

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Bow thruster merupakan salah satu perangkat propulsi bantu transversal yang dipasang di bagian haluan kapal untuk meningkatkan kemampuan manuver kapal, khususnya pada kapal pendukung operasi lepas pantai salah satunya adalah *Anchor Handling Tug Supply* (AHTS). Perangkat ini terdiri dari baling-baling yang terpasang di dalam terowongan horizontal pada lambung kapal yang mengalirkan air dari satu sisi ke sisi lainnya sehingga menghasilkan gaya dorong lateral. Fungsi utama *bow thruster* adalah memberikan kemampuan kapal untuk bergerak ke kiri atau kanan tanpa mengandalkan mesin utama atau bantuan tugboat, sehingga meningkatkan fleksibilitas dan ketepatan manuver dalam pelayaran di pelabuhan atau kanal sempit. Studi rekayasa hidrodinamika menyatakan bahwa prediksi performa thruster, termasuk karakteristik thrust dan tekanan alirannya, diperlukan untuk memahami perilaku sistem ini di berbagai kondisi operasi normal maupun dalam kondisi tidak digunakan (Kazemi & Kornev, 2025).

Keandalan sistem propulsi bantu pada kapal khususnya *bow thruster* merupakan aspek fundamental untuk menjamin keselamatan operasional, kontinuitas layanan, dan efisiensi biaya dalam industri maritim, khususnya pada kapal pendukung operasi lepas pantai seperti *Anchor Handling Tug Supply* (AHTS). Studi reliabilitas komponen kapal menunjukkan bahwa kegagalan sistem propulsi sekunder dapat berkontribusi terhadap meningkatnya *downtime* serta risiko keselamatan yang serius, yang bersama-sama mendorong kebutuhan untuk analisis reliabilitas secara statistik dan manajemen risiko yang lebih baik dalam maritim engineering (Li & Jia, 2025). Penelitian dalam reliability assessment pada sistem propulsi kapal menegaskan betapa pentingnya memahami karakteristik fungsi dan kegagalan komponen secara kuantitatif untuk merencanakan maintenance yang efektif dan meminimalkan pengaruh negatif dari kegagalan tersebut dalam operasi nyata kapal (Islam et al., 2025).

Dalam penilaian reliabilitas teknis, *Mean Time Between Failures* (MTBF) adalah metrik utama yang menunjukkan rata-rata waktu operasi suatu sistem sebelum terjadi kegagalan ulang pada sistem yang dapat diperbaiki, dan nilainya dipengaruhi oleh intensitas beban operasi serta kondisi pemeliharaan. Studi reliabilitas komponen kapal di konteks lain menemukan nilai MTBF yang beragam; misalnya dalam sistem bantuan mesin tertentu juga dapat dihitung berdasarkan data historis kegagalan dan total jam operasi. Dalam konteks sistem pelumasan dan mesin kapal, MTBF dapat meningkat dari 975,89 jam menjadi 1.355,65 jam setelah penambahan redundansi komponen, menunjukkan bahwa desain reliabilitas dapat meningkatkan interval kegagalan secara nyata (Bancin S et al., 2025). Lebih jauh lagi, analisis reliabilitas pada komponen tunel kapal juga dapat mengklasifikasikan tingkat probabilitas kegagalan berdasarkan MTBF yang dihitung dari failure rate historis, di mana referensi data penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa komponen pada sistem kapal tertentu dapat memiliki MTBF berkisar sampai lebih dari 5,35 tahun (sekitar 46.926 jam), menunjukkan bahwa komponen dapat memiliki reliabilitas jangka panjang bila failure rate rendah (Muryadin et al., 2023).

Risk Matrix merupakan metode yang umum digunakan untuk mengombinasikan probabilitas kegagalan dan dampak kegagalan ke dalam suatu kerangka evaluasi risiko yang terstruktur dan mudah dipahami, sehingga memungkinkan proses prioritas risiko dan pengambilan keputusan pemeliharaan yang lebih efektif (Lemmens et al., 2022). Integrasi parameter keandalan dengan Risk Matrix telah terbukti mampu memberikan gambaran risiko yang lebih komprehensif dan aplikatif dibandingkan penggunaan analisis keandalan secara terpisah, khususnya dalam mendukung penerapan *risk-based maintenance* pada sistem

permesinan kompleks (Bancin S et al., 2025). Dalam konteks sistem *bow thruster* kapal *Anchor Handling Tug Supply* (AHTS), penerapan *Risk Matrix* menjadi sangat relevan karena kegagalan sistem ini dapat berdampak langsung pada keselamatan manuver dan kontinuitas operasi kapal, sementara kajian terdahulu masih terbatas dalam mengintegrasikan analisis MTBF dan *Risk Matrix* secara spesifik pada sistem *bow thruster* (Islam & Martin, 2025; Vizentin et al., 2020).

International Maritime Organization (IMO) melalui *International Convention for the Safety of Life at Sea (SOLAS) Chapter II-1: Machinery and Electrical Installations* menegaskan bahwa seluruh sistem permesinan kapal, termasuk permesinan bantu yang berkontribusi terhadap kemampuan manuver kapal, harus dirancang, dipasang, dan dipelihara sedemikian rupa sehingga kegagalan tunggal tidak membahayakan keselamatan kapal maupun operasionalnya. *Bow thruster* sebagai bagian dari sistem propulsi bantu dan manuver kapal termasuk dalam ruang lingkup permesinan bantu yang kegagalannya dapat memengaruhi keselamatan navigasi, khususnya saat kapal beroperasi pada kecepatan rendah, manuver di perairan terbatas, atau operasi khusus seperti offshore support. Ketentuan ini menekankan bahwa kegagalan peralatan bantu yang berdampak pada kemampuan olah gerak kapal harus diminimalkan melalui desain yang andal, sistem monitoring, serta pemeliharaan yang memadai sesuai standar keselamatan internasional (*International Convention for the Safety of Life at Sea (SOLAS), 1974, n.d.*). Selain itu, IMO melalui prinsip *goal-based standards* dalam keselamatan permesinan menekankan bahwa keandalan operasional sistem kapal harus didukung oleh strategi pemeliharaan yang efektif dan berbasis risiko, guna mencegah terjadinya kegagalan yang dapat berdampak pada keselamatan, lingkungan, dan kontinuitas operasi (*IMO Chapter II-1 - Construction - Structure, Subdivision and Stability, Machinery and Electrical Installations - Part C - Machinery Installations - Regulation 27 - Machinery, n.d.*).

Berdasarkan kajian literatur dan uraian permasalahan yang telah disampaikan, dapat disimpulkan bahwa masih terdapat kesenjangan penelitian dalam analisis keandalan sistem propulsi bantu kapal, khususnya pada *bow thruster* kapal *Anchor Handling Tug Supply* (AHTS). Sebagian besar penelitian terdahulu lebih berfokus pada sistem propulsi utama atau peralatan bantu kapal secara umum, serta cenderung menerapkan analisis keandalan dan analisis risiko secara terpisah tanpa integrasi yang berbasis data operasional aktual. Selain itu, kajian yang secara spesifik mengombinasikan perhitungan *Mean Time Between Failures* (MTBF) dengan metode *Risk Matrix* untuk memetakan probabilitas dan dampak kegagalan *bow thruster* secara kuantitatif masih sangat terbatas. Oleh karena itu, diperlukan penelitian yang mampu menjembatani kesenjangan tersebut melalui pendekatan analisis keandalan yang terintegrasi, berbasis data historis kegagalan, dan berorientasi pada pengambilan keputusan pemeliharaan berbasis risiko, sehingga dapat memberikan kontribusi ilmiah dan praktis dalam peningkatan keselamatan serta keandalan operasional kapal.

Penelitian ini dirancang untuk mengukur nilai MTBF secara spesifik dari data operasi *bow thruster* kapal AHTS dan memetakan probabilitas serta dampak kegagalan menggunakan *Risk Matrix* sebagai dasar prediksi kegagalan yang berorientasi pada keputusan pemeliharaan prediktif. Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi komponen-komponen kritis *bow thruster* yang berkontribusi besar terhadap frekuensi kegagalan, menghitung MTBF empiris berdasarkan data historis kegagalan aktual, serta menyusun *risk profile* kegagalan melalui analisis risiko kuantitatif. Secara teoritis, hasil penelitian ini diharapkan memperluas literatur keandalan sistem propulsi bantu dengan pendekatan integratif MTBF-*Risk Matrix*, sedangkan secara praktis, hasilnya diharapkan dapat menjadi dasar strategi perawatan berbasis risiko yang lebih efektif, yang pada gilirannya dapat mengurangi *downtime*, menurunkan biaya pemeliharaan, serta meningkatkan keselamatan operasional kapal.

1.2 Rumusan Masalah

1. Bagaimana tingkat keandalan sistem *bow thruster* pada kapal AHTS berdasarkan nilai MTBF yang dihitung dari data operasional aktual?
2. Bagaimana tingkat risiko kegagalan sistem *bow thruster* AHTS berdasarkan pemetaan probabilitas dan dampak kegagalan menggunakan metode *Risk Matrix*?
3. Bagaimana rekomendasi strategi pemeliharaan berbasis risiko (*risk-based maintenance*) yang tepat untuk sistem *bow thruster* AHTS berdasarkan hasil analisis MTBF dan *Risk Matrix*?

1.3 Tujuan

1. Menganalisis tingkat keandalan sistem *bow thruster* pada kapal AHTS berdasarkan perhitungan MTBF menggunakan data operasional aktual.
2. Menentukan tingkat risiko kegagalan sistem *bow thruster* AHTS melalui pemetaan probabilitas dan dampak kegagalan menggunakan metode *Risk Matrix*.
3. Menyusun rekomendasi strategi pemeliharaan berbasis risiko (*risk-based maintenance*) yang optimal untuk sistem *bow thruster* AHTS berdasarkan hasil analisis MTBF dan *Risk Matrix*.

1.4 Batasan Masalah

Dalam penelitian ini, terdapat beberapa batasan masalah yaitu:

1. Penelitian ini difokuskan pada sistem *bow thruster* kapal *Anchor Handling Tug Supply* (AHTS) sebagai objek penelitian, tanpa membahas sistem propulsi utama atau sistem bantu lainnya di kapal.
2. Analisis keandalan dilakukan menggunakan metode *Mean Time Between Failures* (MTBF) berdasarkan data historis kegagalan dan jam operasi *bow thruster* yang tersedia selama periode pengamatan tertentu, dengan asumsi data tersebut valid dan representatif.
3. Penelitian ini hanya membahas kegagalan yang bersifat fungsional dan operasional pada sistem *bow thruster* yang dibagi menjadi 3 bagian yaitu, mekanik, hidrolik dan elektrik, tanpa menganalisis secara mendalam aspek desain manufaktur atau material secara mikrostruktur.
4. Rekomendasi strategi pemeliharaan yang dihasilkan dalam penelitian ini bersifat konseptual dan berbasis analisis, evaluasi biaya terhadap penerapan strategi pemeliharaan tersebut di lapangan.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat Teoritis:

1. Penelitian ini diharapkan dapat memperkaya kajian ilmiah di bidang teknik perkapalan, khususnya terkait analisis keandalan sistem propulsi bantu kapal dengan menggunakan pendekatan *Mean Time Between Failures* (MTBF) dan *Risk Matrix*.
2. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi dalam pengembangan model analisis keandalan terintegrasi yang mengombinasikan metode statistik keandalan dan manajemen risiko untuk sistem *bow thruster*.
3. Penelitian ini dapat menjadi referensi akademik bagi penelitian selanjutnya yang berkaitan dengan keandalan, prediksi kegagalan, dan strategi pemeliharaan berbasis risiko pada sistem permesinan kapal, khususnya pada kapal pendukung operasi lepas pantai.

Manfaat Praktis:

1. Penelitian ini dapat mendukung peningkatan keselamatan operasional kapal, khususnya pada saat manuver di perairan terbatas dan kegiatan offshore, dengan meminimalkan risiko kegagalan *bow thruster*.
2. Penelitian ini diharapkan dapat menjadi acuan praktis dalam penerapan strategi *risk-based maintenance* pada sistem propulsi bantu kapal, sehingga mendukung kepatuhan terhadap standar keselamatan dan keandalan yang ditetapkan oleh IMO dan klasifikasi kapal.
3. Hasil analisis MTBF dan *Risk Matrix* diharapkan dapat membantu pihak manajemen kapal dalam mengurangi frekuensi kegagalan dan *downtime* operasional, sehingga meningkatkan ketersediaan kapal dan efisiensi biaya pemeliharaan.

1.6 Rencana Luaran Penelitian

1. Paper publikasi pada jurnal nasional terakreditasi Sinta.
2. Modul perhitungan nilai keandalan Sistem *Bow Thruster* dengan metode MTBF.
3. HKI Modul perhitungan nilai keandalan Sistem *Bow Thruster* dengan metode MTBF.