



ANALISIS TEKNIS TENGGELAMNYA KAPAL FERRY RO-RO DI SELAT BALI MENGGUNAKAN METODE ECFA DAN FTA

Fitri Kamilah ^{a*}, Wazirotus Sakinah^a, Rudianto^a

^a Teknik Konstruksi Perkapalan, Fakultas Teknik, Universitas Jember

E-mail koresponden: fitrikamilah59@gmail.com

Abstract

Ship accidents are a serious problem in maritime transportation systems, particularly in Indonesia, an archipelagic country that relies heavily on sea routes for the movement of goods and people. One of the busiest and most accident-prone areas is the Bali Strait, which is crossed daily by various types of vessels, including Roll-on Roll-off (Ro-Ro) ferries. The high traffic density in this area increases the risk of marine accidents, as evidenced by the sinking of KMP Rafelia II in 2016 and KMP Yunicee in 2021. This study aims to investigate the chronology and root causes of Ro-Ro ferry accidents in the Bali Strait using a technical approach through ECFA and FTA methods. Additionally, this research proposes preventive recommendations based on the hierarchy of risk control. The ECFA method was employed to trace the sequence of events and categorize the contributing factors. The findings revealed that operational readiness problems, particularly procedural issues, equipment failures, and human errors, were the dominant contributors. The FTA method further identified 7 intermediate events and eight 11 events leading to the ship sinking, including inaccurate cargo data, non-standard structural modifications, and inadequate implementation of cargo securing procedures. Based on the analysis, integrated recommendations were developed through a combination of technical strategies such as ship design improvements and real-time monitoring systems and administrative strategies, including crew training, strict implementation of standard operating procedures, and comprehensive cargo supervision. This approach is expected to strengthen maritime safety systems and prevent the recurrence of similar ferry accidents in high-risk sea routes like the Bali Strait.

Keywords: Ro-Ro Ferry, Bali Strait, Ship Accident, ECFA, FTA, Risk Control Hierarchy

Abstrak

Kecelakaan kapal menjadi salah satu permasalahan yang serius dalam sistem transportasi laut, khususnya di Indonesia yang merupakan negara kepulauan yang mengandalkan jalur perairan untuk pergerakan barang dan penumpang. Salah satu kawasan dengan tingkat lalu lintas pelayaran yang padat adalah Selat Bali, yang setiap hari dilalui berbagai jenis kapal, termasuk kapal Ferry tipe Roll-on Roll-off (Ro-Ro). Tingginya intensitas pelayaran di jalur ini turut disertai dengan meningkatnya potensi kecelakaan, seperti yang terjadi pada KMP Rafelia II tahun 2016 dan KMP Yunicee tahun 2021. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kronologi serta faktor penyebab utama kecelakaan kapal Ferry Ro-Ro di Selat Bali menggunakan pendekatan teknis menggunakan metode ECFA dan FTA, serta menyusun rekomendasi pencegahan berdasarkan hierarki pengendalian risiko. Metode ECFA digunakan untuk menelusuri urutan peristiwa dan mengidentifikasi kategori penyebab, dimana ditemukan bahwa faktor kesiapan operasional merupakan penyumbang tertinggi, khususnya dalam aspek prosedur, peralatan, dan kesalahan awak kapal. Selanjutnya, melalui analisis FTA, diperoleh 7 *intermediate event* dan 11 *basic event* yang mengarah pada peristiwa tenggelamnya kapal, seperti ketidaktepatan data muatan, modifikasi struktur kapal yang tidak sesuai standar, serta kurangnya penerapan pengawasan dan prosedur pengikatan. Berdasarkan hasil analisis, disusun rekomendasi melalui kombinasi pendekatan teknis berupa penguatan sistem desain dan pemantauan kapal, serta pendekatan administratif melalui pelatihan awak kapal, penerapan SOP secara konsisten, dan pengawasan muatan secara menyeluruh. Strategi ini diharapkan dapat memperkuat sistem keselamatan pelayaran dan mencegah terulangnya kecelakaan serupa di wilayah perairan padat seperti Selat Bali.

Kata Kunci: Kapal Ferry Ro-Ro, Selat Bali, Kecelakaan Kapal, ECFA, FTA, Hierarki Pengendalian Risiko

1. PENDAHULUAN

Kecelakaan kapal merupakan salah satu isu serius dalam sektor transportasi laut, terutama di negara kepulauan seperti Indonesia, yang memiliki lebih dari 17.000 pulau dan bergantung pada jalur laut sebagai sarana utama untuk mobilitas barang dan orang [1]. Menurut data dari Komite Nasional Keselamatan Transportasi (KNKT), kecelakaan kapal sering kali disebabkan oleh berbagai faktor, termasuk kesalahan manusia, kegagalan teknis, dan kondisi cuaca yang buruk. Perairan Indonesia yang luas dan strategis menjadi jalur utama transportasi laut, namun juga dikenal rawan kecelakaan kapal. Salah satu jalur yang sibuk adalah Selat Bali yang memiliki intensitas lalu lintas kapal yang tinggi, tercatat pergerakan kapal penyeberangan pada tahun 2023 sebanyak 74.952 dengan angkutan penumpang mencapai 6.501.047 orang [2]. membuat Selat Bali menjadi wilayah yang rawan akan terjadi insiden kecelakaan kapal. Setiap harinya, jalur ini dilalui oleh berbagai jenis kapal, salah satunya adalah kapal Ferry jenis *Roll-on Roll-off* (Ro-Ro). Kapal jenis ini sering digunakan untuk mengangkut muatan seperti truk, mobil, sepeda motor, barang, dan juga untuk mengangkut penumpang [3]. Namun, penggunaan kapal jenis ini juga tidak terlepas dari berbagai permasalahan terkait keselamatan. Kecelakaan fatal pada kapal Fery Ro-Ro dapat menyebabkan kerugian ekonomi yang signifikan, serta mengancam keselamatan penumpang [4].

Berbagai insiden yang melibatkan kapal Ferry Ro-Ro telah terjadi di Selat Bali, menjadikannya fokus perhatian dalam upaya peningkatan keselamatan transportasi laut. Salah satu kecelakaan yang mengundang perhatian adalah tenggelamnya KMP. Rafelia 2 di perairan Selat Bali. Kejadian terjadi pada tanggal 4 Maret 2016, pada saat kapal berlayar dari Pelabuhan Gilimanuk menuju Pelabuhan Ketapang. Hasil investigasi menunjukkan bahwa penyebab tenggelamnya kapal adalah kelebihan muatan dan masuknya air laut dalam jumlah besar ke geladak kendaraan yang mengakibatkan penurunan stabilitas kapal secara drastis [4]. Pemilihan kapal Ferry Ro-Ro sebagai fokus penelitian dilatarbelakangi oleh karakteristik unik dan tantangan keselamatannya. Kapal Ferry Ro-Ro memiliki desain geladak terbuka yang memungkinkan muatan kendaraan masuk dan keluar dengan mudah [5]. Namun, desain ini juga meningkatkan risiko jika terjadi pergeseran muatan atau masuknya air laut ke dalam geladak kendaraan, yang dapat berdampak signifikan pada stabilitas kapal [5]. Selain itu, kapal jenis ini sering kali beroperasi dengan jadwal yang ketat untuk memenuhi tingginya permintaan, sehingga berpotensi mengabaikan aspek keselamatan seperti perawatan berkala dan kepatuhan terhadap aturan muatan [6].

Berdasarkan beberapa kasus tersebut, penelitian ini mengaplikasikan kombinasi *metode* ECFA dan FTA untuk menelusuri faktor penyebab kecelakaan yang berpotensi tidak tercantum dalam laporan perusahaan serta menyusun rekomendasi perbaikan guna meminimalkan risiko kecelakaan. Menurut Asmawati (2017), metode ECFA dimanfaatkan untuk menelaah penyebab kecelakaan melalui identifikasi berbagai faktor pemicu, meliputi *direct cause*, *contributing cause*, dan *root cause* [7]. Tahap berikutnya dilanjutkan dengan penerapan metode FTA untuk menelusuri akar penyebab dari kecelakaan yang terjadi. Dengan mempertimbangkan isu tersebut, peneliti memilih untuk mengangkat topik ini dalam penelitian berjudul “Analisis Teknis Tenggelamnya Kapal Ferry Ro-Ro di Selat Bali Menggunakan Metode ECFA dan FTA”.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Jenis-Jenis Kecelakaan Kapal

Kecelakaan kapal merupakan suatu kejadian di laut yang dapat mengakibatkan berbagai dampak negatif, mulai dari kerusakan pada kapal dan muatannya, pencemaran lingkungan, hingga menimbulkan korban jiwa. Banyak jenis kecelakaan kapal, seperti tabrakan, kegagalan peralatan, ledakan, kebakaran, kebocoran, kandas, terbalik, dan tenggelam [8].

2.1.1. Kapal Tenggelam

Heading pada level ketiga mengikuti style dari heading level kedua. Hindari penggunaan heading lebih dari tiga level. Kapal tenggelam merupakan kejadian di mana kapal kehilangan kemampuan mengapung, mengakibatkan karamnya sebagian atau seluruh badan kapal. Penyebabnya bisa berupa kebocoran, kelebihan muatan, atau kondisi cuaca buruk [9].

2.1.2. Kapal Terbakar

Kecelakaan ini terjadi ketika ada api yang menyebar di atas kapal dan tidak dapat dikendalikan, sehingga mengakibatkan kerusakan serius pada struktur dan operasional kapal. Kebakaran bisa disebabkan oleh kesalahan manusia, kerusakan mesin, atau bahan mudah terbakar yang tidak terkendali dengan baik [9].

2.1.3. Kapal Kandas

Kecelakaan ini terjadi ketika bagian dasar kapal menyentuh dasar perairan, meskipun kapal masih dapat mengapung. Hal ini biasanya disebabkan oleh kesalahan

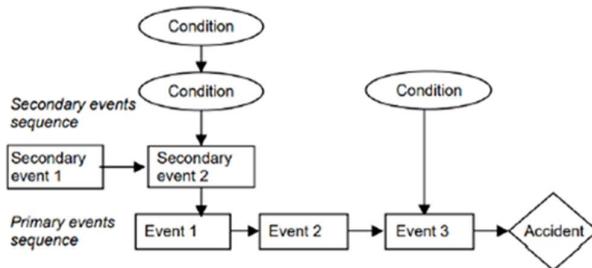
dalam memperkirakan kedalaman perairan atau adanya sisa-sisa konstruksi di bawah air yang membuat alur pelayaran dangkal [10].

2.1.4. Kapal Tubrukan

Kecelakaan akibat tubrukan kapal dapat terjadi antara dua kapal atau melibatkan satu kapal dengan objek lain yang mengakibatkan kerusakan. Insiden tubrukan dapat dibagi menjadi dua yaitu *side collision* yang melibatkan benturan pada bagian sisi kapal, dan *head-on collision* yang terjadi ketika bagian haluan kapal bertabrakan dengan objek lain seperti dermaga atau kapal lainnya [11].

2.2. Metode *Events and Causal Factors Analysis*

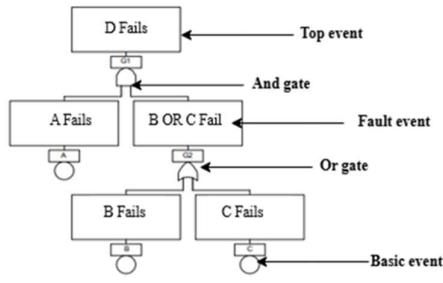
Proses analisis peristiwa dan faktor penyebab dipakai untuk merumuskan keterkaitan antara tindakan dan kondisi lingkungan yang berujung pada kecelakaan. *Charts ECFA* memiliki keunggulan karena mudah dikonstruksi dan mampu menampilkan data yang komprehensif mengenai keterkaitan antara kejadian dan faktor-faktor penyebabnya, sehingga menjadi metode yang banyak digunakan dalam investigasi kecelakaan [12]. Menurut Kurniasyari (2018), ECFA berfungsi untuk memetakan kronologi kecelakaan, mengidentifikasi kondisi pemicu, penyebab langsung dan tidak langsung, serta akar permasalahannya [13].



Gambar 1. Diagram ECFA

2.3. Metode *Fault Tree Analysis*

Berdasarkan Arman et al. (2022), *Fault Tree Analysis* (FTA) adalah teknik analisis yang bertujuan untuk mengenali risiko yang mungkin mengakibatkan kegagalan atau kecelakaan [14]. Pendekatan ini menggunakan metode *top-down*, di mana analisis dimulai dari kejadian utama (*top event*) yang diasumsikan sebagai kegagalan, kemudian diuraikan hingga menemukan faktor-faktor penyebab yang mendasari. Gerbang logika, seperti *AND gate* dan *OR gate*, digunakan untuk memvisualisasikan hubungan antara kondisi-kondisi yang dapat memicu kegagalan, baik secara individu maupun kombinasi.



Gambar 2. Pohon Kegagalan FTA

2.4. Hierarki Pengendalian Risiko

Hierarki pengendalian risiko adalah serangkaian langkah yang dilakukan secara berurutan untuk mengurangi dan mengelola potensi risiko. Pendekatan ini bertujuan untuk menurunkan kemungkinan kecelakaan atau paparan bahaya, serta mengurangi dampak jika kecelakaan tersebut terjadi [15]. Pada hierarki ini, level yang lebih tinggi menggambarkan tingkat efektivitas pengendalian risiko yang lebih besar, sementara tingkat yang lebih rendah, seperti penggunaan Alat Pelindung Diri (APD), menunjukkan efektivitas pengendalian yang lebih rendah [16].



Gambar 3. Hierarki Pengendalian Risiko

Menurut Santoso, K. R. & Widiawan (2022), hierarki pengendalian risiko terdiri dari lima langkah utama [16]:

- a. Eliminasi: Menghilangkan bahaya dari sistem atau proses kerja. Cara ini paling efektif tetapi sering sulit diterapkan karena kendala teknis atau biaya.
- b. Substitusi: Mengganti elemen berbahaya dengan alternatif yang lebih aman, seperti perubahan material atau proses kerja.
- c. Rekayasa Teknik: Menyesuaikan lingkungan kerja untuk mengurangi risiko melalui modifikasi alat atau fasilitas.
- d. Pengendalian Administrasi: Menetapkan kebijakan, prosedur, dan pelatihan untuk meminimalkan risiko, termasuk rambu peringatan dan panduan kerja.
- e. Alat Pelindung Diri (APD): Melindungi pekerja secara langsung dari bahaya, tetapi merupakan metode dengan efektivitas paling rendah.

3. METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan pendekatan analisis deskriptif-kualitatif berbasis studi kasus terhadap dua kecelakaan kapal Ferry Ro-Ro yang terjadi di Selat Bali, yaitu KMP Rafelia II dan KMP Yunicee. Penelitian dilakukan dengan pendekatan *Events and Causal Factors Analysis* (ECFA) dan *Fault Tree Analysis* (FTA) untuk mengidentifikasi dan menganalisis akar penyebab dari kecelakaan yang terjadi. Berikut adalah penjelasan tahapan metode penelitian yang digunakan:

3.1 Pengumpulan Data Primer dan Sekunder

Pengumpulan data dilakukan dari dua jenis sumber:

- a. Data primer, diperoleh melalui wawancara langsung dan studi dokumentasi dari pihak terkait, seperti KSOP Tanjung Wangi dan laporan resmi dari Komite Nasional Keselamatan Transportasi (KNKT). Data ini mencakup kronologi kejadian, informasi teknis kapal, kondisi cuaca dan laut, serta proses evakuasi.
- b. Data sekunder, Pengumpulan data dilakukan dengan studi literatur yang bersumber dari jurnal akademik, laporan riset terdahulu, buku referensi, dan kebijakan pemerintah yang berkaitan dengan keselamatan pelayaran serta kecelakaan kapal Ferry Ro-Ro.

3.2 Analisis dengan Metode ECFA

Metode ECFA berfungsi untuk menyusun urutan peristiwa dan mengidentifikasi faktor penyebab langsung maupun tidak langsung dari kecelakaan. Tahapan ini meliputi:

- a. Penyusunan diagram ECFA untuk masing-masing kecelakaan
- b. Pengisian *worksheet* ECFA yang mencakup tujuh kategori penyebab: peralatan, prosedur, kesalahan personel, desain, pelatihan, material, dan fenomena eksternal.

3.3 Analisis Lanjutan dengan Metode Fault Tree Analysis (FTA)

Setelah hasil ECFA diperoleh, dilakukan analisis lanjutan menggunakan metode FTA. Dalam metode ini, kejadian puncak (*top event*) yang akan dianalisis adalah tenggelamnya kapal Ferry Ro-Ro. Proses analisis melibatkan pembuatan pohon kegagalan yang mengidentifikasi penyebab kecelakaan hingga mencapai *event dasar* (*basic event*).

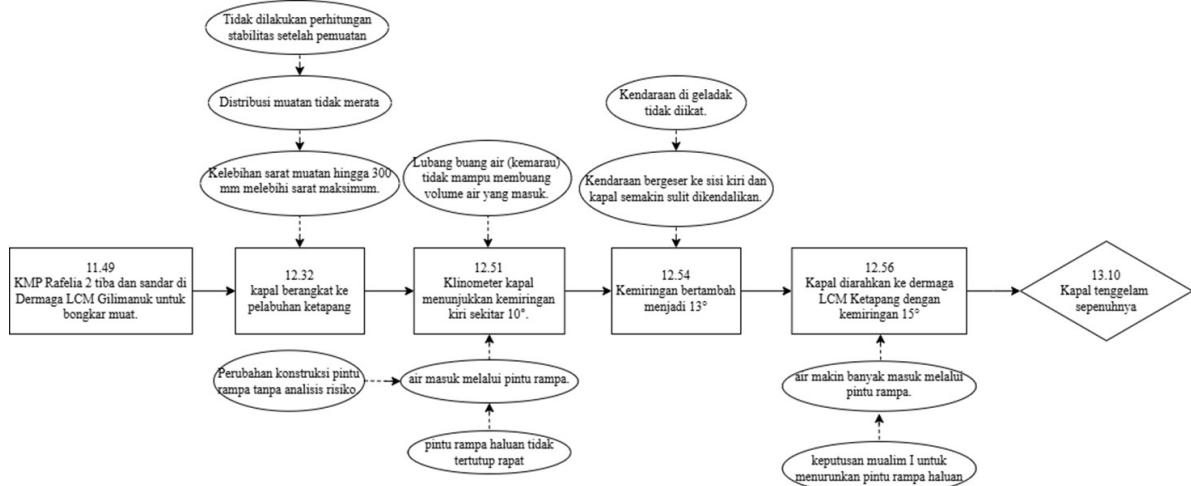
3.4 Rekomendasi Perbaikan

Setelah memahami peristiwa dasar yang memicu terjadinya insiden utama berupa tenggelamnya kapal Ferry Ro-Ro melalui metode FTA, langkah berikutnya adalah rekomendasi perbaikan disusun berdasarkan prinsip hierarki pengendalian.

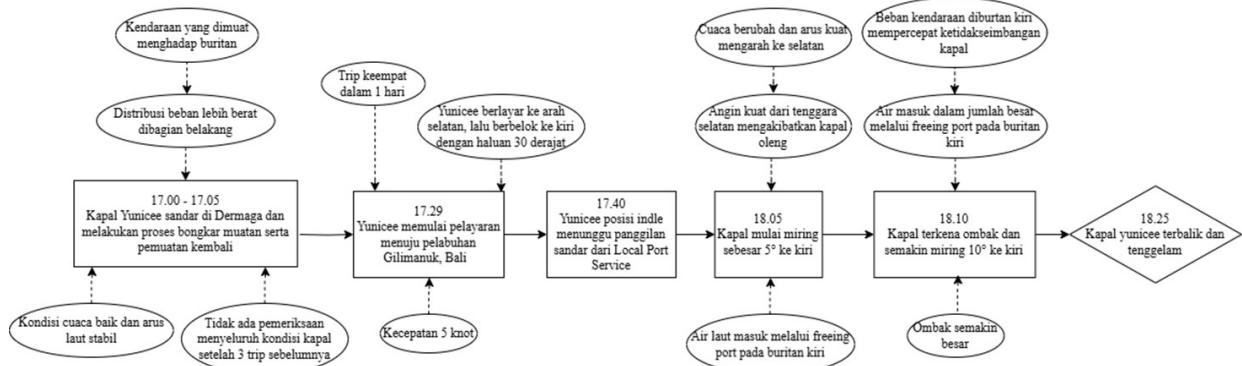
4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Analisis Kasus Kecelakaan Kapal Ferry Ro-Ro Menggunakan Metode ECFA

Penelitian ini menganalisis dua peristiwa kecelakaan kapal, yaitu tenggelamnya KMP Rafelia 2 dan KMP Yunicee. Diagram ECFA memberikan gambaran kronologis mengenai peristiwa kecelakaan, dimulai dari kondisi sebelum kecelakaan hingga kejadian yang menyebabkan kecelakaan. Sementara itu, lembar kerja ECFA digunakan untuk mengelompokkan kategori penyebab kecelakaan, yang akan mempermudah penyusunan rekomendasi perbaikan. Berikut adalah ECFA chart dari kasus kecelakaan KMP. Rafelia II dan KMP Yunicee.



Gambar 4. Diagram ECFA insiden tenggelamnya KMP Rafelia II



Gambar 5. Diagram ECFA insiden tenggelamnya KMP Yunicee

Setelah penyusunan diagram ECFA dan *worksheet* pada setiap kasus, langkah selanjutnya adalah merangkum kategori dan faktor penyebab kecelakaan. Berikut ini merupakan tabel hasil pengisian *worksheet* per kategori dan *worksheet summary* tiap kasus.

Tabel 1. Rangkuman Kategori Penyebab Kedua Kasus Kecelakaan

Problem/Deficiency Category	Direct Cause	Root Cause	Contributing Cause	Total
<i>Operational Readiness Problem</i>	<i>Equipment/ Material Problem</i>	2	1	1
<i>Procedure Problem</i>		1	1	3
<i>Personnal Errors</i>		1		1
<i>Management/ Field Bridge Problem</i>	<i>Design Problem</i>	2	1	1
	<i>Training Deficiency</i>		5	5

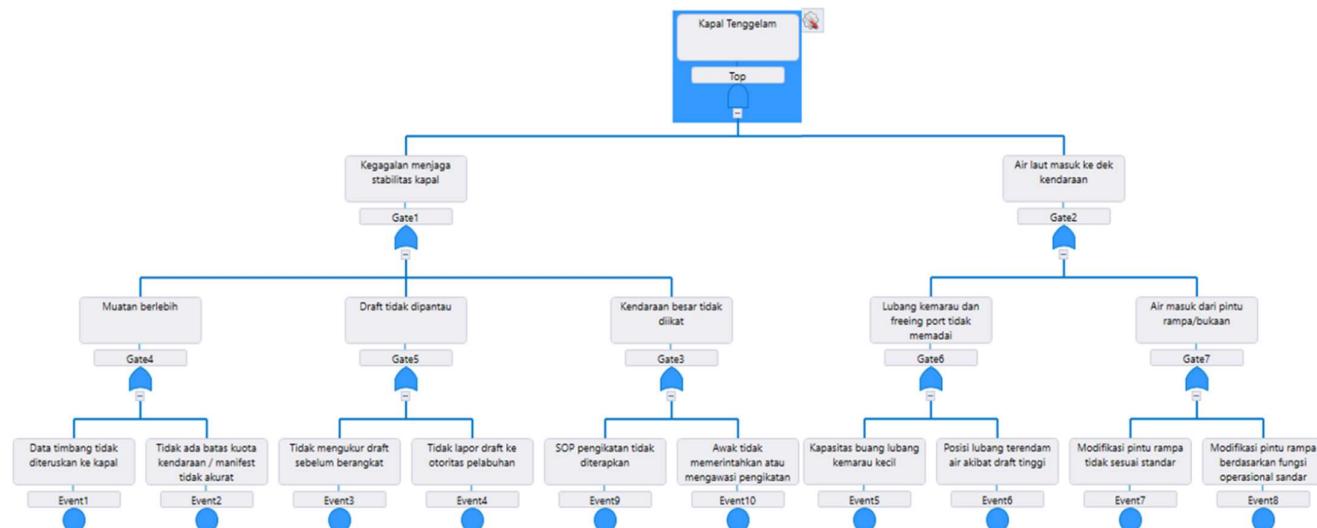
<i>Management Problem</i>	3	4	7
<i>External Phenomenon</i>	2	2	

Berdasarkan hasil dari rekapitulasi penyebab dan kategorinya, perusahaan disarankan untuk melakukan perbaikan yang difokuskan pada tiga aspek utama, yaitu:

- Masalah kesiapan operasional yang berkaitan dengan kerusakan atau kegagalan komponen kapal.
- Kesenjangan antara kebijakan manajerial dan pelaksanaan teknis di lapangan, khususnya dalam hal desain yang tidak optimal.
- Permasalahan dalam manajemen internal yang memerlukan evaluasi dan peningkatan sistem pengendalian.

4.2 Analisis Kasus Kecelakaan Kapal Ferry Ro-Ro Dengan Metode FTA

Dalam analisis ini, masing-masing kasus kecelakaan, yaitu KMP Rafelia II dan KMP Yunicee, terlebih dahulu dibuatkan pemodelan *Fault Tree Analysis* (FTA) secara terpisah untuk mengidentifikasi faktor-faktor yang menyebabkan tenggelamnya kapal. Setelah itu, faktor penyebab yang sama dari kedua FTA digabungkan ke dalam satu diagram FTA gabungan, dengan *top event* "Kapal Tenggelam". Penggabungan ini bertujuan untuk memperoleh pemahaman yang lebih komprehensif terkait akar penyebab umum dari kecelakaan kapal Ferry Ro-Ro yang terjadi di wilayah Selat Bali. Adapun hasil FTA gabungan yang dihasilkan sebagai berikut:



Gambar 6. FTA Kasus Kapal Tenggelam

Berdasarkan Gambar 4.5 memperlihatkan *Fault Tree Analysis* (FTA) gabungan dari kedua kecelakaan, KMP Rafelia II dan KMP Yunicee, dengan *top event* "Kapal Tenggelam". Diagram ini bertujuan untuk mengidentifikasi faktor penyebab yang umum terjadi dalam kedua insiden tersebut. Berikut adalah tabel yang merangkum setiap peristiwa dasar (*basic event*) yang menjadi akar masalah dalam kedua kecelakaan ini.

Tabel 2. Rangkuman Kategori Penyebab Kedua Kasus Kecelakaan

No.	Basic event	Ketidaksesuaian Hukum
1	Data timbang tidak diteruskan ke kapal	(PM No 93 Tahun 2013 tentang Penyelenggaraan dan Pengusahaan Angkutan Laut, 2013)
2	Tidak ada batas kuota kendaraan atau manifest tidak akurat	(UU No 17 Tahun 2008 tentang Pelayaran, 2008) Pasal 234
3	Tidak mengukur draft sebelum berangkat	(UU No 17 Tahun 2008 tentang Pelayaran, 2008) Pasal 137
4	Tidak lapor draft ke otoritas Pelabuhan	(UU No 17 Tahun 2008 tentang Pelayaran, 2008) Pasal 137

5	Kapasitas buang lubang kemarau kecil	(PM Nomor 39 Tahun 2016 Tentang Garis Muat Kapal Dan Pemuatan, 2016)
6	Posisi lubang terendam air akibat draft tinggi	(PM Nomor 39 Tahun 2016 Tentang Garis Muat Kapal Dan Pemuatan, 2016)
7	Modifikasi pintu rampa tidak sesuai standar	(PM No 62 Tahun 2019 tentang Standar Pelayanan Minimal Angkutan Penyeberangan, 2019)
8	Modifikasi pintu rampa berdasarkan fungsi operasional sandar	(PM No 62 Tahun 2019 tentang Standar Pelayanan Minimal Angkutan Penyeberangan, 2019)
9	SOP pengikatan tidak diterapkan	(PM No 30 Tahun 2016 tentang Kewajiban Pengikatan Kendaraan pada Kapal Angkutan Penyeberangan, 2016)
10	Awak tidak memerintahkan atau mengawasi pengikatan	(PM No 30 Tahun 2016 tentang Kewajiban Pengikatan Kendaraan pada Kapal Angkutan Penyeberangan, 2016)

4.3 Rekomendasi Perbaikan Berdasarkan Hirarki Pengendalian

Untuk mencegah kecelakaan serupa, langkah perbaikan yang jelas dan terukur perlu dirumuskan. Rekomendasi dalam penelitian ini disusun berdasarkan hirarki pengendalian risiko, mengklasifikasikan perbaikan sesuai efektivitasnya agar mudah diprioritaskan. Penyusunan rekomendasi juga memperhatikan analisis *Fault Tree Analysis* (FTA) sehingga solusi yang diusulkan praktis dan relevan. Berikut adalah Tabel 3 rekomendasi perbaikan berdasarkan hirarki pengendalian.

Tabel 3. Rekomendasi Perbaikan Berdasarkan Hirarki Pengendalian

No	Basic Event	Pengendalian	Hukum
1	Data timbang tidak diteruskan ke kapal	Eliminasi : - Subtitusi : - Rekayasa Teknik: Penerapan sistem digital terintegrasi yang secara otomatis mengirimkan data timbang secara real-time ke kapal melalui jaringan komunikasi yang aman dan terverifikasi. Rekayasa administrasi: Pembuatan dan penerapan SOP yang mewajibkan pengiriman data timbang sebelum kapal berangkat, termasuk prosedur verifikasi dan dokumentasi yang ketat oleh petugas pelabuhan dan awak kapal. APD : -	<ul style="list-style-type: none"> (PP Nomor PM 39 Tahun 2016 Pasal 18 Tentang Garis Muat Kapal dan Pemuatan, 2016): Kapal wajib memastikan garis muat sesuai dengan data timbang yang valid [17]. (UU No. 17/2008 Pasal 223 tentang Pelayaran, 2008): Pelanggaran prosedur muatan dapat dikenai sanksi administratif hingga pencabutan izin [18].
2	Tidak ada batas kuota kendaraan / manifest tidak akurat	Eliminasi : - Subtitusi : - Rekayasa Teknik: Pemasangan sensor otomatis di dermaga yang menghitung jumlah kendaraan masuk secara akurat dan mengintegrasikan data ini ke sistem manifest elektronik. Rekayasa administrasi: Penetapan SOP yang mengatur batas kuota kendaraan dengan audit harian yang ketat serta pelatihan petugas pelabuhan dan awak kapal untuk memastikan akurasi data manifest APD : -	<ul style="list-style-type: none"> (PM Hub No. 30/2016 Pasal 5 tentang Kewajiban Pengikatan Kendaraan pada Kapal Angkutan Penyeberangan, 2016): Operator wajib membuat manifest yang akurat [19]. (UU No. 17/2008 Pasal 210 tentang Pelayaran, 2008): Manipulasi manifest termasuk pelanggaran berat [18].
3	Tidak mengukur draft sebelum berangkat	Eliminasi : - Subtitusi : - Rekayasa Teknik: Pasang alat ukur draft digital (<i>ultrasonic draft gauge</i>) yang terhubung dengan sistem pemantauan otoritas Rekayasa administrasi: SOP wajib pengukuran draft sebelum keberangkatan dan Catat hasil draft dalam logbook kapal dan laporan pelabuhan APD : -	<ul style="list-style-type: none"> (PM Hub No. 30/2016 Pasal 5 tentang Kewajiban Pengikatan Kendaraan pada Kapal Angkutan Penyeberangan, 2016): Operator wajib membuat manifest yang akurat [19].
4	Tidak lapor draft ke otoritas pelabuhan	Eliminasi : - Subtitusi : -	<ul style="list-style-type: none"> Perdirjen Hubla No.HK 103/2/4/DJPL-16 Tentang

No	Basic Event	Pengendalian	Hukum
		Rekayasa Teknik: Penggunaan aplikasi pelaporan digital yang memungkinkan kapal mengirim data draft secara langsung dan otomatis ke otoritas pelabuhan, memudahkan monitoring dan pengawasan. Rekayasa administrasi: Integrasikan sistem pelaporan draft elektronik ke database otoritas pelabuhan. APD : -	Pelaksaan Penyelenggaraan Kelaiiklautan Kapal, 2016 verifikasi data kapal [20]. • UU No. 17/2008 Pasal 302 tentang Pelayaran, 2008) [18].
5	Modifikasi pintu rampa tidak sesuai standar dan berdasarkan fungsi operasional sandar	Eliminasi : - Subtitusi : - Rekayasa Teknik: Perbaikan desain pintu rampa agar sesuai dengan standar klasifikasi kapal dan fungsi operasional Rekayasa administrasi: Pelarangan modifikasi tanpa persetujuan badan klasifikasi dan pengawasan ketat terhadap perubahan desain, serta pelatihan awak kapal tentang standar operasional pintu rampa APD : -	• (PM Hub No. 39/2016 Pasal 22 Tentang Garis Muat Kapal dan Pemuatan, 2016): Modifikasi kapal wajib mendapat persetujuan dan sertifikasi [17].
6	SOP Pengikatan Tidak Diterapkan	Eliminasi : - Subtitusi : - Rekayasa Teknik : Penerapan sistem pengikat kendaraan otomatis atau semi-otomatis yang memastikan kendaraan terkunci dengan kuat selama pelayaran Rekayasa Administrasi : Pelatihan wajib dan pengawasan ketat terhadap penerapan SOP pengikatan kendaraan oleh awak kapal, termasuk audit dan sanksi jika tidak dipatuhi. APD : -	• (PM Hub No. 30/2016 Pasal 6 tentang Kewajiban Pengikatan Kendaraan pada Kapal Angkutan Penyeberangan, 2016): Kewajiban pelatihan dan SOP pengikatan [19].
7	Awak Tidak Memerintahkan atau Mengawasi Pengikatan	Eliminasi : - Subtitusi : - Rekayasa Teknik : Pemasangan CCTV dan sistem monitoring real-time untuk mengawasi proses pengikatan kendaraan. Rekayasa Administrasi : Penugasan petugas khusus yang bertanggung jawab mengawasi pengikatan kendaraan dan memastikan SOP dijalankan dengan benar, termasuk pelatihan dan evaluasi rutin. APD :	• (UU No. 17/2008 Pasal 224, 2008): Kelalaian nakhoda dalam keselamatan muatan dapat dikenai sanksi pidana [18].

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Penelitian ini mengkaji dua kasus kecelakaan tenggelamnya kapal ferry Ro-Ro di Selat Bali dengan menggunakan pendekatan ECFA dan FTA untuk mengidentifikasi kategori penyebab dan akar masalah yang memicu kecelakaan. Hasil ECFA menunjukkan bahwa kesiapan operasional menjadi penyebab dominan, terutama disebabkan oleh kelemahan prosedur, permasalahan peralatan, serta kesalahan personel. Sementara itu, analisis FTA terhadap gabungan penyebab dari kedua kasus menghasilkan satu *top event* (kapal tenggelam), tujuh *intermediate event*, dan sepuluh *basic event*, dengan akar penyebab antara lain ketidaktepatan manifest, pengabaian pengukuran draft, serta modifikasi struktur kapal yang tidak sesuai standar.

Dalam upaya pencegahan kecelakaan serupa, pendekatan yang paling relevan dan efektif adalah kombinasi rekayasa teknik dan administratif. Pendekatan teknik mencakup perbaikan desain kapal, pemasangan sistem pemantauan keselamatan, serta pemanfaatan teknologi digital untuk pelaporan dan pengawasan kondisi kapal secara *real-time*. Di sisi lain, rekayasa administratif meliputi penerapan prosedur operasional standar (SOP), pelatihan dan sertifikasi awak kapal, pengawasan muatan yang ketat, serta integrasi sistem pelaporan dengan otoritas pelabuhan. Pendekatan terpadu ini dinilai paling sesuai untuk menghadapi kompleksitas operasional kapal dan lingkungan laut, serta meningkatkan keselamatan pelayaran secara berkelanjutan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Santoso, K. R., & Widiawan, K. (2022). Upaya Pencegahan Kecelakaan Kerja dengan Menerapkan Metode HIRARC di CV. SANTOSO JAYA. *Jurnal Titra*, 10(2), 377–384. <https://eticon.co.id/pencegahan-kecelakaan-kerja/>
- [2] Badan Pusat Statistik Kabupaten Banyuwangi. (2024). Kabupaten Dalam Angka Banyuwangi 2024. In BPS Kabupaten Banyuwangi (Vol. 17).
- [3] Juniarti, M., & Haryanto, D. (2023). Optimalisasi Persiapan Car Deck Pada Kapal KM. Kumala. *JPB : Jurnal Patria Bahari*, 3(1), 43–48. <https://doi.org/10.54017/jpb.v3i1.69>
- [4] KNKT. (2016). Laporan Investigasi Kecelakaan Pelayaran Tenggelamnya KMP. Rafelia 2 (KNKT (ed.)).
- [5] Utomo, P., Chrismianto, D., & Arswendo, B. (2017). Studi Perancangan Kapal Katamaran Medium Speed Ro-Pax Untuk Lintas Tanjung Pinang (Kepri)-Tanjung Buton (Riau) Guna Mendukung Konektivitas Antar Daerah. *Jurnal Teknik Perkapalan*, 5(1), 38. <http://ejournal-s1.undip.ac.id/index.php/naval>
- [6] Paroka, D. (2018). Karakteristik Geometri dan Pengaruhnya Terhadap Stabilitas Kapal Ferry Ro-Ro Indonesia. *Jurnal Ilmu Pengetahuan dan Teknologi Kelautan*, 15(1), 1–8. <https://doi.org/10.14710/kpl.v15i1.17272>
- [7] Asmawati, A. L., Juniani, A. I., & Dhani, M. R. (2017). Analisis Kecelakaan Dengan Metode Ecfa Dan Fta. *Proceeding 2 nd Conference On Safety Engineering*, 2581, 699–704
- [8] Grammenos, C. (2010). The Handbook of Maritime Economics and Business. In *Sustainability (Switzerland)* (Vol. 11, Nomor 1). <https://doi.org/10.4324/9780203721636>
- [9] Kendek, M., Iskandar, I., Satria, I. D., & Bayuntara, A. W. (2023). Studi Kasus Analisis Hasil Investigasi Komite Nasional Keselamatan Transportasi (Knkt) Terhadap Penyebab Tubrukan Kapal Di Perairan Indonesia. *JPB : Jurnal Patria Bahari*, 2(2), 1–10. <https://doi.org/10.54017/jpb.v2i2.60>
- [10] Suhardjo, B., & Sri S., O. (2014). Penilaian Risiko Kecelakaan Kapal Berlayar di Alur Pelayaran Timur Surabaya dengan Metode Formal Safety Assessment (FSA). *Journal Asro*, 2, 1–14. <http://asrojournal-sttal.ac.id/index.php/ASRO/article/view/9>
- [11] Dzikron, N. A., & Yulianto, T. (2019). Analisis Tegangan Haluan Kapal Akibat Tubrukan. *Jurnal Teknik ITS*, 8(2). <https://doi.org/10.12962/j23373539.v8i2.45284>
- [12] DOE. (2012). Accide and Operational Safety Analysis Volume I: Accident Analysis Techniques INTRODUCTION-HANDBOOK APPLICATION AND SCOPE. In U.S Department of Energy Washington.
- [13] Kurniasyari, F. H., Juniani, A. I., & Rachmat, A. N. (2018). Analisis Kecelakaan Pekerjaan Ketinggian Menggunakan Metode Ecfa, Fishbone, dan Pareto Analysis. *Proceeding 2nd Conference on Safety Engineering and Its Application*, 2(1), 383–388. <http://journal.pppns.ac.id/index.php/seminarK3PPNS/article/view/726>
- [14] Arman, U. D., Melasari, J., & Suwanda, A. R. (2022). Identifikasi Penyebab Kecelakaan Kerja Konstruksi Menggunakan Accident Root Cause Tracing Model (ARCTM) dan Fault Tree Analysis (FTA). *Cantilever: Jurnal Penelitian dan Kajian Bidang Teknik Sipil*, 11(1), 17–28. <https://doi.org/10.35139/cantilever.v11i1.112>
- [15] James, F. A. and. (2018). Analisa Penilaian Resiko pada Proses Pengelasan dengan Metode Job Safety Analysis (Studi Kasus: PT Meindo Elang Indah). *Identifikasi*, 3(1), 18–29.
- [16] Santoso, K. R., & Widiawan, K. (2022). Upaya Pencegahan Kecelakaan Kerja dengan Menerapkan Metode HIRARC di CV. SANTOSO JAYA. *Jurnal Titra*, 10(2), 377–384. <https://eticon.co.id/pencegahan-kecelakaan-kerja/>
- [17] Peraturan Menteri Perhubungan Republik Indonesia Nomor PM 39 Tahun 2016 Tentang Garis Muat Kapal dan Pemuatan (2016).
- [18] Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 17 Tahun 2008 tentang Pelayaran, Pemerintah RI 1 (2008). <https://peraturan.bpk.go.id/Home/Details/37502/uu-no-17-tahun-2008>
- [19] Peraturan Menteri Perhubungan Nomor 30 Tahun 2016 tentang Kewajiban Pengikatan Kendaraan Pada Kapal Angkutan Penyeberangan (2016).
- [20] Peraturan Direktur Jedral Perhubungan Laut Nomor HK.103/2/4/DJPL-16 Tentang Pelaksanaan Penyelenggaraan Kelaiklautan Kapal (2016).