

KARAKTERISTIK GETARAN PADA DINDING KAPAL PENUMPANG BERMATERIAL FIBER REINFORCE PLASTIC AKIBAT OPERASIONAL MESIN INDUK

Debby R. Lekatompessy¹, Christopher C. Titihuru², Agustinus S. Titirloloby³ dan Dimas G. Panjaitan⁴

¹ Jurusan Teknik Perkapalan Fakultas Teknik Universitas Pattimura, Ambon 97233

E-mail: de.lekatompessy@gmail.com

² Jurusan Teknik Perkapalan Fakultas Teknik Universitas Pattimura, Ambon 97233

Email: christotitihuru5@gmail.com

³ Jurusan Teknik Perkapalan Fakultas Teknik Universitas Pattimura, Ambon 97233

Email: sanlastitirloloby@gmail.com

⁴ Jurusan Teknik Perkapalan Fakultas Teknik Universitas Pattimura, Ambon 97233

Email: dmaspanjaitan@gmail.com

Abstrak. Salah satu sumber getaran pada kapal adalah akibat kerja mesin induk. Material struktur menjadi salah satu penentu besarnya amplitudo yang terjadi. Kapal monohull dengan penggunaan 3 mesin menjadi objek dari penelitian ini. Getaran pada dinding di ruang penumpang menjadi penting ketika amplitudo yang terjadi mengganggu penumpang di dalamnya. Karakteristik getaran perlu diketahui agar dapat dicarikan solusi untuk mengatasinya. Pengukuran getaran langsung di kapal menggunakan vibrometer dan dilanjutkan dengan menggunakan simulasi hingga diperoleh karakteristik getaran pada dinding kapal ini. Hasil pengukuran di lapangan menunjukkan angka amplitudo di atas 0,2 mm melebihi batas yang diijinkan yaitu 0,02 mm. Diperlukan simulasi untuk menggambarkan distribusi getaran pada dinding kapal. Hal ini untuk mempermudah proses analisa pola distribusi getaran. Hasil simulasi pada dinding kapal menunjukkan bahwa getaran dalam arah vertikal mempunyai nilai amplitudo yang lebih besar dan frekuensi lebih rendah dibandingkan arah getaran horisontal. Hal ini mengindikasikan konstruksi dalam keadaan buruk jika frekuensi natural dari sistem tersebut mendekati nilai frekuensi eksitasi akibat operasional mesin. Getaran yang diteruskan dari sumber getaran tidak teredam dengan baik. Hal ini ditunjukkan dengan besarnya nilai amplitudo yang mencapai 10 kali lebih besar dari amplitudo arah getaran horisontal. Penelitian ini menunjukkan diperlukan peredam pada bagian dinding kapal agar getaran dalam arah vertikal dapat dikurangi. Adapun cara meredam getaran dapat dilakukan dengan berbagai cara. Solusi untuk mengurangi getaran ini menjadi peluang untuk dilakukan penelitian lainnya.

Kata kunci: getaran, amplitudo, dinding kapal, redaman

Abstract. One source of vibration on the ship is the result of the main engine working. The structural material is one of the determinants of the magnitude of the amplitude that occurs. The monohull ship with the use of 3 engines is the object of this research. Vibration on the walls in the passenger compartment becomes important when the occurring amplitude disturbs the passengers inside. Vibration characteristics need to be known to find a solution to overcome them. Using simulations to measure direct vibration on the ship using a vibrometer continued to obtain the characteristics of the vibrations on the ship's walls. The results of field measurements show that the amplitude is above 0.2 mm, exceeding the allowable limit of 0.02 mm. Simulation is needed to describe the distribution of vibrations on the ship's walls. This is to simplify the process of analyzing the vibration distribution pattern. The simulation results on the ship's wall show that the vibration in the vertical direction has a greater amplitude value and a lower frequency than the horizontal vibration direction. This indicates the construction is in bad condition if the system's natural frequency is close to the

excitation frequency value due to engine operation. Vibrations transmitted from the vibration source are not well damped in the vertical direction. This is indicated by the magnitude of the amplitude value which reaches 10 times greater than the amplitude of the horizontal vibration direction. This study shows that a damper is needed on the ship's wall to reduce vibrations in the vertical direction. How dampen vibrations can be done in various ways. The solution to reducing this vibration becomes an opportunity for other research.

Keywords: vibration, amplitude, ship walls, damper.

1. PENDAHULUAN

Penelitian mengenai material Fibre Reinforced Plastic (FRP) sudah banyak dilakukan orang dari berbagai aspek teknis termasuk kekuatan material jenis ini [1], [2]. Getaran pada material FRP sendiri sudah dilakukan oleh beberapa peneliti [3]–[5]. Tetapi karakteristik getaran khususnya pada kapal bermaterial FRP belum banyak [6]–[8]. Setiap material punya kelebihan dan kekurangan dari berbagai segi karenanya beberapa peneliti melakukan kajian mengenai kemungkinan dilakukan kombinasi dua jenis material seperti baja dan FRP bahkan material sandwich yang sekarang sementara menarik perhatian para perekayasa material [9], [10]. Bahkan material FRP digunakan juga untuk memperkuat penyambungan dua jenis material berbeda [11].

Getaran material FRP pada pengukuran di lapangan, ditemukan besar amplitudo yang melebihi batas ijin. Pada penelitian ini getaran pada struktur kapal dilihat pada bagian dinding kapal di ruang penumpang yang tepat berada di atas ruang kamar mesin tempat mesin induk bekerja. Karakteristik getaran dapat menunjukkan bagian kritis dari struktur yang ditinjau dimana titik-titik tersebut merupakan bagian dimana resonansi terjadi. Resonansi adalah hal yang paling dihindari dalam melakukan analisa getaran. Frekuensi eksitasi harus dijauhkan dari nilai frekuensi naturalnya. Pada kapal frekuensi rendah dihindari dengan menaikkan frekuensi eksitasi sistem.

Analisis getaran lokal dilakukan untuk memprediksi lokasi kritis struktur akibat resonansi yang terjadi dengan metode Finite Element Analysis (FEA) [12]. Amplitudo wujud dari displasemen dalam satuan mm yang terjadi akibat adanya getaran sebagai pengganggu dijadikan alat ukur. Semakin kecil amplitudo yang dihasilkan maka akan semakin baik untuk struktur dari segi kekuatan dan keamanannya. Banyak yang sudah dilakukan orang untuk mengatasi atau mengurangi nilai amplitudo ini [13].

Berbagai metode diterapkan untuk mengatasi getaran dengan menggunakan peredam dari berbagai

material dan menambah massa sistem serta menaikkan nilai kekakuan sistem disekitarnya [14]. Pada kapal yang sudah beroperasi maka alternatif yang paling mungkin untuk dilakukan adalah dengan menambahkan peredam pada sistem di tempat yang tepat [15]. Agar dapat digunakan peredam yang tepat maka karakteristik getaran dari struktur kapal yang akan ditinjau harus diketahui.

Banyak industri tertinggal dari penelitian kontrol struktur terbaru dan menajejemennya sekarang ini seperti yang dilakukan oleh Koutsoloukas et al. [16]. Karena alasan ini maka penelitian ini dilakukan sebagai langkah awal untuk mengetahui karakteristik getaran pada kapal bermaterial FRP. Terutama pada tempat yang terdampak yaitu di atas kamar mesin. Material FRP adalah material komposite yang juga tergolong dalam material isolator dalam meredam getaran [15].

2. BAHAN DAN METODE

2.1. Data kapal Express Cantika 88

Kapal Express Cantika 88 ditunjukkan pada Gambar 1. Sementara, gambar mesin induk kapal ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 1. Kapal Express Cantika 88

Sementara, data teknik kapal dan mesin induknya adalah sebagai berikut:

Nama Kapal	: Express Cantika 88
Jenis Kapal	: Penumpang Cepat

- Material Kapal : FRP
- Panjang Kapal : 40.46m
- Lebar Kapal : 6.75m
- Tinggi sarat : 1.20m
- Merek Mesin Induk : Carterpillar
- Daya (MCR) : 1450 BHP
- Rpm : 2300 Rpm
- Panjang mesin : 212 cm
- Lebar mesin : 152 cm
- Tinggi mesin : 158,75 cm



Gambar 2. Mesin induk kapal Express Cantika 88

Gaya eksitasi sebagai akibat kerja mesin induk adalah: $F = 5543.76 \text{ N}$. Data Kamar Mesin diuraikan sebagai berikut:

- Bahan Sekat: Fiberglass
- Panjang K/M: 17.6 m
- Lebar: 6.68 m

Sebagai bahan masukan untuk program simulasi, dibutuhkan data geometri dari material FRP, sebagai berikut:

- Density = 2500 Kg/m³
- Young’s Modulus = 7,2E+10 Pa
- Poisson’s Ratio = 0,22

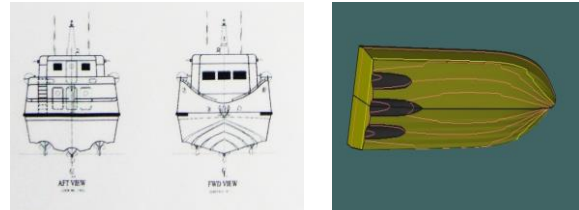
Selain itu, dibutuhkan juga data *structural steel*, sebagai berikut:

- Density = 7850 Kg/m³
- Young’s Modulus = 2E+11 Pa
- Poisson’s Ratio = 0,3

Adapun bagian konstruksi model kapal dan ukuran bagian-bagian konstruksi kapal ditunjukkan pada Gambar 3. Semnatara, Gambar 4 menunjukkan bentuk kapal dan penggambarannya dengan aplikasi Maxsurf.

Ukuran Konstruksi	Dimensi (mm)
Jarak Gading	600
Ukuran Gading	200 x 150
Ukuran FRP Pondasi	400 x 150 x 23
Keel	28
Side shell laminates	15
Bottom shell laminates	16
Deck	13
Frame	15
Ukuran Metal Cup	290 x 15 x 15
Bracket	15
Penegar	40 x 5

Gambar 3. Bagian konstruksi pada model dan ukuran bagian-bagian konstuksi



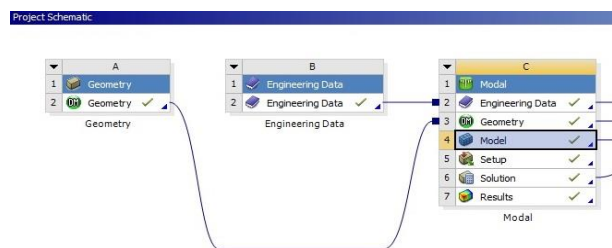
Gambar 4. Model kapal (Cantika 88) & penggambaran pada maxsurf

Simulasi

Software yang digunakan adalah salah satu perangkat lunak berbasis metode elemen hingga yang dipakai untuk menganalisa masalah-masalah rekayasa (engineering), menyediakan fasilitas untuk berinteraksi antar solvers juga dapat berintegrasi dengan perangkat lunak lainnya sehingga memudahkan pengguna dalam membangun model geometri dengan berbagai perangkat lunak sesuai Gambar (lihat Gambar 3 dan 4).

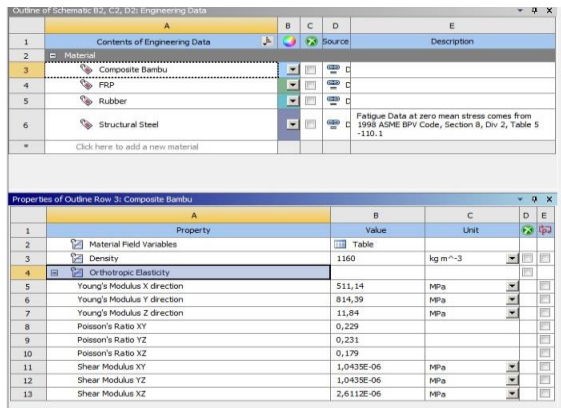
Modal Analysis

Modal analisis merupakan salah satu dari sekian banyak *tools/software* yang digunakan untuk ada dalam proses analisa dimana dalam *Modal Analysis* akan dicari frekuensi natural. Sebelum masuk pada Modal untuk ada dalam proses meshing. Kemudian dilanjutkan dengan menghubungkan Geometri dan *Engineering data* dengan modal dimana fungsi dari engineering data agar jenis material yang dipakai sebagai bahan peredam dapat dipilih secara otomatis sesuai dengan yang ada pada tools tersebut atau dapat dimasukan secara manual jika jenis material yang diinginkan tidak tertera dalam *tools*, Proses ini dapat dilakukan dengan menggunakan bagan pada Gambar 5.

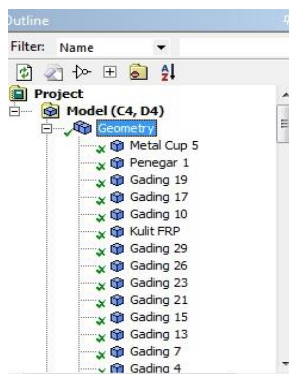


Gambar 5. Transfer data dari geometri dan engineering data ke modal

Setelah mentransfer data dari geometri dan *engineering data* ke modal (Gambar 5), selanjutnya dilakukan pengisian data jenis material (Gambar 6). Setelah itu, dilakukan pergantian nama pada *parts* di geometri sesuai nama konstruksi sesuai dengan konstruksi yang ada di kapal (Gambar 7).



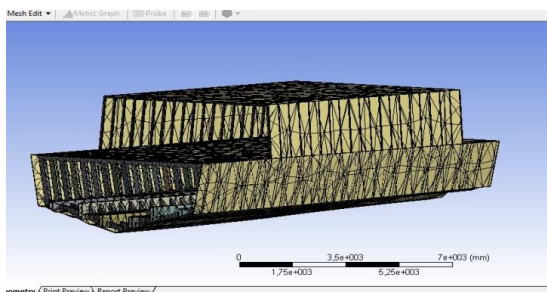
Gambar 6. Pengisian data jenis material



Gambar 7. Pergantian nama part sesuai konstruksi kapal dan pengisian jenis material

Setelah melakukan pergantian *parts* dengan nama konstruksi kapal dan pengisian jenis material, selanjutnya dilakukan proses persiapan meshing dengan mendefinisikan pemilihan grid mesh atau *relevance* yang akan dipakai yaitu geometri untuk membantu dalam pembuatan surface pada bagian kapal yang masih belum berhubungan.

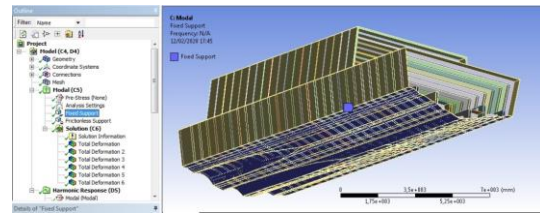
Terlihat pada *connection* di geometri, sesudah itu dilanjutkan dengan pengaturan mesh. Setelah pengaturan mesh selesai kemudian dilanjutkan dengan proses *generate mesh* Gambar 8.



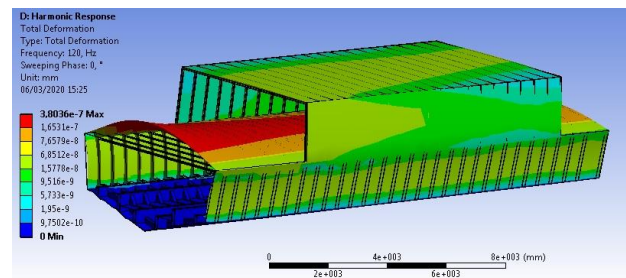
Gambar 8. Hasil *meshing* pada model

Setelah proses meshing digunakan kondisi batas *fixed support* dan *frictionless support*. Pada bagian lunas, Sistem dieksitasi pada frekuensi pribadinya. Kemudian dilakukan generate mesh sehingga dapat

dilihat frekuensi natural, Proses ini dapat dilihat pada Gambar 8 & Gambar 9.



Gambar 9. Kondisi batas menggunakan *fixed support* dan *frictionless support*



Gambar 10. Total deformasi sistem hasil simulasi

Harmonic Response

Harmonic response adalah salah satu tools/software yang digunakan untuk mencari frekuensi dan amplitudo pada kondisi struktur dinding yang dapat dilihat pada gambar 10.

Sebelum ada dalam penentuan bagian struktur yang akan di tinjau pada kapal, kemudian dilanjutkan dengan menghubungkan modal dengan Harmonic response dalam hal ini mentransfer data dari Modal ke Harmonic Response. Kemudian dilakukan pengaturan frekuensi range minimum dan maksimum dan juga solution intervals. Amplitudo yang dihasilkan menunjukkan getaran yang terjadi ketika gaya eksitasi diberikan pada sistem. Analisis modal menghasilkan frekuensi natural dan harmonik respons menghasilkan frekuensi eksitasi. Keduanya merupakan parameter penting dalam menentukan apakah sistem mengalami resonansi atau tidak.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Analisis Modal

Analisis modal dilakukan untuk memperoleh nilai frekuensi natural sistem. Pada penelitian ini hasil dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil Frekuensi Natural

Mode	Frequency (Hz)
1	39,25
2	43,392
3	77,181
4	83,8
5	92,029
6	95,869

Frekuensi ini merupakan frekuensi dari 6 modus getar tanpa gaya yang dikenai pada sistem dan tanpa penjepitan. Pada mode-1 sampai dengan mode-3 menunjukkan arah getaran dilatasi terhadap sumbu x , y dan z sedangkan mode-4 sampai dengan mode-6 menunjukkan arah getaran rotasional terhadap masing-masing sumbu x , y dan z . Arah sumbu y adalah arah getaran vertikal sedangkan x dan z merupakan arah getaran horisontal. Untuk mengetahui karakteristik getaran maka diperlukan data hasil frekuensi eksitasi pada analisis harmonik respons.

3.2. Analisis Harmonik Respons

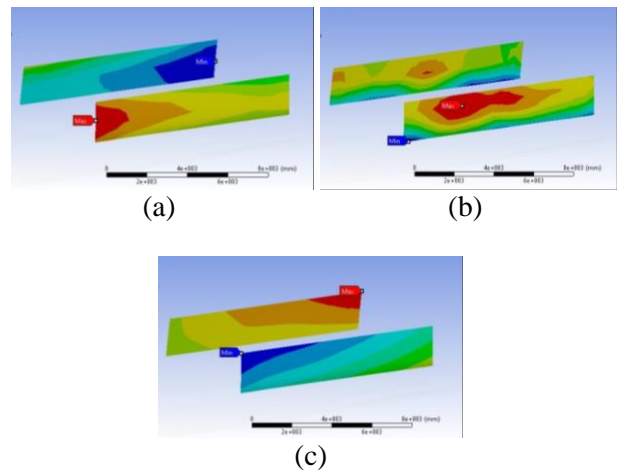
Hasil perhitungan Frekuensi dan Amplitudo berdasarkan *harmonic response* berdasarkan sumbu x , y , dan z ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. *Harmonic response* sistim berdasarkan arah sumbu x , y , dan z

No.	Sumbu x		Sumbu y		Sumbu z	
	Frequency (Hz)	Amplitude (mm)	Frequency (Hz)	Amplitude (mm)	Frequency (Hz)	Amplitude (mm)
1	22	6,75E-08	22	2,19E-07	22	2,83E-09
2	24	7,16E-08	24	2,27E-07	24	2,87E-09
3	26	7,67E-08	26	2,36E-07	26	2,91E-09
4	28	8,30E-08	28	2,48E-07	28	2,95E-09
5	30	9,09E-08	30	2,64E-07	30	3,00E-09
6	32	1,01E-07	32	2,88E-07	32	3,04E-09
7	34	1,15E-07	34	3,26E-07	34	3,09E-09
8	36	1,33E-07	36	4,05E-07	36	3,12E-09
9	38	1,60E-07	38	7,20E-07	38	3,14E-09
10	40	1,99E-07	40	5,99E-07	40	3,09E-09
11	42	2,30E-07	42	2,67E-08	42	2,83E-09
12	44	8,88E-07	44	5,95E-08	44	1,10E-09
13	46	7,75E-06	46	1,48E-07	46	8,54E-09
14	48	7,88E-07	48	1,86E-07	48	5,55E-09
15	50	3,64E-07	50	2,16E-07	50	5,32E-09
16	52	2,35E-07	52	2,43E-07	52	5,42E-09
17	54	1,74E-07	54	2,70E-07	54	5,67E-09
18	56	1,38E-07	56	2,99E-07	56	6,04E-09
19	58	1,15E-07	58	3,33E-07	58	6,56E-09
20	60	9,98E-08	60	3,72E-07	60	7,28E-09
21	62	8,90E-08	62	4,21E-07	62	8,32E-09
22	64	8,14E-08	64	4,83E-07	64	1,00E-08
23	66	7,66E-08	66	5,67E-07	66	1,36E-08
24	68	7,44E-08	68	6,86E-07	68	2,88E-08
25	70	7,56E-08	70	8,71E-07	70	2,08E-08
26	72	8,29E-08	72	1,20E-06	72	8,36E-10
27	74	1,08E-07	74	1,94E-06	74	3,97E-09
28	76	3,63E-07	76	5,17E-06	76	7,41E-09
29	78	5,40E-08	78	7,38E-06	78	1,17E-08
30	80	1,30E-08	80	2,13E-06	80	2,25E-08
31	82	1,46E-07	82	1,23E-06	82	7,06E-09
32	84	3,37E-08	84	8,59E-07	84	1,90E-08
33	86	8,52E-09	86	6,60E-07	86	5,48E-08
34	88	7,77E-10	88	5,33E-07	88	7,05E-07
35	90	3,02E-09	90	4,45E-07	90	7,96E-08
36	92	5,61E-09	92	4,10E-07	92	1,55E-07
37	94	1,14E-09	94	3,32E-07	94	1,09E-08
38	96	5,53E-09	96	2,92E-07	96	1,99E-09

Dari data di atas dapat diketahui frekuensi dan amplitudo pada dinding kapal pada kondisi maksimum, frekuensi pada dinding kapal untuk sumbu x berada pada kisaran 46 Hz dengan amplitudo 7,75E-06 mm dan kekakuan 2,14E+07 N/mm, untuk sumbu y frekuensi berada pada kisaran 78 Hz dengan amplitudo 7,38E-06 mm dan kekakuan 2,25E+07 N/mm, serta untuk sumbu z frekuensi berada pada kisaran 88 Hz dengan amplitudo 7,05E-06 mm dan kekakuan 2,36E+08 N/mm. Berikut adalah hasil running berdasarkan arah getaran sumbu pada dinding kapal.

Berdasarkan hasil simulasi untuk sistim tanpa peredam pada *harmonic response* maka diketahui daerah kritis sesuai dengan arah getaran sumbu x , y , z yang dapat dilihat pada Gambar 11.



Gambar 11. Hasil simulasi pada (a) sumbu x (b) sumbu y dan (c) sumbu z

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pembahasan di atas frekuensi eksitasi masih memiliki nilai yang terlalu dekat dengan frekuensi natural sistem dimana kondisi ini rentan terjadinya resonansi atau lonjakan nilai amplitudo. Semakin tinggi nilai kekakuan dari sistem maka nilai amplitudo semakin kecil. Untuk mengatasi dapat dilakukan dengan menambah kekakuan sistem atau menambah peredam pada sistem sehingga nilai amplitudo dapat dikurangi. Hasil simulasi menunjukkan bagian kritis dari struktur. Sehingga hal ini membuka peluang untuk dilakukan penelitian lebih lanjut dalam upaya mengurangi getaran yang terjadi pada dinding kapal.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih disampaikan kepada Pimpinan Fakultas Teknik Universitas Pattimura yang sudah memberi dukungan baik fasilitas melalui dana PNBPN sehingga penelitian ini dapat diselesaikan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. H. Ali, A. Gouda, H. M. Mohamed, M. H. Rabie, and B. Benmokrane, “Nonlinear finite elements modeling and experiments of FRP-reinforced concrete piles under shear loads,” *Structures*, vol. 28, pp. 106–119, Dec. 2020, doi: 10.1016/j.istruc.2020.08.047.
- [2] E. Monaldo, F. Nerilli, and G. Vairo, “Effectiveness of some technical standards for debonding analysis in FRP-concrete systems,” *Composites Part B: Engineering*, vol. 160, pp. 254–267, Mar. 2019, doi: 10.1016/j.compositesb.2018.10.022.
- [3] K. Dileep Kumar, S. B. Sarathchandra, S. M. Madhusudanprasad, and K. Prasad, “Effect of delamination on natural frequencies of laminated FRP composite plate,” *Materials Today: Proceedings*, Oct. 2022, doi: 10.1016/j.matpr.2022.09.376.
- [4] Z. Zhang *et al.*, “Vibration-based assessment of delaminations in FRP composite plates,” *Composites Part B: Engineering*, vol. 144, pp. 254–266, Jul. 2018, doi: 10.1016/j.compositesb.2018.03.003.
- [5] X. Liu, Y. Wang, G. Wang, B. Yang, and R. Xu, “Dynamic analysis of RC beams externally bonded with FRP plates using state space method,” *Engineering Structures*, vol. 253, p. 113788, Feb. 2022, doi: 10.1016/j.engstruct.2021.113788.
- [6] N. Kharghani and C. Guedes Soares, “Experimental and numerical study of hybrid steel-FRP balcony overhang of ships under shear and bending,” *Marine Structures*, vol. 60, pp. 15–33, Jul. 2018, doi: 10.1016/j.marstruc.2018.03.003.
- [7] G. Vizin and G. Vukelic, “Marine environment induced failure of FRP composites used in maritime transport,” *Engineering Failure Analysis*, vol. 137, p. 106258, Jul. 2022, doi: 10.1016/j.engfailanal.2022.106258.
- [8] K. Li, Y. Yu, Y. Wang, and Z. Hu, “Research on structural optimization method of FRP fishing vessel based on artificial bee colony algorithm,” *Advances in Engineering Software*, vol. 121, pp. 250–261, Jul. 2018, doi: 10.1016/j.advengsoft.2018.03.011.
- [9] T. Tafsirojjaman, A. Ur Rahman Dogar, Y. Liu, A. Manalo, and D. P. Thambiratnam, “Performance and design of steel structures reinforced with FRP composites: A state-of-the-art review,” *Engineering Failure Analysis*, vol. 138, p. 106371, Aug. 2022, doi: 10.1016/j.engfailanal.2022.106371.
- [10] H. Li *et al.*, “Vibro-impact response of FRP sandwich plates with a foam core reinforced by chopped fiber rods,” *Composites Part B: Engineering*, vol. 242, p. 110077, Aug. 2022, doi: 10.1016/j.compositesb.2022.110077.
- [11] Y. Ouyang and C. Chen, “Research advances in the mechanical joining process for fiber reinforced plastic composites,” *Composite Structures*, vol. 296, p. 115906, Sep. 2022, doi: 10.1016/j.compstruct.2022.115906.
- [12] E. Avi, A. Laakso, J. Romanoff, H. Remes, and I. Lillemäe-Avi, “Coarse mesh finite element model for cruise ship global and local vibration analysis,” *Marine Structures*, vol. 79, p. 103053, Sep. 2021, doi: 10.1016/j.marstruc.2021.103053.
- [13] H. Wang, W. Jiang, Z. He, and W. Peng, “Analysis on surface mobility of an infinite beam-stiffened structure,” *Applied Acoustics*, vol. 172, p. 107590, Jan. 2021, doi: 10.1016/j.apacoust.2020.107590.
- [14] D. Chen, H. Zi, Y. Li, and X. Li, “Low frequency ship vibration isolation using the band gap concept of sandwich plate-type elastic metastructures,” *Ocean Engineering*, vol. 235, p. 109460, Sep. 2021, doi: 10.1016/j.oceaneng.2021.109460.
- [15] I. G. Akande, M. A. Fajobi, O. A. Odunlami, and O. O. Oluwole, “Exploitation of composite materials as vibration isolator and damper in machine tools and other mechanical systems: A review,” *Materials Today: Proceedings*, vol. 43, pp. 1465–1470, Jan. 2021, doi: 10.1016/j.matpr.2020.09.300.
- [16] L. Koutsoloukas, N. Nikitas, and P. Aristidou, “Passive, semi-active, active and hybrid mass dampers: A literature review with associated applications on building-like structures,” *Developments in the Built Environment*, vol. 12, p. 100094, Dec. 2022, doi: 10.1016/j.dibe.2022.100094.