nya. Nilai *berthing energy* yang didapat pada kecepatan 0,120 m/s, 0,241 m/s, 0,360 m/s, 0,469 m/s, 0,573 m/s secara berurutan yaitu 50,190 kNm, 202,437 kNm, 451,712 kNm, 766,659 kNm, dan 1144,368 kNm.
2. Besarnya tegangan rata-rata berbanding lurus dengan *energy berthing*. Semakin besar nilai *energy berthing* maka semakin besar juga nilai tegangan yang terjadi. Tegangan maksimal pada *energy berthing* 766,659 kNm untuk model A, B, C, D dari hasil analisis software secara berurutan yaitu 180 MPa, 154 MPa, 168 MPa, 180 MPa.
3. Fender yang optimal ditinjau dari efisiensi fender dalam meredam benturan dan kesesuaian dengan teori kegagalan. Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan diperoleh desain atau model yang optimal yaitu model B dengan efisiensi sebesar 3,1 % dan besarnya tegangan pada kecepatan 0,469 m/s yaitu 103 MPa dengan nilai *safety factor* 3,46.

4.2 Saran

1. Dilakukan analisis pada kasus lain selain *midship berthing*
2. Dilakukan perencanaan dengan menggunakan *rubber* fender dan dilakukan pada setiap kasus titik benturan.
3. Dilakukan perbandingan model B dengan *rubber* fender ditinjau dari efisiensi, penambahan berat, dan biaya.

5. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Budianto, dkk., 2018, *Additional Reinforcement in Fixed Fender Structure to Increase Hull Strength*. Surabaya: Jurusan Teknik Bangunan Kapal– Fakultas Teknik Perancangan dan Konstruksi Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya.
- [2] Coastal Development Institute of Technology Guidelines for Design and Testing of Rubber Fender Systems; 2019
- [3] Firmansyah, Ainun, dkk., (2021). *Analisis Perbandingan Tegangan Antara Fender Kapal Bentuk Setengah Pipa Dengan Fender Kapal Bentuk Plat H*. Surabaya: Jurusan Teknik Bangunan Kapal – Fakultas Teknik Perancangan dan Konstruksi Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya.

- [4] International Navigation Association Guidelines for The Design of Fender Systems: 2002
- [5] Pangkey, Deddy Yoshua, dkk., (2022). *Analisis Perencanaan Fender Pada Pelabuhan Patimban*. Jakarta : Jurusan Teknik Sipil– Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Trisakti.
- [6] Permana, Bagus Setiawan, dkk., (2022). *Analisa Struktur Half Pipe Fender Dengan Variasi Desain Pada Lambung Kapal*. Surabaya: Jurusan Teknik Perkapalan – Fakultas Teknik dan Ilmu Kelautan, Universitas Hang Tuah Surabaya.
- [7] Syahputra, Teuku Abdul Manan, dkk., (2015). *Desain Fender Pada Condensate and Sulphuric Acid Berth PT. Pertamina-Medco E&P (Job PMTS) Di Senoro Block Project*. Surabaya: Jurusan Teknik Kelautan– Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh November.
- [8] Shibata Fender Team Design Manual