

Analisis Kekuatan Struktur *Rampdoor* Kapal Ro-Ro 600 GT Menggunakan Metode Elemen Hingga (FEM)

Muhammad Rizki Andika Saputra¹, Muhammad Ilham Nurrahim Dermawan²,
Muhammad Al Hazman³, Agung Prasetyo Utomo⁴, Priyambodo Nur Ardi Nugroho⁵, Ani
Listriyana⁶

¹ Teknik Perancangan Dan Konstruksi Kapal, Jurusan Teknik Bangunan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri
Surabaya, Jl. Teknik Kimia, Kampus ITS Sukolilo, Surabaya, Jawa Timur, Indonesia, 60111,

² Universitas Abdurachman Saleh, Jl. Pb. Sudirman No.7, Karangasem, Patokan, Kec. Situbondo, Kabupaten
Situbondo, Jawa Timur 6831

Email: msaputra24@student.ppns.ac.id¹, muhammadilham21@student.ppns.ac.id², al.hazman@ppns.ac.id³,
agungprasetyo@ppns.ac.id⁴, priyambodo@ppns.ac.id⁵, ani.listriyana@unars.ac.id⁶

Abstrak

Rampdoor merupakan elemen struktural utama pada kapal Ro-Ro yang harus memiliki kekuatan tinggi untuk menahan beban kendaraan selama proses loading dan unloading. Penelitian ini fokus pada analisis kekuatan rampdoor menggunakan simulasi numerik berdasarkan metode elemen hingga (Finite Element Method/FEM). Data teknis diperoleh dari desain rampdoor kapal RO-RO 600 GT, termasuk spesifikasi material baja A36 sesuai standar BKI. Pembebanan yang dianalisis berasal dari tiga jenis kendaraan, dengan variasi kondisi operasional kapal. Hasil simulasi menunjukkan bahwa nilai tegangan SUV 1.72 N/mm², mobil komersil 1.56 N/mm² dan truk kecil 2.9 N/mm², dan nilai faktor keamanannya SUV 68.31, mobil komersil 75.32 dan truk kecil 40.52. Dengan demikian, rampdoor yang dianalisis memiliki kekuatan struktural yang memadai dan dinyatakan aman terhadap beban kerja aktual.

Kata kunci: Rampdoor, kekuatan, faktor keamanan

Abstract

Rampdoor is the main structural element on Ro-Ro ships that must have high strength to withstand vehicle loads during loading and unloading processes. This study focuses on the strength analysis of rampdoors using numerical simulations based on the Finite Element Method (FEM). Technical data were obtained from the rampdoor design of a 600 GT RO-RO ship, including the A36 steel material specifications according to BKI standards. The loads analyzed came from three types of vehicles, with variations in ship operational conditions. The simulation results showed that the stress value of SUVs was 1.72 N/mm², commercial cars 1.56 N/mm² and small trucks 2.9 N/mm², and the safety factor value of SUVs was 68.31, commercial cars 75.32 and small trucks 40.52. Thus, the analyzed rampdoor has adequate structural strength and is declared safe against actual working loads.

Keywords: Rampdoor, strength, safety factor

1. Metode Penelitian

Metode penelitian ini menggunakan metode analisis numerik berbasis *Finite Element Method* (FEM) untuk mengevaluasi kekuatan struktur *rampdoor* pada kapal Ro-Ro. Data utama yang digunakan meliputi gambar teknis *rampdoor*, spesifikasi material, serta jenis dan besar beban dari kendaraan yang melintasi *rampdoor*. Material yang digunakan adalah baja A36, sesuai dengan standar klasifikasi dari Biro Klasifikasi Indonesia (BKI).

Langkah pertama dalam metode ini adalah pengumpulan data teknis, termasuk dimensi *rampdoor*, ketebalan pelat, jenis sambungan, serta spesifikasi kendaraan berupa berat kendaraan dan konfigurasi roda. Data diperoleh melalui studi literatur, dokumen desain, dan sumber-sumber akademik relevan. Selanjutnya dilakukan pemodelan geometri *rampdoor* menggunakan perangkat lunak desain berbasis CAD.

Setelah pemodelan selesai, proses dilanjutkan dengan *meshing* untuk membagi struktur menjadi elemen-elemen kecil guna meningkatkan akurasi perhitungan. Ukuran mesh disesuaikan untuk mencapai hasil yang optimal antara waktu komputasi dan ketelitian simulasi. Kondisi batas (*boundary conditions*) diterapkan berupa tumpuan tetap pada bagian tertentu *rampdoor*, serta beban vertikal yang merepresentasikan gaya dari roda kendaraan.

Simulasi dilakukan dengan memvariasikan jenis kendaraan, yaitu SUV, mobil komersial, dan truk kecil, serta memodelkan kondisi operasional kapal seperti kondisi air tenang, hogging, dan sagging. Hasil simulasi dianalisis untuk memperoleh nilai tegangan maksimum, distribusi tegangan, serta nilai faktor keamanan (*safety factor*) berdasarkan perbandingan antara tegangan kerja dengan tegangan izin material.

Dari hasil analisis FEM ini, dapat dilakukan evaluasi terhadap kelayakan struktural *rampdoor* terhadap beban kerja aktual. Pendekatan ini diharapkan memberikan gambaran yang akurat tentang kekuatan dan keamanan *rampdoor*, serta menjadi dasar pertimbangan dalam perancangan ulang atau peningkatan desain *rampdoor* kapal Ro-Ro.



Gambar 1 Diagram Alir

1.1 Ukuran Utama

Pada analisis, tahapan pertama yang dipersiapkan adalah bahan dimensi utama kapal, gambar rencana umum, gambar konstruksi. Kemudian, dari data tersebut dilakukan perhitungan distribusi beban dari lambung kapal dan bangunan atas kapal dengan menggunakan perhitungan dari ukuran utama *rampdoor* bisa dilihat dalam tabel berikut.

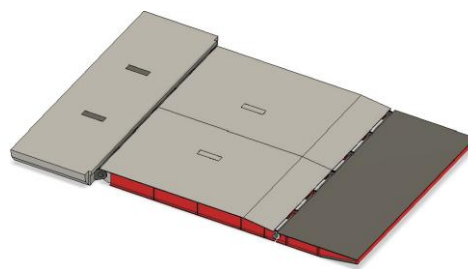
Tabel 1 dimensi utama *ramp door*

DIMENSI RAMP DOOR	BESARAN	SATUAN
L	5176,29	mm
B	4000	mm
H	12	mm

Tahap kedua melibatkan perhitungan pembebanan *rampdoor* berdasarkan distribusi beban kendaraan, dengan data dari gambar teknis. Tahap berikutnya adalah perhitungan momen inersia terhadap sumbu vertikal dan horizontal menggunakan gambar konstruksi *rampdoor*. Output dari analisis balok ini berupa tegangan yang terjadi pada struktur *rampdoor* akibat beban kerja.

1.2 Metode Ilmiah

Pada analisis menggunakan metode elemen hingga, tahapan pertama yang dilakukan adalah pengumpulan data dan studi literatur yang relevan dengan topik *rampdoor*. Studi literatur diperoleh dari jurnal ilmiah, peraturan BKI, serta referensi tugas akhir terdahulu. Data yang dikumpulkan meliputi dimensi *rampdoor*, gambar konstruksi *rampdoor*, serta spesifikasi material yang digunakan dalam struktur *rampdoor*.



Gambar 2 pemodelan *ramp door*

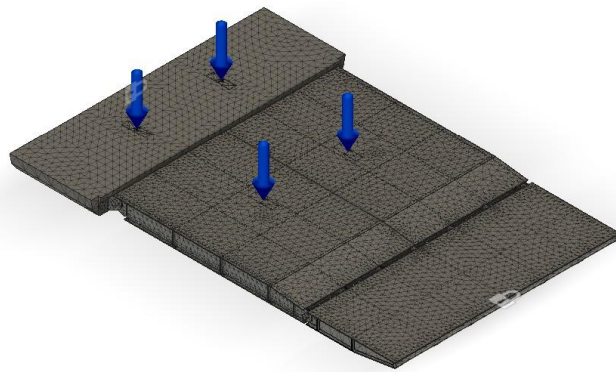
Tahapan kedua, direalisasikan pemodelan *rampdoor* semacam pada Gambar 2, Pemodelan dilaksanakan di area *ramp door* dengan pertimbangan bahwa area *rampdoor* rawan untuk dilalui kendaraan saat loading dan unloading.

Tahapan ketiga proses meshing pada model *rampdoor*. Pengaruh meshing size dalam analisis kekuatan adalah semakin kecil meshing size 300 yang digunakan maka hasil analisis yang diperoleh akan semakin akurat, akan tetapi waktu yang dibutuhkan untuk running pada *software* akan semakin lama (Wulandari, 2022).

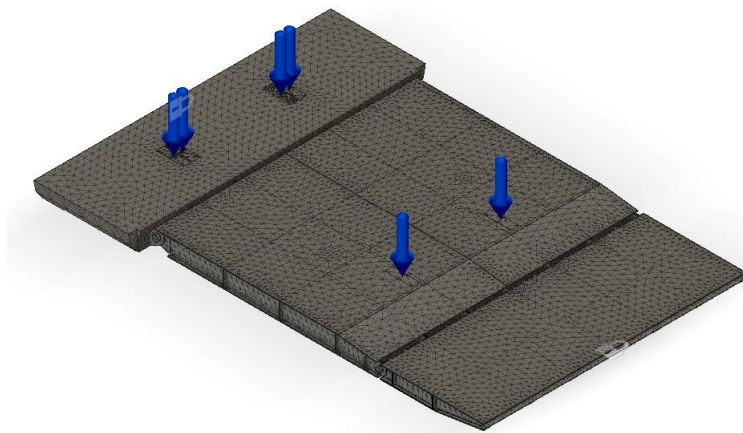


Gambar 3 meshing pemodelan

Tahapan keempat yaitu model *rampdoor* di *software* diberi kondisi batas yaitu meliputi pembebanan (loads) dan tumpuan (constraints) di *rampdoor*. Pembebanan yang diberikan pada variasi SUV, mobil komersil, dan truk kecil. Output dari analisis ini adalah nilai dari tegangan maksimum dan faktor keamanan.



Gambar 4 pembebanan SUV dan mobil komersil



Gambar 5 pembebanan truk kecil

1.3 Penentuan Jenis Material

Pemilihan material merupakan salah satu aspek penting dalam analisis kekuatan struktur *rampdoor* kapal Ro-Ro. Material yang digunakan harus mampu menahan beban dinamis dari kendaraan yang melintas, serta memiliki ketahanan terhadap lingkungan laut yang korosif dan kondisi kerja yang berat. Dalam penelitian ini, material yang dipilih untuk struktur *rampdoor* adalah baja A36, adalah salah satu jenis baja struktural standar yang banyak dipakai dalam industri perkapalan. Kriteria bahan sebagai berikut :

- Modulus elastisity = 200 Gpa
- Ultimate stress = 400 MPa
- Yield = 235 MPa
- Shear modulus = 79,3 GPa
- Poisson ratio = 0,3
- Density = 7,8 ton/m

1.4 Perhitungan Beban Pada Setiap Jenis Kendaraan

Dalam pembebanan pada *stern rampdoor* ini yang menggunakan tiga variasi dalam setiap jenis kendaraan. Variasi kendaraan yang diambil ada tiga jenis kendaraan yaitu, SUV, mobil komersil dan truk kecil. Berikut adalah spesifikasi dari jenis kendaraannya :

- a. Mobil SUV
$$F = m \times g$$
$$= 1948.85 \times 9,8$$
$$= 22227.18 \text{ N}$$
- b. Mobil komersil
$$F = m \times g$$
$$= 2057.67 \times 9,8$$
$$= 20165.17 \text{ N}$$
- c. Truk Kecil
$$F = m \times g$$
$$= 7341.82 \times 9,8$$
$$= 71949.84 \text{ N}$$

2. Hasil dan Diskusi

Hasil melalui penelitian ini diperoleh melalui pendekatan numerik memakai metode elemen hingga (Finite Element Method/FEM) yang diaplikasikan pada struktur *rampdoor* kapal Ro-Ro. Metode ini menghasilkan output yang sangat penting dalam mengevaluasi performa struktur, terutama dalam bentuk tegangan maksimum, distribusi tegangan, dan perilaku deformasi akibat beban kendaraan yang melintasi *rampdoor*. Analisis dilakukan berdasarkan data desain teknis *rampdoor* dan pembebanan dari tiga jenis kendaraan yang umum digunakan, yaitu SUV, mobil komersial, dan truk kecil, yang merepresentasikan variasi beban aktual dalam operasional kapal.

Lebih lanjut, hasil simulasi juga memperlihatkan respons elastis material terhadap gaya vertikal yang bekerja selama proses loading dan unloading. Tidak ditemukan deformasi berlebih ataupun indikasi kerusakan struktural pada model *rampdoor*, baik dalam kondisi statis (air tenang) maupun dalam skenario pembebanan dinamis seperti hogging dan sagging. Hal ini menunjukkan bahwa desain *rampdoor* yang diuji mampu mempertahankan bentuk dan kekuatannya secara efektif dalam berbagai kondisi operasi.

Analisis ini tidak hanya memberikan gambaran kuantitatif berupa angka tegangan, tetapi juga memberikan gambaran visual mengenai titik-titik lemah potensial dan penyebaran gaya dalam struktur *rampdoor*. Dengan demikian, FEM menjadi alat yang sangat efektif dan informatif dalam menilai integritas struktural *rampdoor* tanpa harus melakukan pengujian fisik yang mahal dan memakan waktu.

Secara keseluruhan, hasil penelitian ini membuktikan bahwa metode elemen hingga memberikan pendekatan yang sangat mendalam dan komprehensif dalam menilai kekuatan *rampdoor*. Nilai tegangan maksimum dan distribusinya yang diperoleh dari simulasi menunjukkan bahwa struktur masih berada dalam batas aman, sehingga *rampdoor* layak digunakan dalam kondisi operasional normal. Temuan ini dapat dijadikan dasar bagi perancang kapal dalam mengoptimalkan desain *rampdoor* pada proyek pembangunan kapal Ro-Ro di masa depan.

3.1. Hasil Metode Elemen Hingga

Pada analisis kekuatan struktur memakai metode elemen hingga (*Finite Element Method/FEM*), tahap pertama yang sangat krusial adalah proses pemodelan geometri (*modelling*) dan pembagian elemen (*meshing*) dari struktur yang akan dianalisis. Dalam konteks penelitian ini, geometri *rampdoor* kapal Ro-Ro dimodelkan berdasarkan data teknis dan gambar konstruksi yang telah tersedia, mencakup dimensi utama, ketebalan pelat, dan konfigurasi sambungan struktur. Pemodelan dilakukan dengan perangkat lunak berbasis CAD (*Computer-Aided Design*) yang mampu merepresentasikan bentuk asli *rampdoor* dalam ruang tiga dimensi.

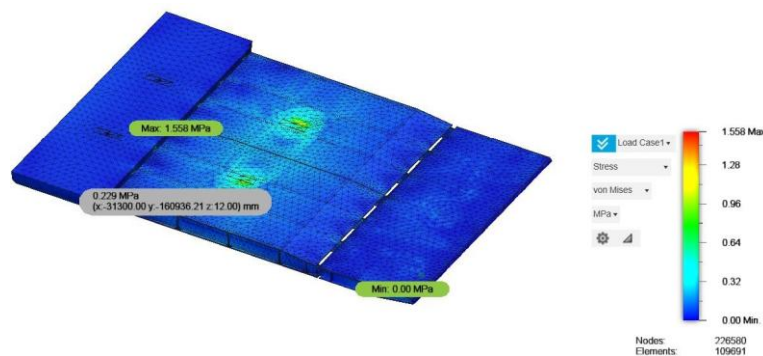
Setelah proses pemodelan selesai, tahap selanjutnya adalah *meshing*, yaitu proses membagi struktur kompleks menjadi elemen-elemen kecil (*finite elements*) agar proses perhitungan numerik dapat dilakukan dengan akurat. Proses *meshing* ini merupakan inti dari metode FEM, karena kualitas dan ukuran mesh sangat berpengaruh terhadap akurasi hasil analisis. Pada struktur *rampdoor*, elemen yang digunakan biasanya berupa elemen segitiga atau segi empat yang saling terhubung pada titik simpul (*nodes*). Semakin kecil ukuran elemen mesh, maka semakin tinggi tingkat ketelitian hasil analisis, namun konsekuensinya adalah meningkatnya waktu komputasi dan kebutuhan memori sistem.

Dalam penelitian ini, dilakukan pemilihan ukuran mesh secara cermat untuk mencapai keseimbangan antara ketelitian hasil dan efisiensi waktu proses simulasi. Area-area yang diperkirakan mengalami konsentrasi tegangan lebih

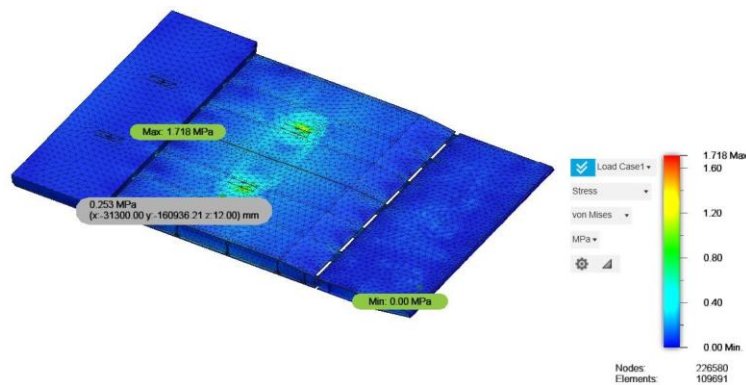
tinggi, seperti tumpuan roda kendaraan atau sambungan pelat, diberikan ukuran mesh yang lebih kecil agar mampu menangkap detail tegangan secara lebih akurat. Sedangkan area dengan distribusi tegangan yang lebih merata diberi mesh yang lebih besar untuk menghemat sumber daya komputasi.

Proses meshing *rampdoor* dilakukan menggunakan perangkat lunak simulasi yang mendukung metode FEM, seperti Autodesk Fusion, ANSYS, atau SolidWorks Simulation. Setelah meshing selesai, tahap berikutnya adalah pemberian kondisi batas (*boundary conditions*), berupa pembebanan dan tumpuan yang menggambarkan kondisi kerja aktual *rampdoor*. Beban kendaraan diberikan pada permukaan *rampdoor* sesuai dengan posisi dan berat kendaraan (SUV, mobil komersial, dan truk kecil), sementara tumpuan diterapkan pada sisi *rampdoor* yang terhubung ke struktur kapal.

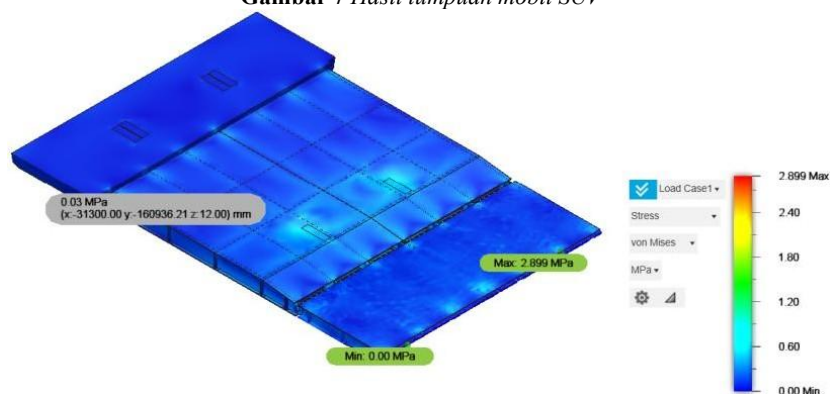
Dengan proses pemodelan dan meshing yang tepat, struktur *rampdoor* dapat disimulasikan secara realistis dalam berbagai kondisi operasional kapal, seperti saat berada dalam keadaan air tenang, hogging, atau sagging. Hasil dari tahap ini menjadi dasar untuk memperoleh distribusi tegangan, deformasi, serta nilai faktor keamanan struktur, yang kemudian dianalisis lebih lanjut untuk menilai kelayakan dan kekuatan *rampdoor* dalam mendukung beban kendaraan selama operasional kapal.



Gambar 6 Hasil tumpuan mobil komersil



Gambar 7 Hasil tumpuan mobil SUV



Gambar 8 Hasil tumpuan truck kecil

3.2. Hasil Analisa

Setelah dilakukan proses pemodelan ramp door kapal Ro-Ro menggunakan perangkat lunak berbasis metode elemen hingga, analisis dilanjutkan dengan pemberian pembebanan sesuai dengan kondisi kerja aktual. Beban yang diberikan berupa tekanan akibat kendaraan bermuatan yang melintas di atas permukaan ramp door, beban mati dari struktur itu sendiri, serta tekanan hidrostatik dari air laut yang bekerja pada bagian bawah struktur. Model geometri dibuat sesuai dengan dimensi aktual ramp door, dengan jenis material baja struktural (mild steel) yang umum digunakan dalam industri perkapalan.

Tabel 2 Hasil Analisa ramp door

Jenis Kendaraan	Tegangan Maksimum (N/mm ²)	Deformasi Maksimum (cm)
SUV	1,72	0,00023
Mobil Komersil	1,56	0,00021
Truk Kecil	2,9	0,00027

3.3. Faktor Keamanan (Safety Factor)

Faktor keamanan (*safety factor*) merupakan parameter penting dalam analisis kekuatan struktur, yang menunjukkan sejauh mana struktur mampu menahan beban kerja dibandingkan dengan batas kemampuan materialnya. Secara umum, faktor keamanan dihitung sebagai komparasi antara tegangan ijin (*allowable stress*) dengan tegangan kerja maksimum yang terjadi pada struktur akibat beban eksternal. Semakin besar nilai faktor keamanan, maka semakin besar pula margin keamanan yang dimiliki oleh struktur terhadap kegagalan.

Dalam analisis *rampdoor* kapal Ro-Ro ini, perhitungan faktor keamanan dilakukan setelah nilai tegangan maksimum diperoleh dari hasil simulasi metode elemen hingga (FEM). Tegangan ijin yang digunakan sebagai acuan diperoleh dari standar klasifikasi Biro Klasifikasi Indonesia (BKI) untuk material baja A36, yaitu material utama yang digunakan pada konstruksi *rampdoor*. Tegangan ijin ditentukan berdasarkan tegangan leleh material dan nilai koreksi tertentu sesuai ketentuan desain maritim. Dimana persamaannya adalah sebagai berikut :

Bending stress

$$\sigma = \frac{120}{k} \quad (\text{Mpa})$$

Shear stress

$$\tau = \frac{80}{k} \quad (\text{Mpa})$$

Equivalent stress

$$\sigma_v = \sqrt{\sigma^2 + 3 \tau^2} = \frac{120}{k} \quad (\text{Mpa})$$

$$SF = \frac{\text{Tegangan Maksimum}}{\text{Tegangan Ijin}}$$

SF = Safety Factor ≥ 1

Sesudah mendapatkan hasil tegangan yang berlangsung pada konstruksi stern ramp door maka diambil tegangan terbesar untuk memperkirakan nilai safety factor nya apakah masih dalam kondisi aman atau tidak. Ada dua variasi peletakan beban yaitu :

Tabel 3 Perhitungan safety factor

Jenis Kendaraan	Tegangan Maksimum (N/mm ²)	Tegangan Ijin (N/mm ²)	Safety Factor	ket
SUV	1,72	117,5	68,31	ok
Mobil Komersil	1,56	117,5	75,32	ok
Truk Kecil	2,9	117,5	40,52	ok

Hasil simulasi membuktikan bahwa tegangan maksimum yang berlangsung masih berada jauh di bawah tegangan ijin material, sehingga nilai faktor keamanannya memenuhi syarat ≥ 1 . Bahkan dalam beberapa variasi pembebanan kendaraan, nilai faktor keamanan mencapai angka di atas 40, yang menunjukkan bahwa struktur *rampdoor* berada dalam kondisi sangat aman terhadap beban kendaraan seperti SUV, mobil komersial, dan truk kecil.

Evaluasi terhadap faktor keamanan ini tidak hanya digunakan untuk memastikan kelayakan struktur terhadap beban saat ini, tetapi juga untuk mengantisipasi kemungkinan perubahan kondisi beban di masa depan, seperti penambahan jenis kendaraan atau perubahan konfigurasi muatan. Dengan nilai safety factor yang tinggi, struktur *rampdoor* dapat dikatakan memiliki ketahanan yang cukup terhadap beban kerja maupun beban dinamis yang berubah-ubah selama operasi kapal.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis kekuatan struktur *rampdoor* kapal Ro-Ro yang dilakukan memakai metode elemen hingga dan pendekatan analisis balok, dapat disimpulkan bahwa struktur *rampdoor* mampu menahan beban dari berbagai jenis kendaraan, termasuk SUV, mobil komersial, dan truk kecil. Analisis dilakukan dalam kondisi kendaraan melewati ramp door.

Perhitungan menggunakan *software* FEM menunjukkan nilai tegangan maksimum yang berlangsung masih berada di bawah batas tegangan ijin material baja A36 yang digunakan, sesuai standar BKI. Nilai faktor keamanan (safety factor) juga memenuhi syarat dengan nilai ≥ 1 , yang berarti struktur *rampdoor* berada dalam kondisi aman terhadap berbagai variasi beban kendaraan.

Dengan demikian, *rampdoor* yang dianalisis dinyatakan layak secara struktural dan aman digunakan dalam operasional bongkar muat kendaraan di kapal Ro-Ro. Hasil ini juga menunjukkan bahwa metode FEM sangat efektif dalam memberikan gambaran detail terhadap distribusi tegangan, serta dapat menjadi alat bantu penting dalam proses evaluasi dan optimalisasi desain *rampdoor* ke depan.

5. Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya terhadap semua pihak yang telah memberikan dukungan dalam proses penyusunan jurnal ini. Terima kasih atas bantuan fasilitas, data, serta masukan yang berharga selama penelitian berlangsung. Tidak lupa, apresiasi juga diberikan terhadap dosen pembimbing dan rekan-rekan yang telah memberikan kritik dan saran yang membangun demi penyempurnaan jurnal ini. Semoga karya ini dapat memberikan kontribusi positif dalam pengembangan ilmu pengetahuan, khususnya di bidang perkapalan.

6. Daftar Pustaka

- Biro Klasifikasi Indonesia. 2014. Rules for the classification and Construction. Part 1 Seagoing Ship. Volume II Rules for Hull. Jakarta: Biro Klasifikasi Indonesia.
- Wulandari, A. I., Suardi, S., & Ruspanyansyah, D. P. W. (2022). Analisis Kekuatan Memanjang pada Geladak Kapal Kontainer dengan Metode Elemen Hingga. *WAVE: Jurnal Ilmiah Teknologi Maritim*, 16(1), 17-22
- Davies, P. (2016). Environmental degradation of composites for marine structures: new materials and new applications. *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 374(2071), 20150272.
- Ricardianto, P., Sakti, R. F. J., Sembiring, H. F. A., & Abidin, Z. (2021). Safety study on state ships and commercial ships according to the requirements of Solas 1974. *Journal of Economics, Management, Entrepreneurship, and Business (JEMEB)*, 1(1), 1-11.
- Ringsberg, J. W., & Soares, C. G. (Eds.). (2023). *Advances in the Analysis and Design of Marine Structures*. CRC Press Taylor & Francis Group.
- Truelock, D., Lavroff, J., Pearson, D., Czaban, Z., Luo, H., Wang, F., ... & Nicholls-Lee, R. (2022, September). Committee v. 5: Special vessels. In *International Ship and Offshore Structures Congress* (p. D011S001R006). SNAME. Lloyd's Register of British, & Foreign Shipping (Firm). (1898). *Lloyd's Register of British and Foreign Shipping* (Vol. 1). Cox and Wyman, printers..
- Hughes, O. F., & Paik, J. K. (2010). *Ship structural analysis and design*.
- Kim, H. S., Cho, M. G., Kang, S. W., Kim, J. W., Pyo, C. M., Ji, C. W., & Park, J. I. (2023, June). Design and Simulation of Hinge-Type Ro-Ro (Roll-on/Roll-off) Ship Car Deck Structure. In *ISOPE International Ocean and Polar Engineering Conference* (pp. ISOPE-I). ISOPE.