

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kapal tongkang (*barge*) merupakan kapal tanpa sistem propulsi mandiri (*non-self-propelled*) yang dirancang untuk mengangkut muatan dalam jumlah besar melalui perairan sungai maupun pesisir. Secara konstruktif, kapal ini memiliki lambung datar dan struktur deck yang luas dengan sistem pelat berpenegar (*stiffened plate system*) yang berfungsi menahan serta mendistribusikan beban muatan ke struktur pendukung seperti *girder* dan rangka. Dalam operasionalnya, tongkang digerakkan dengan bantuan kapal tunda (*tugboat*) dan umumnya digunakan untuk pengangkutan muatan curah seperti batu bara. Karakteristik desain tersebut menjadikan struktur deck sebagai komponen utama yang berperan penting dalam menjamin kekuatan dan keamanan kapal selama proses pemuatan dan pelayaran.



Gambar 1.1. Kapal Tongkang

Sumber : survei lapangan

Secara operasional, konversi muatan memberikan keuntungan berupa peningkatan pemanfaatan kapal dan perluasan sumber pendapatan, sehingga kapal tetap dapat beroperasi secara optimal meskipun terjadi perubahan

permintaan komoditas. Namun, perubahan jenis muatan tidak hanya berdampak pada aspek ekonomi dan operasional, tetapi juga memengaruhi kondisi teknis struktur kapal.

Setiap jenis muatan memiliki karakteristik pembebanan yang berbeda sehingga menghasilkan respons struktur yang berbeda pula. Muatan curah seperti batubara umumnya memberikan beban yang tersebar merata pada ruang muat dan struktur deck, sehingga distribusi tegangan cenderung lebih homogen. Sebaliknya, muatan kontainer memberikan beban melalui sistem *corner casting* yang bekerja secara terpusat pada titik tertentu di atas deck kapal. Perbedaan pola pembebanan tersebut dapat menyebabkan perubahan distribusi tegangan, peningkatan konsentrasi tegangan lokal, serta pemunculan area kritis yang berpotensi mengalami kegagalan struktur (Abedin et al., 2024; Prabowo et al., 2020).

Dalam penelitian ini, perubahan muatan terjadi pada kapal tongkang yang sebelumnya digunakan sebagai pengangkut batubara kemudian dialihfungsikan menjadi pengangkut kontainer. Perubahan tersebut dipengaruhi oleh kebutuhan operasional serta perubahan rute pelayaran dari distribusi domestik Kalimantan Selatan–Jawa Timur menjadi rute internasional Jakarta–Malaysia–Singapura. Kondisi ini menyebabkan pola pembebanan pada struktur deck berubah dari beban merata menjadi beban terpusat, sehingga berpotensi memengaruhi distribusi tegangan dan deformasi struktur deck kapal tongkang.

Urgensi penelitian ini terletak pada perlunya evaluasi terhadap kemampuan struktur deck yang pada awalnya dirancang untuk menerima pembebanan merata dalam menahan pola pembebanan baru yang bersifat terpusat. Apabila struktur tidak mampu menahan perubahan pembebanan tersebut, maka dapat terjadi peningkatan tegangan, deformasi berlebih, hingga kegagalan struktur yang berisiko terhadap keselamatan operasional kapal.

Beberapa penelitian menunjukkan bahwa penerapan beban terpusat pada struktur yang sebelumnya dirancang untuk beban merata dapat meningkatkan

tegangan ekuivalen dan memicu konsentrasi tegangan lokal (Windyandari et al., 2022). Selain itu, kombinasi antara beban global dan lokal dapat menghasilkan respons tegangan yang lebih kompleks pada struktur kapal (Ringsberg, 2022; Zhang et al., 2020). Pada kapal tongkang, struktur deck umumnya dirancang berdasarkan asumsi pembebanan merata akibat muatan curah. Sistem penegar (*stiffener*), ketebalan pelat deck, dan jarak antarpengar ditentukan berdasarkan distribusi beban yang relatif homogen. Ketika kapal dialihfungsikan menjadi pengangkut kontainer, mekanisme transfer beban berubah menjadi pembebanan lokal pada titik tertentu. Penelitian terdahulu menunjukkan bahwa konfigurasi struktur sangat memengaruhi distribusi tegangan maksimum dan lendutan yang terjadi (Arianto et al., 2025; Kim et al., 2021). Oleh karena itu, evaluasi kembali terhadap kapasitas struktur deck perlu dilakukan sebelum kapal dioperasikan dengan pola pembebanan yang baru.

Selain memengaruhi kekuatan statis, perubahan jenis muatan juga dapat berdampak terhadap umur lelah (*fatigue life*) struktur. Beban berulang selama operasional kapal dapat mempercepat akumulasi kerusakan material, khususnya pada area yang mengalami konsentrasi tegangan tinggi. Kondisi tersebut dapat memicu munculnya retak awal yang berpotensi berkembang menjadi kegagalan struktur (Baharuddin et al., 2023; Wang et al., 2021).

Metode elemen hingga (*Finite Element Method/FEM*) banyak digunakan dalam analisis struktur kapal karena mampu menggambarkan distribusi tegangan dan deformasi secara rinci. Metode ini memungkinkan analisis interaksi antara pembebanan global dan lokal dalam satu model struktur, sehingga dipilih sebagai metode analisis dalam penelitian ini untuk mengevaluasi respons struktur deck kapal tongkang terhadap perubahan pola pembebanan (Zienkiewicz et al., 2013; Reddy, 2019; Hughes & Paik, 2010).

Permasalahan utama dalam penelitian ini adalah adanya ketidaksesuaian antara desain awal struktur deck yang dirancang untuk pembebanan merata dengan kondisi pembebanan baru berupa beban terpusat akibat muatan kontainer. Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk menganalisis

perubahan distribusi tegangan dan deformasi pada struktur deck kapal tongkang serta mengevaluasi apakah struktur tersebut masih memenuhi kriteria kekuatan berdasarkan standar Biro Klasifikasi Indonesia (BKI).

Evaluasi kekuatan struktur dalam penelitian ini dilakukan berdasarkan tegangan *von Mises* maksimum dan lendutan struktur yang dibandingkan dengan tegangan izin material menurut *Rules for the Classification and Construction of Steel Ships* oleh Biro Klasifikasi Indonesia (BKI, 2025). Tegangan izin ditentukan berdasarkan tegangan luluh material (*yield strength*) dan faktor keamanan, sehingga kriteria evaluasi berlaku sama untuk kondisi muatan batubara maupun kontainer. Perbedaannya terletak pada karakteristik pembebanannya, di mana muatan batubara menghasilkan pembebanan merata, sedangkan muatan kontainer menghasilkan pembebanan terpusat yang dapat menimbulkan konsentrasi tegangan lokal.

1.2 Rumusan Masalah

Ada beberapa rumusan masalah dalam penelitian ini yaitu:

1. Bagaimana karakteristik pembebanan dan mekanisme transfer beban pada struktur deck kapal tongkang Pasifik Sun 3 akibat muatan batubara dan muatan kontainer?
2. Bagaimana distribusi tegangan dan deformasi pada struktur deck kapal tongkang Pasifik Sun 3 akibat muatan batubara dan muatan kontainer?
3. Bagaimana perbandingan respons struktur deck antara kondisi muatan batubara dan muatan kontainer berdasarkan hasil analisis metode elemen hingga?
4. Apakah struktur deck kapal tongkang Pasifik Sun 3 masih memenuhi kriteria tegangan izin berdasarkan aturan Biro Klasifikasi Indonesia (BKI) setelah mengalami perubahan jenis muatan?

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Analisis dilakukan pada dua kondisi muatan, yaitu muatan batu bara

dan muatan kontainer.

2. Pembebanan yang dianalisis hanya berupa beban statis muatan yang bekerja pada struktur deck.
3. Tidak dilakukan modifikasi struktur kapal (frame dan hull).
4. Analisis difokuskan pada struktur deck kapal tongkang.
5. Analisis dilakukan menggunakan metode *Finite Element Method* (FEM).
6. Pendekatan analisis menggunakan *local analysis* pada area *midship* yang menerima pembebanan langsung.
7. Penelitian ini hanya membandingkan dua kondisi pembebanan pada satu objek kapal yang sama.
8. Pengaruh beban dinamis seperti gelombang dan getaran tidak diperhitungkan.
9. Penelitian ini menggunakan pendekatan *local analysis* yang difokuskan pada struktur deck di area *midship* sebagai daerah yang menerima pembebanan langsung, tanpa melakukan analisis global terhadap keseluruhan struktur kapal.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah:

1. Menganalisis karakteristik pembebanan dan mekanisme transfer beban pada struktur deck kapal tongkang Pasifik Sun 3 akibat muatan batubara dan muatan kontainer.
2. Menganalisis distribusi tegangan dan deformasi pada struktur deck kapal tongkang Pasifik Sun 3 pada kondisi muatan batubara dan muatan kontainer.
3. Membandingkan respons struktur deck antara kondisi muatan batubara dan muatan kontainer berdasarkan hasil analisis metode elemen hingga.
4. Mengevaluasi kelayakan struktur deck kapal tongkang Pasifik Sun 3 berdasarkan tegangan izin material sesuai aturan Biro Klasifikasi Indonesia (BKI).

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan dari penelitian ini adalah:

1. Memberikan gambaran teknis mengenai pengaruh perubahan jenis muatan terhadap kekuatan struktur deck kapal tongkang.
2. Menjadi bahan pertimbangan dalam evaluasi kelayakan struktur deck kapal tongkang akibat perubahan muatan.
3. Menjadi referensi akademik bagi penelitian selanjutnya yang berkaitan dengan analisis struktur kapal dan metode *FEM*.

1.6 Hipotesis Penelitian

Perubahan muatan dari batubara menjadi kontainer diduga memberikan pengaruh terhadap respons struktur deck kapal tongkang Pasifik Sun 3 karena terdapat perbedaan pola pembebanan dan mekanisme penyaluran beban. Muatan batubara bekerja sebagai beban yang tersebar pada permukaan deck, sedangkan muatan kontainer memberikan beban terpusat melalui *corner casting*. Perbedaan pola pembebanan tersebut diperkirakan dapat meningkatkan konsentrasi tegangan serta memengaruhi deformasi pada struktur deck. Meskipun demikian, struktur deck kapal tongkang Pasifik Sun 3 diduga masih mampu memenuhi batas kekuatan yang dipersyaratkan berdasarkan tegangan izin material sesuai ketentuan Biro Klasifikasi Indonesia (BKI).