

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Sebagai negara kepulauan dengan 17.504 pulau, transportasi laut menjadi tulang punggung distribusi logistik nasional (Anugerah, 2022). Efisiensi angkutan laut secara langsung memengaruhi pertumbuhan ekonomi melalui penurunan biaya logistik dan peningkatan aksesibilitas komoditas (Febriansyah & Sahara, 2023). Tantangan geografis ini menuntut kapal dengan desain khusus untuk mengoptimalkan kapasitas muat tanpa mengorbankan keamanan.

Transportasi laut memegang peranan vital dalam mendukung konektivitas antarwilayah di negara kepulauan seperti Indonesia (Tira et al., 2024). Salah satu moda transportasi yang banyak digunakan adalah kapal jenis *Roll-on/Roll-off* (Ro-Ro), terutama ferry penumpang dan kendaraan yang melayani rute jarak pendek hingga menengah (Meo et al., 2023).

Kapal *Roll-on/Roll-off* (RORO) menjadi solusi strategis untuk penyeberangan antar pulau dengan kemampuan mengangkut kendaraan bermotor secara langsung (Nurwahyudy et al., 2024). Kapal ini dirancang untuk memungkinkan kendaraan dapat langsung naik dan turun dari kapal tanpa alat bantu tambahan, menjadikannya pilihan utama dalam sistem transportasi laut *modern* (Khamid, 2023). Seiring dengan peningkatan permintaan, tantangan dalam desain kapal Ro-Ro juga semakin kompleks, terutama pada bagian deck kendaraan, yang harus mampu menahan beban dari berbagai jenis kendaraan mulai dari sepeda motor hingga truk berat (Pratama et al., 2020).

Dalam industri perkapalan modern, peningkatan kapasitas muatan tidak hanya harus memenuhi aspek efisiensi ruang, tetapi juga aspek keselamatan struktural (Ika Wulandari et al., 2021). Struktur kapal RoRo terdiri dari komponen utama seperti lambung, geladak, dan sistem penopang (*frame*) yang harus menahan beban dinamis selama pelayaran (Mufidah et al., 2020). *Car Deck* menjadi area kritis karena berfungsi sebagai tempat parkir kendaraan sekaligus menahan tekanan gelombang (Pawara et al., 2022a). Desain deck kendaraan, khususnya *upper Car Deck* pada kapal ferry Ro-Ro, menghadapi beban dinamis akibat gerakan kendaraan dan beban muatan kendaraan berat (Juniarti, 2022).

Pendekatan perancangan yang mempertimbangkan modulus penampang (*section modulus*) menjadi penting untuk memastikan kekuatan lentur dan integritas struktur deck tetap terjaga sesuai dengan standar klasifikasi seperti Biro Klasifikasi Indonesia (BKI) (Pawara et al., 2022b). Setiap kapal niaga wajib memenuhi persyaratan badan klasifikasi yang memastikan kekuatan konstruksi yang terpenuhi sebelum diizinkan berlayar (Popa et al., 2024).

Salah satu pendekatan struktural yang umum digunakan untuk mendesain *deck* kapal adalah dengan mengatur jarak antar *frame* dan memilih profil penampang struktur yang optimal. Salah satu studi menunjukkan bahwa variasi jarak antar *frame* memengaruhi nilai momen lentur dan tegangan maksimum pada *deck* kapal secara signifikan (Tuswan et al., 2018a). Jika nilai *section modulus* tidak mencukupi, maka tegangan maksimum pada *frame* dapat melebihi batas izin, berisiko menyebabkan deformasi permanen atau kegagalan struktur (Nur Ardi Nugroho et al., 2023).

Berdasarkan uraian di atas, perlunya penelitian untuk menjawab kebutuhan industri akan desain struktur yang efisien. Salah satu RoRo Ferry yang melayani rute pelayaran Merak – Bakauheni akan dilakukan rancangan baru pada profil *web frame* di area *Car Deck* menggunakan perhitungan modulus penampang berdasarkan standar BKI. Penggunaan pendekatan kuantitatif diharapkan mampu memberikan model desain alternatif yang lebih baik, terutama dalam konteks penguatan struktur tanpa menambah berat signifikan atau mengganggu distribusi beban kapal. Penelitian ini akan menguji desain *Car Deck* yang sudah dimodifikasi, menghitung perubahan modulus, dan mengevaluasi kesesuaian desain tersebut terhadap standar keamanan struktural. Hasil penelitian diharapkan mampu memberikan informasi, pengembangan pengetahuan dalam pengembangan metode desain struktural kapal dan kontribusi praktis bagi industri galangan kapal, khususnya dalam upaya peningkatan efisiensi dan kapasitas muatan kendaraan pada kapal ferry Ro-Ro.

1.2 Rumusan Masalah

1. Bagaimana pengaruh perubahan desain *frame upper Car Deck* terhadap nilai *section modulus* dan kekuatan struktur berdasarkan aturan klas?
2. Berapa peningkatan kapasitas muatan yang dapat dicapai dengan modifikasi *frame* di area *Car Deck* tanpa mengorbankan kekuatan struktur?

3. Bagaimana analisis kelayakan ekonomi dari segi peningkatan pendapatan operasional akibat penambahan kapasitas muatan?

1.3 Tujuan Penelitian Tugas Akhir

Untuk menjawab semua pertanyaan yang terdapat pada rumusan masalah di atas maka penelitian ini memiliki tujuan sebagai:

1. Untuk mengetahui pengaruh perubahan desain *frame upper Car Deck* terhadap nilai *section modulus* dan kekuatan struktur berdasarkan aturan klas.
2. Untuk memperoleh jumlah kapasitas muatan yang dapat dicapai dengan modifikasi *frame* di area ramp in tanpa mengorbankan kekuatan struktur.
3. Untuk memperoleh nilai kelayakan ekonomi dari segi peningkatan pendapatan operasional akibat penambahan kapasitas muatan.

1.4 Batasan Masalah

1. Penelitian ini hanya difokuskan pada analisis dan optimalisasi struktur *frame* pada *upper Car Deck* kapal ferry Ro-Ro jenis penumpang dan kendaraan, tanpa melibatkan analisis struktur pada bagian kapal lainnya seperti *hull*, *bottom deck*, atau *ramp*.
2. Kajian dilakukan dengan menggunakan metode perhitungan modulus penampang (*section modulus*) sebagai parameter utama untuk menilai kekuatan lentur struktur *frame*, tanpa metode lain.
3. Standar acuan yang digunakan dalam evaluasi desain struktur adalah Biro Klasifikasi Indonesia (BKI) terbaru yang berkaitan dengan penilaian kekuatan struktur dek dan *frame* kapal Ro-Ro.
4. Perbandingan dilakukan hanya antara dua model, yaitu model desain serta layout sebelum optimalisasi dan model desain serta layout hasil optimalisasi berdasarkan variasi konfigurasi *frame*.
5. Analisis ekonomi dibatasi pada perhitungan pendapatan kotor per *voyage*, tidak mencakup biaya operasional detail seperti *insurance*, *crew*, dan *maintenance* karena dianalisis menggunakan *incremental analysis*, *payback period*, *3 case sensitivity*.
6. Perhitungan *frame* dibatasi pada *frame* tertentu sebagai area yang memerlukan modifikasi khusus untuk optimalisasi kapasitas muatan.
7. Metode perhitungan menggunakan pendekatan manual berdasarkan Rules for Hull BKI 2025, tanpa metode lain.

1.5 Relevansi atau Manfaat

Adapun manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Memberikan ilmu tambahan mengenai perhitungan modulus untuk dilakukannya modifikasi frame kapal khususnya *frame upper Car Deck* yang optimal untuk struktur kapal ferry Ro-Ro guna meningkatkan kapasitas muatan kendaraan tanpa mengorbankan kekuatan struktur.
2. Menjadi acuan bagi industri galangan kapal dalam merancang dan merekayasa *frame upper Car Deck* yang efisien dan memenuhi standar keamanan struktural berdasarkan ketentuan Biro Klasifikasi Indonesia (BKI).
3. Memberikan rekomendasi desain berbasis perhitungan *section modulus* dan simulasi teknis, sehingga dapat meningkatkan efisiensi struktur, meminimalkan potensi kerusakan akibat beban berlebih, dan memperpanjang umur struktur kapal.
4. Menyediakan referensi teknis bagi institusi akademik dan mahasiswa teknik perkapalan, khususnya dalam kajian perhitungan struktur kapal dan penerapan metode numerik dalam optimasi desain.
5. Mendorong pengembangan penelitian lanjutan dalam bidang rekayasa struktur kapal, terutama yang berfokus pada desain *deck*, kekuatan material, dan integrasi perhitungan teknik dengan regulasi klasifikasi.
6. Memberikan model perhitungan ekonomi sederhana untuk evaluasi investasi modifikasi kapal ferry Ro-Ro berbasis peningkatan kapasitas muatan.

1.6 Hipotesis

Berdasarkan latar belakang dan rumusan masalah yang telah diuraikan, hipotesis penelitian ini adalah sebagai berikut.

Pertama, perubahan dimensi profil *web frame upper Car Deck* dari spesifikasi *existing* menjadi profil yang lebih ramping akan menghasilkan nilai *section modulus* aktual yang tetap memenuhi persyaratan minimum Biro Klasifikasi Indonesia (BKI) 2025.

Kedua, optimalisasi dimensi profil *web frame* yang menghasilkan reduksi tinggi *web plate* akan menciptakan penambahan ruang vertikal (*clearance*) yang cukup untuk meningkatkan kapasitas muatan *upper Car Deck* tanpa mengorbankan integritas struktural kapal dan tanpa melanggar ketentuan standar klasifikasi yang berlaku.

Ketiga, penambahan kapasitas muatan kendaraan yang diperoleh dari modifikasi *web frame* akan menghasilkan peningkatan pendapatan operasional yang secara ekonomi layak untuk diimplementasikan, ditinjau dari nilai *Net Present Value* yang positif dan *Payback Period* yang lebih pendek dari umur ekonomis investasi.

1.7 Rencana Luaran Tugas Akhir

Bentuk luaran dari penelitian yang dilakukan adalah:

1. Publikasi Jurnal Ilmiah “*Structural Optimization of Upper Car Deck Frame for Enhancing Vehicle Capacity on Ro-Ro Ferries*”
2. Poster Ilmiah tentang “OPTIMALISASI *FRAME UPPER CAR DECK* SEBAGAI UPAYA PENAMBAHAN MUATAN KAPAL” yang di HAKI-kan melalui Universitas Diponegoro
3. Modul tentang “ANALISIS KELAYAKAN EKONOMI REDESAIN WEB FRAME KAPAL RO-RO RUTE MERAK – BAKAUHENI” yang di HAKI-kan melalui Direktorat Jenderal Kekayaan Intelektual