

## ANALISIS BATAS KEAMANAN STRUKTUR KAMAR MESIN KAPAL KATAMARAN AKIBAT PENAMBAHAN BEBAN DI ATASNYA MENGUNAKAN SIMULASI

**Debby R. Lekatompessy\***

Program Studi Teknik Perkapalan, Universitas Pattimura, Kota Ambon, Indonesia

\*E-mail korespondensi: [de.lekatompessy@gmail.com](mailto:de.lekatompessy@gmail.com)

### ABSTRAK

*Modifikasi pada suatu struktur yang telah jadi kerap kali meninggalkan masalah, di mana penguatan tambahan diabaikan. Pada objek penelitian ini muatan ditambah pada daerah di atas kamar mesin kapal katamaran bermaterial aluminium alloy. Penelitian ini bertujuan merekomendasikan batas berat yang dapat diterima struktur dalam batas aman struktur. Kecelakaan dapat dihindari dengan mengetahui kapasitas ruang yang dapat digunakan. Metode simulasi masih lebih efisien dan banyak digunakan karena hemat biaya, waktu dan tenaga dengan hasil yang valid. Simulasi digunakan pada penelitian ini untuk memperoleh nilai tegangan kerja yang terjadi akibat pembebanan yang diberikan. Hasil menunjukkan bahwa muatan yang dapat berada di atas deck kamar mesin sebesar 3.000 kN atau setara dengan 305,91 ton di mana  $\sigma_{kerja}$  210,51 MPa < 310 MPa  $\sigma_{ijin}$ . Jika ingin menambahkan muatan lebih dari batas aman maka kekakuan struktur di daerah ini harus ditambah dengan menambah besar modulus penampang.*

**Kata Kunci:** batas aman, kamar mesin, struktur aluminium, beban maksimal, tegangan ijin, tegangan maksimal.

### ABSTRACT

*Modifications to a finished structure often leave problems, where additional reinforcement is neglected. In this research object, the load is added to the area above the engine room of an aluminum alloy catamaran. This research aims to recommend a weight limit that can be accepted by the structure within the safe limits of the structure. Accidents can be avoided by knowing the usable space capacity. The simulation method is still more efficient and widely used because it saves money, time and energy with valid results. Simulation is used in this research to obtain the working stress values that occur due to the applied loading. The results show that the load that can be on the engine room deck is 3,000 kN or the equivalent of 305.91 tons where  $\sigma_{work}$  is 210.51 MPa < 310 MPa  $\sigma_{permit}$ . If you want to add more load than the safe limit, the stiffness of the structure in this area must be increased by increasing the cross-sectional modulus.*

**Keywords:** safety limit, engine room, aluminum structure, maximum load, allowable stress, maximum stress.

### 1. PENDAHULUAN

Kapal dalam menjalankan fungsinya harus memperhatikan 3 faktor utama yaitu kenyamanan, keamanan dan komersil. Pada penelitian ini menggunakan kapal KM. Penguin Redeem sebagai objek yang adalah kapal katamaran berbahan dasar aluminium alloy. Pembebanan yang terlalu dipaksakan akan mengakibatkan struktur mengalami fatigue yang lebih cepat (Magoga et al., 2023). Banyak penelitian mengenai material ini. Material aluminium

menjadi salah satu material yang terkenal dan banyak digunakan pada bidang kelautan, terutama untuk kapal-kapal berkecepatan tinggi. Kekuatan tertinggi untuk desain struktur dan optimalisasi kapal aluminium semakin mendapat perhatian (Hosseinabadi & Khedmati, 2021).

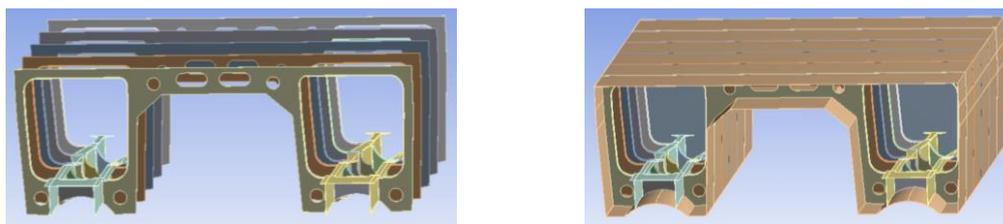
Berbagai upaya untuk menghasilkan material yang lebih unggul dilakukan dengan memperhatikan juga sambungan struktur (Bölükbaşı et al., 2023). Modifikasi pada bagian-bagian struktur kapal banyak dilakukan dengan tujuan memperkuat, lebih menguntungkan dan kenyamanan (Cheng et al., 2018; Choi, 2015).

Kapal ini mengalami modifikasi pada bagian buritannya, tepat di atasnya dengan penambahan ruang untuk penumpang. Akibatnya beban bertambah karena adanya modifikasi ini. Ini akan mempercepat fatigue material (Feng et al., 2020). Penelitian ini bertujuan menganalisis batas aman dari struktur akibat penambahan beban di atas, khususnya di daerah sekitar kamar mesin kapal ini. Secara teoritis penambahan beban pada struktur harus disertai dengan penguatan struktur dimana luas penampang ditambah agar kekuatan tetap berada pada kemampuannya dengan batas aman struktur (Cuenca & Sarzosa, 2020; Takeuchi et al., 2023; Woloszyk et al., 2024).

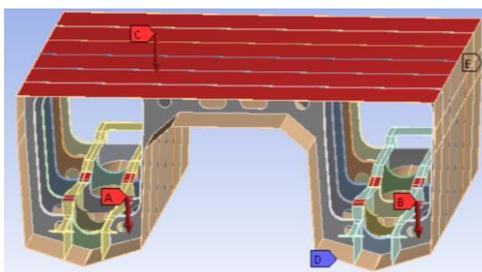
Penelitian ini merekomendasikan batas beban yang bisa diletakkan di atas deck kamar mesin kapal katamaran. Syarat umum kekuatan struktur harus dipenuhi di mana  $\sigma_{kerja} < \sigma_{ijin}$ .

## 2. BAHAN DAN METODE

Bahan yang digunakan pada penelitian ini aluminium alloy yang merupakan material isotropik dengan properties Young's Modulus 71.000 MPa; Poisson's Ratio 0,33; Tensile Yield Strength 280 MPa; Density  $2.770 \text{ kgm}^{-3}$  dan Tensile Ultimate Strength 310 MPa. Model kamar mesin menggunakan model penelitian Lekatompessy (2021). Dalam menganalisis kekuatan struktur besar metode yang paling banyak digunakan adalah simulasi. Keefisienan dan hasilnya yang valid menjadi ciri keunggulan dari metode ini (Lekatompessy, 2021). Kekakuan struktur berbagai material dan sifatnya dapat juga diketahui menggunakan simulasi (Lekatompessy & Zubaydi, 2019). Analisis menggunakan analisis static structural, walaupun dapat juga melalui analisis getaran seperti dilakukan oleh beberapa peneliti (Imron, 2014; Wang et al., 2021).



**Gambar 1.** Simulasi Kamar Mesin Kapal Katamaran (Lekatompessy, 2021)



**Gambar 2.** A, B Gaya Mesin; C Beban muatan; D,E Fixed Support Struktur

Pada gambar terlihat ada 2 beban yang bekerja, yaitu beban akibat kerja mesin dan beban akibat penambahan ruang penumpang di atas kamar mesin. Simulasi digunakan untuk menyelesaikan tujuan dari penelitian ini dengan bantuan software yang sesuai.

Beban kerja mesin dikondisikan pada beban kerja maksimal. Sedangkan beban muatan di atasnya 0 hingga 5.000 kN. Hasil akan menunjukkan pada beban berapa struktur sudah dalam kondisi kritis. Di mana batas aman sudah terlampaui. Tegangan kerja  $\sigma_{\text{kerja}}$  (MPa) pada masing-masing beban muatan diperoleh dengan menjadikan tegangan ijin  $\sigma_{\text{ijin}}$  sebagai batas aman yang diperbolehkan. Pengurangan kekuatan terlihat dengan nilai tegangan kerja yang meningkat seiring bertambahnya beban yang bekerja. Beban maksimum yang dapat diterima struktur diketahui ketika tegangan kerja sudah berpotongan pada titik tegangan yang diijinkan yang menjadi batas aman struktur ini.

Beban ijin (juga disebut beban yang diperbolehkan atau beban aman) sama dengan tegangan ijin dikalikan dengan luas di mana beban tersebut bekerja:

Beban ijin = (Tegangan ijin) (Luas)

$$P_{ijin} = \sigma_{ijin} A (N) \quad (1)$$

Di mana  $P_{ijin}$  adalah beban ijin,  $\sigma_{ijin}$  tegangan ijin dan A adalah luas penampang. Hasil ditampilkan dalam bentuk tabel, grafik dan gambar untuk memudahkan dalam proses analisis. Pengaruh penambahan beban terhadap nilai tegangan yang bekerja dibandingkan dengan tegangan ijin yang menjadi batas aman struktur menjadi tujuan akhir dari penelitian ini. Perpotongan antara batas ijin dan tegangan kerja untuk setiap beban adalah batas beban yang dapat diterima struktur.

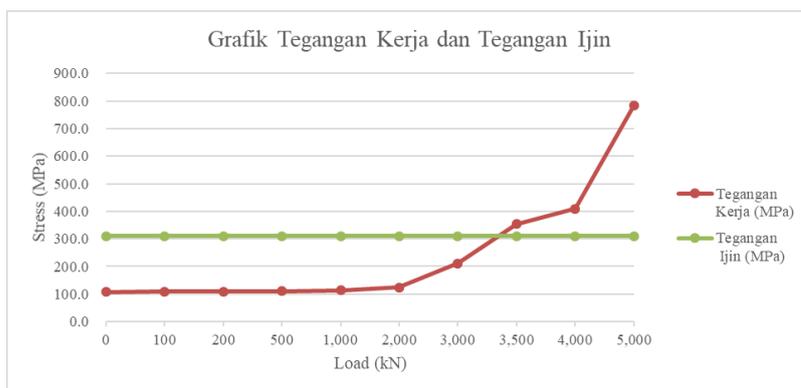
### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil dapat dilihat pada Tabel 1. Yang menggambarkan besar nilai tegangan kerja yang terjadi pada setiap penambahan beban. Batas beban maksimal yang masih dalam batas aman dapat diketahui dengan membandingkannya dengan batas ijin tegangan struktur yaitu 310 MPa. Nilai di bawah batas ijin dikategorikan masih dalam batas aman, sedangkan yang berada di atas nilai ini struktur dikategorikan gagal (Tamimi et al., 2023). Batas aman ini dapat terlihat pada Gambar 1.

**Tabel 1.** Tegangan Kerja Maksimal dan Tegangan Ijin

Load (kN)	Tegangan Kerja (MPa)	Tegangan Ijin (MPa)
0	107.61	310.0
100	108.13	310.0
200	108.76	310.0
500	110.23	310.0
1000	112.86	310.0
2000	123.13	310.0
3000	210.51	310.0
3500	354.25	310.0
4000	409.31	310.0
5000	782.62	310.0

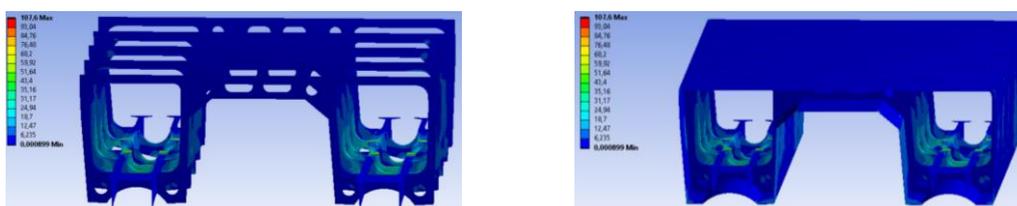
Penambahan beban dimulai dari 0 kN, 100 kN, 200 kN, 500 kN, 1.000 kN, 2.000 kN, 3.000 kN, 3.500 kN, 4.000 kN, 5.000 kN). Titik perpotongan garis tegangan kerja dan tegangan ijin pada Gambar 3 jika di plot ke sumbu  $x$  maka akan diperoleh beban maksimal yang dapat diterima struktur.



Gambar 3. Grafik hubungan Tegangan Kerja dan Tegangan Ijin Struktur

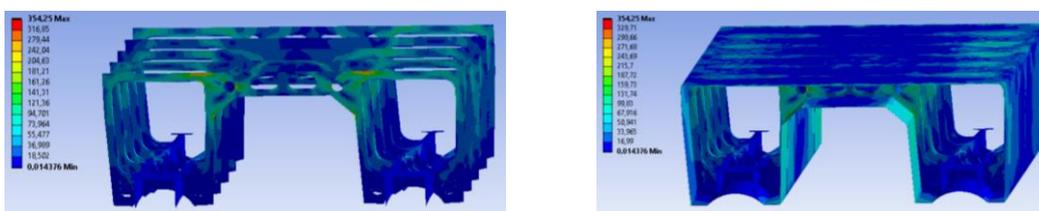
Tiga faktor utama yang mempengaruhi besar kekuatan suatu struktur adalah panjang, sifat mekanis material yang digunakan (kekakuan) dan modulus penampangnya juga besar beban yang bekerja.

Pada kondisi struktur tidak diberi beban di atas deck hasil simulasi pada Gambar 4. menunjukkan terjadinya konsentrasi tegangan pada bagian pondasi saja di mana mesin bekerja. Semakin terang menuju merah warna dari struktur menunjukkan bahwa di daerah tersebut terjadi konsentrasi tegangan yang dalam hal ini beban berasal dari kerja mesin. Pada beban ini tegangan kerja yang terjadi masih dalam batas aman struktur yaitu  $\sigma_{kerja} 107,61 \text{ MPa} < 310 \text{ MPa } \sigma_{ijin}$ .



Gambar 4. Simulasi Tegangan Kerja di Deck Kamar Mesin Tanpa Beban

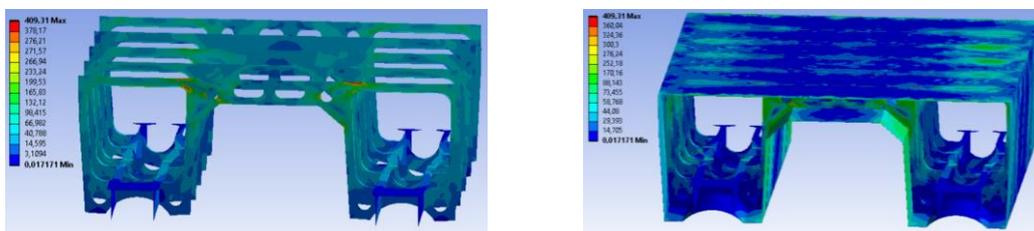
Gambar 5. Memperlihatkan kondisi struktur diberi beban di atas deck sebesar 3.500 kN. Tegangan terjadi meluas di struktur rangka di bawah deck diiringi peningkatan nilai tegangan kerja yang terjadi. Semakin terang menuju merah warna dari struktur menunjukkan bahwa di daerah tersebut terjadi konsentrasi tegangan yang dalam hal ini beban berasal dari beban di atas deck dan beban kerja mesin. Pada beban ini tegangan kerja yang terjadi sudah di luar batas aman struktur yaitu  $\sigma_{kerja} 354,25 \text{ MPa} > 310 \text{ MPa } \sigma_{ijin}$ .



Gambar 5. Simulasi Tegangan Kerja di Deck Kamar Mesin dengan Beban 3.500 kN

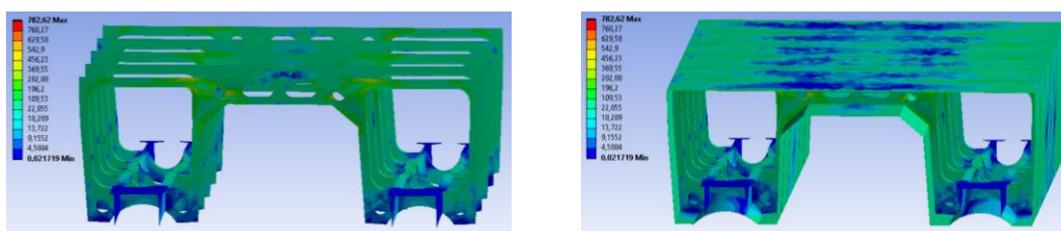
Gambar 6. Memperlihatkan kondisi struktur diberi beban di atas deck sebesar 4.000 kN. Tegangan terjadi lebih luas dari yang tampak pada pembebanan 3.500 kN di Gambar 5 di struktur rangka di bawah deck diiringi peningkatan nilai tegangan kerja yang terjadi. Semakin terang menuju merah warna dari struktur menunjukkan bahwa di daerah tersebut terjadi konsentrasi tegangan yang dalam hal ini beban berasal dari beban di atas deck dan beban kerja mesin. Pada

beban ini tegangan kerja yang terjadi sudah di luar batas aman struktur yaitu  $\sigma_{kerja}$  409,31 MPa > 310 MPa  $\sigma_{ijin}$ .



**Gambar 6.** Simulasi Tegangan Kerja di Deck Kamar Mesin dengan Beban 4.000 kN

Gambar 7. Memperlihatkan kondisi struktur diberi beban di atas deck sebesar 5.000 kN. Tegangan terjadi lebih luas dari yang tampak pada pembebanan 4.000 kN di Gambar 6 di struktur rangka di bawah deck diiringi peningkatan nilai tegangan kerja yang terjadi. Semakin terang menuju merah warna dari struktur menunjukkan bahwa di daerah tersebut terjadi konsentrasi tegangan yang dalam hal ini beban berasal dari beban di atas deck dan beban kerja mesin. Pada beban ini tegangan kerja yang terjadi sudah di luar batas aman struktur yaitu  $\sigma_{kerja}$  782,62 MPa > 310 MPa  $\sigma_{ijin}$ .



**Gambar 7.** Simulasi Tegangan Kerja di Deck Kamar Mesin dengan Beban 5.000 kN

Besar muatan yang dapat berada di atas deck hanya diberi ijin hingga 305,91 ton atau pada beban 3.000 kN seperti terlihat pada Gambar 3.

#### 4. KESIMPULAN

Penelitian ini membuktikan bahwa modifikasi kapal dengan menambah muatan pada bagian di atas kamar mesin harus memperhitungkan batas aman struktur disekitarnya. Batas maksimum muatan yang dapat ditambah di atas kamar mesin adalah sebesar 3.000 kN atau setara dengan 305,91 ton di mana tegangan kerja maksimum lebih kecil dari tegangan ijin  $\sigma_{kerja}$  210,51 MPa < 310 MPa  $\sigma_{ijin}$ . Jika ingin menambahkan muatan lebih dari batas aman maka kekakuan struktur di daerah ini harus ditambah dengan menambah besar modulus penampang. Pada penelitian ini tidak dibahas deformasi yang terjadi akibat beban yang diberikan.

#### UCAPAN TERIMA KASIH

Terimakasih disampaikan kepada kepala Laboratorium Struktur dan Kekuatan Kapal Program Studi Teknik Perkapalan Universitas Pattimura yang sudah memfasilitasi peneliti dalam melakukan simulasi dan olah data selama penelitian ini berlangsung.

#### DAFTAR PUSTAKA (Times New Roman, 11 pt, Bold)

- Böyükbaşı, D. Ç., Aslanlar, S., & Konar, M. (2023). Investigation of parameters affecting longitudinal seam quality of aluminum extruded profiles. *Journal of Radiation Research and Applied Sciences*, 16(4), 100700. <https://doi.org/10.1016/j.jrras.2023.100700>
- Cheng, X., Feng, B., Liu, Z., & Chang, H. (2018). Hull surface modification for ship resistance performance optimization based on Delaunay triangulation. *Ocean Engineering*, 153, 333–344. <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2018.01.109>

- Choi, H. J. (2015). Hull-form optimization of a container ship based on bell-shaped modification function. *International Journal of Naval Architecture and Ocean Engineering*, 7(3), 478–489. <https://doi.org/10.1515/ijnaoe-2015-0034>
- Cuenca, C. A., & Sarzosa, D. F. B. (2020). Modeling ductile fracture using critical strain locus and softening law for a typical pressure vessel steel. *International Journal of Pressure Vessels and Piping*, 183, 104081. <https://doi.org/10.1016/j.ijpvp.2020.104081>
- Feng, L., Li, D., Shi, H., Zhang, Q., & Wang, S. (2020). A study on the ultimate strength of ship plate with coupled corrosion and crack damage. *Ocean Engineering*, 200, 106950. <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2020.106950>
- Hosseinabadi, O. F., & Khedmati, M. R. (2021). A review on ultimate strength of aluminium structural elements and systems for marine applications. *Ocean Engineering*, 232, 109153. <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2021.109153>
- Imron, A. (2014). Kerusakan struktur akibat getaran lokal pada kapal yang jarang diperhatikan; Analisis dan solusi (Studi kasus). *Jurnal Kelautan Nasional*, 9(1), 11–19. <https://doi.org/10.15578/jkn.v9i1.6198>
- Lekatompessy, D. R. (2021). The effect analysis of the stiffness changes of a Traditional Fishing Boat Foundation on Vibration Amplitude. *TEKNIK*, 42(1), 71–78. <https://doi.org/10.14710/TEKNIK.V42I1.30978>
- Lekatompessy, D. R., & Zubaydi, A. (2019). The effect of joints model to the vibration characteristics of wood. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 339(1), 012038. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/339/1/012038>
- Magoga, T., Aksu, S., & Slater, K. (2023). Implementation of a nominal stress approach for the fatigue assessment of aluminium naval ships. *Procedia Structural Integrity*, 45, 28–35. <https://doi.org/10.1016/j.prostr.2023.05.010>
- Takeuchi, T., Osawa, N., Tatsumi, A., Inoue, T., Hirakawa, S., Seki, N., Yoshida, T., Miratsu, R., & Ikeda, S. (2023). Fatigue assessment of ship structures based on equivalent wave probability (EWP) concept (1st report): Proposal of EWP concept and its verification by 8600TEU container ship's onboard hull monitoring. *Marine Structures*, 91, 103476. <https://doi.org/10.1016/j.marstruc.2023.103476>
- Tamimi, M. F., Soliman, M., & Khandel, O. (2023). A comprehensive approach for quantifying the reliability of ship hulls under propagating fatigue cracks. *Ocean Engineering*, 279, 114488. <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2023.114488>
- Wang, H., Jiang, W., He, Z., & Peng, W. (2021). Analysis on surface mobility of an infinite beam-stiffened structure. *Applied Acoustics*, 172, 107590. <https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2020.107590>
- Woloszyk, K., Goerlandt, F., & Montewka, J. (2024). A methodology for ultimate strength assessment of ship hull girder accounting for enhanced corrosion degradation modelling. *Marine Structures*, 93, 103530. <https://doi.org/10.1016/j.marstruc.2023.103530>