

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar belakang

Peluncuran kapal (*Ship launching*) mejadi fase penting dalam proses pembuatan dan pemeliharaan kapal karena menandai transisi dari konstruksi saat didaratan menuju posisi terapung di perairan, dimana kegagalan pada fase ini dapat menyebabkan kerusakan struktur dan risiko keselamatan yang serius serta berdampak pada biaya dan waktu produksi (Abdullah & Sarena, 2024). Oleh karena itu, pemilihan dan perancangan metode peluncuran harus dilakukan secara hati-hati dan berbasis analisis rekayasa yang memadai (Sugeng et al., 2020).

Secara umum, terdapat berbagai metode peluncuran kapal, antara lain *slipway longitudinal floating-out*, mekanis (*crane/syncronlift*), dan metode modern dengan *airbag* (Filho et al., 2021). Metode slipway dan dry dock memberikan tingkat kontrol dan keselamatan yang baik. Namun, kedua metode tersebut membutuhkan investasi infrastruktur yang besar, lahan khusus, serta biaya pemeliharaan yang tinggi. Hal ini membuat penggunaan slipway dan dry dock kurang ekonomis bagi banyak galangan kapal, terutama galangan skala kecil hingga menengah atau yang beroperasi di lahan sewa (Hendra Gonawan et al., 2023).

Sebagai alternatif, metode *ship launching airbag* berkembang pesat dan telah banyak diterapkan di galangan skala kecil hingga menengah. Metode ini menawarkan fleksibilitas yang lebih tinggi, tidak memerlukan *slipway* permanen, mampu mengurangi kebutuhan jam-kerja (*man-hour*), serta meningkatkan efisiensi waktu (Abdullah & Sarena, 2024).

Metode *airbag* memanfaatkan kantong udara elastis yang ditempatkan secara sistematis di bawah badan kapal untuk mendukung dan menggulirkan kapal menuju air. Mekanisme menjadi solusi yang lebih hemat dan adaptif dibandingkan metode peluncuran konvensional berupa *slipway* (Dzulfiqar et al., 2024). *Airbag* modern, yang tersusun dari lapisan *kord* dan karet bertekanan tinggi, mampu menopang kapal hingga puluhan ribu ton dan telah digunakan untuk peluncuran kapal hingga 70.000 DWT.

Untuk mengendalikan risiko selama proses peluncuran kapal, perhitungan jumlah, ukuran, dan jarak antar airbag umumnya mengacu pada standar CB/T 3837:1998 dan ISO 14409:2011. Penerapan standar tersebut bertujuan memastikan distribusi beban berlangsung secara merata

serta kapasitas dukung airbag tetap berada dalam batas aman (Dzulfiqar et al., 2024). Sejumlah kajian teknis, salah satunya oleh (Subkhan, 2025), menunjukkan bahwa metode peluncuran kapal menggunakan airbag telah berkembang menjadi salah satu alternatif yang banyak diterapkan karena menawarkan efisiensi biaya dan fleksibilitas lokasi operasi, terutama pada galangan kapal yang tidak memiliki infrastruktur slipway permanen. Dalam penerapannya, ukuran dan kapasitas airbag ditentukan berdasarkan dimensi serta berat kapal yang akan diluncurkan.

Penelitian yang dilakukan oleh (Timothy et al., 2023) menunjukkan bahwa metode ship *launching* menggunakan airbag masih dikategorikan sebagai operasi dengan tingkat risiko yang tinggi. Hasil penelitian tersebut mengidentifikasi beberapa potensi bahaya, di antaranya kegagalan airbag akibat tekanan berlebih atau beban yang melampaui kapasitasnya, munculnya konsentrasi tegangan lokal yang dapat menyebabkan deformasi hingga kerusakan pada struktur lambung kapal, serta menurunnya stabilitas kapal yang berpotensi mengakibatkan kemiringan bahkan terbaliknya kapal akibat distribusi tumpuan yang tidak merata. Di samping itu, kegagalan airbag dalam menopang beban juga dapat memicu terjadinya kecelakaan kerja yang membahayakan keselamatan personel di area peluncuran.

Kajian mekanika menunjukkan bahwa gaya reaksi *airbag*, distribusi beban, dan tekanan internal bersifat dinamis selama proses peluncuran dan sangat dipengaruhi oleh tata letak *airbag*, karakteristik struktur kapal, serta kondisi landasan (Liu & Yu, 2022). Oleh karenanya, sejumlah peneliti mengembangkan pendekatan numerik dengan menggunakan metode *Finite Element Analysis* (FEA) untuk mengkaji besarnya tegangan dan deformasi struktur yang timbul akibat interaksi antara kapal dan *airbag*. Pendekatan FEA digunakan untuk mengevaluasi tingkat keamanan berbagai konfigurasi peluncuran yang direncanakan, sehingga potensi risiko kegagalan dapat diidentifikasi dan diminimalkan sejak tahap perencanaan.

Studi numerik tentang perilaku *airbag* saat peluncuran kapal kargo pada penelitian terdahulu yang dilakukan oleh (Subkhan, 2025) menunjukkan bahwa gaya reaksi *airbag*, distribusi beban dan tekanan internal berubah secara dinamis selama proses peluncuran, sehingga pemahaman terhadap respons sistem *airbag* menjadi kunci untuk menjamin stabilitas dan keamanan operasi peluncuran. Menurut (Mzulfiqar et al., 2024) pada jurnalnya menunjukkan bahwa perhitungan jumlah dan jarak antar *airbag* berdasarkan standar CB/T 3837, yang telah diterapkan dalam peluncuran kapal tongkang, sangat penting untuk

mengatur parameter teknis peluncuran sehingga meminimalkan risiko kegagalan saat kapal mulai bergerak ke perairan.

Tantangan *launching* kapal menjadi semakin kompleks pada kapal dengan karakteristik lunas khusus, seperti kapal kayu Pinisi dan kapal *harbour tug* dengan lunas tinggi (*Bar keel*). Pada tipe kapal dengan lunas tinggi, geometri lunas yang menonjol ke bawah menyebabkan kontak struktural dengan media tumpu menjadi sangat terbatas dan terlokalisasi. Kondisi terbatas dan terlokalisasi berpotensi menimbulkan konsentrasi beban yang tinggi pada area kontak tertentu, sehingga meningkatkan risiko terjadinya tegangan berlebih pada struktur lunas, kerusakan media tumpu, serta ketidakstabilan kapal selama proses peluncuran (Noegraha et al., 2025). Studi numerik pada proses peluncuran kapal Pinisi menggunakan *airbag* menunjukkan adanya konsentrasi tegangan yang signifikan pada sekat serta struktur haluan dan buritan kapal. Kondisi konsentrasi tegangan yang signifikan mengindikasikan perlunya penggunaan elemen perantara, seperti *launching skate* atau plat tumpu, yang berfungsi untuk memperlebar bidang kontak antara lunas dan *airbag* sehingga tekanan lokal yang diterima oleh *airbag* maupun struktur kapal dapat diturunkan. Oleh karena itu, desain sistem tumpuan dan distribusi beban pada proses peluncuran perlu dioptimalkan agar tegangan yang timbul tetap berada dalam batas aman struktur (Noegraha et al., 2025).

Dalam praktik galangan kapal yang memiliki keterbatasan fasilitas, pengaturan distribusi beban selama proses docking dan undocking menjadi aspek yang sangat penting untuk menjamin keselamatan operasi serta menjaga integritas struktur kapal (Denev, 2025). Kondisi tersebut semakin menantang pada kapal yang memiliki geometri lunas tinggi (*bar keel*), karena luas bidang kontak dengan media tumpu relatif kecil sehingga beban cenderung terkonsentrasi pada area tertentu. Konsentrasi beban ini dapat meningkatkan tegangan lokal, memicu deformasi struktur, serta menurunkan stabilitas selama proses pemindahan kapal.

Salah satu solusi yang banyak diterapkan adalah penggunaan *load spreader* berupa plat baja yang ditempatkan di bawah lunas kapal. *Load spreader* berfungsi sebagai elemen penyebar beban (*load spreading element*) yang memperbesar luas bidang kontak sehingga gaya reaksi dapat terdistribusi lebih merata. Dengan distribusi beban yang lebih seragam, tekanan lokal pada struktur dapat dikurangi sehingga risiko terjadinya deformasi maupun kerusakan konstruksi dapat diminimalkan. Konsep penggunaan elemen penyebar beban ini juga telah direkomendasikan pada berbagai sistem penumpuan kapal untuk meningkatkan keamanan operasi

dan mencegah kerusakan lokal pada struktur bawah kapal (Noegraha et al., 2025).

Meskipun demikian, perilaku mekanik *load spreader* tidak dapat dievaluasi secara optimal hanya melalui pendekatan analitis atau perhitungan manual. Geometri struktur yang kompleks, variasi ketebalan pelat, keberadaan stiffener, serta kombinasi pembebanan menyebabkan distribusi tegangan yang terjadi bersifat tiga dimensi dan tidak seragam. Oleh karena itu, diperlukan pendekatan numerik berbasis *Finite Element Analysis* (FEA) untuk memodelkan respons struktur secara lebih realistis.

Metode FEA memungkinkan evaluasi perilaku struktur *load spreader* secara komprehensif melalui analisis distribusi *Equivalent (Von Mises) Stress*, *Total Deformation*, dan *Safety Factor*. Ketiga parameter tersebut memberikan informasi mengenai lokasi konsentrasi tegangan, besarnya deformasi yang terjadi akibat pembebanan, serta tingkat keamanan struktur terhadap kegagalan material. Pendekatan ini telah banyak digunakan dalam bidang rekayasa struktur untuk mengevaluasi kekuatan berbagai komponen konstruksi sebelum proses fabrikasi maupun implementasi di lapangan.

Dalam penelitian ini, analisis numerik dilakukan menggunakan perangkat lunak ANSYS dengan memodelkan geometri tiga dimensi *load spreader* sesuai kondisi aktual. Hasil simulasi diharapkan mampu memberikan gambaran kuantitatif mengenai distribusi tegangan, deformasi struktur, serta faktor keamanan *load spreader* sebagai dasar dalam mengevaluasi kelayakan desain dan memastikan bahwa struktur mampu menahan beban kerja secara aman selama proses docking dan undocking kapal.

1.2 Rumusan masalah

Bedasarkan uraian tersebut, maka rumusan masalah dalam penelitian ini adalah :

1. Seberapa besar tegangan maksimum (*Maximum Equivalent/Von Mises Stress*) yang terjadi pada struktur *load spreader* selama proses *launching harbour tug* menggunakan sistem airbag berdasarkan analisis *Finite Element Analysis (FEA)*?
2. Apakah *load spreader* memenuhi kriteria kekuatan berdasarkan nilai *Safety Factor* dan tegangan luluh (*yield strength*) material ASTM A131 Grade AH36?

1.3 Tujuan Penelitian

1. Menganalisis distribusi tegangan (*stress distribution*) yang terjadi pada plat baja sebagai *load spreader* selama proses *launching* harbour tug menggunakan sistem airbag melalui pendekatan *Finite Element Analysis* (FEA).
2. Mengevaluasi nilai faktor keamanan (*Safety Factor*) pada struktur *load spreader* berdasarkan hasil analisis *Finite Element Analysis* (FEA) dengan membandingkan tegangan maksimum yang terjadi terhadap tegangan luluh material ASTM A131 Grade AH36.

1.4 Batasan masalah

Agar pembahasan penelitian terfokus dan terarah, maka ditetapkan beberapa batasan masalah sebagai berikut :

1. Penelitian difokuskan pada tahap *undocking (launching)* kapal dari darat menuju perairan, tidak mencakup tahap *docking* ulang atau operasi pelayaran.
2. Objek penelitian adalah kapal *harbour tug* dengan profil lunas tinggi, sesuai dengan kondisi kapal pada studi kasus
3. Metode peluncuran yang dikaji hanya menggunakan *ship launching airbag* berdasarkan standar CB/T 3837, tanpa melibatkan *slipway, dry dock, atau cradle* permanen
4. Penambahan struktur yang dianalisis terbatas pada plat baja sementara yang dilas pada bagian bawah lunas, dan tidak mencakup modifikasi struktur permanen kapal.
5. Analisis dilakukan dengan pendekatan statik dan kuasi-statik, dengan mengabaikan pengaruh gelombang, arus laut, dan beban dinamis ekstrem
6. Parameter material *airbag*, plat baja, dan berat kapal diasumsikan homogen dan sesuai data teknis yang tersedia di galangan
7. Penelitian ini tidak membahas aspek biaya, ekonomi, maupun analisis kelayakan finansial, dan difokuskan pada evaluasi teknis serta aspek keselamatan distribusi beban selama proses *launching*.

1.5 Hipotesis

Berdasarkan karakteristik material AH36 dan konfigurasi struktur *load spreader* yang dirancang, diduga hasil analisis numerik menggunakan metode *Finite Element Analysis* menunjukkan bahwa distribusi tegangan maksimum masih berada di bawah tegangan luluh material, deformasi yang terjadi masih berada dalam batas yang dapat diterima, serta nilai *Safety Factor* memenuhi kriteria keamanan sehingga struktur *load spreader* dinyatakan layak digunakan pada proses *launching* harbour tug menggunakan sistem airbag.

1.6 Relevansi atau Manfaat penelitian

Penelitian ini memiliki relevansi dalam bidang teknik perkapalan, khususnya pada rekayasa proses docking dan undocking (*launching*) kapal menggunakan media airbag di galangan yang memiliki keterbatasan fasilitas. Secara teoritis, penelitian ini memberikan kontribusi terhadap pengembangan kajian mengenai distribusi beban pada proses peluncuran kapal harbour tug dengan lunas tinggi melalui penerapan *load spreader* sebagai media penyebar beban antara struktur kapal dan airbag. Selain itu, penelitian ini memperkaya kajian mengenai perilaku struktur *load spreader* berdasarkan analisis numerik menggunakan metode elemen hingga (*Finite Element Analysis*).

Secara praktis, hasil penelitian ini dapat dijadikan sebagai acuan dalam perancangan *load spreader* untuk meningkatkan pemerataan distribusi beban pada keel kapal, sehingga mengurangi konsentrasi tegangan lokal pada struktur lambung dan meminimalkan risiko kegagalan airbag selama proses docking maupun undocking. Penelitian ini juga diharapkan menjadi solusi teknis bagi galangan kapal, khususnya galangan yang belum memiliki fasilitas slipway permanen, dalam meningkatkan aspek keselamatan, keandalan, dan efisiensi operasi peluncuran kapal. Bagi akademisi dan peneliti, hasil penelitian ini dapat menjadi referensi serta dasar pengembangan penelitian lanjutan mengenai desain dan optimasi *load spreader* maupun sistem peluncuran kapal berbasis airbag..

1.7 Luaran tugas akhir

Luaran yang diharapkan dari pelaksanaan penelitian yang sudah dilakukan oleh peneliti berupa :

1. Artikel ilmiah yang akan disubmit pada jurnal internasional terakreditasi dengan judul “Design and Modeling of a Steel Load Spreader for Harbour Tug Launching Using Airbags: A Safety Review”
2. Draft PATEN Model dan alat yang akan diajukan dengan judul “SISTEM LOAD SPREADER SEMENTARA DENGAN DISTRIBUSI BEBAN TERINTEGRASI UNTUK PELUNCURAN KAPAL BERLUNAS TINGGI MENGGUNAKAN AIRBAG”

Halaman ini sengaja dikosongkan