

ANALISIS TEGANGAN EKUIVALEN *FENDER* BENTUK SETENGAH PIPA DAN BENTUK PELAT H PADA KAPAL MENGGUNAKAN METODE ELEMEN HINGGA

Analysis of Equivalent Stress on Half-Pipe and H-Plate Shaped Fenders on Ships using Finite Element Method

Ainun Firmansyah¹, Priyambodo Nur Ardi Nugroho^{1*}, Dyah Arum Wulandari²

¹ Program Studi Teknik Perancangan dan Konstruksi Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Jl. Teknik Kimia, Keputih, Sukolilo, Surabaya, Indonesia.

² Program Studi D4 Teknologi Rekayasa Manufaktur, Universitas Negeri Jakarta, Jl. Rawamangun Muka, Rawamangun, Jakarta, Indonesia.

* Email Korespondensi : priyambodo@ppns.ac.id

Artikel Info - : Diterima : 15-11-2022; Direvisi : 18-05-2023; Disetujui : 22-05-2023

ABSTRAK

Fender adalah struktur yang dipasang di tepi kapal untuk melindungi lambung kapal dari benturan dengan dermaga. Tujuan utama *fender* adalah meredam energi tumbukan yang timbul saat kapal bersandar di dermaga. Beban yang dikenakan pada *fender* setiap kali kapal bersandar dapat menyebabkan distribusi tegangan di sekitar lambung, yang dapat menyebabkan kerusakan, retak, deformasi, dan masalah lainnya. Selain itu, variasi bentuk *fender* juga dapat mempengaruhi distribusi tegangan di sekitar lambung. Oleh karena itu, dilakukan analisis tegangan lokal menggunakan perangkat lunak berbasis elemen hingga. Analisis dilakukan pada beban statis yang berasal dari kapal saat berlabuh di dermaga. Namun, karena yang dianalisis hanya bagian *fender*, asumsi pada bagian tengah kapal setengahnya saja yang diperlukan. Analisis ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik tegangan dan nilai tegangan maksimal pada *fender*. Hasil analisis menunjukkan bahwa nilai tegangan tertinggi terjadi pada *fender* setengah pipa sebesar 0,22809 MPa. Berdasarkan hasil tersebut, dapat disimpulkan bahwa nilai tegangan pada *fender* memenuhi standar yang diizinkan. Kesimpulannya, analisis ini memberikan pemahaman tentang tegangan dan nilai tegangan maksimal pada *fender* kapal. Pengetahuan ini penting untuk memastikan bahwa *fender* dapat melaksanakan fungsinya dengan baik dalam melindungi kapal dari benturan dengan dermaga.

Kata Kunci: *Fender*, Analisis Tegangan, Kapal, Dermaga, Metode Elemen Hingga

ABSTRACT

Fenders are structures installed on the edges of ships to protect the ship's hull from impact with the dock. The main function of *fenders* is to absorb the collision energy generated by the ship's impact during berthing at a dock. The load applied to *fenders* on each ship results in stress distribution in the surrounding hull area, which can lead to various issues such as damage, cracks, deformations, and others. Additionally, the presence of *fenders* with different shapes can affect the stress distribution values in the surrounding hull area. Hence, a local stress analysis using finite element method software is necessary. The analysis focuses on static loads originating from the ship itself when docked at a port. However, only the *fender* section is analyzed, and it is not necessary to consider the entire ship's body. The objective of the analysis is to determine the stress characteristics and maximum stress values in the *fender* itself. The analysis results reveal that the highest stress value occurs in the half-pipe-shaped *fender* with a value of 0.22809 MPa. Based on these findings, it can be concluded that the stress values in the *fender* meet the allowable standards. In conclusion, this analysis provides an understanding of stress and the maximum stress value in ship

fenders. This knowledge is crucial to ensure that fenders effectively fulfill their function of protecting the ship from impacts with docks.

Keywords: Fenders, Stress Analysis, Ship, Dock, Finite Element Method

1. Pendahuluan

Fender merupakan komponen penting pada kapal yang dipasang di tepi lambung untuk melindungi lambung kapal dari benturan dengan dermaga [1]. *Fender* berfungsi untuk meredam energi tumbukan yang timbul saat kapal bersandar, sehingga mencegah kerusakan pada lambung kapal dan struktur dermaga [2]. Dalam industri perkapalan, perhatian terhadap kinerja *fender* sangat penting guna menjaga keamanan operasional dan mencegah kerugian yang disebabkan oleh kerusakan pada kapal dan dermaga [3]. Oleh karena itu, analisis tegangan dan karakteristik *fender* menjadi aspek yang krusial dalam perancangan dan pemilihan *fender* yang efektif [4]. Contoh bentuk variasi *fender* yang berbeda dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Bentuk Fender pada Kapal

Penelitian sebelumnya telah dilakukan untuk menganalisis tegangan pada *fender* menggunakan berbagai metode [5]. Beberapa penelitian terdahulu fokus pada analisis tegangan pada *fender* dengan menggunakan pendekatan analitik dan simulasi numerik [6] [7]. Namun, terdapat sedikit penelitian yang telah dilakukan untuk menganalisis tegangan pada *fender* dengan bentuk variasi, seperti *fender* berbentuk setengah pipa dan *fender* berbentuk pelat H. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk melengkapi pengetahuan yang ada dengan melakukan analisis tegangan pada *fender* berbentuk setengah pipa dan *fender* berbentuk pelat H pada kapal menggunakan metode elemen hingga.

Metode Elemen Hingga memerlukan beberapa kajian mencakup analisis tegangan dan energi sandar. Analisis tegangan merupakan aspek krusial dalam pemahaman kinerja *fender* pada saat kapal bersandar. Pada penelitian ini, dilakukan analisis tegangan pada *fender* berbentuk setengah pipa dan *fender* berbentuk pelat H menggunakan metode elemen hingga. Metode ini memungkinkan kita untuk memodelkan secara akurat distribusi tegangan pada *fender* berdasarkan pembebanan yang diterima [8] [9] [10].

Analisis tegangan melibatkan pemodelan geometri *fender*, pemuatan beban statis yang berasal dari kapal saat berlabuh, dan sifat material *fender*. Hasil analisis ini akan memberikan pemahaman yang mendalam tentang karakteristik tegangan, seperti nilai tegangan maksimal yang terjadi pada *fender*, distribusi tegangan di sekitar lambung kapal, dan daerah yang rentan mengalami kerusakan. Informasi ini penting dalam perancangan *fender* yang dapat menangani beban dengan efektif dan mencegah kerusakan pada kapal dan dermaga.

Dengan melakukan analisis tegangan yang komprehensif, penelitian ini bertujuan untuk memberikan wawasan yang lebih lengkap tentang kinerja *fender* berbentuk setengah pipa dan *fender* berbentuk pelat H. Informasi ini akan membantu dalam meningkatkan pemahaman kita tentang mekanisme penyerapan energi tumbukan oleh *fender* dan efektivitasnya dalam melindungi lambung kapal saat bersandar.

Selain analisis tegangan, perhitungan energi sandar juga menjadi aspek penting dalam pemahaman kinerja *fender* pada saat kapal bersandar. Energi sandar adalah energi kinetik yang dihasilkan oleh kapal saat bersandar di dermaga dan harus diserap oleh *fender* [11]. Perhitungan energi sandar melibatkan faktor-faktor seperti massa kapal, kecepatan saat bersandar, dan koefisien restitusi *fender* [12].

Perhitungan dari energi sandar kapal (*berthing energy*) ini hampir mirip dengan perhitungan energi kinetik namun ditambah dengan beberapa koefisien-koefisien. Dalam perhitungan energi sandar kapal dapat digunakan rumus berikut [13].

$$EN = CM \times CE \times CC \times CS \quad (1)$$

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

dimana:

EN = energi sandar kapal normal yang diserap kapal (kNm)

M = massa kapal (*displacement tonnage*)*

VB = komponen kecepatan kapal saat merapat dalam arah tegak lurus (m/s)

CM = koefisien *added mass*

CE = koefisien eksentrisitas (bentuk *fender*)

CC = koefisien konfigurasi *berthing*

CS = koefisien *softness*

Sisi kulit memanjang dengan jarak 0,5 di bawah sarat kapal minimum sampai dengan 2 m sarat kapal maksimal dan garis air melebihi 0,9 dari lebar kapal akan diperiksa kekuatan yang cukup untuk melawan dampak berlabuh [14]. Kekuatan Pf digabungkan dengan *fender* ke dalam sisi kulit memanjang mungkin ditentukan dengan rumus berikut:

$$Pf = 0,08 D \text{ (kN)} \quad 0 < D < 2.100 \text{ (t)} \quad (3)$$

$$Pf = 170 \text{ (kN)} \quad 2.100 < D \leq 17.000 \text{ (t)} \quad (4)$$

$$Pf = D/100 \text{ (kN)} \quad D < 17.000 \text{ (t)} \quad (5)$$

dimana:

D = *Displacement* kapal (t)

Dmax = 100.000 (t)

Untuk menahan beban Pf pada bagian modulus $W\ell$ dari sisi kulit memanjang tidak boleh melebihi:

$$W\ell = \frac{k.Mf}{235} \times 10^3 \text{ (cm}^3\text{)} \quad (6)$$

dimana:

k = faktor material

Mf = momen bending = $(\ell - 0,5)$ (kNm)

ℓ = panjang yang tidak mendukung (m)

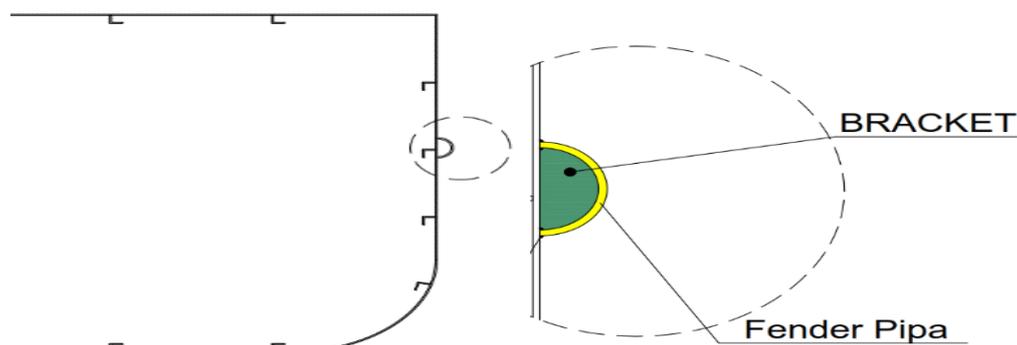
Dalam penelitian ini, selain melakukan analisis tegangan pada *fender*, akan dilakukan juga perhitungan energi sandar yang dihasilkan oleh kapal saat berlabuh. Perhitungan ini akan

mempertimbangkan karakteristik *fender* berbentuk setengah pipa dan *fender* berbentuk pelat H. Informasi energi sandar yang diperoleh akan membantu dalam mengevaluasi kinerja *fender* dalam meredam energi tumbukan yang dihasilkan oleh kapal saat bersandar di dermaga.

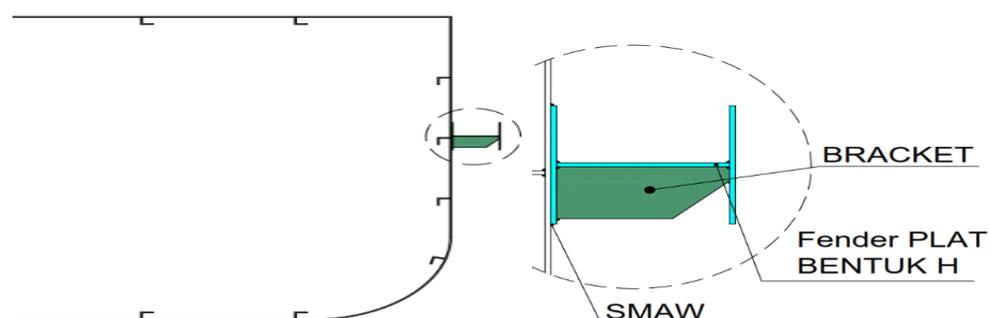
Dengan kombinasi analisis tegangan dan perhitungan energi sandar, penelitian ini bertujuan untuk menyediakan pemahaman yang komprehensif tentang kinerja *fender* berbentuk setengah pipa dan *fender* berbentuk pelat H pada kapal. Informasi ini akan berguna dalam pengembangan *fender* yang lebih efektif, aman, dan dapat memberikan perlindungan optimal pada kapal saat melakukan kegiatan sandar di dermaga.

Setiap jenis dan ukuran *fender* mempunyai karakteristik kinerja yang berbeda. Jenis *fender* apa pun yang digunakan, *fender* tersebut harus mempunyai kapasitas yang cukup untuk menyerap energi normal dan abnormal saat kapal berlabuh [13]. Metode desain panel *fender* mempunyai kekuatan tinggi untuk rasio berat dan menciptakan bentuk eksterior sederhana yang mudah untuk melapisi dan memeliharanya. Bagian dalam panel ini diuji tekan untuk memastikan sepenuhnya tertutup dari lingkungan dan masuknya air [15].

Penelitian yang relevan yang telah dilakukan [16] menjelaskan analisis dan desain sistem *fender* pada Dermaga PT. Pertamina-Medco E&P (JOB PMTS). Persamaan penelitian terdahulu dengan penelitian ini terletak pada penerapan pemodelan yang sama. Perbedaan dengan penelitian terdahulu adalah analisis modelnya yang terletak pada *fender* kapal, sedangkan penelitian ini menganalisis pada *fender* pelabuhannya. Desain *fender* setengah pipa dan desain *fender* bentuk pelat H pada penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 2 dan 3 berikut.



Gambar 2. Desain *Fender* Setengah Pipa



Gambar 3. Desain *Fender* Pelat H

Penelitian ini memiliki keunikan (*novelty*) dalam menggabungkan analisis tegangan pada *fender* dengan bentuk variasi, yaitu *fender* setengah pipa dan *fender* pelat H, serta menggunakan metode elemen hingga. Pada umumnya, penelitian sebelumnya lebih fokus pada analisis tegangan pada *fender* dengan bentuk standar seperti *fender* silinder atau *fender* persegi. Oleh karena itu, penelitian ini akan memberikan kontribusi baru dalam memahami karakteristik tegangan pada *fender* dengan bentuk

variasi, yang dapat memberikan wawasan yang lebih lengkap dalam perancangan dan pemilihan *fender* yang optimal.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menganalisis tegangan ekuivalen pada *fender* berbentuk setengah pipa dan *fender* berbentuk pelat H pada kapal menggunakan metode elemen hingga. Dalam penelitian ini, akan dilakukan analisis tegangan pada *fender* dengan mempertimbangkan beban statis yang berasal dari kapal itu sendiri saat berlabuh di dermaga. Hasil analisis ini diharapkan dapat memberikan pemahaman yang lebih mendalam tentang karakteristik tegangan dan nilai tegangan maksimal pada *fender* berbentuk setengah pipa dan *fender* berbentuk pelat H. Informasi ini akan berguna dalam perancangan *fender* yang efektif dan dapat memberikan perlindungan yang optimal pada kapal saat bersandar di dermaga.

2. Metodologi Penelitian

Metode penelitian ini melibatkan beberapa tahapan sesuai dengan penelitian-penelitian sebelumnya [17] [18]. Pertama, dilakukan identifikasi masalah untuk menjelaskan latar belakang permasalahan. Kemudian, dilakukan observasi langsung di lokasi yang relevan sesuai dengan latar belakang penelitian. Studi literatur juga dilakukan untuk memperoleh pemahaman yang lebih dalam tentang perbandingan antara *fender* kapal berbentuk setengah pipa dan *fender* berbentuk pelat H. Studi literatur ini digunakan sebagai dasar sebelum penelitian dilaksanakan. Selanjutnya, dilakukan pengumpulan dan pengolahan data, yang meliputi redesain pada *fender*. Dalam penelitian ini, uji konvergensi digunakan sebagai tahap pengecekan akhir untuk memastikan kesesuaian pada masing-masing *fender* [19]. Melalui uji konvergensi ini, validitas analisis yang telah dilakukan dapat dievaluasi [20].

Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah *fender* kapal dengan dua jenis, yaitu *fender* berbentuk setengah pipa dan *fender* berbentuk pelat H. Penerapan *fender* ini dilakukan pada satu kapal saja Adapun spesifikasi material dapat dilihat pada Tabel 1.

a. *Fender* berbentuk setengah pipa

Data yang digunakan untuk *fender* ini telah memenuhi klasifikasi dari BKI. Spesifikasi pelat pipa yang digunakan adalah sebagai berikut: ukuran 8" (200 mm) dan *schedule* 80 (ketebalan 12,7 mm dan berat 64,64 kg/m).

b. *Fender* berbentuk pelat H

Data yang digunakan untuk *fender* ini juga telah memenuhi klasifikasi dari BKI. Spesifikasi pelat sisa yang digunakan adalah pelat ukuran 300 × 300 × 10 mm.

Tabel 1. Spesifikasi Material [21] [22]

Standard	Grade	Modulus elastisitas	Poisson ratio	Yield Strength		Tensile Strength		Temperature	
				N/mm ²	psi	N/mm ²	psi	°C	°F
ASTM	A 36	200 GPa	0.26	250	36.000	400	58.000	0	32
	A 572	200 GPa	0.30	345	50.000	450	65.000	0	32

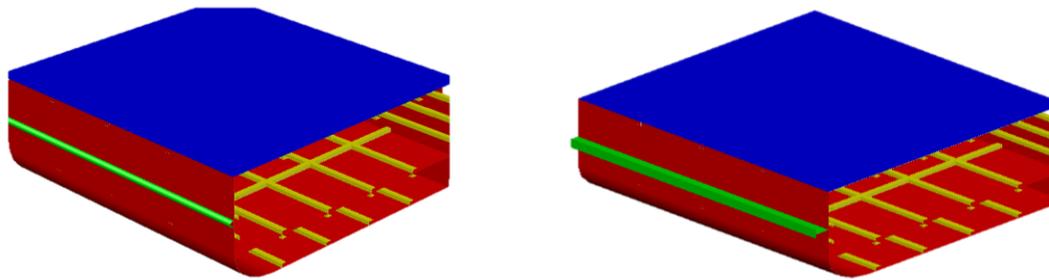
Selanjutnya, dilakukan pembuatan model setengah *midship* dengan panjang 60 meter menggunakan *software* berbasis tiga dimensi. Pemodelan ini dilakukan dengan bantuan *software* AutoCAD sesuai dengan Gambar 4. Perhitungan untuk mencari nilai gaya yang akan dimasukkan dalam perhitungan dalam metode elemen hingga menggunakan *software* ANSYS adalah sebagai berikut.

$$F = \text{abnormal berthing energy/panjang desain kapal} \quad (7)$$

$$F = 41,54 \text{ kNm}/60$$

$$F = 0,692 \text{ kN}$$

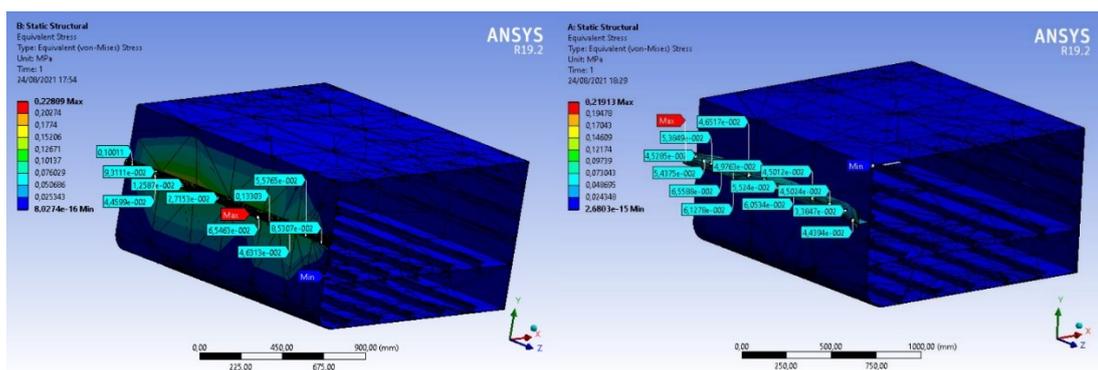
$$F = 692 \text{ N}$$



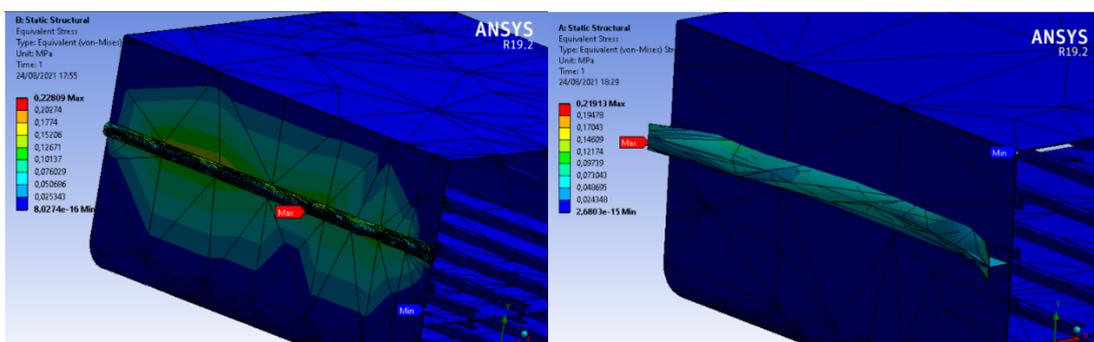
Gambar 4. Pemodelan 3D Pada *Autocad Fender Setengah Pipa* (Kiri) Dan *Fender Pelat H* (Kanan)

3. Hasil Penelitian dan Pembahasan

Setelah dilakukan pembuatan model 3D, selanjutnya dilakukan analisis tegangan menggunakan metode elemen hingga atau *finite elemen method* (FEM). Jenis analisis yang dipakai yaitu *static structural*. Hasil analisis *static structural* dengan menggunakan pembebanan $F = 692 \text{ N}$ (beban merata sepanjang *fender*) didapatkan hasil *equivalent stress* dan distribusi tegangan seperti terlihat pada Gambar 5 dan 6 berikut ini.



Gambar 5. *Equivalent Stress* Pada *Fender* Bentuk *Setengah Pipa* (Kiri) Dan *Fender Pelat H* (Kanan)



Gambar 6. Distribusi Tegangan Pada *Fender* Bentuk *Setengah Pipa* (Kiri) Dan *Fender Pelat H* (Kanan)

Setelah dilakukan proses hasil analisis dari Gambar 5 dan 6 di atas maka diperoleh hasil sebagai berikut.

Tabel 2. Hasil Analisis

No	Jenis Fender	σ_{Max} (MPa)	Tegangan Izin (MPa)
1	Setengah Pipa	0,22809	400
2	Pelat H	0,21913	400

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut. *Fender* yang memiliki tegangan maksimum yang paling besar adalah *Fender* Bentuk Setengah Pipa dengan nilai 0,22809 MPa, sedangkan pada *fender* bentuk pelat H tegangan maksimum yang terjadi adalah sebesar 0,21913 MPa. Namun, perlu dicatat bahwa kedua *fender* ini masih memenuhi standar keamanan yang diizinkan.

Dengan demikian, berdasarkan hasil analisis di atas, dapat disimpulkan bahwa kedua jenis *fender* memiliki tingkat keamanan yang sesuai dengan standar yang ditetapkan. Hal ini menunjukkan bahwa *fender-fender* tersebut mampu menangani beban tumbukan yang dihasilkan saat kapal bersandar di dermaga dengan efektif dan mencegah kerusakan pada lambung kapal. Namun, perlu diperhatikan bahwa hasil ini hanya berdasarkan pada analisis tegangan dan belum mempertimbangkan faktor-faktor lain yang mungkin memengaruhi kinerja *fender* seperti faktor lingkungan dan sifat material. Oleh karena itu, rekomendasi lebih lanjut dapat dilakukan dengan mempertimbangkan faktor-faktor tersebut untuk mendapatkan pemahaman yang lebih komprehensif tentang kinerja *fender* dalam kondisi yang beragam.

Kesimpulan ini dapat menjadi acuan dalam perancangan dan pemilihan *fender* yang efektif dalam industri perkapalan guna menjaga keamanan operasional dan mencegah kerugian yang disebabkan oleh kerusakan pada kapal dan dermaga.

5. Daftar Pustaka

- [1] A. Putra, H. Yudo, and I. P. Mulyatno, "Peranan Fender dalam Studi Kasus Tubrukan Landing Ship Tank dengan Haluan Tugboat 2x800 HP menggunakan Metode Elemen Hingga," *Jurnal Teknik Perkapalan*, vol. 5, no. 1, pp. 263-271, 2017.
- [2] Fauzan, "Perencanaan Fender Dermaga (Jetty) Kapal dengan Bobot 10000 DWT," *Ensiklopedia of Journal*, vol. 1, no.1, pp. 153-157, 2018.
- [3] A. I. Bachtiar, Marimin, L. Adrianto, and R. O. Bura, "Strategi Peningkatan Daya Saing Industri Perkapalan," *Jurnal Aplikasi Manajemen dan Bisnis*, vol. 7 no. 1, pp. 121-134, 2021, doi: 10.17358/jabm.7.1.121.
- [4] I. I. Rezaldy "Analisis Tegangan pada Fender Kapal Tipe Setengah Pipa dengan Fender Tipe M menggunakan Metode Elemen Hingga," *Tugas Akhir Universitas Pembangunan Nasional Veteran Jakarta Fakultas Teknik Program Studi Teknik Perkapalan*, 2022.
- [5] Z. Ukhrawi, "Analisis Kekuatan Impak Fender pada Kapal Laut dengan Variasi Penampang menggunakan Metode Elemen Hingga Berbasis Software Abaqus," *Tugas Akhir Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin Gowa*, 2021.
- [6] M. D. Bestari, D. Setyawan, and M. N. Misbach, "Analisa SCF (Stress Concentration Factor) menggunakan Pendekatan Numerik pada Pelat dengan Fillet Asimetris akibat Beban Tarik," *Jurnal Teknik ITS*, vol. 10, no. 1, pp. G1-G7, 2020, doi: 10.12962/j23373539.v10i1.59243.
- [7] R. K. N. Suprpto, and L. A. N. Wibawa, "Desain dan Analisis Tegangan Rangka Alat Simulasi Pergerakan Kendali Terbang menggunakan Metode Elemen Hingga," *Jurnal Teknik Mesin ITI*, vol. 5, no. 1, pp.19-28, 2021, doi: 10.31543/jtm.v5i1.559.
- [8] S. O. Dapas, "Aplikasi Metode Elemen Hingga pada Analisis Struktur Rangka Batang," *Jurnal Ilmiah Media Engineering*, vol. 1, no. 2, pp. 156-160, 2011.
- [9] H. Suryanto, "Aplikasi Metode Elemen Hingga untuk Analisa Struktur Statik Linier dengan Program MSC/Nastran," *Working Paper Universitas Negeri Malang*, 1999.
- [10] R. Ramadani, H. Prastowo, and S. P. Fitri, "Analisa Tegangan pada Vertical Subsea Gas Pipeline akibat Pengaruh Arus dan Gelombang Laut dengan Metode Elemen Hingga," *Jurnal Teknik ITS*,

- vol. 4, no. 2, pp. G-15-G-19, 2015, doi: 10.12962/j23373539.v4i2.11755.
- [11] M. A. Naiborhu, "Evaluasi Kapasitas Eksisting Pelabuhan Bongkar Batubara terhadap Peningkatan Ukuran Tonase Kapal," *Jurnal Teknik Transportasi Trisakti*, vol. 1, no. 1, pp. 58-69, 2020, doi: 10.54324/jtt.v1i1.430.
- [12] R. Gunawan, A. S. Aisjah, and A. A. Masroeri, "Perancangan Sistem Kontrol Sandar Kapal Otomatis Berbasis Logika Fuzzy di Pelabuhan Tanjung Perak Surabaya," *Jurnal Teknik ITS*, vol. 2, no. 2, pp. E55-E62, 2013.
- [13] A. T. Metzger, J. Hutchinson, and J. Kwiatkowski, "Measurement of Marine Vessel Berthing Parameters," *Marine Structures*, vol. 39, pp. 350-372, 2014, doi: 10.1016/j.marstruc.2014.10.001.
- [14] Biro Klasifikasi Indonesia, dalam *Biro Klasifikasi Indonesia*, Indonesia, pp. 13. 2017.
- [15] Trelleborg, "Fender Design," Swedia: *Trelleborg Marine System*, 2007.
- [16] T. A. M. Syahputra, "Desain Fender pada Condensate and Sulphuric Acid Berth PT.Pertamina-Medco E&P (Job PMTS) di Senoro Block Project," *Tugas Akhir Jurusan Teknik Kelautan Fakultas Teknologi Kelautan Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya*, 2015.
- [17] U. Shigeru, H. Toshihiko, and S. Satoru, "Statistical Design of Fender for Berthing Ship," *The Twelfth International Offshore and Polar Engineering Conference*, 2002.
- [18] H. L. Fontijn, "On the Prediction of Fender Forces at Berthing Structures Part II: Ship Berthing Related to Fender Structure," In: Bratteland, E. (eds) *Advances in Berthing and Mooring of Ships and Offshore Structures. NATO ASI Series*, Springer, Dordrecht, pp. 95-166, 1988.
- [19] K. Yu, P. Yan, and J. Hu, "Numerical Analysis of Blade Stress of Marine Propellers," *J. Marine. Sci. Appl*, vol. 19, pp. 436-443, 2020, doi: 10.1007/s11804-020-00161-3.
- [20] G. Neşer, and D. Ünsalan, "Dynamics of Ships and Fenders during Berthing in A Time Domain," *Ocean Engineering*, vol. 33, pp. 1919-1934, 2006, doi: 10.1016/j.oceaneng.2005.10.020.
- [21] ASTM A36/A36M-19, "Standard Specification for Carbon Structural Steel," *ASTM International*, West Conshohocken, PA, 2019.
- [22] ASTM A572/A572M-18, "Standard Specification for High-Strength Low-Alloy Columbium-Vanadium Structural Steel," *ASTM International*, West Conshohocken, PA, 2018.