JURNAL KALIMANTAN RISET DAN PENGABDIAN MASYARAKAT
Vol. 1, No. 1. Juni 2026, Hal 1-10

Edukasi Analisa Struktur Kapal dengan Metode Komputasi sebagai Sarana Pengembangan SDM Perkapalan di Pulau Kalimantan

Togar Halomoan MANURUNG[1], Juliman Harapan LASE[1], RANGGA[1], Luthfi ABDURRAHMAN[1], Julian Apolonaris DAGA[1], Ardi FIRMANSYAH[1], Irentya Anugra BARATAU[1], Muhammad Yahya AYYASH[1], Myraicle Heryo PUTRA[1], Harlian KUSTIWANSA[2*]

[1]Program Studi Teknik Perkapalan, Institut Teknologi Kalimantan, 76127 Balikpapan.
[2]Program Studi Teknik Transportasi Laut, Institut Teknologi Kalimantan, 76127 Balikpapan.
*Email Penanggung Jawab : harlian.kustiwansa@lecturer.itk.ac.id

DOI: https://doi.org/xxxxx/karisma.idpaper

ABSTRAK

Tingginya insiden maritim dan risiko kegagalan struktur kapal di kawasan perairan Kalimantan menuntut peningkatan kompetensi teknis sumber daya manusia (SDM) maritim lokal melalui edukasi berbasis riset terapan. Kegiatan ini bertujuan untuk menerapkan pendekatan pembelajaran orang dewasa (andragogi) berbasis pemecahan masalah (problem-based learning) guna membekali mahasiswa dengan keahlian komputasi analisis struktur kapal menggunakan Finite Element Method (FEM) pada perangkat lunak ANSYS. Metode pembelajaran dirancang secara sistematis melalui tiga tahapan teknis utama, yaitu penentuan kondisi batas (boundary conditions), verifikasi dan studi konvergensi meshing, serta analisa hasil komputasi. Pembebanan disimulasikan melalui kombinasi variasi arah gelombang, kecepatan, dan skenario muatan. Hasil kegiatan menunjukkan bahwa mahasiswa berhasil menguasai tahapan analisis numerik, diawali dengan penetapan studi konvergensi mesh yang menghasilkan ukuran optimum 100 mm (40.320 elemen dan 145.172 node) untuk efisiensi komputasi tanpa mengorbankan akurasi. Mahasiswa secara kritis mampu memetakan konsentrasi tegangan ekuivalen von Mises pada area tumpuan jepit sambungan pelat serta deformasi maksimum pada panel yang tidak ditopang transversal beam. Tegangan maksimum yang terukur terbukti berada jauh di bawah batas luluh material, sehingga mahasiswa secara mandiri mampu mengambil keputusan teknis bahwa struktur geladak tergolong aman dan layak operasional (safe and fit for purpose). Pembelajaran berbasis komputasi ini terbukti efektif meningkatkan kemampuan analitis dan pengambilan keputusan rekayasa mahasiswa, sekaligus mendukung penguatan SDM perkapalan yang responsif terhadap keselamatan maritim di Pulau Kalimantan.

Kata Kunci: Analisa Struktur Kapal, Metode Elemen Hingga, Andragogi, Konvergensi Mesh, SDM Maritim Kalimantan

ABSTRACT

High rates of maritime accidents and structural failure risks in Kalimantan waters demand enhanced technical competency among local maritime human resources through applied research-based

education. This study aims to implement a problem-based learning andragogical approach to equip naval architecture students with computational ship structural analysis skills using the Finite Element Method (FEM) in ANSYS software. The learning framework is systematically structured into three main technical stages: determining boundary conditions, verifying mesh convergence, and analyzing computational results. Operational loading was simulated across combinations of wave headings, speeds, and cargo scenarios. Results indicate that students successfully mastered the numerical analysis workflow, starting with a mesh convergence study that established an optimal mesh size of 100 mm (40,320 elements and 145,172 nodes) for computational efficiency without compromising accuracy. Furthermore, students critically mapped von Mises equivalent stress concentrations at fixed support plate joints and identified maximum total deformations on panels lacking transversal beam support. As the maximum stresses remained well below the material yield strength, students independently reached a technical decision that the deck structure is safe and fit for operational purpose. This computation-based education proves effective in advancing students' analytical capabilities and engineering decision-making, thereby contributing to the development of qualified maritime engineering human capital in Kalimantan.

Keywords: Ship Structural Analysis, Finite Element Method, Andragogy, Mesh Convergence, Kalimantan Maritime Human Resources.

PENDAHULUAN

Kalimantan, dengan kondisi geografis yang didominasi oleh perairan laut lepas dan jaringan sungai-sungai besar, memiliki peran yang sangat strategis sebagai jalur logistik dan transportasi utama di Indonesia [1]. Tingginya aktivitas pelayaran industri, terutama yang melibatkan kapal-kapal kargo dan tongkang pengangkut bahan curah berkapasitas tinggi, sering kali tidak diimbangi dengan keandalan operasional struktur kapal yang memadai [2]. Hal ini memicu tingginya insiden maritim dan kecelakaan di perairan Kalimantan, mulai dari insiden kapal lepas kendali menabrak infrastruktur perairan akibat kelebihan beban, hingga kasus kritis berupa kapal patah atau tenggelam yang berakar dari kegagalan deformasi struktural lambung [3], [4], [5]. Kegagalan struktur ini umumnya berawal dari deformasi material yang melampaui batas lelah aman, terutama pada area krusial seperti geladak bawah (bottom deck), yang apabila dibiarkan akan menghancurkan integritas keseluruhan badan kapal dan merusak muatan secara masif [6]. Menghadapi ancaman keselamatan yang berdampak besar pada sektor ekonomi dan lingkungan ini, intervensi perbaikan yang bersifat reaktif pascainsiden tentu sudah tidak lagi relevan. Diperlukan suatu langkah preventif terstruktur melalui pendekatan *Research and Development (RnD)* untuk mengidentifikasi kelemahan desain struktur dasar, mengevaluasi respons material terhadap skenario pembebanan, serta merancang ulang konstruksi kapal agar memiliki tingkat ketangguhan yang jauh lebih unggul saat beroperasi di perairan Kalimantan.

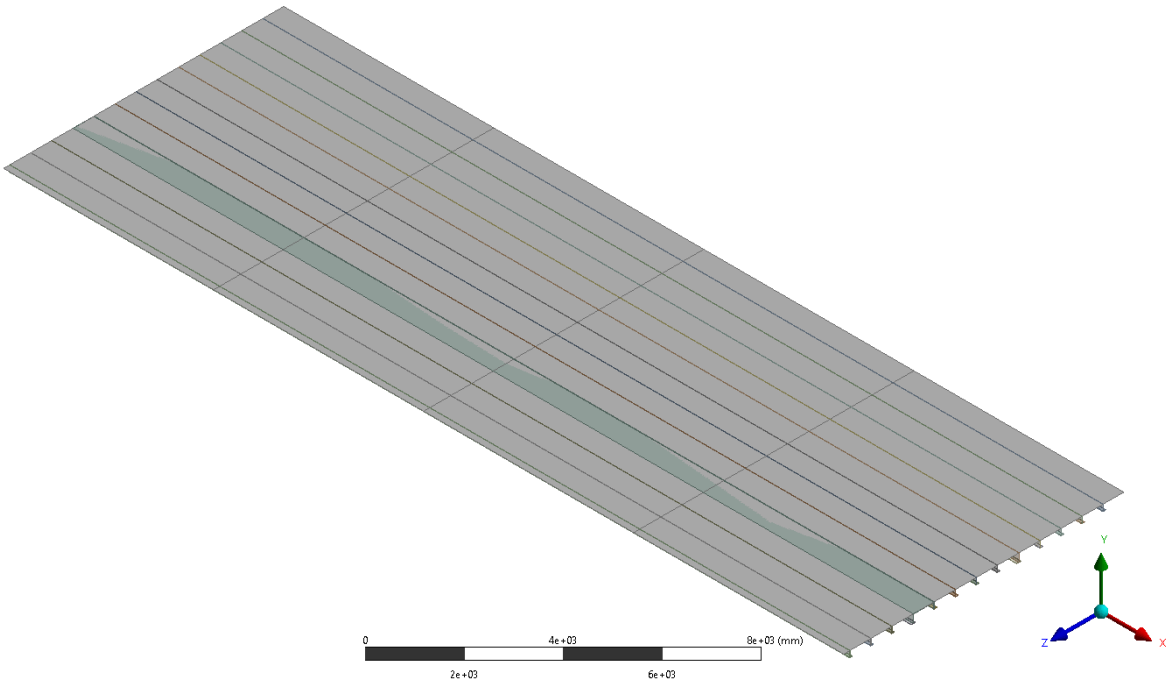
Upaya riset dan pengembangan yang urgen ini menjadi sangat krusial untuk diintegrasikan sedini mungkin ke dalam ekosistem akademik, khususnya pada pendidikan

tinggi di program studi teknik perkapalan [7]. Sebagai manifestasi konkret dari perpaduan antara model pembelajaran andragogi dan riset terapan aplikatif tersebut, sebuah analisis struktur berbasis komputasi tingkat lanjut telah berhasil diinisiasi. Menyadari besarnya tantangan pengujian fisik dalam RnD maritim, riset ini mengimplementasikan metode numerik mutakhir berupa *Finite Element Method (FEM)* untuk membedah titik lemah sebuah model struktur kapal. Harapannya, sumber daya manusia terutama di daerah kalimantan timur semakin berkembang secara kualitas maupun kuantitas dengan pemberdayaan SDM ini [8], [9], [10]

METODE

Rancangan Pembelajaran

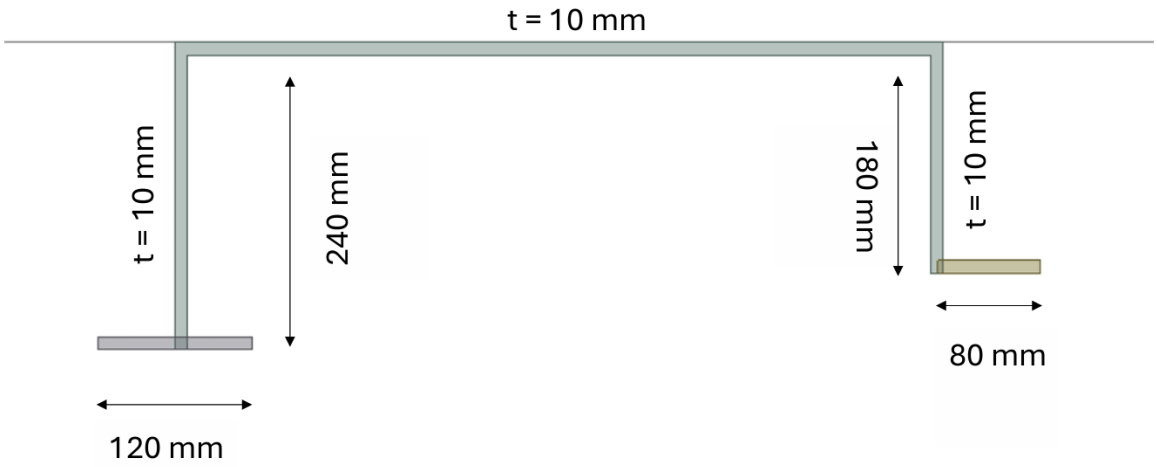
Dalam penerapan pendekatan andragogi berbasis pemecahan masalah (*problem-based learning*), proses pembelajaran mengarahkan mahasiswa untuk berperan aktif sebagai analis rekayasa melalui simulasi komputasi *Finite Element Method* (FEM). Merujuk pada kerangka riset terapan yang diinisiasi oleh mahasiswa, pelaksanaan pembelajaran ini secara spesifik menuntut peserta didik untuk menguasai tiga tahapan teknis utama.



Gambar 1. Model geladak kapal yang digunakan untuk praktik simulasi

Pertama, mahasiswa diinstruksikan untuk menentukan kondisi batas (*boundary conditions*) secara mandiri dengan menerjemahkan skenario operasional perairan seperti variasi arah gelombang, tinggi gelombang, dan beban muatan kapal ke dalam parameter simulasi matematis yang logis [11]. Kedua, mahasiswa diwajibkan melakukan tahapan

verifikasi *meshing* guna memastikan diskritisasi atau pembagian elemen pada model geometri struktur kapal telah mencapai ukuran yang paling o[12]ptimal. Langkah ini merupakan validasi krusial agar perhitungan komputasi berjalan secara konvergen dan memberikan akurasi tinggi tanpa mengorbankan efisiensi waktu [13]. Ketiga, proses simulasi bermuara pada tahapan analisa hasil [12]. Pada fase ini, mahasiswa dilatih untuk berpikir kritis dalam membaca dan mengevaluasi data mentah dari luaran simulasi, seperti menginterpretasikan pola distribusi tegangan (*von Mises*) dan mengevaluasi perilaku deformasi lentur yang terjadi pada struktur panel lambung.



Gambar 2. Dimensi spesifik struktur model

Model kapal dan beban operasionalnya sudah disiapkan untuk simulasi ini, sehingga mahasiswa hanya perlu mempelajari dan mempraktikkan komputasi analisa. *Software* yang digunakan adalah Ansys [14] dengan *device* disediakan secara mandiri oleh mahasiswa. Dalam praktiknya, mahasiswa dibagi dalam beberapa kelompok untuk meringankan beban kerja. Model tersebut dapat dilihat pada Gambar 1, dengan ukuran profil ditunjukkan Gambar 2. Penetapan pembebanan momen lentur maksimum (*maximum bending moment*) dihitung berdasarkan muatan asumsi sebesar 1000 MT dan percepatan gravitasi 9,8 m/s^2. Pembebanan ini diuji melalui kombinasi variasi sudut arah gelombang (*wave heading* 0°, 90°, dan 180°), kecepatan gelombang (1; 1,5; dan 2 m/s), serta kondisi muatan (*full*, *half*, dan *empty cargo*). Dari data tersebut, terlihat bahwa kondisi variasi muatan tidak mengubah besaran momen lentur maksimum pada kombinasi sudut dan kecepatan yang sama. Nilai momen lentur maksimum tertinggi terjadi pada kondisi gelombang 90° dengan kecepatan 2 m/s, yaitu mencapai $4{,}08 \times 10^6$ N · mm

Dasar Teori Metode Elemen Hingga

Metode Elemen Hingga merupakan metode numerik yang digunakan untuk menyelesaikan permasalahan rekayasa dan fisika yang melibatkan bentuk geometri

kompleks, kondisi batas yang beragam, serta pembebanan yang sulit diselesaikan secara analitik. Prinsip dasar FEM adalah mendiskritisasi suatu struktur kontinu menjadi elemen-elemen kecil (*finite elements*) yang saling terhubung melalui titik-titik simpul (*nodes*). Setiap elemen mewakili bagian kecil dari struktur, dan pada tiap *node* dihitung variabel fisis seperti tegangan (*stress*), regangan (*strain*), dan perpindahan (*displacement*) untuk menggambarkan perilaku keseluruhan struktur [11].

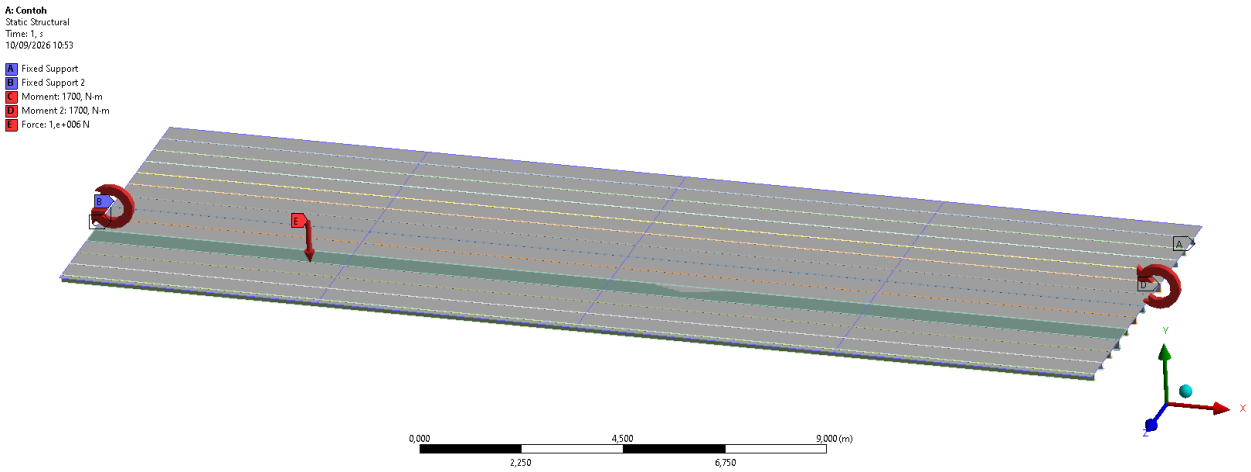
Secara umum, analisis menggunakan FEM dilakukan melalui tiga tahap utama yang berkesinambungan. Tahap pertama adalah *pre-processing*, yang mencakup pembuatan model geometri, penentuan jenis material beserta sifat mekaniknya (seperti modulus elastisitas, *Poisson ratio*, dan *yield strength*), serta pemberian kondisi batas (*boundary condition*) dan pembebanan. Selanjutnya adalah tahap *processing* (*solving*), yakni tahapan komputasi di mana sistem persamaan simultan diselesaikan untuk mendapatkan nilai tegangan dan regangan pada setiap *node*. Rangkaian ini diakhiri dengan tahap *post-processing*, yaitu proses interpretasi hasil komputasi berupa distribusi tegangan, deformasi total, dan faktor keamanan yang divisualisasikan dalam bentuk kontur warna pada model.

HASIL DAN KETERCAPAIAN

Praktik Simulasi

Tahap penerapan kondisi batas (*boundary condition*) pada simulasi yang dilakukan mahasiswa berjalan secara efektif dan mampu merepresentasikan interaksi nyata antara struktur *deck* dengan komponen kapal pendukung lainnya saat menerima beban operasional. Penetapan kondisi batas ini memegang peranan krusial karena berdampak langsung terhadap akurasi distribusi tegangan dan pola deformasi yang dihasilkan. Dalam pemodelan *deck*, tumpuan jepit (*fixed support*) diaplikasikan pada area yang terhubung secara kaku dengan struktur utama, seperti sambungan *girder* utama dan *frame* memanjang, guna mengekang seluruh perpindahan (*displacement*) serta rotasi pada titik-titik tumpu tersebut. Selain pengekangan mekanis, skenario pembebanan didefinisikan secara komprehensif melalui pemberian beban tekanan (*pressure load*) pada permukaan pelat *deck* untuk menyimulasikan bobot muatan operasional, serta pembebanan gravitasi guna memperhitungkan berat sendiri (*self-weight*) dari material. Penerapan kondisi batas yang terkalibrasi secara realistis ini memastikan bahwa model komputasi mampu memberikan gambaran perilaku struktural yang presisi dan mendekati kondisi kerja kapal yang sebenarnya di lapangan, divisualisasikan di Gambar 3.

Guna menjamin keandalan dan validitas hasil simulasi, analisis konvergensi *mesh* dilakukan dengan menguji beberapa variasi ukuran *mesh* secara bertahap. Studi konvergensi ini bertujuan untuk memastikan bahwa luaran simulasi telah stabil dan tidak lagi terpengaruh secara signifikan oleh kerapatan elemen tertentu. Hasil pengujian konvergensi *mesh* disajikan pada Tabel 1.



Gambar 3. Kondisi Batas Simulasi

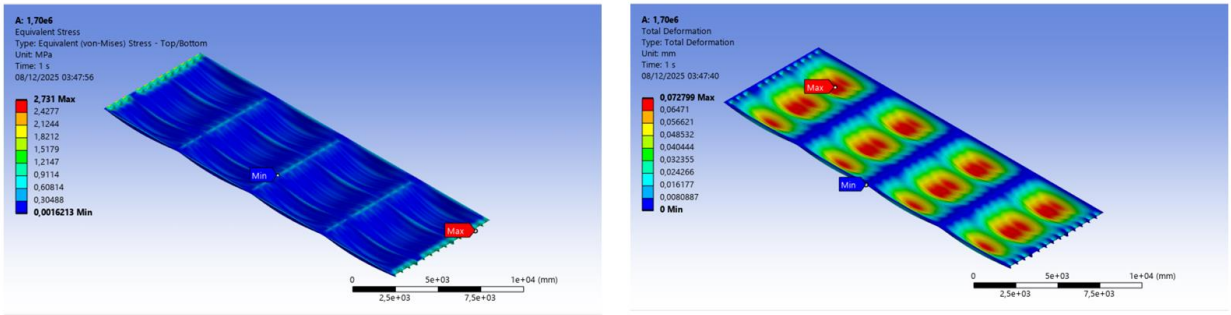
Tabel 1. Rekapan hasil studi konvergensi

No.	Ukuran Mesh (mm)	Jumlah Elemen	Jumlah Node	Deformasi (mm)
1	75	58.240	203.678	0,072938
2	80	55.000	195.489	0,072430
3	90	45.746	165.559	0,071292
4	100	40.320	145.172	0,072799

Berdasarkan data pada Tabel 1, nilai deformasi yang dihasilkan menunjukkan respon yang sangat stabil dan konsisten pada seluruh skenario ukuran *mesh*. Mengingat respon deformasi relatif konvergen sementara jumlah *node* dan elemen meningkat drastis pada ukuran *mesh* yang lebih halus, maka ukuran *mesh* 100 mm dipilih sebagai parameter acuan dalam simulasi ini. Pemilihan ukuran *mesh* 100 mm memberikan tingkat efisiensi waktu komputasi yang paling optimal tanpa mengorbankan akurasi hasil analisis.

Hasil Simulasi

Melalui analisis kritis yang dilakukan oleh mahasiswa, hasil simulasi menunjukkan bahwa struktur geladak yang dianalisis memiliki kapasitas struktural yang memadai untuk menahan pembebanan operasional. Mahasiswa berhasil mengidentifikasi bahwa nilai tegangan maksimum yang terjadi berada jauh di bawah batas luluh (*yield strength*) material, sehingga respon mekanis struktur dipastikan tetap bekerja dalam rentang elastis. Konsentrasi tegangan yang terdeteksi pada area sambungan *stiffener* dan *girder* dinilai oleh mahasiswa sebagai fenomena struktural yang wajar, mengingat lokasi tersebut merupakan titik transisi perubahan kekakuan (*stiffness discontinuity*).



Gambar 4. Hasil simulasi oleh mahasiswa

Pada pengamatan Gambar 4, mahasiswa mampu memetakan bahwa nilai tegangan maksimum berpusat di area sambungan pelat. Temuan ini secara cermat dikorelasikan oleh mahasiswa dengan penerapan *fixed support* pada tumpuan, yang memicu terjadinya pemusatan tegangan (*stress concentration*) lokal sehingga nilainya terukur jauh lebih tinggi dibandingkan area di sekitarnya. Sementara itu, pada analisis Gambar 4.2, mahasiswa mengidentifikasi bahwa deformasi terbesar terjadi pada panel pelat yang tidak disokong oleh *transversal beam*. Keberhasilan mahasiswa dalam mengevaluasi pola distribusi deformasi ini mempertegas pemahaman mereka mengenai peran vital *stiffener* dan *girder* dalam menjaga kekakuan lokal maupun global struktur geladak.

Keberhasilan mahasiswa dalam menerapkan kondisi batas (*boundary condition*) yang realistis serta memvalidasi konvergensi *mesh* secara cermat memberikan tingkat kepercayaan yang tinggi terhadap keandalan hasil perhitungan numerik ini. Seluruh pola tegangan dan deformasi yang dievaluasi terbukti konsisten dengan prinsip dan teori mekanika pelat.

Berdasarkan sintesis data komputasi yang menyeluruh tersebut, mahasiswa secara mandiri dan kritis berhasil mengambil keputusan teknis bahwa konfigurasi struktur geladak dikategorikan aman dan layak (*safe and fit for purpose*) untuk beroperasi di bawah skenario beban normal. Selain keputusan kelayakan tersebut, mahasiswa juga berhasil merekomendasikan beberapa area krusial yang berpotensi untuk dioptimalkan lebih lanjut guna meningkatkan efisiensi desain struktur di masa mendatang.

KESIMPULAN

Kegiatan edukasi dan riset terapan analisis struktur kapal berbasis *Finite Element Method* (FEM) ini telah berhasil dilaksanakan dan mencapai tujuan yang ditetapkan. Melalui penerapan pendekatan andragogi berbasis pemecahan masalah (*problem-based learning*), mahasiswa Program Studi Teknik Perkapalan dan Teknik Transportasi Laut berhasil menguasai tiga tahapan teknis komputasi utama, yaitu perumusan kondisi batas (*boundary conditions*), verifikasi dan studi konvergensi *mesh*, serta interpretasi hasil simulasi.

Tingkat ketercapaian kegiatan ditunjukkan oleh kemampuan kritis mahasiswa dalam mengevaluasi parameter komputasi, di mana ukuran *mesh* 100 mm (40.320 elemen)

ditetapkan sebagai parameter acuan yang stabil dan konvergen. Dalam tahapan analisis hasil, mahasiswa secara mandiri mampu mengidentifikasi lokasi konsentrasi tegangan von Mises pada sambungan pelat tumpuan jepit serta pola deformasi maksimum pada panel yang minim penyeimbang transversal. Berdasarkan fakta bahwa tegangan maksimum bekerja dalam rentang elastis material, mahasiswa berhasil mengambil keputusan teknis bahwa struktur geladak berada dalam kondisi aman dan layak operasional (*safe and fit for purpose*) di bawah skenario beban normal.

Dampak utama dari program ini adalah terciptanya peningkatan kompetensi teknis, daya nalar rekayasa, serta kemandirian mengambil keputusan ilmiah bagi mahasiswa sebagai calon teknokrat maritim di Kalimantan. Implikasi ke depan, model pembelajaran komputasi berbasis riset ini sangat potensial untuk terus berkelanjutan dan diterapkan pada modul analisis struktur kapal yang lebih kompleks, guna mendukung hilirisasi riset preventif demi menekan risiko kecelakaan kapal patah serta memajukan kualitas SDM maritim di Pulau Kalimantan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih dan selamat penulis ucapkan pada para wisudawan yang menulis di karya ilmiah ini. Kontribusi tim penulis pada Mata Kuliah Analisa Struktur Kapal di Institut Teknologi Kalimantan telah menghasilkan karya yang baik.

REFERENSI

[1] A. I. Wulandari, W. Setiawan, T. Hidayat, and A. Fauzi, “Desain Skimmer Boat (Kapal Pengambil Sampah) Daerah Perairan Sungai di Kalimantan Timur,” *WAVE: Jurnal Ilmiah Teknologi Maritim*, vol. 14, no. 1, 2020.

[2] S. Nam, J.-C. Park, J.-B. Park, and H. K. Yoon, “Numerical Simulation of Seakeeping Performance of a Barge Using Computational Fluid Dynamics (CFD)-Modified Potential (CMP) Model,” *J. Mar. Sci. Eng.*, vol. 12, no. 3, p. 369, Feb. 2024, doi: 10.3390/jmse12030369.

[3] D. W. Mentar and M. Zaini, “Status Hukum Kapal Tenggelam (Shipwreck) dan Tanggung Jawab Hukum Pemilik: Studi Kasus KM Dahliya F3 di Perairan Kalimantan Timur,” *Jurnal Multidisiplin Ilmu Akademik*, vol. 3, no. 3, pp. 466–475, 2026.

[4] M. A. Rafdi, “Identifikasi Terjadinya Insiden Tubrukan Antar Tongkang Terang 3003 dan Tongkang Finacia 103 pada Saat Proses Kegiatan Towing di Tanjung Redeb, Kalimantan Timur,” Bachelor Thesis, Politeknik Ilmu Pelayaran, Semarang, 2024.

[5] A. Meinken and H.-J. Schlüter, “Collapse behaviour of a push-barge,” *Marine Structures*, vol. 15, no. 2, pp. 193–209, Mar. 2002, doi: 10.1016/S0951-8339(01)00023-5.

[6] Alamsyah, F. Indah Sari, A. Mursid Nugraha Arifuddin, M. Uswah Pawara, and A. Aras Mubarak, “Experimental Test of Tensile Strength of Barge Deck Plate Welded Joints,” *International Journal of Metacentre*, vol. 2, no. 2, 2022.

[7] N. A. Saputra, I. Hamidah, A. Setiawan, L. S. Riza, I. Rachman, and T. Matsumoto, "Technology Literacy of Vocational Students in CAD Learning Materials: A Study at Private and Public Mechanical Engineering Vocational Schools," *Journal of Technical Education and Training*, vol. 17, no. 2, pp. 1–21, 2025.

[8] A. Anisah, T. Iriani, M. A. Ramadhan, and Y. Yusrina, "The Relevance of the Merdeka Curriculum Vocational School to the Competency Needs in the Construction Field in the Industry," *INVOTEK: Jurnal Inovasi Vokasional dan Teknologi*, vol. 23, no. 3, pp. 199–206, Jun. 2024, doi: 10.24036/invotek.v23i3.1161.

[9] M. F. Isbah *et al.*, "Vocational education and skills development for new economies in Indonesia: uneasy parallel challenges," *Asian Education and Development Studies*, pp. 1–14, Nov. 2025, doi: 10.1108/AEDS-09-2025-0461.

[10] F. W. Pratama, A. I. Wulandari, M. A. Syam, J. Wahidah, C. L. Agusty, and H. Syahab, "Strategic Human Capital Development for Maritime Infrastructure through Enhanced CAD Competency in Vocational Education," *Indonesian Journal of Maritime Technology*, vol. 3, no. 2, Dec. 2025, doi: 10.35718/ismatech.v3i2.8481886.

[11] D. L. Logan, *A First Course in the Finite Element Method*, 6th ed. Boston: Cengage Learning, 2015.

[12] H. Syahab *et al.*, "Structural Design Evaluation For Underwater Remotely Operated Vehicle (ROV), Case Study: Madura Straits," in *10th International Seminar on Ocean, Coastal Engineering, Environmental and Natural Disaster Management*, Surabaya: IOP Publishing, 2023.

[13] Y. Sanjaya, A. R. Prabowo, F. Imaduddin, and N. A. Binti Nordin, "Design and Analysis of Mesh Size Subjected to Wheel Rim Convergence Using Finite Element Method," *Procedia Structural Integrity*, vol. 33, pp. 51–58, 2021, doi: 10.1016/j.prostr.2021.10.008.

[14] Moaveni. S, "Finite element analysis: theory and application with ANSYS.," *Upper Saddle River, N.J*, 1999.