

Analisa Kekuatan Konstruksi *V-Bracket* Poros *Propeller* Kapal 5000 GT dengan Metode Elemen Hingga

Samuel Febriary Khristyson^{1,2*}, Daiz Bahtiyar¹, Ignatius Aldo Kristanto¹

¹Teknologi Rekayasa Konstruksi Perkapalan, Departemen Teknologi Industri, Sekolah Vokasi,
Universitas Diponegoro, 50725

²Welding School Laboratory, Departemen Teknologi Industri, Sekolah Vokasi,
Universitas Diponegoro, 50725

Article Info

Article history:

Received June 23rd, 2025

Revised July 04th, 2025

Accepted July 04th, 2025

Keywords:

Metode Elemen Hingga

V-Bracket Poros

Kapal Penumpang

Analisis Tegangan

ABSTRAK

Desain optimum harus terencana untuk penggantian sebuah sistem *propulsi* yang ideal. Pertimbangan harus diberikan pada desain sistem *propulsi* pada kapal yang memiliki *bracket* untuk menopang poros *propeller*. Lebih banyak energi yang hilang saat penyelarasan, sehingga membutuhkan lebih banyak bahan bakar untuk mengoperasikan kapal pada kecepatan terbaiknya. Struktur insert memanjang dari badan kapal diperlukan untuk kapal yang memiliki *v-bracket* poros *propeller*. Kapasitas konstruksi ini untuk menahan berat poros, terutama saat kapal sedang beroperasi. Konsep desain yang terpasang memiliki kekuatan yang cukup untuk menahan beban dari poros *propeller* kapal dan tegangan geser menggunakan metodologi analisis metode elemen hingga. Dengan menyediakan batas dan beban yang sesuai, teknik penyelesaian memanfaatkan metode elemen hingga untuk membantu memastikan sifat dan karakter kekuatan desain konstruksi. Gambar model dirancang sama dengan ukuran konstruksi dengan model CAD (*Computational Aided Design*). Tujuan dari penelitian ini adalah menghitung beban dan tegangan yang dihasilkan dari perancangan poros *propeller v-bracket* kapal penumpang 5000 GT. Hasil menunjukkan kekuatan desain material struktur *insert* bangunan kapal desain konstruksi *v-bracket* masih dapat diterima oleh rasio keamanan tetap di bawah 4,81%. Pada beban kerja *propeller* maksimum 98,7%, tegangan kontak adalah 40,61 KN, dengan tegangan 477,41 MPa. Penggunaan *v-bracket* memiliki manfaat untuk menempatkan *propeller* pada posisi terbaik yang memungkinkan untuk meningkatkan kinerja kecepatan kapal. Selain itu, dapat memperkuat konstruksi poros *propeller*, yang akan mengurangi getaran pada ruang mesin kapal.

*Corresponding Author:

Samuel Febriary Khristyson

Teknologi Rekayasa Konstruksi Perkapalan, Departemen Teknologi Industri, Sekolah Vokasi, Undip
Jl. Gubernur Mochtar, Tembalang, Semarang, Indonesia, 50725.

Email: samuelfebriarykhr@staff.undip.ac.id

DOI: 10.56904/imejour.v3i1.90

1. PENDAHULUAN

Untuk mengakomodasi kemajuan yang sedang berlangsung dalam kapasitas transportasi kapal dan sistem permesinan, diperlukan sistem propulsi yang sesuai. Saat beroperasi, sistem propulsi kapal sering kali memengaruhi kinerja dan getaran pada mesin kapal [1]. Pertimbangannya harus diberikan pada desain sistem propulsi pada kapal yang memiliki *bracket* untuk menopang poros *propeller* [2]. Desain yang optimal perlu direncanakan untuk

penggantian suatu sistem [3], [4], [5], [6]. Struktur *insert* memanjang dari lambung kapal diperlukan untuk kapal yang memiliki *V-bracket* untuk poros *propeller*. Kapasitas model ini untuk menopang berat poros, terutama saat kapal beroperasi perlu ditentukan [2], [7]. Kapasitas konstruksi *v-bracket* untuk menoleransi getaran operasional dan beban poros *propeller* sangat dipengaruhi oleh ukurannya [8]. Kapal terkadang dimodifikasi untuk meningkatkan kinerja sistem propulsi [9]. Menurut penelitian sebelumnya, kemungkinan ada perbedaan beban sebesar 9% aliran fluida antara bagian dalam dan luar poros *propeller* kapal, sehingga tidak diragukan lagi berdampak pada skema pencocokan efisiensi *propeller* kapal [10]. Meskipun demikian, model kapal telah menjalani pengujian eksperimental, dan perhitungan numerik ukuran model mengungkapkan bahwa tidak ada data yang menunjukkan variasi beban yang cukup besar [11]. Aturan utama untuk menahan beban poros dan selama pengoperasian poros adalah desain dan kekuatan konstruksi *v-bracket*. Kapasitas material untuk menahan beban atau tekanan dari luar dapat diperhitungkan saat merencanakan desain konstruksi [12]. Sejumlah faktor perlu diperhitungkan saat membangun *v-bracket* pada poros *propeller* kapal, termasuk masalah bahwa getaran selama pengoperasian kapal memengaruhi kapasitas poros untuk berfungsi. Selain itu, desain *bracket* yang kurang optimal untuk menerima beban atau tegangan dapat mengakibatkan tidak diterimanya distribusi beban ideal. Saat mengganti sistem propulsi menjadi *v-bracket* pada poros *propeller*, lokasi mesin utama kapal dan kelurusan poros *propeller* juga diperhitungkan [13]. Lebih banyak energi yang hilang saat penyelarasan, sehingga membutuhkan lebih banyak bahan bakar untuk mengoperasikan kapal pada kecepatan terbaiknya [14], [15], [16], [17].



Gambar 1. Proses pemasangan braket V poros *propeller* kapal

Gambar 1 menunjukkan bagaimana prosedur perencanaan pemasangan *v-bracket* perlu dimodifikasi berdasarkan perhitungan, baik konstruksi rangka maupun penampang melintang, untuk memperoleh momen inersia optimal pada ukuran profil yang diinginkan. Nantinya,

penambahan *v-bracket* dapat memperkuat dan menopang poros, sehingga memungkinkannya untuk menawarkan transmisi yang tepat yang sesuai dengan kekuatan poros kapal. Pendekatan numerik berdasarkan analisis struktur konstruksi metode elemen hingga dapat menjadi area pemodelan tempat perencanaan dapat diketahui [18]. Kemungkinan hasil desain konstruksi yang dimaksudkan dipengaruhi oleh perhitungan numerik [19], [20], [21]. Kemampuan model konstruksi untuk menahan beban eksternal dipengaruhi oleh kekuatan materialnya [22]. Desain konstruksi *v-bracket* kapal dapat gagal akibat nilai interferensi yang tinggi. Pergeseran yang kurang ideal dalam distribusi tegangan dapat terjadi akibat tegangan lokal [23], [24]. Dengan demikian, tujuan dari makalah ini adalah untuk menghitung beban dan tegangan yang dihasilkan dari perancangan poros *propeller v-bracket* kapal penumpang 5000 GT. Dimungkinkan untuk menyimulasikan apakah konsep desain yang terpasang memiliki kekuatan yang cukup untuk menahan beban dari poros *propeller* kapal dan tegangan geser menggunakan metodologi analisis metode elemen hingga. Pengaruh hidrodinamik dari gerakan aliran setelah kontak dengan *propeller* adalah salah satu dari banyak faktor yang digunakan untuk mengevaluasi getaran pada poros *propeller* kapal [11]. Pada awalnya, penelitian hidrodinamika menggunakan instrumen dan model pembacaan yang dapat menggambarkan kemampuan dan gerakan kapal saat beroperasi [9]. Menurut penelitian, beban *propeller* di lapangan sangat bergantung pada intensitas dan distribusi, dan *trend* beban pada poros bagian dalam menuju sudut kemudi sering kali non-linier saat menggunakan *slip grip* [25]. Selain menciptakan rongga yang tidak stabil pada kecepatan tinggi, *v-bracket* mempercepat aliran gelombang air di area buritan, meningkatkan kavitasi *propeller* dan menciptakan area aliran yang tidak merata [26]. Menurut studi literatur di atas, ada lebih sedikit penelitian tentang kapal empat *propeller* daripada tentang kapal *propeller* tunggal dan kembar [25], penelitian tentang topik ini baru-baru ini dilakukan. Beban internal berfluktuasi dengan amplitudo yang lebih besar karena komponen harmonik orde pertama dan kedua dari aliran aksial cakram *propeller* bagian dalam lebih besar daripada komponen harmonik orde pertama dan kedua cakram bagian luar di dalam radius luar.

Meskipun demikian, efek braket poros paling jelas terlihat saat membandingkan medan aliran lambung polos dan lambung dengan pelengkap. Hasil penelitian menunjukkan bahwa dengan menghasilkan distribusi gelombang yang lebih tidak merata pada cakram *propeller*, tonjolan dan braket meningkatkan bagian gelombang aksial. Lengan braket meningkatkan kavitasi *propeller* dan menghasilkan medan aliran yang tidak merata dengan mempercepat medan aliran buritan dan berdenyut pada kecepatan tinggi, selain menciptakan rongga yang tidak stabil [27], [28]. Penelitian tentang kapal *propeller* empat skala penuh belum dilakukan. Akan tetapi, para peneliti sebelumnya mengamati bahwa kekuatan *propeller* berdaun empat didominasi oleh *bracket* poros. Lebih jauh, karena struktur buritan kapal *propeller* empat yang kompleks, pengetahuan yang diperoleh dari kapal *propeller* tunggal atau ganda mungkin tidak memadai atau bermanfaat. Oleh karena itu, perlu dilakukan penelitian tentang pengaruh braket pada kapal *propeller* depan skala penuh [24]. Model desain dalam model CAD dapat disimulasikan menggunakan berbagai metode, yang semuanya difokuskan pada berbagai jenis desain struktur pendukung. Modifikasi struktur pendukung, pemangkasan biaya perawatan, dan penghapusan beberapa komponen struktur diperlukan untuk menciptakan proses yang fungsional dan bebas dari konsekuensi negatif saat konstruksi tersebut dibangun. Fakta bahwa beberapa komponen ini mungkin mahal untuk satu bentuk atau bahwa strategi lain sangat tidak menyenangkan merupakan nilai tambah yang cukup untuk dipertimbangkan [27].

2. METODE

Kapal dengan jenis pelayaran laut antar pulau digunakan dalam penelitian ini. Negara kepulauan merupakan tempat yang ideal bagi sejumlah besar kapal jenis ini. Dimensi utama kapal ditunjukkan pada Tabel 1.

Table 1. Principal Dimension Ship

Type	Motor Vehicle (Passenger ship)
LPP (Length Perpendicular)	91,65 m
H (High)	9,9 m
B (Breadth)	15,2 m
T (Draught)	3,9 m

Dengan dua set *propeller* di setiap sisi, lambung kapal simetris sempurna pada bidang memanjang di tengah kapal, sesuai data kapal tabel 1. Setiap poros *propeller* dipasang pada lambung menggunakan *braket* lengan ganda poros. Dengan menyediakan batas dan beban yang sesuai, teknik penyelesaian memanfaatkan Metode Elemen Hingga untuk membantu memastikan sifat dan karakter kekuatan desain konstruksi. Teknik numerik berbasis energi dan tegangan dikembangkan, dengan persamaan matematika sebagai berikut :

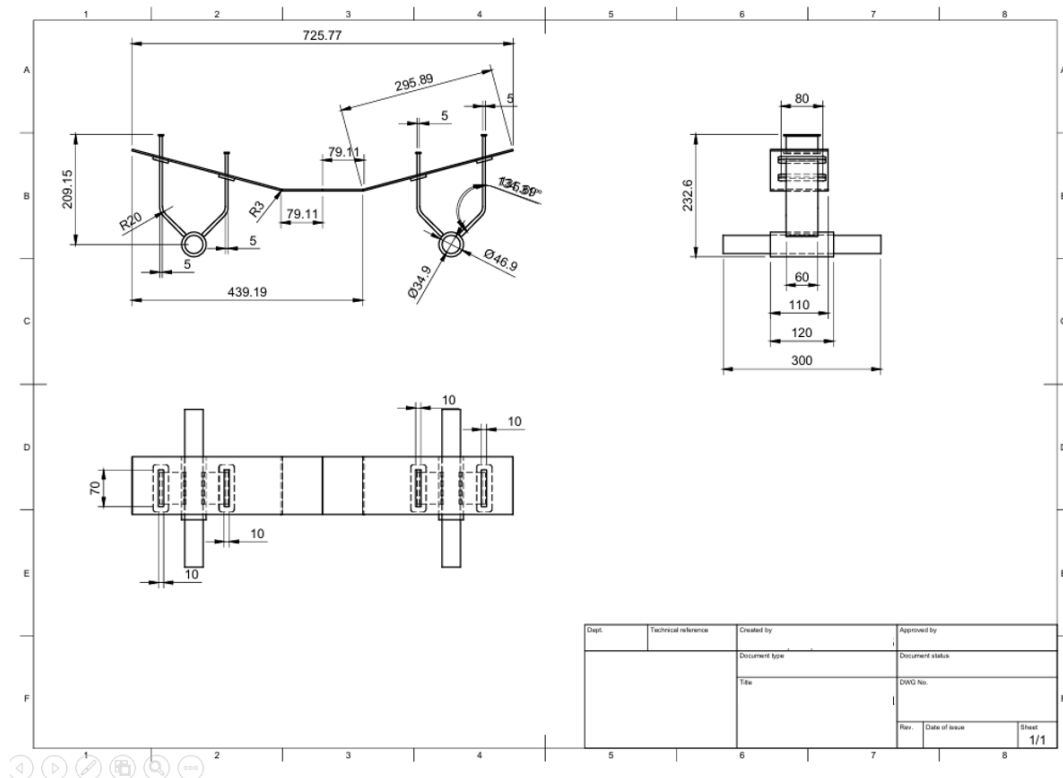
$$\partial = (\tau/(\theta - k)) \quad (1)$$

di mana ∂ adalah tegangan yang dialami konstruksi *v-bracket* sebagai akibat dari beban dan energi yang diterima. Ketika variabel turbulen putaran *propeller* sesuai dengan beban operasional konstruksi, $\theta-k$ adalah model bebas. Sementara itu, τ adalah tegangan maksimum yang dapat ditoleransi oleh desain *v-bracket* kapal. Untuk menyimulasikan perhitungan ketika diturunkan lebih lanjut, semua komponen tegangan yang diterima dapat dimodelkan untuk menghasilkan elemen total, seperti berikut:

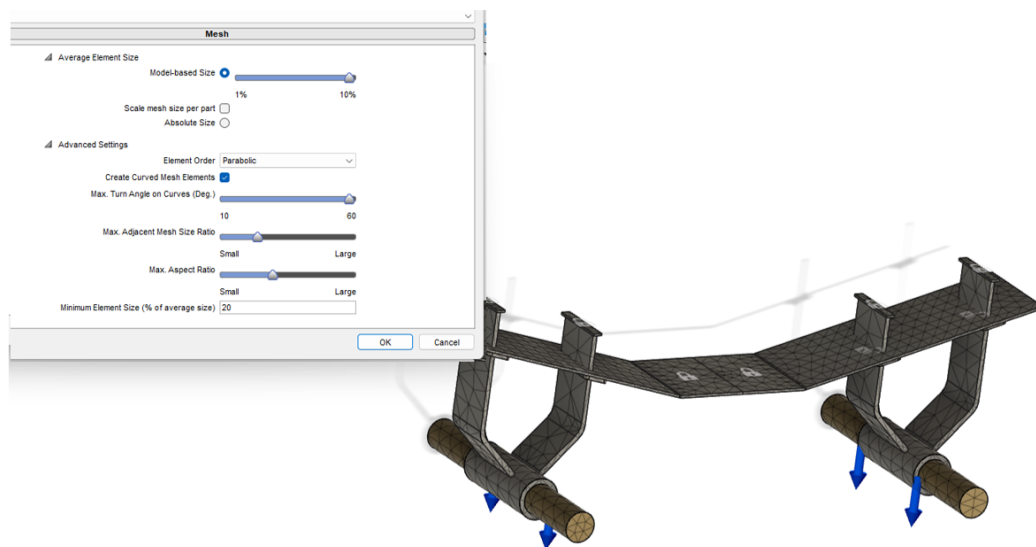
$$n_{sw}^2 = n_y^2 + n_z^2 \quad (2)$$

di mana tegangan geser total yang diterima dari setiap titik pengikatan disimulasikan oleh n_{sw}^2 . Dengan membandingkan tegangan geser sedang diseluruh pengikatan dengan hasil perhitungan maksimum dan hasil perhitungan terendah untuk pengikatan, perhitungan numerik dapat dilakukan untuk menilai konfigurasi keadaan ini. Keterbatasan atau beban yang terjadi saat poros *propeller* berfungsi kemudian digunakan untuk merancang struktur *propeller bracket-v* menggunakan model CAD. Gambar kerja yang ditujukan untuk program pembuatan atau penggantian *braket-v* setara dengan desain. Sisipan konstruksi memiliki bentuk lambung yang unik dan rangka kapal di buritan. Lihat Gambar 2.

Model tersebut dirancang sama dengan ukuran konstruksi dengan model CAD, lihat Gambar 2. Untuk mendapatkan simpul atau titik pandang terperinci yang diperlukan, model tersebut kemudian dilakukan *meshing* dan penggambaran titik tekanan / *load* yang direncanakan. Adapun *meshing* yang digunakan adalah tipe *parabolic* dengan ukuran *mesh medium* disesuaikan dengan *aspec ratio* minimal 20 % dari setiap *body* model, lihat gambar 3. Untuk batasan (*boundary condition*) dari model ini terlihat pada sisi bagian bawah atau pada daerah lunas kapal merupakan konstruksi *support fix*. Sehingga ketika kapal beroperasi maka beban yang terbentuk adalah load pada poros *propeller* arah tegak lurus menjauhi bagian bawah atau lunas kapal.



Gambar 2. Gambar Teknik Konstruksi Insert Braket-V



Gambar 3. Meshing, Boundary condition ,Load pada Model

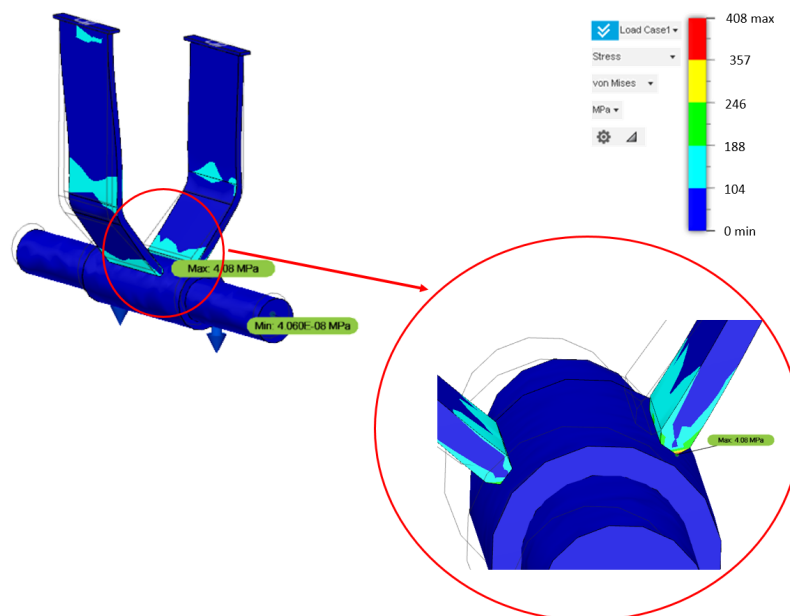
Tekanan maksimum dicapai pada titik tempat braket dan casing poros *propeller* bertemu, selama proses pemuatan operasional kapal.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

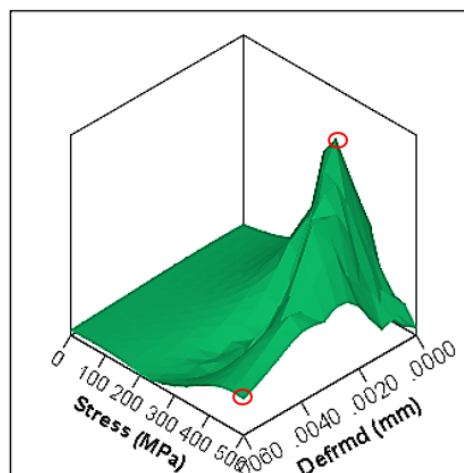
Berdasarkan perhitungan simulasi yang menggunakan metode elemen hingga, didapatkan hasil bahwa *v-bracket* dapat menahan beban dari poros *propeller*. Kemudian, jika kita melihat desain braket, posisi teratas terlihat mengalami tegangan yang cukup untuk memengaruhi kekuatan konstruksi *v-bracket*. Pengembangan ini merupakan penilaian terhadap pendekatan

perencanaan konstruksi *v-bracket*; temuan analisis menunjukkan bahwa situasi saat ini masih memenuhi persyaratan tegangan yang diizinkan, sehingga konstruksi layak dan memungkinkan untuk diproduksi di galangan kapal.

Dari gambar 4 terlihat hasil yang konsisten dengan penelitian sebelumnya dimana penggunaan metode elemen hingga, terdapat interaksi dengan objek lain menentukan seberapa besar gaya yang diterima objek [1], [8]. Adanya beban terpusat pada batas yang dipilih untuk dijadikan sebagai dasar tegangan dan titik kritis. Metode lain untuk memasok input ke bantalan poros propeller adalah dengan memperkuat braket dengan menambahkan pelat pengganda. Menurut perhitungan 1 dan 2, sambungan antara lambung bawah dan sisipan konstruksi *v-bracket* pada node 2422 mengalami tegangan rata-rata 385,45 MPa dan tegangan minimum 244,4 MPa. Pada node 4256, sambungan antara bantalan poros dan braket mengalami tegangan tertinggi sebesar 407,8 MPa. Pada gambar 5 terlihat hasil perbandingan desain konstruksi *v-bracket* masih sesuai untuk kekuatan material struktural desain sisipan bangunan kapal karena persentase kenaikan masing-masing berada di antara 2,54% dan 4,81%, yang kurang dari 5%. Hasil tegangan kontak mencapai 40,61 KN dan tegangannya 477,41 MPa saat beban propeller mencapai beban kerja maksimumnya sebesar 98,7%.



Gambar 4. Gambar hasil simulasi.



Gambar 5. Grafik hubungan tegangan dengan deformasi.

4. KESIMPULAN

Kesimpulan hasil mengidentifikasi bahwa desain konstruksi *v-bracket* poros *propeller* akan mengakibatkan risiko keretakan pada tempat bantalan poros menempel pada braket, hal itu dikarenakan tegangan maksimum terjadi pada bagian tersebut. Keadaan ini muncul ketika kapal beroperasi pada beban maksimum, yang menyebabkan bantalan poros *propeller* menahan beban poros penuh. Meskipun demikian, desain *v-bracket* masih memenuhi persyaratan aman dan dapat digunakan pada kapal ini, menurut hasil perhitungan numerik yang dilakukan dengan menggunakan metode elemen hingga. Bagian *insert* konstruksi *v-bracket* di bagian bawah buritan lambung kapal dibangun dapat sebagai kekuatan konstruksinya. Penggunaan *v-bracket* memiliki manfaat untuk menempatkan *propeller* pada posisi terbaik yang memungkinkan untuk meningkatkan kinerja kecepatan kapal. Selain itu, dapat memperkuat konstruksi poros *propeller*, yang akan mengurangi getaran pada ruang mesin kapal. Meskipun demikian keterbatasan dari variabel kondisi mesin kapal dan ukuran kapal yang bervariasi, menjadikan perlunya penelitian lebih lanjut untuk model ideal dari *v-bracket* yang diperlukan. Serta variasi metode untuk pengujian kualitas hasil sambungan pengelasan baik secara eksperimen atau numerik dapat dilakukan untuk menambah data keilmuan yang dapat digunakan sebagai referensi penelitian selanjutnya.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan rasa terima kasih yang sebesar-besarnya kepada pihak dan seluruh staff, peneliti di Departemen Teknologi Industri, Laboratorium Pengelasan *Welding School* di Sekolah Vokasi UNDIP atas dukungan teknis yang sangat berharga.

REFERENCES

- [1] J. Andric, P. Prebeg, M. Palaversa, and V. Zanic, "Influence of different topological variants on optimized structural scantlings of passenger ship," *Mar. Struct.*, vol. 78, p. 102981, 2021, doi: <https://doi.org/10.1016/j.marstruc.2021.102981>.
- [2] X. Chen, F. Li, B. Jia, J. Wu, Z. Gao, and R. Liu, "Optimizing storage location assignment in an automotive Ro-Ro terminal," *Transp. Res. Part B Methodol.*, vol. 143, pp. 249–281, 2021, doi: <https://doi.org/10.1016/j.trb.2020.10.009>.
- [3] A. Suparman, A. Sunardi, and M. Zaenudin, "Pengaruh Variasi Stuktur Rangka Terhadap Kekuatan Pembebanan Pada Stasiun Pengisian Daya Listrik dengan Panel Surya," *Integr. Mech. Eng. J.*, vol. 1, no. 1, 2023, [Online]. Available: <https://doi.org/10.56904/imejour.v1i1.2>
- [4] R. Pido, B. H. Rahmat, R. Wawan, and D. R. Rianto, "Pengaruh variasi aliran udara terhadap optimasi daya panel surya," *Din. Tek. Mesin J. Keilmuan dan Terap. Tek. Mesin; Vol 13, No 2 Din. Tek. Mesin J. Keilmuan dan Terap. Tek. Mesin*, 2023, doi: 10.29303/dtm.v13i2.661.
- [5] M. H. T. Arifin, "Analisis Active Flux Component Dan Tig Welding Method Dengan Material Stainless Steel 304 Terhadap Kedalaman Penetrasi, Kekuatan Tarik, Dan Nilai Kekerasan," *INOVTEK Polbeng*, vol. 14, no. 02 SE-Articles, pp. 208–215, Nov. 2024, doi: 10.35314/evrgd644.
- [6] R. Safitri, "Analisis Fatigue Life Terhadap Zona Pengelasan Pada Struktur Chassis Lowbed Trailer Dengan Metode Elemen Hingga," *INOVTEK Polbeng*, vol. 14, no. 02 SE-Articles, pp. 108–116, Nov. 2024, doi: 10.35314/6ekqvv38.
- [7] D. G. C. Alfian, D. J. Silitonga, F. M. A. Machzumy, F. Oktaberi, and L. Triawan, "Wear evaluation of palm oil and SAE 15W 40 engine lubricants with a ball-on-disk tester based on an improvised drilling machine," *Din. Tek. Mesin J. Keilmuan dan Terap. Tek. Mesin; Vol 13, No 2 Din. Tek. Mesin J. Keilmuan dan Terap. Tek. Mesin*, 2023, doi: 10.29303/dtm.v13i2.679.
- [8] J.-Z. Liu, Z.-J. Zou, H.-P. Guo, and C.-Z. Chen, "A study on the interaction among hull, engine and propeller during self-propulsion of a ship," *Ocean Eng.*, vol. 286, p. 115702, 2023, doi: <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2023.115702>.
- [9] W. Ma, X. Chang, W. Wang, S. Sun, and Q. Chen, "Study on the influence of shaft brackets on the scale effect of the four-screw ship wake field," *Ocean Eng.*, vol. 287, p. 115881, 2023,

- doi: <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2023.115881>.
- [10] Y. Wu, Q. Dai, H. Liu, Y. Tang, and X. Chen, "Ship base vibration reduction design technology based on visualization of power flow and discrete optimization," *Ocean Eng.*, vol. 309, p. 118494, 2024, doi: <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2024.118494>.
 - [11] H. Ren *et al.*, "A multimodal dynamic vibration absorber for controlling longitudinal vibration of propulsion shafting system," *Appl. Ocean Res.*, vol. 148, p. 104011, 2024, doi: <https://doi.org/10.1016/j.apor.2024.104011>.
 - [12] F. Ortolani and G. Dubbioso, "Development and experimental implementation of a biaxial transducer to measure radial loads on a rotor shaft," *Measurement*, vol. 202, p. 111776, 2022, doi: <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2022.111776>.
 - [13] A. A. Abbasi *et al.*, "Experimental analysis of the flow field around a propeller with inclined shaft," *Ocean Eng.*, vol. 285, p. 115237, 2023, doi: <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2023.115237>.
 - [14] L. Zhang, C. Yuan, C. Dong, Y. Wu, and X. Bai, "Friction-induced vibration and noise behaviors of a composite material modified by graphene nano-sheets," *Wear*, p. 203719, 2021, doi: <https://doi.org/10.1016/j.wear.2021.203719>.
 - [15] J. Thamilarasan, N. Karunakaran, and P. Nanthakumar, "Optimization of oxy-acetylene flame hardening parameters to analysis the surface structure of low carbon steel," *Mater. Today Proc.*, 2021, doi: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.02.680>.
 - [16] R. P. Singh, S. Kumar, S. Dubey, and A. Singh, "A review on working and applications of oxy-acetylene gas welding," *Mater. Today Proc.*, vol. 38, pp. 34–39, 2021, doi: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.05.521>.
 - [17] M. Wodtke and W. Litwin, "Water-lubricated stern tube bearing - experimental and theoretical investigations of thermal effects," *Tribol. Int.*, vol. 153, 2021, doi: <https://doi.org/10.1016/j.triboint.2020.106608>.
 - [18] Y. Liu and H. Ren, "Rapid acquisition method for structural strength evaluation stresses of the ship digital twin model," *Ocean Eng.*, vol. 285, p. 115323, 2023, doi: <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2023.115323>.
 - [19] W. He, M. Wan, and B. Meng, "Size effect on nonlinear unloading behavior and Bauschinger effect of Ni-based superalloy ultrathin sheet," *Int. J. Mech. Sci.*, vol. 231, p. 107563, 2022, doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijmecsci.2022.107563>.
 - [20] N. Wang and K. F. Yuen, "Resilience assessment of waterway transportation systems: Combining system performance and recovery cost," *Reliab. Eng. Syst. Saf.*, vol. 226, p. 108673, 2022, doi: <https://doi.org/10.1016/j.ress.2022.108673>.
 - [21] R. Zhao, Y. Zhou, D. Zhang, and X. Gao, "Numerical investigation of the hydraulic transport of coarse particles in a vertical pipe based on a fully-coupled numerical model," *Int. J. Multiph. Flow*, vol. 155, p. 104094, 2022, doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijmultiphaseflow.2022.104094>.
 - [22] L. Lu, G. Li, P. Xing, H. Gao, and Y. Song, "A review of stochastic finite element and nonparametric modelling for ship propulsion shaft dynamic alignment," *Ocean Eng.*, vol. 286, p. 115656, 2023, doi: <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2023.115656>.
 - [23] L. Cui, Z. Chen, J. Qin, and L. Zhou, "Numerical research on mechanism of the effect of propeller shaft brackets on wake field and propulsion performance," *Ocean Eng.*, vol. 228, p. 108959, 2021, doi: <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2021.108959>.
 - [24] J. A. Velasco-Parra, F. R. Valencia, A. Lopez-Arraiza, B. Ramón-Valencia, and G. Castillo-López, "Jute fibre reinforced biocomposite: Seawater immersion effects on tensile properties and its application in a ship hull design by finite-element analysis," *Ocean Eng.*, vol. 290, p. 116301, 2023, doi: <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2023.116301>.
 - [25] C. Zhang, G. Wang, D. Wei, Y. Tian, and L. Yang, "The research on the transverse vibration active control model of ship propulsion shaft with the active control force on the bearing support," *Ocean Eng.*, vol. 266, p. 112722, 2022, doi: <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2022.112722>.
 - [26] W. Ma, X. Chang, S. Sun, and X. Jia, "Numerical research on the effect of brackets installation angle on the propeller wake field and propulsion performance in a four-screw ship," *Ocean Eng.*, vol. 266, p. 112303, 2022, doi: <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2022.112303>.

- [27] H. Alzyod and P. Ficzero, "Finite Element Modeling of Additive Manufacturing in Case of Metal Parts," *Period. Polytech. Transp. Eng.*, vol. 50, no. 4 SE-, pp. 330–335, Jan. 2022, doi: 10.3311/PPtr.19242.
- [28] T. Guan, M. Qin, and L. Lei, "Research on the Improvement of Calculation Method for the Interference Assembly of Locomotive Traction Gear," *Period. Polytech. Transp. Eng.*, vol. 49, no. 1 SE-, pp. 25–31, Jan. 2021, doi: 10.3311/PPtr.13379.