

OPTIMALISASI JARAK BRACKET UNTUK MENGURANGI AMPLITUDO GETARAN PADA TONGKANG PACIFIC 311 MELALUI SIMULASI

Dimas Gunawan Panjaitan^{1,*}, Debby R. Lekatompessy¹, Reico H. Siahainenia¹

¹ Program Studi Teknik Perkapalan, Universitas Pattimura, Ambon, Indonesia

* E-mail: dmspanjaitan@gmail.com

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk menentukan jarak bracket yang optimal untuk meminimalkan amplitudo getaran, sehingga meningkatkan kekakuan dan kekuatan. Dimana hal ini adalah dua faktor penting dalam keandalan struktural. Objek penelitian ini adalah tongkang yang mengalami defleksi yang cukup besar. Kekakuan yang perlu ditingkatkan untuk mengurangi defleksi yang terjadi dilakukan dengan menganalisis letak bracket. Bracket digeser ke daerah kritis dengan tetap memperhatikan distribusi berat strukturnya. Penelitian menggunakan metode Non Destructive Evaluation (NDE) melalui program simulasi. Analisis terhadap modal dan response frequency digunakan untuk memperoleh nilai amplitudo. Nilai amplitudo digunakan untuk menganalisis kekakuan struktur. Bagian yang dianalisis adalah satu baris potongan tongkang yang terdiri dari 4 tangki. Jarak bracket diatur sehingga daerah kritis dapat dikurangi dengan menggunakan pola transmisibilitas getaran yang lebih merata. Daerah kritis berkurang kekakuan dan kekuatan struktur bertambah. Peningkatan kekakuan bertambah seiring dengan pengurangan nilai amplitudo akibat pergeseran bracket. Pada penelitian ini pergeseran bracket sejauh 150 mm mampu mengurangi nilai amplitudo hingga 53%.

Kata kunci: tongkang, amplitudo getaran, optimalisasi, simulasi, jarak bracket

ABSTRACT

This research aims to determine the optimal bracket spacing to minimize vibration amplitude, thereby increasing stiffness and strength, which are two important factors in structural reliability. The object of this study is a barge experiencing significant deflection. Stiffness needs to be improved to reduce the deflection by analyzing the placement of the brackets. Brackets are shifted to critical areas while considering the weight distribution of the structure. The research uses Non-Destructive Evaluation (NDE) methods through simulation programs. Modal and response frequency analysis are used to obtain amplitude values. These amplitude values are used to analyze the structural stiffness. The part analyzed is a row of the barge consisting of 4 tanks. The bracket spacing is adjusted so that critical areas can be reduced by using a more even vibration transmissibility pattern. Reducing critical areas increases the stiffness and strength of the structure. The increase in stiffness corresponds to the reduction in amplitude values due to the bracket shift. In this study, shifting the bracket by 150 mm was able to reduce the amplitude value by up to 53%.

Keywords: barge, vibration amplitude, optimization, simulation, bracket spacing

1. PENDAHULUAN

Konstruksi tongkang memiliki peran penting dalam industri perkapalan dan transportasi maritim, terutama untuk mengangkut barang-barang berat dan besar. Salah satu aspek kritis dalam desain konstruksi tongkang adalah analisis getaran, yang berhubungan langsung dengan stabilitas dan kekuatan struktural kapal (Wardhana *et al.*, 2018). Getaran yang tidak terkendali dapat menyebabkan kerusakan struktural, menurunkan umur pakai, dan meningkatkan risiko kegagalan

operasional (Lekatompessy, 2019; Lekatompessy, 2020; Salazar-Domínguez, 2021). Seiring dengan perkembangan teknologi dan peningkatan permintaan efisiensi dalam industri perkapalan, analisis yang lebih mendalam tentang faktor-faktor yang mempengaruhi getaran pada konstruksi tongkang menjadi sangat diperlukan.

Salah satu permasalahan utama yang dihadapi dalam desain konstruksi tongkang adalah penentuan jarak optimal antara bracket. Bracket berfungsi sebagai elemen pendukung yang memperkuat struktur, dan jarak yang tidak tepat dapat menyebabkan peningkatan amplitudo getaran. Amplitudo getaran yang tinggi tidak hanya mempengaruhi kenyamanan dan keselamatan operasional, tetapi juga dapat mengakibatkan kerusakan struktural yang signifikan (Lekatompessy, 2021). Dalam beberapa tahun terakhir, berbagai studi telah menunjukkan pentingnya analisis getaran untuk meningkatkan desain dan kinerja struktural kapal (Lekatompessy, 2022; Lekatompessy, 2023a). Namun, penelitian khusus mengenai pengaruh jarak bracket terhadap amplitudo getaran masih terbatas.

Berdasarkan latar belakang dan permasalahan yang diidentifikasi, rumusan masalah dalam penelitian ini adalah berapa besar pengaruh variasi jarak antar bracket terhadap upaya mereduksi nilai amplitudo getaran (Huo *et al.*, 2016; Li & Yang, 2020; Zhao & Wu, 2018; Wang & Li, 2022) pada konstruksi tongkang Pacific 311. Penelitian ini menggunakan metode simulasi yang meliputi *modal analysis*, *harmonic response*, dan *frequency response*. *Modal analysis* digunakan untuk mengidentifikasi mode bentuk getaran alami dari struktur. *Harmonic response* digunakan untuk menganalisis respons struktur terhadap beban dinamis, sementara *frequency response* digunakan untuk mempelajari respons frekuensi dari struktur terhadap beban yang diberikan. Analisis dilakukan pada kondisi awal tongkang dan setelah dilakukan perubahan jarak bracket. Diharapkan penelitian ini dapat memberikan kontribusi signifikan terhadap pengembangan desain konstruksi tongkang yang lebih efisien dan aman, serta menjadi referensi bagi para peneliti dalam bidang perkapalan.

2. TINJAUAN PUSTAKA

a. Pengaruh Pergeseran Bracket terhadap Amplitudo Getaran

Pengaruh jarak antar bracket terhadap stabilitas struktural tongkang merupakan aspek penting dalam desain dan konstruksi maritim. Bracket adalah elemen pendukung yang memperkuat struktur dan memainkan peran kunci dalam menjaga integritas dan stabilitas kapal. Berikut adalah beberapa poin utama mengenai pengaruh jarak antar bracket terhadap stabilitas struktural tongkang. Bracket membantu mendistribusikan beban secara merata di seluruh struktur tongkang. Jarak antar bracket yang optimal memastikan beban didistribusikan dengan baik, mengurangi tegangan pada titik-titik tertentu yang dapat menyebabkan kerusakan struktural (Zhao & Li, 2019). Jarak antar bracket yang tidak tepat dapat meningkatkan amplitudo getaran. Amplitudo getaran yang tinggi dapat menyebabkan kerusakan material, retakan, dan mempercepat keausan struktural. Penempatan bracket yang tepat membantu mengurangi amplitudo getaran, meningkatkan kenyamanan dan keselamatan operasional (Xu & Zeng, 2021). *Modal analysis* menunjukkan bahwa penempatan bracket mempengaruhi mode bentuk getaran alami dari struktur tongkang. Bracket yang ditempatkan dengan jarak yang sesuai dapat membantu menghindari resonansi pada frekuensi operasi tertentu, yang dapat menyebabkan kerusakan signifikan. Bracket yang ditempatkan terlalu jauh satu sama lain dapat menyebabkan beban terpusat pada area yang lebih kecil, meningkatkan risiko kegagalan struktural. Sebaliknya, jarak yang terlalu dekat dapat menambah berat dan biaya konstruksi tanpa manfaat signifikan terhadap stabilitas (Chen & Huang, 2020).

Analisis seperti *harmonic response* dan *frequency response* menunjukkan bahwa jarak antar bracket mempengaruhi respons dinamis struktur terhadap beban dinamis dan frekuensi. Desain yang optimal dapat mengurangi dampak beban dinamis dan meningkatkan umur pakai struktur (Kim & Lee, 2018) dan kekuatan ultimate kapal (Ilic & Momčilović, 2023). Untuk menghindari kegagalan konstruksi, dapat digunakan metode elemen hingga dalam menganalisis kekuatan tongkang (Abdullah *et al.*, 2023; Antartika *et al.*, 2020). Studi khusus tentang pengaruh

jarak antar bracket terhadap amplitudo getaran pada konstruksi tongkang, seperti yang dilakukan dalam penelitian terhadap tongkang Pacific 311, menggunakan metode simulasi untuk *modal analysis*, *harmonic response*, dan *frequency response*. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan panduan desain yang lebih baik untuk meningkatkan efisiensi dan keamanan struktur tongkang.

b. *Getaran Mekanis*

Getaran mekanis adalah gerakan bolak-balik suatu benda melalui suatu titik keseimbangan. Dalam getaran mekanis, terdapat beberapa rumus dasar yang sering digunakan. Berikut adalah beberapa rumus penting dalam getaran mekanis:

Periode Getaran (T):

$$T = 1/f \quad (1)$$

di mana T adalah periode getaran (waktu yang dibutuhkan untuk satu siklus penuh) dan f adalah frekuensi getaran.

Frekuensi Getaran (f)

$$f = 1/T \quad (2)$$

di mana f adalah frekuensi getaran (jumlah siklus per detik) dan T adalah periode getaran.

Frekuensi Sudut (ω)

$$\omega = 2\pi f \quad (3)$$

di mana ω adalah frekuensi sudut dan f adalah frekuensi getaran.

Persamaan Gerak Harmonik Sederhana

$$x(t) = A \cos(\omega t + \phi) \quad (4)$$

di mana $x(t)$ adalah posisi benda pada waktu t , A adalah amplitudo, ω adalah frekuensi sudut, dan ϕ adalah fase awal. Getaran mekanis terjadi ketika suatu benda bergerak bolak-balik melalui titik keseimbangan. Frekuensi getaran menunjukkan berapa kali gerakan bolak-balik terjadi dalam satu detik, sedangkan periode adalah waktu yang diperlukan untuk satu siklus penuh. Amplitudo adalah jarak maksimum dari titik keseimbangan, dan frekuensi sudut menghubungkan periode dan frekuensi getaran dengan perputaran sudut.

Berikut adalah beberapa langkah dan konsep yang dapat digunakan untuk menganalisis pengaruh pergeseran komponen konstruksi terhadap nilai amplitudo getaran. Pergeseran yang tepat dapat meningkatkan kinerja struktur. Analisis getaran dengan menjadikan amplitudo sebagai alat pendeteksi kekakuan dan kekuatan struktur dapat dilakukan sebagaimana dilakukan oleh peneliti sebelum (Lekatompessy, 2023b; Lekatompessy 2023c).

Rasio Redaman (ζ) digunakan di mana nilai c yang diperoleh dari langkah sebelumnya dipakai untuk menghitung rasio redaman:

$$\zeta = c/c_c \text{ dimana } c_c = 2\sqrt{km} \quad (5)$$

Amplitudo Getaran Teredam dapat menggunakan persamaan amplitudo getaran teredam untuk menentukan pengaruh pergeseran komponen konstruksi pada amplitudo getaran. pergeseran mempengaruhi nilai koefisien redaman c , yang kemudian mempengaruhi rasio redaman ζ . Rasio redaman ini mengubah amplitudo getaran seiring waktu. Secara umum, semakin kaku konstruksi, semakin tinggi koefisien redamannya, yang berarti lebih banyak energi yang hilang dalam setiap siklus getaran, sehingga amplitudo getaran akan lebih cepat menurun.

3. METODE PENELITIAN

Penelitian dilakukan di laboratorium Kekuatan dan Struktur Fakultas Teknik Universitas Pattimura, Ambon, yang dilengkapi dengan perangkat lunak simulasi yang memadai untuk menjalankan analisis Finite Element Analysis (FEA).

a. *Variabel Penelitian*

Variabel penelitian merupakan petunjuk untuk mencari data maupun segala informasi di lapangan, baik dengan menggunakan data sekunder, observasi maupun pengumpulan data primer dengan metode survey. Adapun variabel dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

$$y = f(x_1, x_2)$$

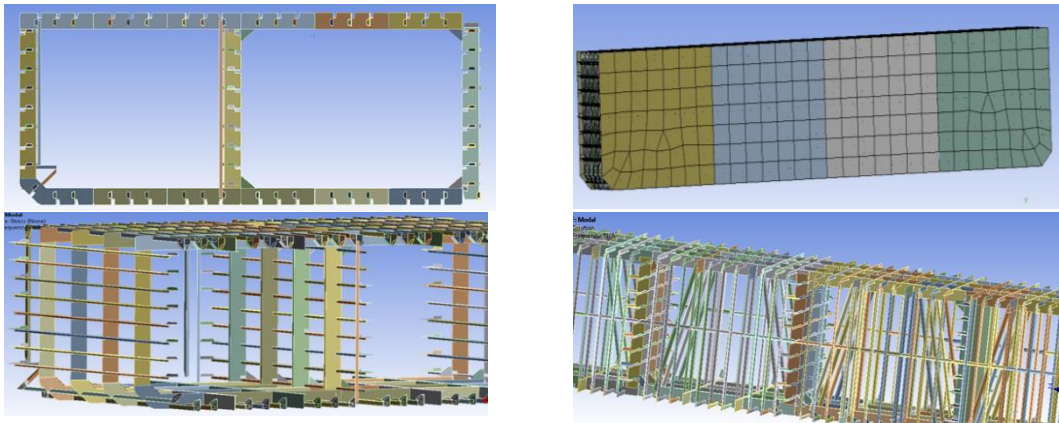
1. Variabel Terikat (y) adalah nilai amplitudo (mm)
2. Variabel bebas (x)
 - $x_1 = \text{jarak bracket original}$
 - $x_2 = \text{jarak bracket perpindahan}$

b. Langkah Pengerjaan Simulasi

Di bawah ini merupakan gambar tongkang Pasific 311 yang akan membawa batubara dengan berlokasi di Kalimantan. Data lengkap diperoleh langsung ke galangan dimana tongkang tersebut dibangun, dan ditinjau dari karyawan perusahaan asal Batam dimana tongkang tersebut dibangun.



Gambar 1. Tongkang Pasific 311 (Sumber: data penelitian)



Gambar 2. Komponen Rangka Tongkang (Sumber: data pribadi)

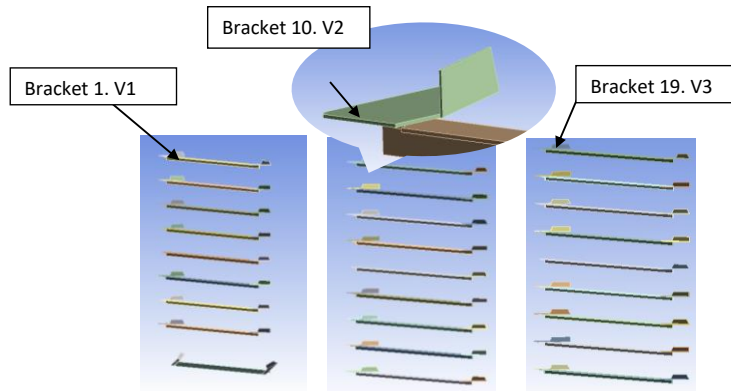
Dengan metode ini, diharapkan dapat memberikan gambaran yang jelas tentang pengaruh pergeseran bracket dalam void tank terhadap pengurangan nilai amplitudo getaran yang dapat meningkatkan kekakuan dan kekuatan struktur setempat.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

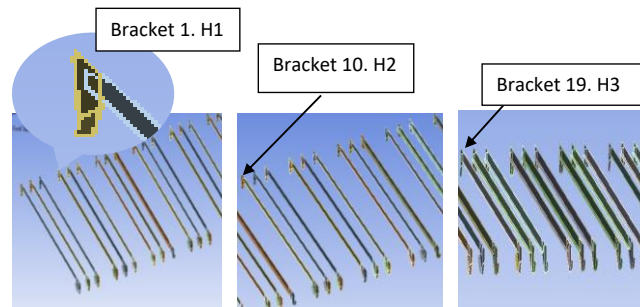
Gambar 3 menunjukkan bracket yang dipasang dengan urutan dari atas ke bawah. Terdapat 5 set bracket dari kiri ke kanan. Sementara, Gambar 4 menunjukkan bracket yang dipasang dengan urutan dari kiri ke kanan. Terdapat 9 set bracket dari atas ke bawah.

a. Hasil Analisis Amplitudo Bracket dalam arah Horisontal dan Vertikal Original dan Setelah Perpindahan Bracket

Hasil analisis tangki dari tongkang dilakukan terhadap dua kondisi, yaitu kondisi sebelum dilakukan perpindahan (original) dan setelah bracket dipindahkan sejauh 150 mm.



Gambar 3. Bracket Vertikal 1,2,3....dst



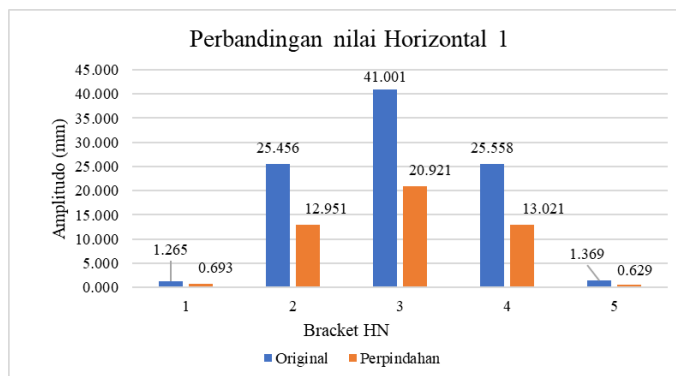
Gambar 4. Bracket Horizontal 1,2,3....dst

1) Amplitudo dalam arah Horizontal

Ada 9 bracket dalam arah horizontal yang dianalisis amplitudonya dalam kondisi original dan setelah pergeseran sejauh 150 mm. Tabel 1 dan grafik pada Gambar 5 menunjukkan nilai amplitudo pada baris 1 (bagian terluar kiri hingga ke kanan). Rata-rata pengurangan nilai amplitudo 50,712%.

Tabel 1. Tabel Perbandingan Amplitudo (mm) Horizontal 1

	Horizontal 1				
Bracket ke-n	1	10	19	28	37
Original	1.265	25.456	41.001	25.558	1.369
Perpindahan	0.693	12.951	20.921	13.021	0.629

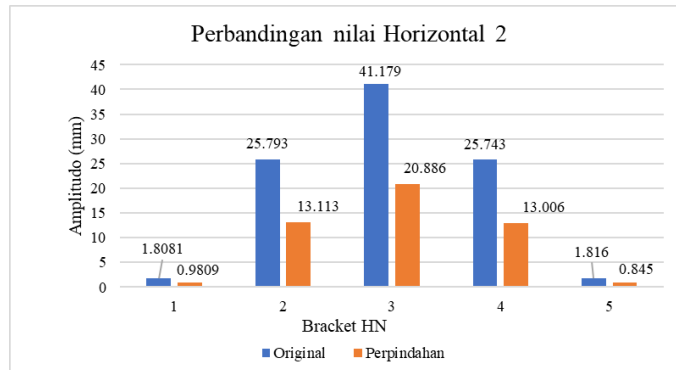


Gambar 5. Kurva Perbandingan Horizontal 1

Tabel 2 dan grafik pada Gambar 6 menunjukkan nilai amplitudo pada baris 2 (bagian terluar kiri hingga ke kanan). Rata-rata pengurangan nilai amplitudo 50,577%.

Tabel 2. Tabel Perbandingan Amplitudo (mm) Horizontal 2

Horizontal 2					
Bracket ke-n	2	11	20	29	38
Original	1.8081	25.793	41.179	25.743	1.816
Perpindahan	0.9809	13.113	20.886	13.006	0.845

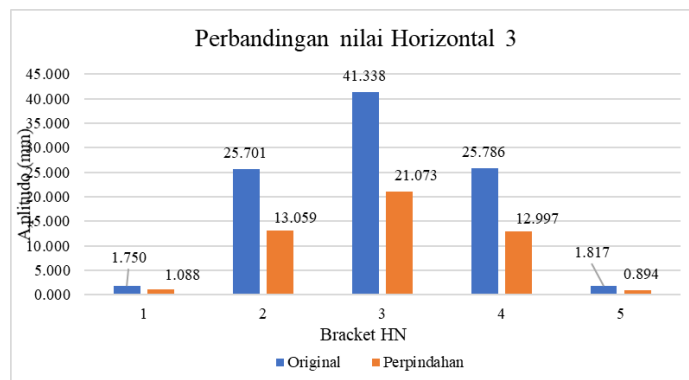


Gambar 6. Kurva Perbandingan Horizontal 2

Tabel 3 dan grafik pada Gambar 7 menunjukkan nilai amplitudo pada baris 3 (bagian terluar kiri hingga ke kanan). Rata-rata pengurangan nilai amplitudo 52,707%.

Tabel 3. Tabel Perbandingan Amplitudo (mm) Horizontal 3

Horizontal 3					
Bracket ke-n	3	12	21	30	39
Original	1.750	25.701	41.338	25.786	1.817
Perpindahan	1.088	13.059	21.073	12.997	0.894

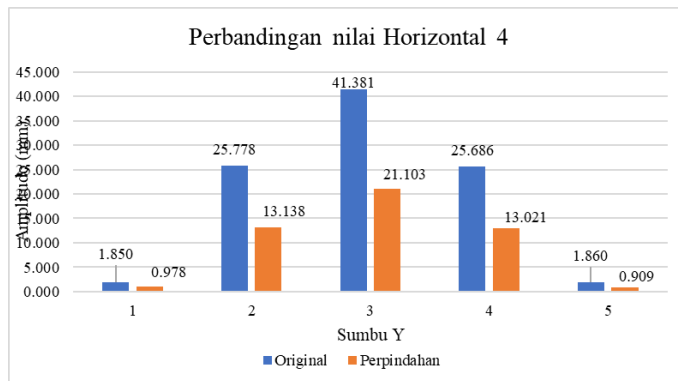


Gambar 7. Kurva Perbandingan Horizontal 3

Tabel 4 dan grafik pada Gambar 8 menunjukkan nilai amplitudo pada baris 4 (bagian terluar kiri hingga ke kanan). Rata-rata pengurangan nilai amplitudo 50,890%.

Tabel 4. Tabel Perbandingan Amplitudo (mm) Horizontal 4

Horizontal 4					
Bracket ke-n	4	13	22	31	40
Original	1.850	25.778	41.381	25.686	1.860
Perpindahan	0.978	13.138	21.103	13.021	0.909

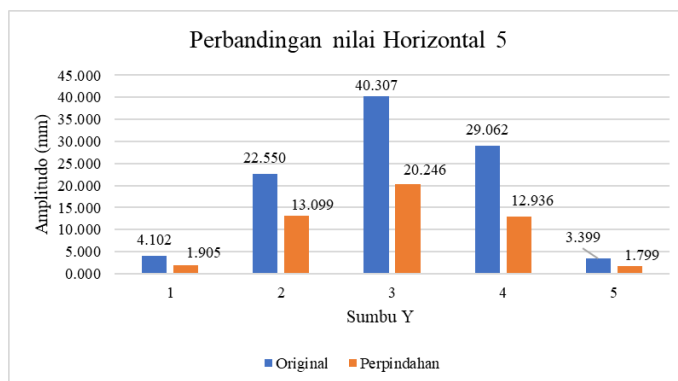


Gambar 8 Kurva Perbandingan Horizontal 4

Tabel 5 dan grafik pada Gambar 9 menunjukkan nilai amplitudo pada baris 1 (bagian terluar kiri hingga ke kanan). Rata-rata pengurangan nilai amplitudo 50,440%.

Tabel 5. Tabel Perbandingan Amplitudo (mm) Horizontal 5

Horizontal 5					
Bracket ke-n	5	14	23	32	41
Original	4.102	22.550	40.307	29.062	3.399
Perpindahan	1.905	13.099	20.246	12.936	1.799

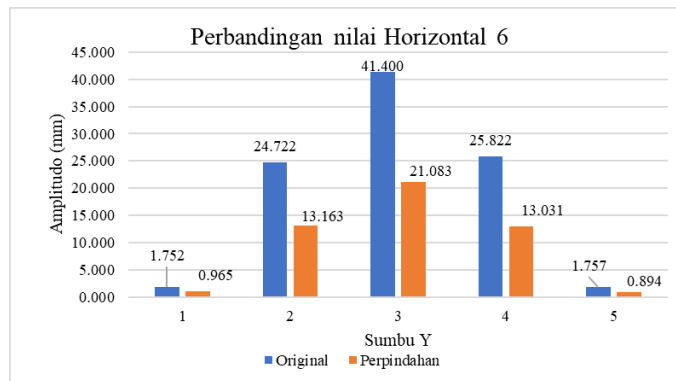


Gambar 9. Kurva Perbandingan Horizontal 5

Tabel 6 dan grafik pada Gambar 10 menunjukkan nilai amplitudo pada baris 6 (bagian terluar kiri hingga ke kanan). Rata-rata pengurangan nilai amplitudo 49,913%.

Tabel 6. Tabel Perbandingan Amplitudo (mm) Horizontal 6

Horizontal 6					
Bracket ke-n	6	15	24	33	42
Original	1.752	24.722	41.400	25.822	1.757
Perpindahan	0.965	13.163	21.083	13.031	0.894

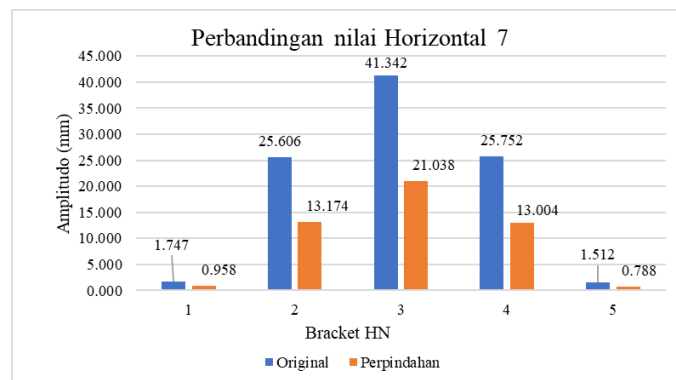


Gambar 10. Kurva Perbandingan Horizontal 6

Tabel 7 dan grafik pada Gambar 11 menunjukkan nilai amplitudo pada baris 7 (bagian terluar kiri hingga ke kanan). Rata-rata pengurangan nilai amplitudo 51,954%.

Tabel 7. Tabel Perbandingan Amplitudo (mm) Horizontal 7

Horizontal 7					
Bracket ke-n	7	16	25	34	43
Original	1.747	25.606	41.342	25.752	1.512
Perpindahan	0.958	13.174	21.038	13.004	0.788

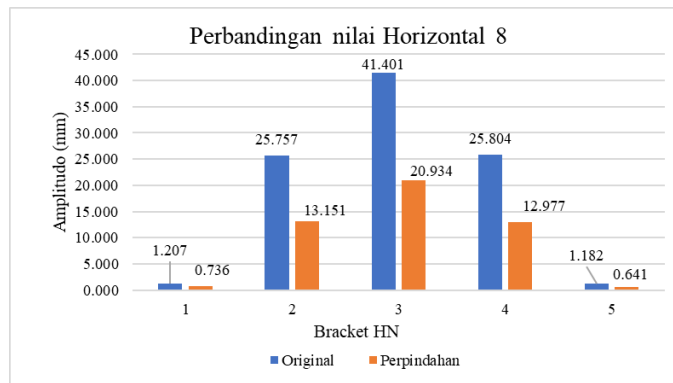


Gambar 11. Kurva Perbandingan Horizontal 7

Tabel 8 dan grafik pada Gambar 12 menunjukkan nilai amplitudo pada baris 8 (bagian terluar kiri hingga ke kanan). Rata-rata pengurangan nilai amplitudo 53,432%.

Tabel 8. Tabel Perbandingan Amplitudo (mm) Horizontal 8

Horizontal 8					
Bracket ke-n	8	17	26	35	44
Original	1.207	25.757	41.401	25.804	1.182
Perpindahan	0.736	13.151	20.934	12.977	0.641

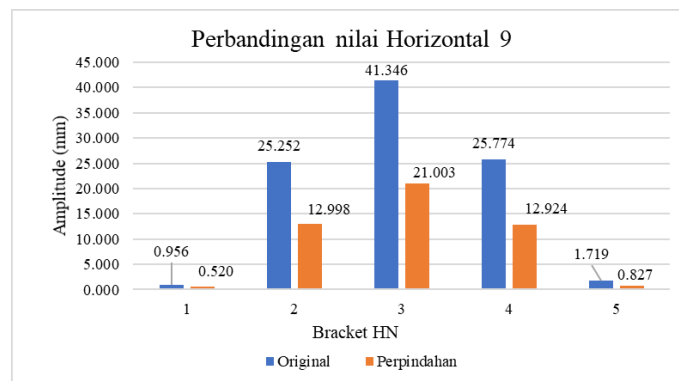


Gambar 12. Kurva Perbandingan Horizontal 8

Tabel 9 dan grafik pada Gambar 13 menunjukkan nilai amplitudo pada baris 9 (bagian terluar kiri hingga ke kanan). Rata-rata pengurangan nilai amplitudo 50,985%.

Tabel 9. Tabel Perbandingan Amplitudo (mm) Horizontal 9

Horizontal 9					
Bracket ke-n	9	18	27	36	45
Original	0.956	25.252	41.346	25.774	1.719
Perpindahan	0.520	12.998	21.003	12.924	0.827



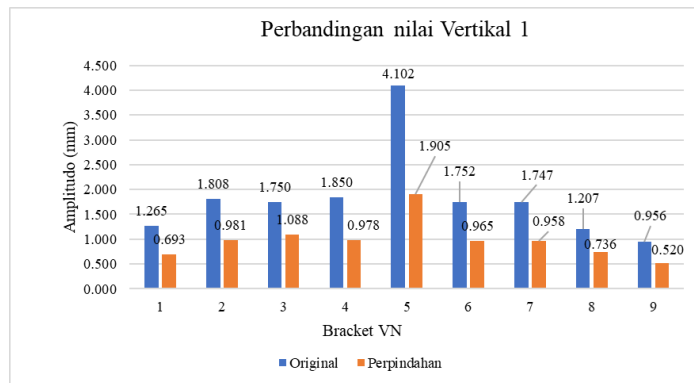
Gambar 13. Kurva Perbandingan Horizontal 9

2) Amplitudo dalam arah Vertikal

Ada 5 set bracket dalam arah vertikal yang dianalisis amplitudonya dalam kondisi original dan setelah pergeseran sejauh 150 mm. Tabel 10 dan grafik pada Gambar 14 menunjukkan nilai amplitudo pada kolom 1 (bagian terluar atas hingga ke bawah). Rata-rata pengurangan nilai amplitudo 44,909%.

Tabel 10. Tabel Perbandingan Amplitudo (mm) Vertikal 1

Vertikal 1									
Bracket ke-n	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Original	1.265	1.808	1.750	1.850	4.102	1.752	1.747	1.207	0.956
Perpindahan	0.693	0.981	1.088	0.978	1.905	0.965	0.958	0.736	0.520

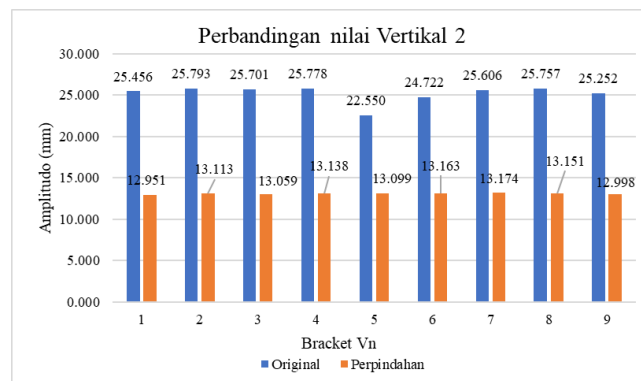


Gambar 14. Kurva Perbandingan Vertikal 1

Tabel 11 dan grafik pada Gambar 15 menunjukkan nilai amplitudo pada kolom 2 (bagian terluar atas hingga ke bawah). Rata-rata pengurangan nilai amplitudo 47,911%.

Tabel 11. Tabel Perbandingan Amplitudo (mm) Vertikal 2

Vertikal 2									
Bracket ke-n	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Original	25.456	25.793	25.701	25.778	22.550	24.722	25.606	25.757	25.252
Perpindahan	12.951	13.113	13.059	13.138	13.099	13.163	13.174	13.151	12.998

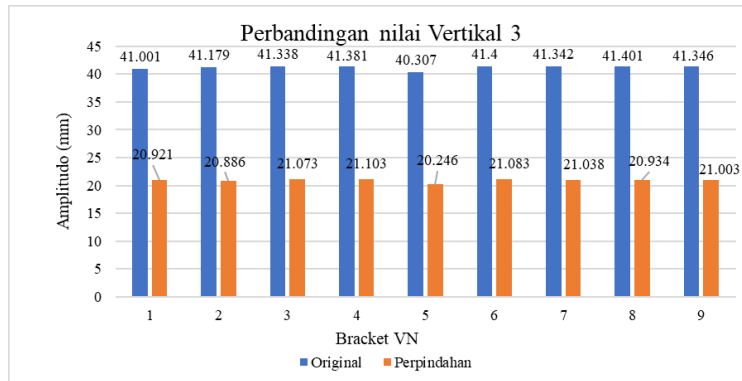


Gambar 15. Kurva Perbandingan Vertikal 2

Tabel 12 dan grafik pada Gambar 16 menunjukkan nilai amplitudo pada kolom 3 (bagian terluar atas hingga ke bawah). Rata-rata pengurangan nilai amplitudo 49,208%.

Tabel 12. Tabel Perbandingan Amplitudo (mm) Vertikal 3

Vertikal 3									
Bracket ke-n	19	20	21	22	23	24	25	26	27
Original	41.001	41.179	41.338	41.381	40.307	41.4	41.342	41.401	41.346
Perpindahan	20.921	20.886	21.073	21.103	20.246	21.083	21.038	20.934	21.003

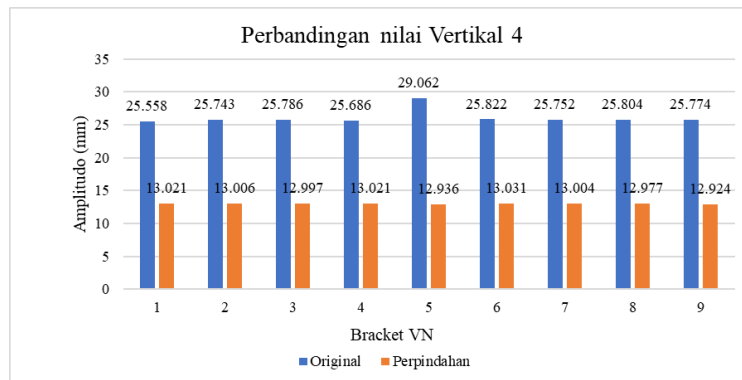


Gambar 16. Kurva Perbandingan Vertikal 3

Tabel 13 dan grafik pada Gambar 17 menunjukkan nilai amplitudo pada kolom 4 (bagian terluar atas hingga ke bawah). Rata-rata pengurangan nilai amplitudo 50,170%.

Tabel 13. Tabel Perbandingan Amplitudo (mm) Vertikal 4

Vertikal 4									
Bracket ke-n	28	29	30	31	32	33	34	35	36
Original	25.558	25.743	25.786	25.686	29.062	25.822	25.752	25.804	25.774
Perpindahan	13.021	13.006	12.997	13.021	12.936	13.031	13.004	12.977	12.924

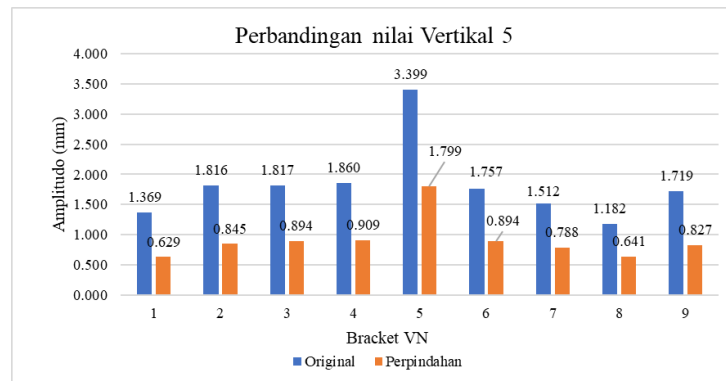


Gambar 17. Kurva Perbandingan Vertikal 4

Tabel 14 dan grafik pada Gambar 18 menunjukkan nilai amplitudo pada kolom 5 (bagian terluar atas hingga ke bawah). Rata-rata pengurangan nilai amplitudo 50,128%.

Tabel 14. Tabel Perbandingan Amplitudo (mm) Vertikal 5

Vertikal 5									
Bracket ke-n	37	38	39	40	41	42	43	44	45
Original	1.369	1.816	1.817	1.860	3.399	1.757	1.512	1.182	1.719
Perpindahan	0.629	0.845	0.894	0.909	1.799	0.894	0.788	0.641	0.827



Gambar 18. Kurva Perbandingan Vertikal 5

Setelah melakukan perubahan jarak pada bracket dengan variasi perpindahan 150 mm, nilai amplitudo dari masing masing bracket diukur pada titik-titik tertentu dan menghasilkan perbandingan antara bracket posisi original dan bracket setelah perpindahan. Dari hasil analisis perbandingan dapat dilihat perubahan pada nilai amplitudo dimana perubahan yang signifikan terjadi pada bagian bracket 19-27 baik pada bagian vertikal maupun horisontal. Pada arah getaran horizontal pengurangan nilai amplitudo berada dikisaran 49,9% hingga 53,4%. Penurunan nilai amplitudo pada arah getaran vertikal berada dikisaran 44,9% hingga 50,2% dibandingkan dengan kondisi awal. Perpindahan bracket sekitar 150 mm memiliki dampak yang positif dalam mengurangi nilai amplitudo. Penurunan nilai amplitudi disertai dengan penambahan kekakuan dan kekuatan konstruksi tangki pada tongkang yang dianalisis. Resiko kerusakan struktur akibat getaran dapat dikurangi.

5. KESIMPULAN

Penelitian ini menunjukkan bahwa pergeseran bracket sejauh 150 mm yang dilakukan mampu menurunkan nilai amplitudo secara signifikan dari tangki tongkang yang dianalisis. Amplitudo dalam arah vertikal maupun horisontal dapat dikurangi pada range 45% hingga 53%. Kekakuan struktur bertambah sehingga secara langsung dapat menambah kekuatan konstruksi tangki dari tongkang.

UCAPAN TERIMA KASIH

Kami mengucapkan terima kasih yang tak terhingga kepada Laboratorium Kekuatan dan Struktur Teknik Perkapalan Universitas Pattimura atas dukungan dan fasilitas yang telah diberikan selama penelitian ini berlangsung.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdullah, K., Sumardiono, S., & Soeroso, H. (2023). Strength Analysis of the Deck Crane Barge Using the Finite Element Method. *EAI Endorsed Transactions on Energy Web*, 10(42), e8. <https://doi.org/10.4108/eai.11-10-2022.2326425>
- Antartika, M. P., Budianto, B., Ari, M., & Suastika, K. (2020). PERBANDINGAN HASIL ANALISIS METODE ELEMEN HINGGA BERBASIS SOFTWARE DENGAN SIMPLE SUPPORTED CALCULATION PADA KAPAL 50 PAX CRANE BARGE. *Jurnal Ilmiah*, 12(1), 45-52. <https://doi.org/10.30871/JI.V12I1.1451>
- Chen, L., & Huang, H. (2020). Structural integrity analysis of marine platforms under dynamic loading conditions. *Ocean Engineering*, 220, 108512. [doi:10.1016/j.oceaneng.2020.108512](https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2020.108512)
- Huo, F., Yang, D., & Zhao, Y. (2016). Vibration reduction design with hybrid structures and topology optimization. *Polish Maritime Research*, 23(s1), 10-19. <https://doi.org/10.1515/pomr-2016-0040>

- Ilic, N., & Momčilović, N. (2023). On ultimate strength of an inland waterway barge. *FME Transactions*, 51(1), 90-97. <https://doi.org/10.5937/fme2301090i>
- Kim, D. H., & Lee, C. S. (2018). Frequency response characteristics of ship hull structures in dynamic environments. *Journal of Vibration and Control*, 24(12), 2497-2510. doi:10.1177/1077546318773201
- Lekatompessy, D. R. dan Zubaydi, A. (2019) The effect of joints model to the vibration characteristics of wood. *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.* 339 012038 DOI 10.1088/1755-1315/339/1/012038
- Lekatompessy, D. R. (2020). TINJAUAN PENGARUH PERUBAHAN DIMENSI PONDASI KAPAL IKAN TRADISIONAL TERHADAP NILAI AMPLITUDO GETARAN. *ALE Proceeding*, 3, 7-13. <https://doi.org/10.30598/ale.3.2020.7-13>
- 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., Titihuru, C., Titirloloby, A., & Panjaitan, D. (2022). KARAKTERISTIK GETARAN PADA DINDING KAPAL PENUMPANG BERMATERIAL FIBER REINFORCED PLASTIC AKIBAT OPERASIONAL MESIN INDUK. *ALE Proceeding*, 5, 110-115. <https://doi.org/10.30598/ale.5.2022.110-115>
- Lekatompessy D. R. (2023a). Local vibration reduction of machine support systems through transmissibility pattern analysis in resonant construction. *AIP Conf. Proc.* 23 January 2023; 2588 (1): 040012. <https://doi.org/10.1063/5.0111908>
- Lekatompessy D. R. (2023b); Analysis of the effect of engine rotation on vibration amplitude in the engine room of aluminum ship. *AIP Conf. Proc.* 23 January 2023; 2588 (1): 040014. <https://doi.org/10.1063/5.0111911>
- Lekatompessy D. R. (2023c); Analysis of rubber as reduction vibration material on FRP ship walls. *AIP Conf. Proc.* 23 January 2023; 2588 (1): 040007. <https://doi.org/10.1063/5.0111899>
- Li, B., & Yang, H. (2020). Design of active vibration reduction system for intelligent ship mechanical equipment. In X. Bai & H. Zhou (Eds.), *Advances in Water Resources, Environmental Protection, and Intelligent Systems* (pp. 233-245).
- Salazar-Domínguez, C.M.; Hernández-Hernández, J.; Rosas-Huerta, E.D.; Iturbe-Rosas, G.E.; Herrera-May, A.L. (2021) Structural Analysis of a Barge Midship Section Considering the Still Water and Wave Load Effects. *J. Mar. Sci. Eng.*, 9, 99. <https://doi.org/10.3390/jmse9010099>
- Wang, J., & Li, C. (2022). Vibration Reduction of a Non-Linear Ship Model Using Positive Position Feedback Controllers. *International Journal of Dynamics and Control*, 10(4), 543-552. <https://doi.org/10.1007/s40435-021-00817-3>
- Wardhana, W., Hadiwidodo, Y. S., & Siswanto, F. (2018). Strength Analysis and Sea-Fastening Design of Container Crane Structure for Heavy Lifting Sea Transportation. *Applied Mechanics and Materials*, 874, 147-152. <https://doi.org/10.4028/WWW.SCIENTIFIC.NET/AMM.874.147>
- Xu, Y., & Zeng, W. (2021). Vibration characteristics of offshore wind turbine structures. *Journal of Marine Science and Technology*, 26(3), 567-578. doi:10.1007/s00773-021-00773-x
- Zhao, Y., & Wu, H. (2018). Laminate component method for optimal design of hybrid structures for ship vibration reduction. *Marine Structures*, 62, 134-142.
- Zhao, X., & Li, Y. (2019). Impact of bracket placement on the vibration modes of marine structures. *Marine Structures*, 65, 25-35. doi:10.1016/j.marstruc.2019.01.001