

Artikel Penelitian

Analisis Kekuatan Dudukan Kamar Mesin Kapal dengan Metode Elemen Hingga

Indri Ika Widyastuti ^{1*}, Mohammad Haris Pebri Kurniawan ², Alief Nur Aisyi Maulidhia ³,
Urip Mudjiono ³

¹ Jurusan Teknik Bangunan Kapal, Program Studi Teknik Bangunan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Jl. Teknik Kimia, Kampus ITS Sukolilo, Surabaya 60111, Indonesia

² Jurusan Teknik Bangunan Kapal, Program Studi Teknik Perancangan dan Konstruksi Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Jl. Teknik Kimia, Kampus ITS Sukolilo, Surabaya 60111, Indonesia

³ Jurusan Teknik Kelistrikan Kapal, Program Studi Teknik Kelistrikan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Jl. Teknik Kimia, Kampus ITS Sukolilo, Surabaya 60111, Indonesia

INFORMASI ARTIKEL

Diterima Redaksi: 08 Oktober 2025
Revisi Akhir: 24 Oktober 2025
Diterbitkan Online: 31 Oktober 2025

KATA KUNCI

Deformasi
Dudukan Mesin
Metode Elemen Hingga
Tegangan

KORESPONDENSI (*)

Phone: +62 822-3101-559
E-mail: indriwidyastuti@ppns.ac.id

A B S T R A K

Selama pengoperasian kapal, struktur mengalami kombinasi beban statis dan dinamis, termasuk getaran signifikan yang berasal dari mesin induk dan sistem propulsi. Jika dibiarkan, getaran ini dapat menyebabkan kelelahan material, retak struktural, ketidaksejajaran sistem transmisi, dan percepatan kegagalan komponen pendukung. Salah satu komponen yang paling terdampak adalah dudukan ruang mesin, yang membutuhkan kekuatan yang memadai untuk meredam getaran dan menahan beban berulang. Penelitian ini bertujuan menganalisis kekuatan struktur dudukan kamar mesin kapal terhadap pembebanan statis menggunakan metode elemen hingga (Finite Element Method/FEM). Metode penelitian meliputi pembuatan model dudukan 3D menggunakan perangkat lunak CAD, penentuan karakteristik material baja struktural, penerapan kondisi batas dan beban statis sesuai kondisi dunia nyata, serta analisis numerik menggunakan perangkat lunak FEM. Proses konvergensi mesh dilakukan untuk mendapatkan hasil simulasi yang stabil dan akurat, dengan ukuran elemen optimal 4 mm. Hasil simulasi menunjukkan tegangan maksimum sebesar 31.301 MPa, jauh di bawah batas yield strength baja struktural yaitu ± 250 MPa, sehingga menghasilkan faktor keamanan sekitar 7.99. Deformasi maksimum yang tercatat adalah 8.642 mm dan masih dalam batas elastis, sehingga tidak menimbulkan risiko ketidaksejajaran. Distribusi tegangan selaras dengan kondisi pembebanan aktual, dengan konsentrasi tegangan tertinggi di area tumpuan. Secara keseluruhan, struktur dudukan mesin yang dianalisis terbukti aman di bawah pembebanan statis dan memenuhi kriteria kekuatan untuk keperluan operasional.

PENDAHULUAN

Dudukan kamar mesin merupakan salah satu bagian penting dari struktur kapal yang berfungsi sebagai penopang utama mesin serta penghubung dengan badan kapal. Dudukan kamar mesin harus mampu menahan beban berat mesin yang bekerja terus-menerus selama kapal beroperasi. Beban tersebut bersifat statis karena berasal dari berat mesin, peralatan tambahan, serta gaya jepit baut pengikat yang menekan dudukan pada posisinya. Apabila kekuatan dudukan tidak memadai dapat terjadi deformasi pada struktur, ketidaksejajaran poros (*misalignment*), hingga kerusakan pada sistem transmisi daya. Kondisi tersebut tentu akan memengaruhi keandalan dan keselamatan operasi kapal [1].

Penelitian terdahulu menunjukkan pentingnya memahami respon struktur terhadap beban yang bekerja. Distribusi tegangan pada struktur mesin sangat bergantung pada bentuk tumpuan serta jenis beban yang diterapkan [1]. Analisis numerik merupakan metode yang efektif untuk mengevaluasi kekuatan struktur komponen kapal karena mampu

menggambarkan kondisi kerja yang kompleks [2]. Andratama [3] menganalisis konstruksi dudukan mesin kapal dengan metode elemen hingga dan menekankan pentingnya evaluasi tegangan serta deformasi dalam perancangan struktur.

Dudukan kamar mesin harus mampu menahan beban statis yang berasal dari berat mesin yang ditopang tanpa melewati batas elastis material. Jika struktur tidak cukup kaku, maka getaran kecil sekalipun dapat memperburuk kondisi dan mempercepat kerusakan. Oleh karena itu, analisis kekuatan struktur dudukan mesin perlu dilakukan supaya desain yang dihasilkan tidak hanya memenuhi syarat teknis, tetapi juga menjamin umur pakai yang lebih panjang [4].

Penelitian bertujuan untuk menganalisis kekuatan dudukan kamar mesin kapal dengan menggunakan metode elemen hingga. Melalui pendekatan ini, distribusi tegangan dan deformasi akibat pembebanan statis dapat dipetakan secara rinci, sehingga faktor keamanan struktur dapat diketahui. Hasil analisis diharapkan dapat menjadi bahan pertimbangan dalam perbaikan desain maupun evaluasi kekuatan komponen serupa di masa mendatang [5][6].

TINJAUAN PUSTAKA

Dudukan Mesin Kapal

Dudukan mesin kapal merupakan salah satu bagian struktur yang memiliki peranan penting karena menjadi penopang utama mesin sekaligus menjaga keselarasan sistem transmisi daya. Kekuatan dan kekakuan dudukan harus dirancang dengan baik agar mampu menahan beban statis yang berasal dari berat mesin dan peralatan pendukungnya. Jika beban tersebut tidak terdistribusi dengan benar, dapat timbul deformasi berlebihan yang berisiko menimbulkan ketidaksejajaran poros. Beberapa penelitian terkini menegaskan bahwa pondasi atau dudukan mesin berpengaruh langsung terhadap umur pakai komponen permesinan serta keselamatan operasi kapal [3].

Beban Statis pada Struktur

Beban statis yang bekerja pada dudukan kamar mesin umumnya berupa berat mesin utama, tambahan sistem peralatan, serta gaya jepit dari baut pengikat. Beban ini bersifat konstan sepanjang kapal beroperasi dan dalam jangka panjang dapat menyebabkan akumulasi tegangan pada struktur. Penelitian terbaru menunjukkan bahwa variasi beban statis pada dudukan mesin, seperti yang terjadi pada kapal jenis SPOB, berdampak signifikan terhadap distribusi tegangan dan nilai faktor keamanan [4]. Oleh sebab itu, analisis terhadap beban statis menjadi langkah penting dalam menilai kekuatan struktur dudukan mesin.

Metode Elemen Hingga (Finite Element Method/FEM)

Metode elemen hingga atau Finite Element Method (FEM) menjadi salah satu pendekatan numerik yang paling banyak digunakan. Dengan FEM, distribusi tegangan maupun deformasi akibat beban dapat dipetakan secara detail sehingga konsentrasi tegangan pada struktur dapat diidentifikasi secara akurat. Sejumlah studi bahkan menunjukkan bahwa FEM mampu memberikan gambaran realistis mengenai kondisi kerja struktur kapal yang kompleks [3]. Di Indonesia sendiri, metode ini semakin sering dimanfaatkan dalam perancangan dan evaluasi struktur pendukung mesin karena dianggap memiliki tingkat akurasi tinggi dalam simulasi pembebanan [4].

Tegangan von Mises stress

Beban statis yang bekerja di ujung atau sepanjang bentang kantilever akan menimbulkan dua jenis tegangan utama, yaitu tegangan lentur (σ_x) akibat momen lentur dan tegangan geser (τ_{xy}) akibat gaya geser [7]. Kedua tegangan tersebut digabungkan untuk memperoleh tegangan ekuivalen von Mises (σ_v) yang digunakan sebagai acuan keamanan struktur. Besar nilai Tegangan Von Mises dihitung dengan persamaan:

$$\sigma_v = \sigma_x^2 + 3\tau_{xy}^2$$

Jika nilai σ_v lebih kecil dari tegangan luluh material (σ_y), maka struktur dianggap aman dan masih berada dalam batas elastis [8]. Pada struktur dudukan kamar mesin kapal, parameter ini sangat penting untuk mengidentifikasi daerah konsentrasi tegangan pada sambungan antara pelat dudukan dan balok utama, karena bagian tersebut menerima momen lentur terbesar dari beban statis mesin.

Deformasi

Deformasi total menggambarkan besarnya perpindahan elemen struktur dari posisi awal akibat pembebanan [9]. Deformasi mencakup perpindahan dalam arah translasi maupun rotasi, yang menunjukkan kekakuan relatif suatu struktur terhadap gaya yang bekerja. Nilai deformasi yang terlalu besar dapat menyebabkan ketidaksejajaran komponen mesin dan gangguan pada sistem transmisi daya. deformasi (δ) dapat diketahui:

$$\delta = \frac{P \times L}{A \times E}$$

Dimana :

E = Modulus elastisitas (N/mm²)

P = Gaya yang bekerja (N)

A = Luas penampang (mm²)

L = panjang awal (mm)

METODOLOGI

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah menggunakan metode numerik. Metode tersebut adalah metode elemen hingga. Tahapan penelitian meliputi pengumpulan data, pemodelan, analisis dan simulasi.

Pengumpulan Data

Data utama yang digunakan dalam penelitian meliputi dimensi dudukan kamar mesin, spesifikasi material baja yang umum digunakan pada konstruksi kapal, serta berat mesin utama sebagai beban statis. Beban ini dianggap bekerja secara vertikal ke bawah, sesuai dengan arah gaya gravitasi.

Pemodelan Geometri

Langkah selanjutnya adalah pemodelan. Pemodelan dilakukan dengan menggunakan software 3D CAD. Dudukan Kamar Mesin dimodelkan dan diekspor menggunakan format iges.

Meshing

Selanjutnya Geometri di-*import* ke *software* metode elemen hingga dan dilakukan *meshing*. Proses mesh disesuaikan dengan kriteria konvergensi, yaitu memperhalus ukuran elemen hingga hasil tegangan tidak banyak berubah dengan jumlah elemen tambahan

Penerapan Kondisi Batas dan Pembebanan

Penentuan kondisi batas dilakukan. Pada software metode elemen hingga, tumpuan jepit diaplikasikan pada sisi dudukan kamar mesin yang terhubung dengan struktur kapal, dan sisi lainnya dibiarkan bebas. Besarnya gaya dihitung dari berat mesin yang diasumsikan sebesar 50 kN. Nilai ini merepresentasikan berat mesin berukuran menengah yang umum digunakan pada kapal niaga.

Analisis Tegangan dan Deformasi

Simulasi dilakukan menggunakan perangkat lunak Autodesk Fusion 360. Parameter yang dianalisis adalah distribusi tegangan von Mises dan deformasi total pada struktur dudukan. Hasil simulasi kemudian dibandingkan dengan batas kekuatan material untuk menentukan faktor keamanan.

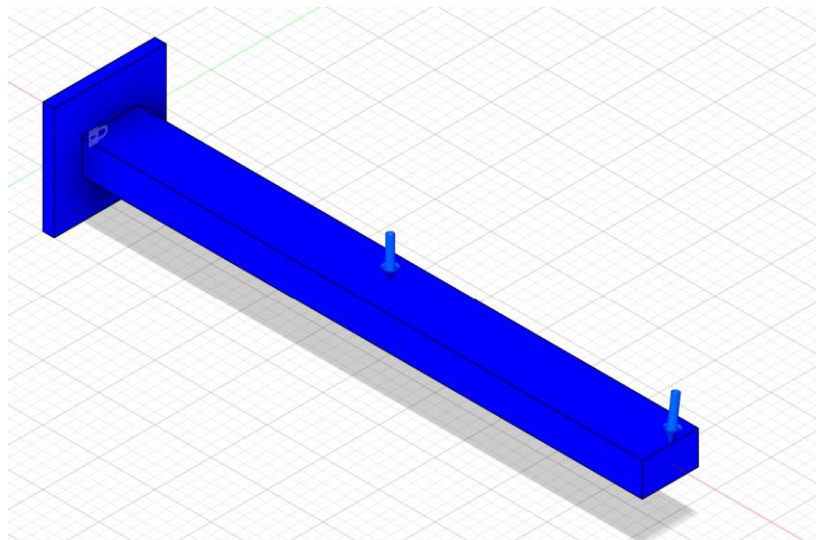
Interpretasi Hasil

Hasil simulasi dianalisis untuk menentukan apakah dudukan kamar mesin mampu menahan beban statis yang diberikan. Jika tegangan maksimum lebih kecil dari tegangan ijin material dan deformasi total masih dalam batas aman, maka struktur dapat digunakan. Sebaliknya, jika ditemukan nilai tegangan melebihi batas, maka perlu ada modifikasi terhadap struktur tersebut.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Desain Permodelan, Konvergensi Mesh, dan Pembebanan

Model numerik dudukan kamar mesin kapal dibuat menggunakan perangkat lunak berbasis metode elemen hingga. Geometri model direpresentasikan sebagai balok persegi panjang yang terhubung pada satu sisi dengan pelat dudukan sebagai tumpuan tetap (Gambar 1). Representasi ini menggambarkan kondisi sebenarnya di kapal yaitu dudukan mesin dipasang pada struktur lambung kapal untuk menopang mesin utama serta menjaga keselarasan sistem transmisi daya. Proses meshing dilakukan dengan membagi model menjadi elemen-elemen kecil agar distribusi tegangan dan deformasi dapat dihitung secara lebih detail. Pengujian konvergensi dilakukan untuk menentukan ukuran elemen optimal yang menghasilkan hasil analisis stabil dengan waktu komputasi yang efisien. Berdasarkan variasi ukuran elemen antara 12 mm hingga 1 mm (Tabel 1), diperoleh hasil bahwa perubahan nilai tegangan dan deformasi menjadi sangat kecil ($<0.2\%$) ketika ukuran elemen mencapai 3 mm. Pada ukuran tersebut, nilai tegangan maksimum yang diperoleh sebesar 31.301 MPa, sedangkan deformasi maksimum tercatat 8.642 mm. Dengan demikian, ukuran elemen 3 mm dipilih sebagai kondisi *mesh* optimal karena memberikan keseimbangan antara ketelitian hasil dan efisiensi komputasi. Kemudian, diterapkan kondisi batas dan pembebanan. Sisi pelat dudukan yang menempel pada badan kapal diberi kondisi *fixed support*, sehingga tidak mengalami perpindahan atau rotasi. Beban statis diberikan sepanjang dudukan kamar mesin pada arah vertikal ke bawah. Besar beban yang digunakan merepresentasikan berat mesin berukuran menengah yaitu 50 kN.



Gambar 1. Desain model

Tabel 1. Hasil Uji Konvergensi Mesh

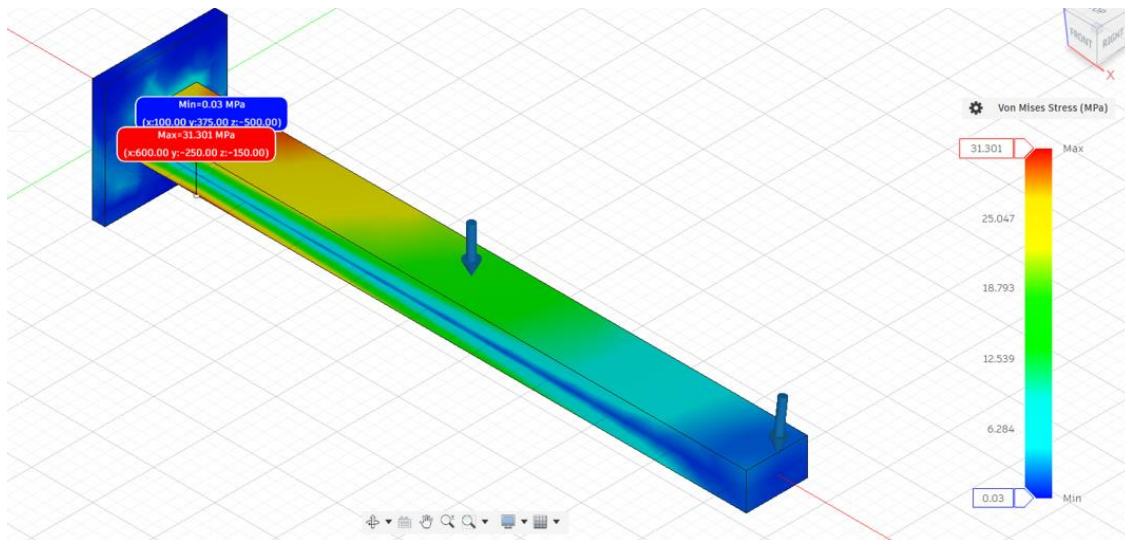
No	Ukuran Elemen (mm)	Jumlah Elemen	Selisih (%) vs ukuran sebelumnya	Tegangan Maksimum (MPa)	Deformasi Maksimum (mm)
1	12	6.800	—	30.96	9.016
2	9	9.500	0.71%	31.182	8.846
3	6	15.800	0.51%	31.343	8.710
4	3	27.800	0.13%	31.301	8.642
5	1	52.000	0.03%	31.311	8.642

Analisis Tegangan Von Mises

Berdasarkan Hasil simulasi Simulasi tegangan statis (*static stress*) pada dudukan kamar mesin kapal dengan menggunakan metode Von Mises menunjukkan nilai tegangan maksimum sebesar 31.301 MPa, dan tegangan minimum sebesar 0.03 MPa (Gambar 2). Skala warna pada hasil simulasi menunjukkan bahwa warna merah menandai daerah dengan tegangan tertinggi, biru untuk tegangan terendah, dan gradasi hijau hingga kuning menunjukkan tegangan sedang.

Hasil ini menunjukkan bahwa tegangan maksimum terjadi pada bagian poros yang ditahan atau terjepit, yang merupakan titik kritis dan perlu diperhatikan dalam evaluasi desain. Sementara itu, tegangan minimum berada pada area bebas gaya, yang relatif aman dan tidak signifikan terhadap potensi kerusakan. Jika diasumsikan material poros adalah baja struktural (mild steel) dengan kekuatan luluh (yield strength) sekitar 250 MPa, maka tegangan maksimum 31.301 MPa masih jauh di bawah batas tersebut, menandakan bahwa poros aman terhadap kegagalan plastis berdasarkan kriteria Von Mises. Dengan perhitungan faktor keamanan sebesar ± 7.99 , struktur ini dinilai sangat aman untuk kondisi beban yang diberikan.

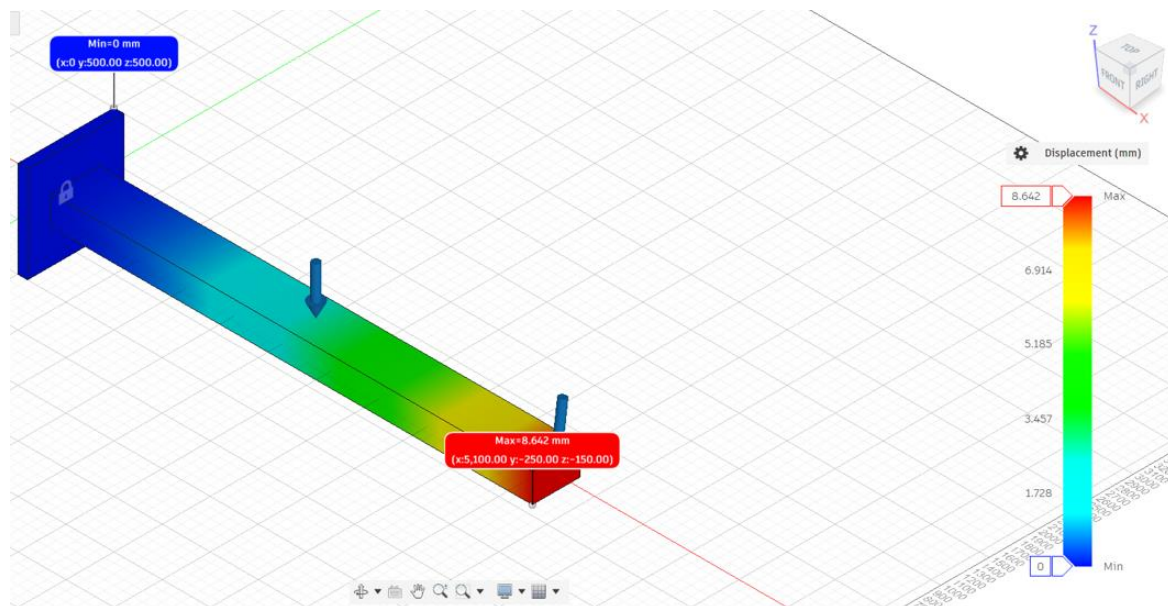
Hasil tersebut sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh Saputra [4], yang melaporkan nilai tegangan maksimum sebesar 28.4 MPa pada dudukan mesin kapal SPOB dengan beban serupa, dan Alhakim [10] yang memperoleh tegangan maksimum 32 MPa pada dudukan *windlass* kapal *harbour tug*. Dengan demikian, hasil simulasi pada penelitian ini menunjukkan tren yang konsisten, memperkuat validitas model bahwa metode elemen hingga dapat digunakan secara akurat untuk mengevaluasi kekuatan struktur dudukan mesin kapal.



Gambar 2. Hasil Tegangan *Von Mises Stress*

Analisis Deformasi

Hasil simulasi menunjukkan distribusi deformasi pada struktur dudukan kamar mesin kapal yang diberi beban statis. Hasil analisis menunjukkan bahwa deformasi maksimum terjadi pada ujung struktur dengan nilai sebesar 8.642 mm, sedangkan deformasi minimum sebesar 0 mm berada pada ujung bebas dudukan (Gambar 3). Gradasi warna dari biru ke merah menggambarkan peningkatan perpindahan dari daerah tumpuan menuju ujung bebas yang menunjukkan pola deformasi lentur akibat gaya tekan. Pola distribusi ini sesuai dengan karakteristik struktur tipe kantilever yang menerima beban secara statis. Berdasarkan nilai deformasi maksimum tersebut menunjukkan bahwa struktur masih mampu menahan beban yang bekerja tanpa mengalami kegagalan. Nilai deformasi yang diperoleh pada penelitian ini relatif serupa dengan hasil analisis dudukan mesin berukuran menengah dengan beban sekitar 40–50 kN, di mana deformasi maksimum berkisar 7–9 mm [3].



Gambar 3. Hasil Deformasi

KESIMPULAN DAN SARAN

Hasil analisis menunjukkan bahwa struktur dudukan kamar mesin kapal mengalami tegangan dan defleksi akibat pembebanan statis. Nilai tegangan maksimum yang terjadi pada struktur masih berada di bawah batas luluh material, sehingga dapat disimpulkan bahwa dudukan mampu menahan beban kerja tanpa mengalami kegagalan plastis. Sementara itu, defleksi maksimum sebesar 8.642 mm terjadi pada bagian ujung struktur, menunjukkan bahwa deformasi terbesar terjadi jauh dari titik tumpuan tetap. Secara umum, hasil analisis menunjukkan bahwa desain dudukan kamar mesin kapal masih memenuhi persyaratan kekuatan. Namun berdasarkan aturan BKI (2021), dudukan mesin harus memiliki kekakuan yang cukup untuk mencegah getaran berlebih dan ketidaksejajaran (*misalignment*) poros. Oleh karena itu, meskipun struktur telah memenuhi persyaratan kekuatan, peningkatan kekakuan tetap disarankan agar defleksi berada di bawah batas desain yang disarankan yaitu $L/300$ atau sekitar 3–5 mm untuk panjang dudukan 1.5 meter. Peningkatan kekakuan dapat dilakukan dengan menambah elemen penegar (*stiffener*) atau mempertebal pelat dudukan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. A. Imron, "Pengaruh Getaran terhadap Struktur Kapal dan Kenyamanan Operasional," *Jurnal Teknologi Maritim*, vol. 6, no. 2, pp. 25–32, 2014.
- [2] H.-W. Seong, F. Riola, and J. Kim, "Vibration and noise analysis of marine propulsion systems," *International Journal of Naval Architecture and Ocean Engineering*, vol. 12, no. 3, pp. 478–489, 2020.
- [3] S. X. Andratama, "Analisa Kekuatan Konstruksi Pondasi Mesin Kapal Menggunakan Metode Elemen Hingga," *Jurnal Teknik Mesin Indonesia*, vol. 10, no. 2, pp. 55–63, 2025.
- [4] Saputra, D. A. (2025). *Analisis Kekuatan Pondasi Mesin Kapal SPOB Menggunakan Metode Elemen Hingga*. Strength: Jurnal Penelitian Teknik Mesin, 12(1), 45–52.
- [5] O. C. Zienkiewicz and R. L. Taylor, *The Finite Element Method: The Basis*, 6th ed. Oxford: Elsevier, 2005.
- [6] K. J. Bathe, *Finite Element Procedures*. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall, 1996.
- [7] R. C. Hibbeler, *Mechanics of Materials*, 11th ed. New York: Pearson, 2020.
- [8] S. S. Rao, *The Finite Element Method in Engineering*, 6th ed. Oxford: Butterworth-Heinemann, 2021.
- [9] A. M. Gere and B. J. Goodno, *Mechanics of Materials*, 10th ed. Boston: Cengage Learning, 2021.
- [10] F. Alhakim, "Analisa Perhitungan Kekuatan Struktur Pondasi Windlass pada Kapal Harbour Tug dengan Metode Elemen Hingga," *Jurnal Kapal: Ilmu Pengetahuan dan Teknologi Kelautan*, vol. 18, no. 3, pp. 123–131, 2021.