

Optimasi pengurangan massa superstruktur dan hatch cover kapal ikan 5 GTGerry Liston Putra ^{a,1}, Muhammad Elvan Nawawi a, Hendri Dwi Saptioratri Budiono ^b, Jos Istiyanto^a^aProgram Studi Teknik Perkapalan, Universitas Indonesia, Depok, 16424^cProgram Studi Teknik Mesin, Universitas Indonesia, Depok, 16424¹Email korespondensi: gerrylp@eng.ui.ac.id

Abstrak. Indonesia sebagai salah satu negara kepulauan terbesar, memiliki potensi besar di sektor maritim. Pemerintah Indonesia menempatkan industri perkapalan sebagai salah satu sektor prioritas untuk dikembangkan. Industri galangan kapal menghasilkan berbagai produk, termasuk kapal dan bangunan lepas pantai, dengan kapal ikan sebagai salah satu produk utamanya. Kapal ikan berfungsi untuk menangkap sekaligus membawa hasil tangkapan. Sebagian besar kapal ikan tradisional masih terbuat dari kayu yang membutuhkan perawatan tinggi dan biaya besar. Modernisasi kapal ikan dengan penggunaan material seperti baja, aluminium 5083, dan HDPE menjadi penting untuk meningkatkan daya saing nelayan. Penelitian ini mengoptimalkan bagian superstruktur dan fish hold hatch cover pada kapal ikan 5 GT menggunakan metode Finite Element Method (FEM) dan persamaan bending stress untuk mengurangi massa kapal. Hasil optimasi menunjukkan bahwa tegangan yang terjadi pada struktur tetap memenuhi standar badan klasifikasi. Optimasi menghasilkan penurunan berat yang signifikan: untuk material mild steel, penurunan berat superstruktur sebesar 45% dan hatch cover sebesar 46%. Untuk aluminium 5083, penurunan berat superstruktur sebesar 17,34% dan hatch cover sebesar 18,95%. Sebaliknya, pada material HDPE terjadi peningkatan berat struktur sebesar 78,08 kg atau sekitar 161,857% dari berat desain. Temuan ini menegaskan pentingnya pemilihan material dan ketebalan pelat yang tepat guna mencapai efisiensi optimal dalam konstruksi kapal ikan..

Keywords: Kapal Ikan 5 GT, Optimasi Struktur, Superstruktur, Hatch Cover, FEM**Received:** 30 September 2025; **Presented:** 9 October 2025; **Publication:** 9 March 2026**DOI:** <https://doi.org/10.71452/mkenzf29>**PENDAHULUAN**

Indonesia, dengan lebih dari 17.500 pulau dan garis pantai sepanjang 81.000 km, memiliki potensi besar sebagai negara maritim. Pemerintah menempatkan industri perkapalan, termasuk galangan kapal yang memproduksi kapal dan bangunan lepas pantai, sebagai salah satu sektor prioritas [1]. Salah satu produk penting dari industri ini adalah kapal ikan, yang digunakan untuk menangkap dan membawa hasil tangkapan. Sebagian besar kapal ikan di Indonesia masih berbasis kayu karena biaya pembuatannya murah dan teknologi sederhana [2]. Namun, kapal kayu memiliki kelemahan seperti daya tahan rendah, kebutuhan perawatan tinggi, dan biaya operasional besar, sehingga menurunkan efisiensi [3]. Kondisi ini diperburuk oleh fakta bahwa sekitar 60–70% biaya operasional nelayan digunakan untuk BBM [4]. Oleh karena itu, modernisasi kapal ikan dengan material alternatif menjadi sangat penting untuk meningkatkan daya saing nelayan.

Penggunaan material pengganti seperti baja (mild steel), aluminium 5083, dan HDPE menjadi salah satu solusi. Aluminium 5083 memiliki keunggulan ringan, kuat, dan tahan korosi sehingga cocok untuk bagian superstruktur dan hatch cover, meskipun harganya relatif mahal. Sementara itu, HDPE bersifat keras, semi-fleksibel, tahan bahan kimia dan kelembapan, serta mudah dibentuk, sehingga berpotensi diaplikasikan sebagai material kapal [5]. Berbagai

penelitian telah dilakukan untuk mengoptimalkan struktur kapal dengan tujuan mengurangi massa dan biaya material melalui metode analisis tertentu, terutama Finite Element Method (FEM). Penelitian sebelumnya berhasil menurunkan berat hatch cover dengan menggunakan algoritma genetika (GA) hibrida untuk mengoptimalkan tata letak penegar [6], serta dengan metode tiga tahap untuk desain optimal hatch cover [7]. Pendekatan lain menggunakan GA dan Pareto optimal untuk desain hatch cover tipe lipat [8], atau metode Pareto optimal front dalam optimasi ketebalan pelat dan penegar, yang menghasilkan penurunan biaya produksi dan berat material [9].

Material juga menjadi variabel penting dalam optimasi, di mana metode upgrade dan downgrade terbukti mampu menurunkan berat struktur dek hingga 49,19% [10]. Penggunaan FEM dan persamaan bending stress telah diaplikasikan pada lambung kapal ikan kecil dengan variasi material, frame, dan ketebalan pelat, menghasilkan penurunan berat hingga 20% [4]. Studi lain membandingkan penggunaan persamaan axial stress dan bending stress untuk optimasi ketebalan pelat, menunjukkan bahwa metode axial stress lebih cepat dan efisien [11]. Selain itu, penggabungan FEM dengan persamaan bending stress terbukti efektif dalam mengoptimalkan struktur lambung kapal ikan 5 GT, dengan hasil penurunan massa mencapai 28,87% [13]. Berdasarkan kajian tersebut, penelitian ini difokuskan pada pengembangan metode pengurangan massa superstruktur dan fish hold

hatch cover kapal ikan 5 GT dengan pendekatan optimasi material dan ketebalan pelat. Metode yang digunakan adalah Finite Element Method (FEM) dan persamaan bending stress. Studi ini diharapkan memberikan kontribusi dalam pengembangan desain kapal ikan yang lebih efisien, modern, dan kompetitif.

METODOLOGI

Secara umum, penelitian ini bertujuan mengurangi massa struktur dengan memanfaatkan persamaan bending stress dan hasil simulasi Finite Element Method (FEM). Nilai tegangan maksimum pada setiap pelat dari hasil simulasi digunakan untuk menentukan ketebalan pelat pada iterasi berikutnya. Alur penelitian ditunjukkan pada Gambar 1. Penelitian diawali dengan studi literatur mengenai konstruksi hatch cover dan superstruktur kapal, material yang digunakan, serta metode optimasi struktur kapal. Data yang digunakan meliputi konstruksi hatch cover dan superstruktur kapal baja dengan ketebalan desain awal 3,7 mm. Selain itu, ditentukan pula kondisi batas, beban

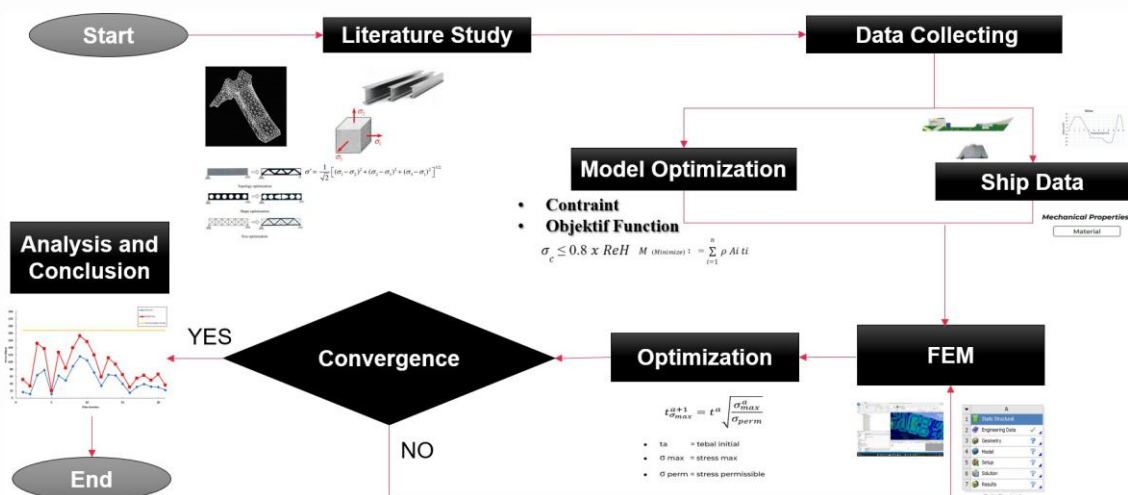
struktur, serta fungsi objektif yang digunakan dalam optimasi.

Simulasi dilakukan menggunakan perangkat lunak ANSYS untuk memperoleh distribusi tegangan dan deformasi. Nilai-nilai ini digunakan untuk memperbarui ketebalan pelat pada setiap iterasi hingga semua parameter memenuhi kondisi batas, yakni tegangan maksimum yang diizinkan serta batas minimum ketebalan pelat yang ditetapkan. Hasil akhir optimasi dianalisis dan dijadikan dasar penarikan kesimpulan.

Sifat Material

Sifat mekanis material, seperti yield strength, ultimate strength, dan Young's modulus, merupakan parameter penting dalam analisis struktural. Nilai-nilai mekanis yang digunakan dalam penelitian ini diambil dari material library ANSYS dan ditunjukkan pada Tabel 1.

Penggunaan data material ini bertujuan memastikan bahwa hasil simulasi merepresentasikan kondisi nyata dan dapat diandalkan dalam menilai kekuatan maupun deformasi struktur.



Gambar 1. Alur Penelitian

Tabel 1. Sifat Mekanik Material

Properties	Unit	MS	Alumunium 5083	HDPE
Density	ton/m ³	7.85	2.657	0.9585
Young Modulus	MPa	200000	70035	1080
Thermal Conductivity	W/mm °C	0.0603	0.11847	0.0004811
Specific Heat	mJ/kg °C	434000	948180	1780000
Tensile Yield Strength	MPa	250	120	28.39
Tensile Ultimate Strength	MPa	460	264.9	28.39

Metode Elemen Hingga

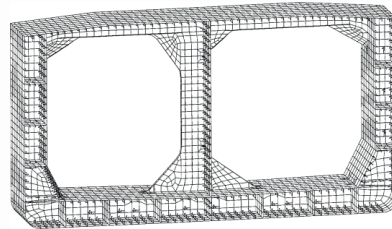
Metode elemen hingga (FEM) digunakan untuk memperoleh solusi numerik pada berbagai masalah

teknik, termasuk analisis struktur kapal. Menurut [9], tujuan utama penerapan FEM pada struktur kapal

adalah untuk menghitung respons struktur terhadap beban secara akurat.

Dasar FEM adalah bahwa suatu wilayah kontinu dapat direpresentasikan dengan sejumlah elemen diskrit melalui proses diskritisasi [15]. Proses analisis FEM terdiri dari tiga tahapan utama yaitu *pre-processing*, *solution phase*, dan *post-processing*. *Pre-*

processing meliputi pembuatan model, pemberian material, kondisi batas, dan pembebanan. Sedangkan *solution phase* melakukan perhitungan distribusi tegangan, deformasi, dan respons lainnya. Dan diakhiri tahap *post-processing* yang menginterpretasikan dan menganalisis hasil simulasi. Pemutakhiran



Gambar 2. Diskritisasi Frame dan Girder Model [14]

Ketebalan Pelat

Optimasi ketebalan pelat dilakukan dengan menggunakan persamaan bending stress, karena

sebagian besar elemen struktur kapal mengalami beban lentur. Persamaan bending stress dituliskan sebagai berikut [11][16]:

$$\sigma = \frac{My}{I} \quad (1)$$

Ketebalan pelat optimal pada iterasi ke- $a+1$ diperoleh dari:

$$t^{a+1} = t^a \frac{\sigma_{max}^a}{\sigma_{perm}} \quad (2)$$

Keterangan:

t^{a+1} = ketebalan pelat pada langkah $a+1$

t^a = ketebalan pelat awal

σ_{max}^a = tegangan awal maksimum

σ_{perm} = tegangan yang diizinkan

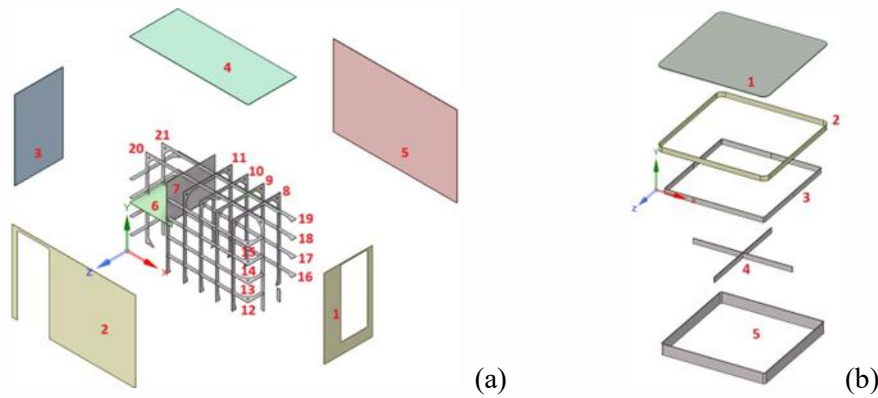
Persamaan ini digunakan secara iteratif hingga ketebalan pelat memenuhi kriteria desain, yaitu tegangan maksimum tidak melebihi batas izin, dengan asumsi momen dan gaya aksial tidak berubah.

STUDI KASUS

Model

Penelitian ini menggunakan struktur hatch cover dan superstruktur pada kapal ikan dengan kapasitas 5 Gross

Tonnage (GT) sebagai studi kasus. Kedua struktur dipilih karena terdiri atas elemen pelat dan penegar (stiffener) yang berperan penting dalam kekuatan serta merupakan lokasi potensial untuk dilakukan optimasi massa. Seluruh pelat pada desain awal memiliki ketebalan seragam, yaitu 3,7 mm. Superstruktur didefinisikan sebagai bangunan di atas geladak batas air bebas yang membentang hingga ke sisi kapal atau hampir mencapai sisi kapal [17]. Detail data awal superstruktur ditunjukkan pada Gambar 3a dan Tabel 2.



Gambar 3. Exploded view (a) Superstruktur (b) Hatch cover

Tabel 2. Data Awal Model Superstruktur

<i>Item</i>	<i>Unit</i>	<i>Initial design</i>
L (panjang)	mm	2200
W (lebar)	mm	900
H (tinggi)	mm	1750
Jumlah pelat		21

Tabel 3. Data Awal Model Hatch Cover

<i>Item</i>	<i>Unit</i>	<i>Initial design</i>
L (panjang)	mm	1100
W (lebar)	mm	1100
H (tinggi)	mm	50
Jumlah pelat		4

Sementara itu, model hatch cover terdiri dari empat pelat utama. Kondisi batas (boundary condition) yang digunakan adalah simply supported pada sisi pelat yang menumpu pada hatch coaming. Dengan kondisi ini, pelat hatch cover dapat mengalami pergeseran baik secara transversal maupun longitudinal ketika beban diaplikasikan. Detail awal model ditunjukkan pada Gambar 3b dan Tabel 3.

Kondisi Pembebanan

Kondisi pembebanan yang digunakan dalam analisis terdiri atas beban akibat berat struktur sendiri dan tekanan lateral yang bekerja pada permukaan pelat secara terbagi merata. Pada struktur hatch cover, beban

utama berasal dari load on weather deck, karena hatch cover terletak di weather deck yang terekspos langsung terhadap beban eksternal [18]. Dalam kasus ini, tidak terdapat muatan (cargo load) yang disimpan di atas hatch cover, sehingga beban tersebut tidak diperhitungkan. Berdasarkan perhitungan, diperoleh nilai sebesar 0,00403 MPa yang diaplikasikan secara merata pada model pelat hatch cover.

Untuk struktur superstruktur, beban yang bekerja pada permukaan pelat terdiri dari beban scantling, beban angin, dan beban air. Ketiga beban tersebut diaplikasikan pada pelat tertentu sesuai dengan ketentuan klasifikasi [18]. Rangkuman beban yang bekerja pada struktur superstruktur ditunjukkan pada Tabel 4.

Tabel 4. Beban Total pada Superstruktur (MPa)

Sumbu X (mm)	Pelat				
	<i>Outside</i>	<i>Innerside</i>	Top	Front	Aft
0	0.004391	0.000941	0.000941	-	0.000941
324	0.004895	0.001445	0.001445	-	-
1435	0.006328	0.002878	0.002878	-	-
2200	0.007055	0.003605	0.003605	0.006730	-

Kondisi Batas

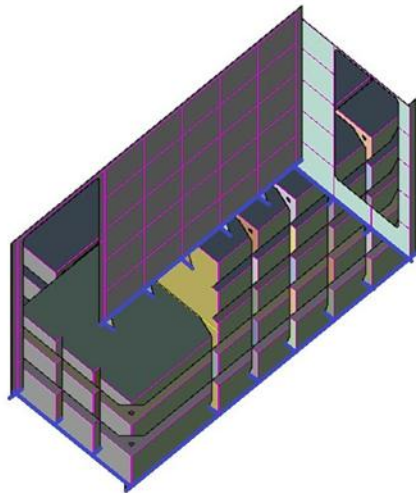
Kondisi batas merupakan aspek penting dalam analisis struktural karena menentukan bagaimana suatu struktur merespons beban yang diberikan. Secara umum, kondisi batas berfungsi sebagai tumpuan yang membatasi gerakan translasi maupun rotasi dari suatu komponen. Pada model superstruktur, sambungan struktur dilakukan dengan pengelasan ke pelat main deck. Dengan demikian, gerakan translasi maupun rotasi dari superstruktur dianggap sepenuhnya

terbatas. Oleh karena itu, kondisi batas yang digunakan adalah fix support pada bagian bawah struktur, yaitu area sambungan dengan pelat main deck. Kondisi ini ditunjukkan pada Gambar 4a.

Sementara itu, model hatch cover menggunakan kondisi batas simply supported, karena pelat hatch cover hanya ditumpu oleh hatch coaming. Dengan asumsi ini, pelat tetap dapat mengalami pergeseran horizontal serta rotasi pada semua sumbu ketika beban diaplikasikan. Skema penerapan kondisi batas pada model hatch cover ditunjukkan pada Gambar 4b.

D: BAJA 2
Fixed Support
Time: 1. s
6/23/2024 3:12 PM

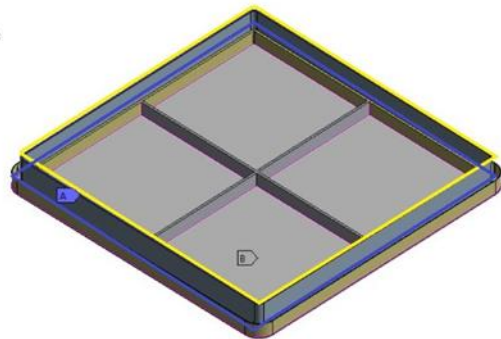
Fixed Support



(a)

H: 5
Remote Displacement
Time: 1. s
6/23/2024 4:28 PM

Fixed Support
Remote Displacement



(b)

Gambar 4. *Setting Boundary Condition* (a) Model Superstruktur (b) Hatch Cover

Batasan Optimasi

Dalam proses optimasi ketebalan pelat, diperlukan batasan (constraints) agar hasil yang diperoleh tetap memenuhi persyaratan teknis. Batasan pertama berkaitan dengan kekuatan material yang digunakan.

Berdasarkan standar IACS [19], tegangan maksimum yang diizinkan σ_{perm} tidak boleh melebihi 80% dari yield strength material R_{eH} sebagaimana dituliskan dalam persamaan berikut:

$$\sigma_{perm} \leq 0.8 R_{eH} \quad (3)$$

Batasan ini digunakan untuk memastikan bahwa struktur tetap aman terhadap beban kerja yang diterima. Selain itu, penelitian ini tidak mempertimbangkan batas regangan, karena komponen yang dianalisis (superstruktur dan hatch cover) tidak berhubungan langsung dengan performa utama kapal. Deformasi yang terjadi lebih banyak memengaruhi aspek estetika dan kenyamanan, sehingga fokus optimasi difokuskan pada kekuatan (tegangan) dan efisiensi massa. Untuk mempermudah analisis, optimasi dibatasi hanya pada tiga variasi ketebalan pelat. Batasan ketebalan minimum juga diterapkan agar pelat tidak terlalu tipis sehingga berpotensi mengurangi keandalan struktur. Nilai ketebalan

minimum yang digunakan adalah 2mm untuk material baja (mild steel) [13] dan 3 mm untuk material aluminium 5083 [20]. Dengan batasan ini, proses optimasi diharapkan dapat menghasilkan struktur yang lebih ringan tanpa mengorbankan aspek keselamatan dan kekuatan.

Fungsi Objektif

Tujuan utama dari penelitian ini adalah meminimalkan massa struktur superstruktur dan hatch cover. Kondisi optimal dicapai ketika total massa pelat yang digunakan berada pada nilai terkecil setelah proses optimasi, dengan tetap memenuhi batasan kekuatan material.

$$M \text{ (minimum)} = \sum_{i=1}^n \rho \cdot A_i \cdot t_i \quad (4)$$

dengan keterangan sebagai berikut:

- M = massa total struktur (kg)
- n = jumlah total pelat yang digunakan
- ρ = massa jenis material (kg/m^3)
- A_i = luas area pelat ke--i (m^2)
- t_i = tebal pelat ke-i (mm)

Persamaan ini menunjukkan bahwa massa total merupakan fungsi dari sifat material (massa jenis), dimensi pelat (luas area), dan ketebalan pelat. Dengan demikian, optimasi difokuskan pada pemilihan material dan penyesuaian ketebalan pelat sehingga diperoleh struktur yang lebih ringan namun tetap memenuhi persyaratan kekuatan.

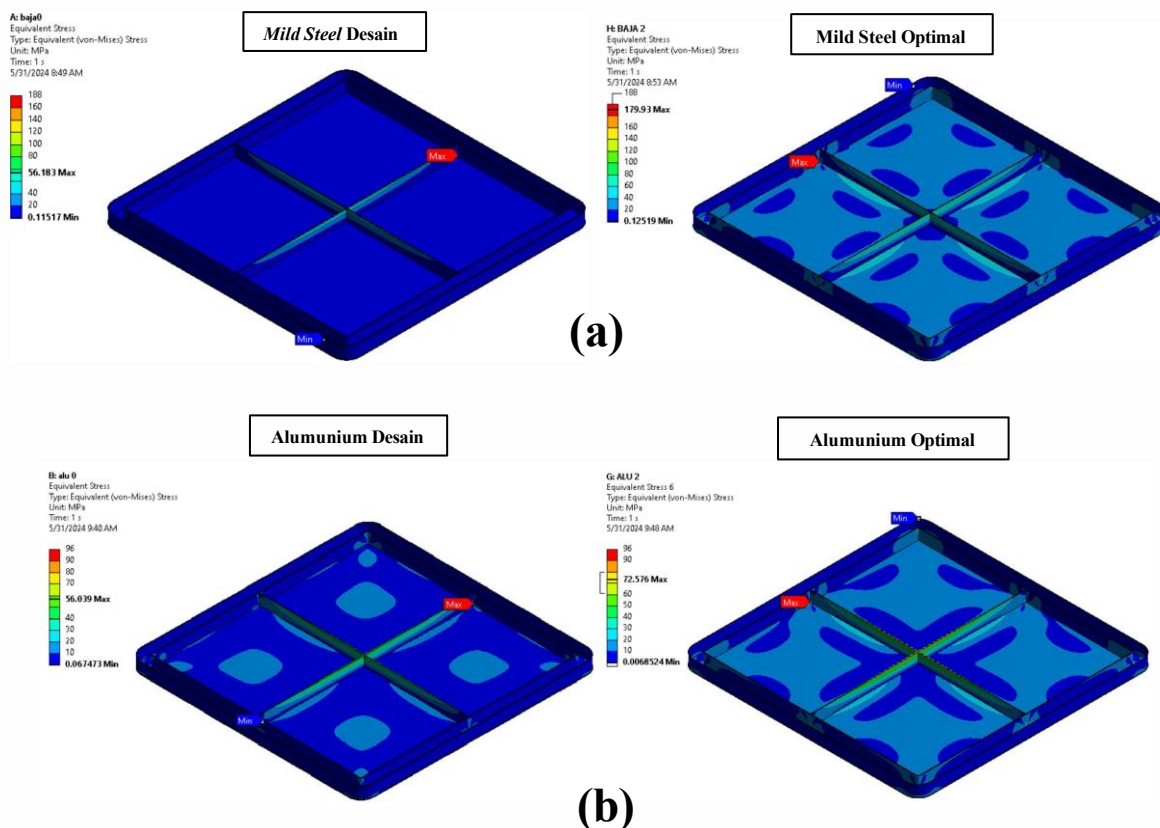
HASIL DAN PEMBAHASAN

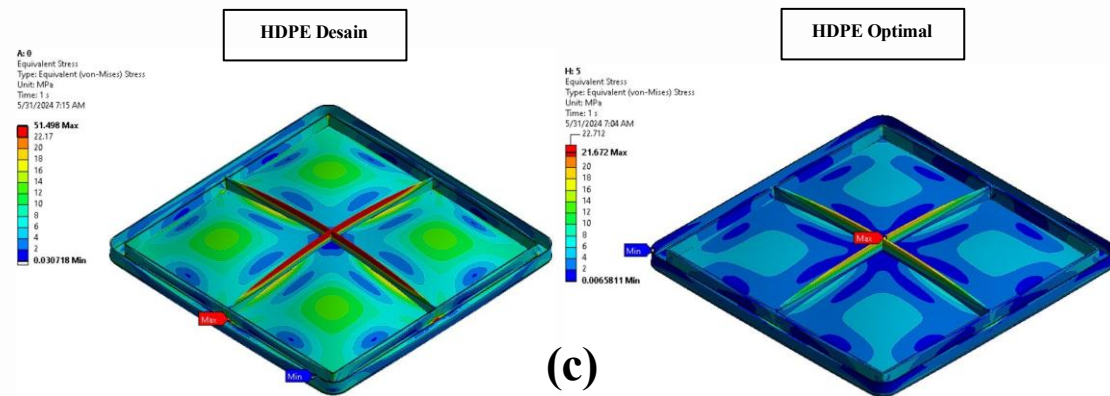
Hasil Optimasi Hatch Cover

Gambar 5 merupakan hasil dari simulasi ANSYS berupa nilai tegangan von misses pada struktur hatch

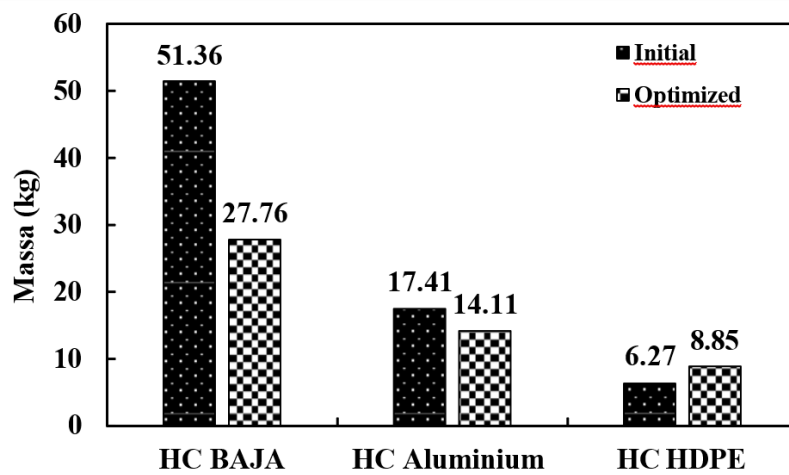
cover. Gambar hanya menunjukkan kondisi inisial dan kondisi ketika struktur berhasil dioptimalkan. Pada kondisi optimal, optimasi hatch cover bermaterial mild steel dilakukan sampai iterasi 2 di mana tegangan terbesar sebesar 179,93 MPa terjadi pada pelat atas. Pada struktur bermaterial aluminium 5083, optimasi dilakukan dengan satu iterasi. Nilai tegangan tertinggi terjadi pada pelat sisi dalam dengan tegangan 72,57 MPa. Untuk hatch cover material HDPE, nilai tegangan terjadi pada pelat penegar dengan nilai 21,67 MPa dengan jumlah iterasi sebanyak 5.

Gambar 6 menunjukkan bahwa hatch cover material baja mengalami pengurangan berat sebesar 23.6 kg, atau sekitar 46%. Pada material aluminium, terjadi penurunan berat sebesar 3.3 kg, atau sekitar 18,95%. Sementara itu, untuk material HDPE, terjadi peningkatan berat struktur sebesar 3.16 kg atau sekitar 50%.

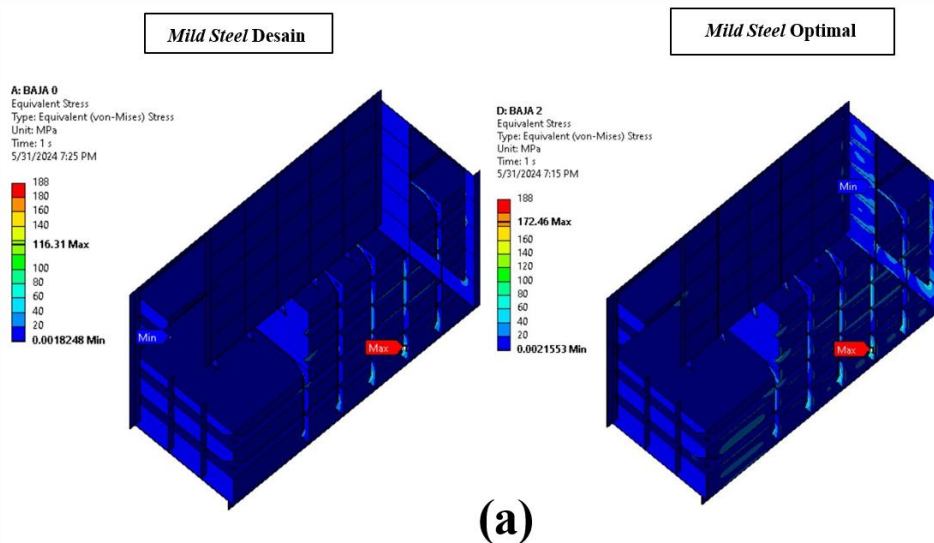


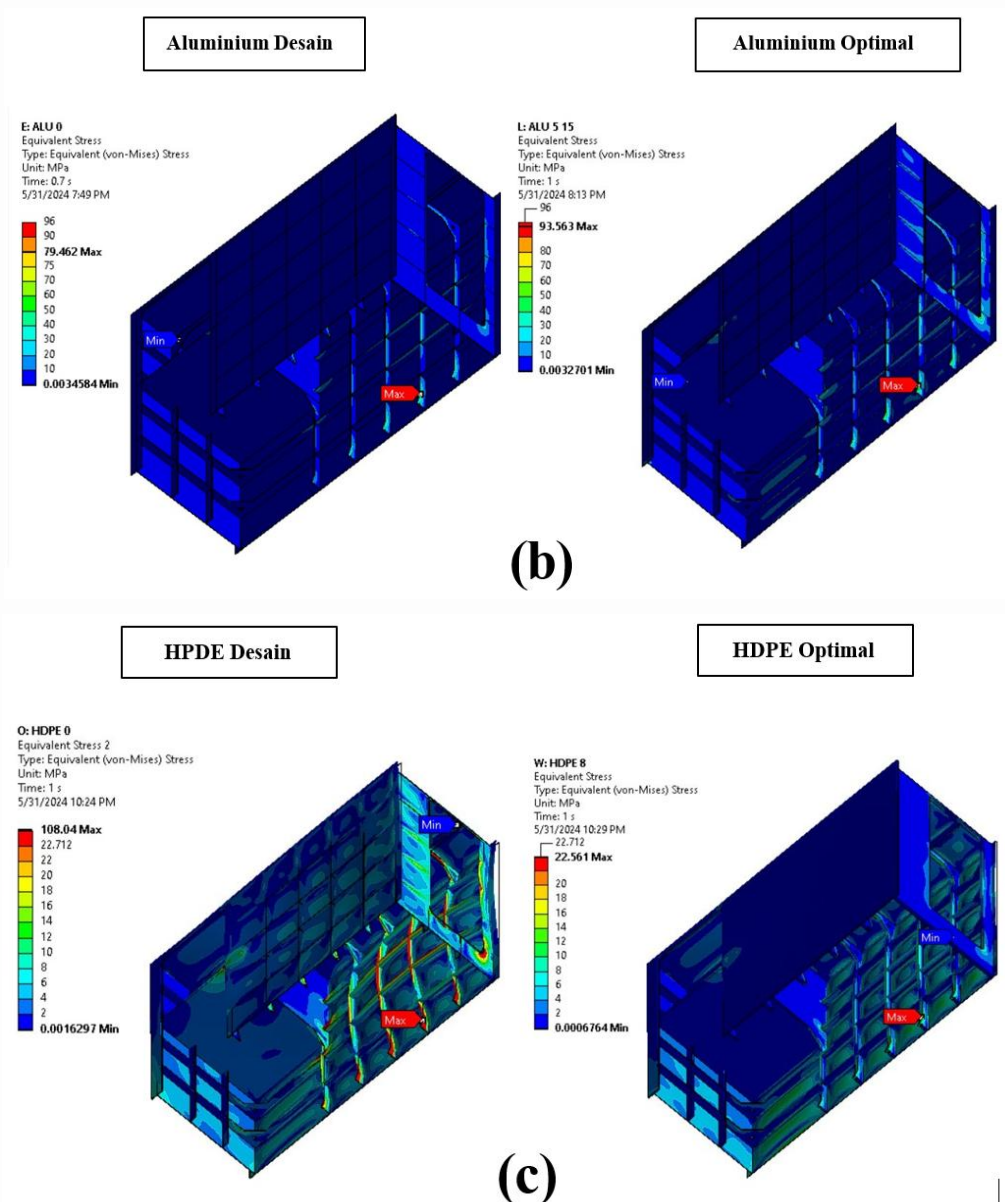


Gambar 5. Hasil Simulasi ANSYS pada Hatch Cover (a) Mildsteel (b) Aluminium 5083 (c) HDPE

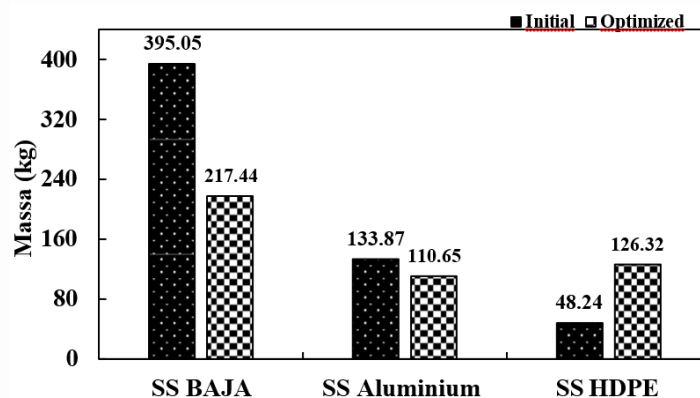


Gambar 6. Perbedaan berat hasil Optimasi Hatch Cover pada variasi material





Gambar 7. Hasil Simulasi ANSYS pada Superstruktur (a) *Mild Steel* (b) Aluminium 5083 (c) HDPE



Gambar 8. Perbedaan berat hasil Optimasi Superstruktur pada variasi material

Hasil Optimasi Superstruktur

Gambar 7 menunjukkan hasil simulasi ANSYS berupa distribusi tegangan Von Mises pada superstruktur. Visualisasi ditampilkan untuk kondisi awal (initial

design) serta kondisi setelah struktur mengalami optimasi. Analisis dilakukan untuk tiga jenis material, yaitu mild steel, aluminium 5083, dan HDPE. Pada struktur dengan material mild steel, kondisi optimum tercapai pada iterasi ke-2. Tegangan maksimum terjadi

pada pelat transversal 2 dengan nilai sebesar 172,46 MPa, yang masih berada di bawah batas tegangan izin sesuai standar. Untuk struktur dengan material aluminium 5083, proses optimasi memerlukan 5 iterasi sebelum mencapai kondisi optimum. Tegangan tertinggi juga terjadi pada pelat transversal 2 dengan nilai sebesar 93,56 MPa. Nilai ini relatif lebih rendah dibandingkan dengan struktur mild steel, sejalan dengan sifat mekanis aluminium yang lebih ringan tetapi memiliki kekuatan tarik lebih rendah. Sementara itu, pada struktur dengan material HDPE, kondisi optimum baru dicapai setelah 7 iterasi. Tegangan maksimum terjadi pada pelat transversal 2 dengan nilai sebesar 22,56 MPa. Meskipun nilainya jauh lebih kecil dibandingkan dengan material logam, sifat mekanis HDPE yang elastis menyebabkan struktur memerlukan iterasi lebih banyak untuk mencapai ketebalan optimum.

Gambar 8 menunjukkan perbandingan berat konstruksi antara desain awal dan hasil optimasi untuk tiga jenis material, yaitu mild steel, aluminium 5083, dan HDPE. Pada struktur dengan material mild steel, terjadi pengurangan berat yang signifikan sebesar 177,61 kg, atau sekitar 45% dari berat awal. Hal ini menunjukkan bahwa optimasi ketebalan sangat efektif pada material baja karbon rendah, yang pada awalnya memiliki massa jenis tinggi. Untuk struktur dengan material aluminium 5083, hasil optimasi menghasilkan penurunan berat sebesar 23,22 kg, atau sekitar 17,34%.

Penurunan ini lebih kecil dibandingkan dengan mild steel karena aluminium sejak awal memiliki densitas yang jauh lebih rendah, sehingga peluang reduksi massa lebih terbatas. Sebaliknya, pada struktur dengan material HDPE, justru terjadi peningkatan berat sebesar 78,08 kg, atau sekitar 161,86% dari berat desain awal. Kenaikan ini disebabkan oleh perbedaan karakteristik mekanis antara HDPE dan baja, di mana desain awal yang berbasis baja tidak langsung sesuai dengan sifat HDPE. Selain itu, pembatasan variasi ketebalan hanya pada tiga opsi ketebalan membuat proses optimasi pada HDPE tidak dapat mencapai kondisi massa minimum secara efektif.

KESIMPULAN

Pada kondisi awal, tegangan tertinggi pada hatch cover terjadi di pelat sisi dalam, sedangkan pada superstruktur terjadi di pelat transversal 2 untuk semua material.

Hasil optimasi menunjukkan bahwa pemilihan material dan ketebalan pelat berpengaruh terhadap nilai tegangan, namun seluruh tegangan tetap berada di bawah batas izin.

Optimasi berhasil menurunkan massa struktur secara signifikan pada material mild steel (± 45 – 46%) dan aluminium 5083 (± 17 – 19%), sedangkan material HDPE justru mengalami peningkatan massa.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. G. Kartasasmita, "Industri Perkapalan Wujudkan RI Jadi Poros Maritim Dunia," SIARAN PERS kemenperin.go.id.
- [2] B. Kusuma Aditya *et al.*, "Ge-STRAM: Jurnal Perencanaan dan Rekayasa Sipil Studi Teknis Dan Ekonomis Dimensi Konstruksi Kapal Kayu Berdasarkan BKI".
- [3] O. : Jozua *et al.*, "pojok ilmiah laminasi fiberglass sebagai alternatif untuk melindungi konstruksi lambung kapal kayu," 2016.
- [4] F. R. Akbar, "analisa optimasi struktur lambung kapal ikan 5 gt dengan Mempertimbangkan pemilihan material," Universitas Indonesia, Depok, 2023.
- [5] M. Kadhafi, S. Sunardi, A. Triono, and W. K. Sari, "Studi Karakteristik Stabilitas dan Konstruksi Kapal Berbahan High Density Polyethylene (HDPE)," *Jurnal Rekayasa Mesin*, vol. 12, no. 2, pp. 315–323, Aug. 2021, doi: 10.21776/ub.jrm.2021.012.02.9.
- [6] G. L. Putra, M. Kitamura, and A. Takezawa, "Structural optimization of stiffener layout for stiffened plate using hybrid GA," *International Journal of Naval Architecture and Ocean Engineering*, vol. 11, no. 2, pp. 809–818, Jul. 2019, doi: 10.1016/j.ijnaoe.2019.03.005.
- [7] G. L. Putra and M. Kitamura, "Study on optimal design of hatch cover via a three-stage optimization method involving material selection, size, and plate layout arrangement," *Ocean Engineering*, vol. 219, Jan. 2021, doi: 10.1016/j.oceaneng.2020.108284.
- [8] G. L. Putra, M. Kitamura, and A. Takezawa, "Constrained Thickness Optimization of Multi- Material Plate The Asian Congress of Structural and Multidisciplinary Optimization Constrained Thickness Optimization of Multi-Material Plate." [Online]. Available: <https://www.researchgate.net/publication/325396391>
- [9] P. Rigo and J. D. Caprace, "Optimisation of ship structures," 2011. [Online]. Available:

<https://www.researchgate.net/publication/277190398>

- [10] I. Septiyahardi, "optimasi desain struktur kapal dengan mempertimbangkan pemilihan material via upgrade & downgrade method," Skripsi, Universitas Indonesia, Depok, 2022.
- [11] D. Pratama, "studi optimasi ketebalan pada struktur kapal dengan membandingkan persamaan axial stress dan bending stress," Skripsi, Universitas Indonesia, Depok, 2022.
- [12] A. Abdussalam, "studi pengurangan massa dari struktur kapal dengan Optimasi ketebalan dan pemilihan material," Skripsi, Universitas Indonesia, Depok, 2022.
- [13] Christofer, "Studi optimasi struktur kapal ikan 5 gross Tonnage dengan material baja," Universitas Indonesia, Depok, 2023.
- [14] S. Moaveni, *Finite element analysis Theory and Application with ANSYS*, 4th ed. Pearson education limited, 2015.
- [15] V. Jagota, A. Preet, S. Sethi, and K. Kumar, "Finite Element Method: An Overview," 2013. [Online]. Available: <http://wjst.wu.ac.th>
- [16] R. Nonami, M. Kitamura², and A. Takezawa³, "Study on Optimization for Large Structures using Hybrid GA 07 th-12 th," 2015.
- [17] D. J. Eyres and G. J. Bruce, "Decks, hatches, and superstructures," in *Ship Construction*, 7th ed., Elsevier, 2012, pp. 3–9. doi: 10.1016/B978-0-08-097239-8.00001-5.
- [18] Biro Klasifikasi Indonesia, *Part 1. (Vol XII), Rules for Fishing Vessels*. Jakarta, 2003.
- [19] IACS (2023), "Requirements concerning STRENGTH OF SHIPS Evaluation of Scantlings of Hatch Covers and Hatch Coamings and Closing Arrangements of Cargo Holds of Ships."
- [20] Biro Klasifikasi Indonesia, *Part 1. Seagoing Ship (Vol V) Rules for Material*. Jakarta: BKI, 2022.