

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Industri maritim dunia mengalami perkembangan yang sangat pesat dalam dua dekade terakhir. Pertumbuhan perdagangan internasional mendorong peningkatan volume kapal yang masuk dan keluar pelabuhan setiap harinya. Di Indonesia sebagai negara kepulauan terbesar, ketergantungan terhadap sektor pelayaran sangat tinggi untuk mendukung distribusi barang dan penumpang. Pelabuhan menjadi simpul utama dalam rantai logistik nasional yang harus beroperasi dengan tingkat keselamatan dan efisiensi maksimal. Tanpa peralatan pendukung yang handal, risiko kecelakaan dan gangguan operasional dapat meningkat secara signifikan (Amutenya & Malakia, 2024).

Proses *docking* dan *undocking* kapal merupakan salah satu kegiatan paling krusial di area pelabuhan. Kegiatan ini melibatkan penarikan kapal menuju dermaga atau menjauh darinya dengan bantuan *tugboat* dan sistem *winch*. Setiap kesalahan kecil dalam proses ini dapat menyebabkan tabrakan, kerusakan kapal, atau bahkan pencemaran lingkungan. Oleh karena itu, semua komponen pendukung proses *docking* dan *undocking* harus dalam kondisi prima dan terawat dengan baik. Keandalan peralatan menjadi faktor penentu keberhasilan operasi pelabuhan secara keseluruhan (Amutenya & Malakia, 2024; Cicek et al., 2010).

Wire rope atau tali baja memegang peran sentral dalam sistem penarikan kapal saat *docking* dan *undocking*. *Wire rope* digunakan pada *mooring winch* dan *towing system* untuk mentransfer gaya tarik yang besar dari *tugboat* ke badan kapal. Material ini harus mampu menahan beban dinamis, korosi air laut, serta gesekan berulang selama operasi (Rahman, 2025; Rahman et al., 2024). Kegagalan *wire rope* dapat mengakibatkan hilangnya kontrol terhadap kapal dan berujung pada kecelakaan berat. Oleh sebab itu, pemahaman mendalam terhadap kondisi *wire rope* menjadi sangat penting bagi operator pelabuhan.

Dalam operasionalnya, *wire rope* rentan mengalami berbagai *mode* kegagalan seperti putus, aus, korosi, dan deformasi. Faktor-faktor tersebut dapat disebabkan oleh pemakaian berlebih, kurangnya inspeksi rutin, atau pengaruh lingkungan laut yang korosif (Amorim, 2025; Gürgen & Ada, 2025). Kegagalan *wire rope* tidak hanya menyebabkan kerugian material tetapi juga menimbulkan risiko keselamatan bagi awak kapal dan pekerja pelabuhan. Selain itu, *downtime* akibat perbaikan *wire rope* dapat mengganggu jadwal kapal dan menimbulkan kerugian ekonomi yang besar. Masalah ini semakin relevan di pelabuhan-pelabuhan Indonesia yang memiliki lalu lintas kapal tinggi.

Berbagai studi sebelumnya telah menunjukkan pentingnya analisis risiko pada komponen mekanik di lingkungan maritim. Penelitian tentang *pedestal crane* menunjukkan bahwa *wire rope breakage* menjadi salah satu *failure mode* dengan tingkat risiko tertinggi (Rahman, 2025). Pendekatan serupa juga diterapkan pada *mobile crane* di mana FMEA berhasil mengidentifikasi *wire rope* sebagai komponen kritis yang memengaruhi keandalan keseluruhan sistem (Rahman et al., 2024). Hasil analisis tersebut memberikan dasar bagi penyusunan strategi perawatan yang lebih efektif. Pendekatan ini dapat diadopsi untuk *wire rope* pada sistem *docking* kapal.

Studi *predictive maintenance* pada *stacker crane* juga mengungkapkan bahwa *wire rope failure* menduduki prioritas tertinggi dengan nilai RPN yang signifikan (Amorim, 2025). Pendekatan FMEA dalam penelitian tersebut berhasil mengintegrasikan data sensor untuk deteksi dini keausan *wire rope*. Rekomendasi perawatan preventif yang dihasilkan terbukti mampu mengurangi *downtime* hingga puluhan persen. Temuan ini menegaskan bahwa metode FMEA sangat relevan untuk diterapkan pada komponen *wire rope* di lingkungan maritim (Yildirim et al., 2026). Pendekatan serupa diperlukan untuk sistem penarikan kapal di pelabuhan.

Pada sistem *towing tugboat*, analisis *fuzzy* FMEA menunjukkan bahwa kegagalan *towing rope* merupakan salah satu risiko paling dominan selama operasi *ship handling* (Gürgen & Ada, 2025). Penelitian tersebut menemukan bahwa faktor usia *rope*, deformasi, dan kurangnya pemeriksaan visual menjadi penyebab utama kegagalan. Rekomendasi perawatan preventif yang diusulkan berhasil meningkatkan *reliability* sistem *towing* secara keseluruhan. Hasil ini sangat relevan dengan proses *docking* dan *undocking* kapal yang mengandalkan *wire rope* serupa (Yildirim et al., 2025). Pendekatan *fuzzy* FMEA dapat menjadi acuan dalam penelitian ini.

Analisis risiko pada *mooring system floating wind turbines* menggunakan *expert-based* FMEA juga menyoroti kegagalan *mooring* line berbasis *wire rope* (Yildirim et al., 2026). *Fatigue*, *wear*, dan *corrosion* menjadi *failure mode* utama yang berkontribusi terhadap risiko keselamatan tinggi. Studi tersebut berhasil memprioritaskan *mode* kegagalan berdasarkan nilai risiko dan mengusulkan mitigasi berbasis perawatan. Temuan ini memperkuat argumen bahwa *wire rope* di lingkungan laut memerlukan analisis risiko yang sistematis (Amorim, 2025; Rahman, 2025). Pendekatan FMEA terbukti efektif untuk sistem serupa dengan *docking operation*.

Laporan IEA *Wind Task 49* tentang *failure risk evaluation* pada *mooring system* menegaskan bahwa *breakage* dan *fatigue* pada *wire rope* menyumbang lebih dari setengah total risiko sistem (Yildirim et al., 2025). Penelitian ini menggunakan pendekatan FMEA untuk menghasilkan rekomendasi *maintenance* yang lebih prediktif. Hasil evaluasi menunjukkan perlunya inspeksi rutin dan penggantian *rope* berdasarkan data kondisi aktual. Pendekatan ini dapat diadaptasi untuk *wire rope* pada *tugboat* dan *mooring winch* di pelabuhan (Gürgen & Ada, 2025; Rahman et al., 2024). Integrasi FMEA dengan data lapangan menjadi kunci keberhasilan mitigasi risiko.

Studi *risk analysis and reliability assessment* pada *overhead cranes* juga menemukan bahwa *wire rope running out* dan *hoisting failure* menjadi risiko dominan (Mohammadi et al., 2021). FMEA yang diterapkan berhasil mengidentifikasi prioritas tindakan perawatan untuk mencegah kecelakaan. Rekomendasi yang dihasilkan mencakup jadwal inspeksi visual dan penggantian komponen secara periodik. Temuan ini memperkuat pentingnya penerapan FMEA pada setiap sistem yang menggunakan *wire rope* (Yildirim et al., 2025, 2026). Pendekatan serupa sangat diperlukan untuk konteks *docking* dan *undocking* kapal.

Meskipun banyak penelitian telah menggunakan FMEA pada *crane* dan *mooring system*, penerapan khusus pada *wire rope* untuk proses *docking* dan *undocking* kapal masih sangat terbatas. Kebanyakan studi sebelumnya fokus pada *crane* darat atau *mooring offshore*, sedangkan kondisi operasional di pelabuhan Indonesia memiliki karakteristik yang berbeda. Faktor lalu lintas kapal yang padat, kondisi cuaca tropis, dan intensitas pemakaian *wire rope* yang tinggi belum banyak dibahas secara mendalam. Hal ini menciptakan celah pengetahuan yang perlu diisi dengan penelitian baru.

Permasalahan utama yang dihadapi adalah kurangnya data risiko spesifik *wire rope* pada sistem penarikan kapal di pelabuhan Indonesia (Amorim, 2025; Gürgen & Ada, 2025). Tanpa analisis FMEA yang komprehensif, strategi perawatan masih bersifat reaktif dan belum berbasis risiko. Akibatnya, potensi kegagalan *wire rope* tetap tinggi dan dapat mengganggu operasional pelabuhan. Penelitian ini hadir untuk mengisi kekosongan tersebut dengan fokus pada *wire rope* penarik kapal. Pendekatan FMEA diharapkan mampu menghasilkan rekomendasi perawatan yang lebih tepat sasaran (Rahman et al., 2024; Yildirim et al., 2026).

Metode *Failure mode and Effects Analysis* (FMEA) dipilih karena kemampuannya mengidentifikasi, menilai, dan memprioritaskan mode kegagalan secara sistematis (Amorim, 2025; Rahman, 2025). Melalui perhitungan *Risk Priority Number* (RPN), FMEA dapat menentukan urutan prioritas tindakan perbaikan dan pencegahan. Pendekatan ini telah terbukti efektif pada berbagai sistem mekanik di lingkungan maritim seperti yang

ditunjukkan oleh tujuh studi sebelumnya. Penerapan FMEA pada *wire rope docking* diharapkan dapat menghasilkan strategi perawatan preventif dan prediktif. Hasilnya akan memberikan kontribusi nyata bagi keselamatan operasi pelabuhan.

Penelitian ini dilakukan di salah satu pelabuhan utama di Indonesia yang memiliki frekuensi *docking* dan *undocking* tinggi. *Wire rope* yang digunakan pada *mooring* menjadi objek utama analisis. Data galangan mengenai *wire rope*, kuisisioner, dan wawancara dengan pihak terkait akan dikumpulkan untuk menyusun FMEA. Proses ini akan menghasilkan daftar *failure mode* beserta nilai RPN masing-masing. Selanjutnya, rekomendasi perawatan akan dirumuskan berdasarkan prioritas risiko.

Tujuan utama penelitian adalah menganalisis risiko kegagalan *wire rope* menggunakan metode FMEA. Selain itu, penelitian ini bertujuan menyusun rekomendasi strategi perawatan yang dapat diterapkan oleh operator. Hasil analisis diharapkan dapat mengurangi frekuensi kegagalan *wire rope* dan meningkatkan keandalan sistem penarikan kapal. Manfaat praktis penelitian ini mencakup peningkatan keselamatan kerja dan efisiensi operasional pelabuhan. Secara akademis, penelitian ini turut memperkaya literatur FMEA di bidang maritim Indonesia.

Dengan demikian, latar belakang masalah menunjukkan urgensi penelitian ini. *Wire rope* sebagai komponen vital dalam proses *docking* dan *undocking* memerlukan pendekatan manajemen risiko yang lebih baik. Penerapan FMEA dengan memanfaatkan temuan dari tujuh studi terkait diharapkan dapat menghasilkan solusi yang aplikatif. Penelitian ini akan menjadi langkah konkrit menuju perawatan berbasis risiko di pelabuhan Indonesia. Keberhasilan penelitian ini diharapkan dapat menjadi referensi bagi pelabuhan-pelabuhan lain di tanah air.

Secara keseluruhan, perkembangan industri pelabuhan menuntut peningkatan keandalan peralatan pendukung. *Wire rope* pada sistem penarikan kapal menjadi titik kritis yang harus dikelola dengan cermat (Amorim, 2025; Yildirim et al., 2025). Pendekatan FMEA menawarkan kerangka kerja yang sistematis untuk mengidentifikasi dan memitigasi risiko kegagalan. Integrasi temuan dari studi-studi sebelumnya akan memperkaya analisis yang dilakukan. Penelitian ini diharapkan mampu memberikan rekomendasi perawatan yang konkret dan berkelanjutan (Mohammadi et al., 2021; Yildirim et al., 2026).

Akhirnya, penelitian ini hadir untuk menjawab kebutuhan praktis di lapangan sekaligus mengisi celah keilmuan. Dengan fokus pada *wire rope* proses *docking* dan *undocking*, diharapkan dapat tercipta sistem perawatan yang lebih proaktif. Hasil FMEA dan rekomendasi yang dihasilkan akan menjadi pedoman bagi pengelola pelabuhan. Ke depan, pendekatan serupa dapat dikembangkan untuk komponen lain dalam operasi maritim. Dengan demikian, keselamatan dan efisiensi pelabuhan Indonesia dapat terus ditingkatkan.

1.2 Rumusan Masalah

1. Apa saja mode kegagalan (*failure mode*) pada *wire rope* yang digunakan pada proses *docking*, serta bagaimana dampak (*effect*) dan penyebab (*cause*) dari setiap mode kegagalan tersebut?
2. Seberapa tinggi tingkat risiko kegagalan *wire rope* menggunakan metode *Failure mode and Effects Analysis* (FMEA)?
3. Strategi perawatan seperti apa yang paling tepat dan efektif untuk memitigasi risiko kegagalan *wire rope* pada proses *docking* dan *undocking* kapal berdasarkan hasil analisis FMEA yang diperoleh?

1.3 Tujuan

1. Mengidentifikasi seluruh mode kegagalan *wire rope* beserta efek dan penyebabnya pada sistem penarikan kapal saat proses *docking* dan *undocking*.

2. Menganalisis tingkat risiko kegagalan *wire rope* dengan metode FMEA.
3. Menyusun rekomendasi strategi perawatan preventif dan prediktif yang optimal dengan metode FMEA untuk meningkatkan keandalan *wire rope*.

1.4 Manfaat Penelitian

1. Memberikan dasar analisis yang sistematis dalam mengidentifikasi dan mengevaluasi risiko kegagalan *wire rope* pada proses *docking* kapal, sehingga dapat digunakan sebagai acuan dalam pengambilan keputusan pemeliharaan berbasis risiko.
2. Menghasilkan rekomendasi strategi pemeliharaan yang lebih efektif dan terarah berdasarkan prioritas risiko, sehingga mampu meningkatkan keandalan dan umur pakai *wire rope* dalam operasional *docking*.
3. Berkontribusi dalam peningkatan aspek keselamatan kerja dengan meminimalkan potensi kegagalan komponen kritis yang dapat menyebabkan kecelakaan dan gangguan operasional.
4. Menjadi referensi bagi industri maupun penelitian selanjutnya dalam pengembangan penerapan metode FMEA pada sistem pengangkatan dan penarikan, khususnya dalam konteks pemeliharaan berbasis risiko di sektor perkapalan.

1.5 Batasan Masalah

Agar penelitian ini terarah dan sesuai dengan tujuan yang telah ditetapkan, maka batasan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Penelitian difokuskan pada *wire rope* yang digunakan dalam proses *docking* kapal.
2. Metode analisis yang digunakan terbatas pada *Failure mode and Effects Analysis* (FMEA).
3. Analisis FMEA dilakukan pada *wire rope* sebagai komponen utama, termasuk berbagai aspek kegagalan yang mungkin terjadi selama proses penarikan kapal.
4. Data yang digunakan berupa data dari dokumen galangan, kuisisioner responden pihak yang berkaitan dan wawancara terkait kondisi operasional *wire rope*.
5. Penelitian tidak membahas aspek desain detail *wire rope*.
6. Metode yang digunakan adalah FMEA klasik dengan perhitungan RPN (tidak menggunakan pendekatan *fuzzy-FMEA* atau integrasi dengan metode lain).

1.6 Luaran Penelitian

1. Publikasi jurnal nasional pada Mekanika, dengan judul *Failure Risk Assessment of Wire Rope in Ship Docking and Undocking Operations Using Failure Mode and Effects Analysis* (FMEA), dengan status *Awaiting assignment*.
2. Modul Proses Docking dan Undocking Kapal Menggunakan Slipway Dock Berbasis Airbag.