

## Evaluasi Penerapan Mitigasi Risiko Kebakaran dan Ledakan pada Kapal Pengangkut Minyak Berdasarkan Standar Keselamatan Internasional

Febrina Yolanda<sup>1\*</sup>, Indri Hapsari Susilowati<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>Program Studi Magister Kesehatan Masyarakat, Fakultas Kesehatan Masyarakat, Universitas Indonesia

### Abstrak

Kebakaran dan ledakan merupakan risiko utama yang mengancam keselamatan operasional kapal pengangkut minyak. Evaluasi penerapan mitigasi risiko menjadi aspek krusial untuk memastikan keselamatan awak kapal, lingkungan, dan muatan. Penelitian ini bertujuan untuk menilai efektivitas penerapan prosedur mitigasi risiko kebakaran dan ledakan pada kapal pengangkut minyak dengan mengacu pada standar keselamatan internasional, termasuk *International Safety Management (ISM) Code* dan *International Maritime Organization (IMO) guidelines*. Metode penelitian yang digunakan adalah pendekatan deskriptif kualitatif melalui observasi, wawancara dengan awak kapal dan manajemen kapal, serta studi dokumentasi prosedur keselamatan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sebagian besar prosedur mitigasi telah diterapkan sesuai standar, seperti penggunaan sistem deteksi dini, pelatihan keselamatan reguler, dan prosedur penanganan darurat. Namun, terdapat beberapa kekurangan pada aspek pemeliharaan rutin peralatan pemadam kebakaran dan simulasi latihan tanggap darurat yang masih perlu ditingkatkan. Temuan ini menekankan pentingnya evaluasi berkala, pelatihan berkelanjutan, serta peningkatan kesadaran awak kapal dalam menerapkan prosedur mitigasi risiko. Penelitian ini memberikan rekomendasi praktis bagi perusahaan pelayaran untuk memperkuat sistem mitigasi, sehingga risiko kebakaran dan ledakan dapat diminimalkan, meningkatkan keselamatan dan keberlanjutan operasi kapal pengangkut minyak.

**Kata Kunci:** Mitigasi risiko, Kebakaran dan Ledakan kapal, Kapal pengangkut minyak, Keselamatan maritim, Standar internasional

### Abstract

*Fire and explosion are major risks threatening the operational safety of oil tanker vessels. Evaluating risk mitigation implementation is crucial to ensure the safety of crew, environment, and cargo. This study aims to assess the effectiveness of fire and explosion risk mitigation procedures on oil tanker vessels based on international safety standards, including the International Safety Management (ISM) Code and International Maritime Organization (IMO) guidelines. The research employed a qualitative descriptive approach through observations, interviews with crew and ship management, and documentation review of safety procedures. Findings indicate that most mitigation procedures have been implemented in accordance with standards, such as early detection systems, regular safety training, and emergency response procedures. However, some deficiencies were noted in routine maintenance of firefighting equipment and emergency drill simulations, which require improvement. These results highlight the importance of regular evaluation, continuous training, and crew awareness in applying risk mitigation procedures. This study provides practical recommendations for shipping companies to strengthen mitigation systems, thereby minimizing fire and explosion risks and enhancing the safety and sustainability of oil tanker operations.*

**Keywords:** Risk mitigation, Ship fire and explosion, Oil tanker, Maritime safety, International standards

## Pendahuluan

Kapal pengangkut minyak merupakan salah satu jenis kapal yang memiliki risiko tinggi terhadap keselamatan operasional karena membawa muatan yang sangat mudah terbakar dan dapat menimbulkan ledakan apabila tidak dikelola dengan baik. Dalam konteks keselamatan maritim, risiko kebakaran dan ledakan menjadi ancaman utama yang dapat menyebabkan kerugian besar, baik secara finansial maupun terhadap keselamatan manusia dan lingkungan laut <sup>(1)</sup>. Kejadian kebakaran atau ledakan pada kapal pengangkut minyak tidak hanya berdampak pada hilangnya muatan, tetapi juga dapat menyebabkan kerusakan pada kapal, polusi laut, serta cedera serius atau kematian bagi awak kapal. Oleh karena itu, penerapan mitigasi risiko yang efektif menjadi kebutuhan mendesak dalam operasional kapal pengangkut minyak <sup>(2)</sup>.

### \*Korespondensi:

Febrina Yolanda, Program Studi Magister Kesehatan Masyarakat, Fakultas Kesehatan Masyarakat, Universitas Indonesia, Jl. Margonda Raya, Pondok Cina, Beji, Depok, Jawa Barat 16424, Email: febrina.yolanda1990@gmail.com

DOI: <https://doi.org/10.70304/jmsi.v5i02.132>

Copyright © 2026, Jurnal Masyarakat Sehat Indonesia, E-ISSN: 2828-1381, P-ISSN: 2828-738X

Standar keselamatan internasional, seperti *International Safety Management (ISM) Code* dan pedoman dari *International Maritime Organization (IMO)*, memberikan kerangka kerja yang jelas untuk pengelolaan risiko kebakaran dan ledakan pada kapal. Standar ini menekankan pentingnya identifikasi risiko, penerapan prosedur pencegahan, pemantauan secara rutin, serta latihan tanggap darurat secara berkala<sup>(3)</sup>. Meskipun demikian, implementasi standar internasional tersebut di lapangan sering menghadapi tantangan, terutama pada kapal yang beroperasi di wilayah perairan Indonesia yang memiliki kondisi cuaca dan navigasi yang bervariasi. Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa ketidakpatuhan terhadap prosedur keselamatan dapat meningkatkan kemungkinan terjadinya insiden yang fatal<sup>(4)</sup>.

Mitigasi risiko kebakaran dan ledakan pada kapal pengangkut minyak mencakup berbagai aspek, mulai dari pengendalian sumber api, penggunaan sistem deteksi dini, pemeliharaan peralatan pemadam kebakaran, hingga pelatihan awak kapal dalam prosedur tanggap darurat. Sistem deteksi dini seperti *smoke detector* dan *gas detector* sangat penting untuk mendeteksi indikasi kebakaran atau kebocoran gas sebelum berkembang menjadi insiden yang lebih besar. Selain itu, penggunaan peralatan pemadam kebakaran yang selalu dalam kondisi siap pakai menjadi faktor penentu keberhasilan mitigasi risiko. Penelitian oleh Hartono menunjukkan bahwa kapal yang memiliki program pemeliharaan rutin peralatan keselamatan cenderung memiliki tingkat insiden yang lebih rendah dibandingkan kapal yang mengabaikan pemeliharaan tersebut<sup>(5)</sup>.

Selain aspek teknis, faktor manusia juga memiliki peran penting dalam penerapan mitigasi risiko. Kesadaran awak kapal terhadap prosedur keselamatan, kemampuan dalam mengambil keputusan saat keadaan darurat, serta keterampilan dalam menggunakan peralatan keselamatan menjadi penentu utama efektivitas mitigasi risiko. Program pelatihan yang intensif dan berkelanjutan perlu dilakukan untuk meningkatkan kompetensi awak kapal dalam menghadapi situasi kebakaran dan ledakan. Pelatihan ini tidak hanya mencakup aspek teoretis, tetapi juga simulasi praktis yang meniru kondisi nyata di kapal, sehingga awak dapat merespons dengan cepat dan tepat<sup>(6)</sup>.

Indonesia sebagai negara kepulauan memiliki peran strategis dalam transportasi laut minyak, mengingat sebagian besar wilayahnya bergantung pada pengiriman minyak melalui jalur laut. Hal ini menjadikan keselamatan kapal pengangkut minyak sebagai prioritas nasional, sejalan dengan regulasi nasional dan internasional. Pemerintah Indonesia melalui Direktorat Jenderal Perhubungan Laut telah menetapkan regulasi yang mengatur standar keselamatan, inspeksi kapal, dan kewajiban pelaporan insiden, sebagai upaya mendukung penerapan mitigasi risiko. Meskipun demikian, tantangan tetap muncul terkait pengawasan implementasi di lapangan, terutama pada kapal-kapal yang beroperasi di pelabuhan kecil atau wilayah perairan terpencil.

Evaluasi terhadap penerapan mitigasi risiko kebakaran dan ledakan pada kapal pengangkut minyak menjadi langkah penting untuk menilai sejauh mana standar keselamatan diterapkan secara nyata. Evaluasi ini dapat mengidentifikasi kekuatan dan kelemahan dalam prosedur keselamatan, termasuk aspek pemeliharaan peralatan, kesadaran awak kapal, dan efektivitas latihan tanggap darurat<sup>(7)</sup>. Hasil evaluasi tersebut dapat menjadi dasar bagi perusahaan pelayaran untuk melakukan perbaikan dan penyesuaian prosedur mitigasi risiko agar lebih efektif. Selain itu, evaluasi juga memberikan kontribusi terhadap pengembangan kebijakan keselamatan maritim yang lebih komprehensif di tingkat nasional.

Seiring dengan perkembangan teknologi, berbagai inovasi dalam sistem keselamatan kapal pengangkut minyak mulai diterapkan. Penggunaan teknologi sensor cerdas, sistem monitoring otomatis, dan perangkat komunikasi darurat meningkatkan kemampuan deteksi dini dan koordinasi dalam situasi darurat. Teknologi ini mendukung pengawasan yang lebih real-time dan pengambilan keputusan yang lebih cepat oleh awak kapal maupun manajemen kapal.

Namun, penerapan teknologi juga harus disertai pelatihan yang memadai agar awak kapal dapat memanfaatkan teknologi tersebut secara optimal.

Selain itu, studi mengenai mitigasi risiko kebakaran dan ledakan pada kapal pengangkut minyak menekankan pentingnya pendekatan sistemik yang melibatkan semua pihak terkait, mulai dari manajemen perusahaan, awak kapal, regulator, hingga pihak asuransi<sup>(8)</sup>. Pendekatan ini memastikan bahwa mitigasi risiko tidak hanya menjadi tanggung jawab individu awak kapal, tetapi menjadi bagian dari budaya keselamatan perusahaan secara keseluruhan. Dengan demikian, implementasi mitigasi risiko menjadi lebih konsisten, terukur, dan mampu menurunkan kemungkinan terjadinya insiden.

Penelitian ini penting dilakukan karena meskipun regulasi dan standar internasional telah ada, masih terdapat variasi dalam penerapan di lapangan yang dapat menimbulkan risiko tinggi. Faktor-faktor seperti ketidakteraturan pemeliharaan peralatan, keterbatasan pengalaman awak kapal, dan kurangnya latihan simulasi menjadi tantangan nyata dalam penerapan mitigasi risiko. Oleh karena itu, evaluasi penerapan mitigasi risiko kebakaran dan ledakan pada kapal pengangkut minyak di Indonesia sangat relevan untuk memastikan keselamatan operasional, perlindungan lingkungan, serta keberlanjutan transportasi minyak laut.

Dengan latar belakang tersebut, penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi penerapan mitigasi risiko kebakaran dan ledakan pada kapal pengangkut minyak berdasarkan standar keselamatan internasional. Penelitian ini diharapkan memberikan informasi yang komprehensif mengenai efektivitas prosedur mitigasi risiko yang diterapkan, identifikasi kelemahan yang perlu diperbaiki, serta rekomendasi praktis bagi perusahaan pelayaran dan regulator maritim. Hasil penelitian diharapkan mampu menjadi dasar pengambilan keputusan strategis dalam meningkatkan keselamatan kapal pengangkut minyak di Indonesia, sejalan dengan standar internasional dan praktik terbaik di bidang maritim.

Penelitian ini menghadirkan beberapa aspek kebaruan yang membedakannya dari penelitian sebelumnya dalam bidang keselamatan maritim, khususnya mitigasi risiko kebakaran dan ledakan pada kapal pengangkut minyak. Pertama, penelitian ini mengintegrasikan analisis kualitatif deskriptif dengan metode analisis risiko HIRA dan FMEA, sehingga tidak hanya menilai keberadaan sistem mitigasi, tetapi juga menilai efektivitas dan prioritas risiko secara kuantitatif. Pendekatan ini memungkinkan identifikasi risiko yang lebih spesifik, termasuk potensi kegagalan sistem teknis dan human error, serta memberikan rekomendasi perbaikan berbasis prioritas *Risk Priority Number* (RPN).

Kedua, penelitian ini menggunakan data lapangan nyata dari kapal MT Serasi Jaya, termasuk observasi langsung sistem inert gas, fire detection, dan fire suppression, serta wawancara dengan awak kapal, *safety officer*, dan manajemen perusahaan pelayaran. Hal ini memberikan gambaran kondisi implementasi mitigasi risiko yang riil dan kontekstual, berbeda dengan penelitian terdahulu yang cenderung hanya berbasis dokumen atau literatur.

Ketiga, penelitian ini menekankan sinergi antara aspek teknis, manajerial, dan sumber daya manusia dalam penerapan mitigasi risiko. Hasil penelitian menunjukkan bahwa keberhasilan mitigasi tidak hanya bergantung pada ketersediaan sistem dan teknologi, tetapi juga pada kompetensi awak kapal, budaya keselamatan, dan kualitas pengawasan. Pendekatan ini memberikan perspektif holistik yang jarang ditemui dalam studi sebelumnya.

Keempat, penelitian ini mengangkat adopsi teknologi digital dalam sistem mitigasi risiko sebagai faktor pendukung efektivitas keselamatan. Analisis ini menyoroti kesenjangan antara kapal berskala besar yang sudah menerapkan monitoring *digital real-time* dengan kapal berskala kecil yang masih bergantung pada sistem konvensional, sehingga memberikan kontribusi baru dalam literatur tentang penerapan teknologi untuk meningkatkan keselamatan pelayaran di Indonesia.

Tujuan penelitian ini untuk mengevaluasi penerapan mitigasi risiko kebakaran dan ledakan pada kapal pengangkut minyak berdasarkan standar keselamatan internasional dengan

kombinasi pendekatan analisis risiko, data lapangan nyata, evaluasi faktor manusia, dan integrasi teknologi modern. Penelitian ini diharapkan memberikan kontribusi baru bagi praktik keselamatan maritim serta menjadi dasar rekomendasi kebijakan dan strategi perbaikan mitigasi risiko kebakaran dan ledakan pada kapal pengangkut minyak.

## Metode

Penelitian ini menggunakan pendekatan kualitatif deskriptif dengan tujuan untuk mengevaluasi penerapan mitigasi risiko kebakaran dan ledakan pada kapal pengangkut minyak berdasarkan standar keselamatan internasional. Pendekatan kualitatif dipilih karena memungkinkan peneliti untuk memahami secara mendalam praktik operasional, prosedur keselamatan, serta pengalaman awak kapal dalam menghadapi risiko kebakaran dan ledakan<sup>(2)</sup>. Pendekatan ini juga memfasilitasi identifikasi faktor-faktor yang mendukung maupun menghambat efektivitas penerapan mitigasi risiko.

Populasi penelitian terdiri dari kapal pengangkut minyak yang beroperasi di wilayah perairan Indonesia, sementara sampel penelitian dipilih secara purposive, yaitu kapal yang memiliki catatan operasional aktif dan telah menerapkan prosedur keselamatan sesuai standar *International Safety Management (ISM) Code* dan pedoman *International Maritime Organization (IMO)*<sup>(3)</sup>. Pemilihan sampel ini bertujuan untuk memperoleh data yang representatif terkait penerapan mitigasi risiko kebakaran dan ledakan di lapangan.

Teknik pengumpulan data yang digunakan meliputi observasi langsung terhadap kondisi kapal dan peralatan keselamatan, wawancara mendalam dengan awak kapal dan manajemen kapal, serta studi dokumentasi berupa prosedur keselamatan, laporan insiden, catatan latihan tanggap darurat, dan manual operasional. Observasi dilakukan untuk menilai kondisi fisik kapal, kesiapan peralatan pemadam kebakaran, sistem deteksi dini, serta penerapan prosedur tanggap darurat. Wawancara diarahkan untuk menggali pemahaman, pengalaman, dan persepsi awak kapal mengenai risiko kebakaran dan ledakan, serta efektivitas mitigasi risiko yang diterapkan.

Analisis data dilakukan secara tematik, dengan mengidentifikasi pola-pola penerapan mitigasi risiko, kekuatan, kelemahan, serta hambatan yang ditemui dalam praktik operasional. Proses analisis mencakup pengumpulan data, reduksi data melalui pemilihan informasi relevan, penyajian data dalam bentuk deskriptif naratif, dan penarikan kesimpulan berdasarkan interpretasi terhadap data yang diperoleh. Validitas data diperkuat melalui triangulasi sumber, yaitu membandingkan hasil observasi, wawancara, dan dokumentasi, sehingga temuan penelitian dapat dipertanggungjawabkan secara ilmiah<sup>(5)</sup>.

Penelitian ini juga memperhatikan aspek etika penelitian, di mana partisipan diberikan penjelasan mengenai tujuan penelitian, jaminan kerahasiaan informasi, serta hak untuk menolak atau menarik diri dari penelitian kapan saja. Selain itu, peneliti memastikan bahwa semua prosedur observasi dan wawancara tidak mengganggu operasional kapal dan keselamatan awak selama penelitian berlangsung.

Dengan metode ini, penelitian mampu menghasilkan evaluasi yang komprehensif mengenai penerapan mitigasi risiko kebakaran dan ledakan, menilai kesesuaian prosedur dengan standar internasional, serta memberikan rekomendasi praktis bagi perusahaan pelayaran dan regulator maritim untuk meningkatkan keselamatan operasional kapal pengangkut minyak<sup>(6)</sup>.

## Hasil dan Pembahasan

### **Analisis Komprehensif Penerapan Sistem Mitigasi Risiko Kebakaran dan Ledakan pada Kapal Pengangkut Minyak dalam Operasional Pelayaran**

Penerapan sistem mitigasi risiko kebakaran dan ledakan pada kapal pengangkut minyak merupakan aspek krusial dalam menjamin keselamatan operasional pelayaran, mengingat

karakteristik muatan yang mudah terbakar dan berpotensi menimbulkan bencana besar. Berdasarkan hasil penelitian, penerapan sistem mitigasi risiko pada kapal tanker telah mencakup berbagai komponen penting yang saling terintegrasi, baik dari aspek teknis maupun manajerial. Secara umum, implementasi sistem mitigasi risiko ini telah mengacu pada standar keselamatan internasional, seperti *International Safety Management Code* (ISM Code), SOLAS, dan MARPOL, namun dalam praktiknya masih ditemukan beberapa kelemahan yang memerlukan perhatian lebih lanjut.

Dari aspek teknis, salah satu komponen utama dalam mitigasi risiko adalah penggunaan *inert gas system* (IGS) untuk menurunkan kadar oksigen dalam tangki muatan sehingga mencegah terjadinya pembakaran. Observasi menunjukkan bahwa sebagian besar kapal telah dilengkapi sistem ini dan berfungsi dengan baik, namun pemeliharaan yang kurang optimal berpotensi menurunkan efektivitasnya dalam kondisi darurat. Sistem deteksi kebakaran dan pemadaman, seperti fire detection system, foam system, CO<sub>2</sub> system, dan water sprinkler system, juga tersedia dan berfungsi, tetapi efektivitasnya sangat bergantung pada kesiapan awak kapal dalam pengoperasian, pelatihan, dan simulasi rutin.

Dari aspek manajerial, penerapan *Safety Management System* berbasis ISM Code mencakup prosedur kerja, pembagian tanggung jawab, serta mekanisme pengawasan dan evaluasi keselamatan. Dokumen sistem manajemen keselamatan umumnya lengkap, tetapi implementasi di lapangan belum sepenuhnya konsisten. Faktor sumber daya manusia seperti kompetensi, pengalaman, serta tingkat kesadaran keselamatan awak kapal juga memengaruhi efektivitas sistem mitigasi. Selain itu, budaya keselamatan di beberapa perusahaan pelayaran masih perlu ditingkatkan, terlihat dari praktik kerja yang mengabaikan prosedur demi efisiensi waktu atau biaya. Pengawasan dan audit keselamatan dilakukan, namun kualitas audit perlu ditingkatkan agar benar-benar mendeteksi potensi risiko. Teknologi modern, seperti monitoring berbasis digital, telah digunakan pada kapal besar, tetapi kapal skala kecil masih bergantung pada sistem konvensional.

Berikut tabel hasil analisis risiko menggunakan HIRA dan FMEA terhadap sistem mitigasi kebakaran dan ledakan pada kapal tanker MT Serasi Jaya:

**Tabel 1. Hasil Observasi Sistem Mitigasi Risiko Kebakaran dan Ledakan pada Kapal Pengangkut Minyak**

No.	Komponen Sistem	Risiko Potensial	Probabilitas (1-5)	Dampak (1-5)	RPN (Prob x Dampak)	Temuan Penelitian	Rekomendasi
1.	<i>Inert Gas System</i>	Gagal berfungsi saat tangki penuh	2	5	10	Pemeliharaan tidak rutin pada 20% kapal	Tingkatkan jadwal perawatan dan inspeksi
2.	<i>Fire Detection System</i>	Sensor gagal mendeteksi asap/panas	3	4	12	Beberapa sensor tidak diuji rutin	Latih awak kapal dan lakukan uji sensor berkala
3.	<i>Foam System</i>	Tidak cukup kapasitas pemadaman	2	4	8	Kapasitas pemadaman sesuai standar, distribusi kurang	Tambahkan unit cadangan dan lakukan simulasi
4.	<i>CO<sub>2</sub> System</i>	Penggunaan tidak tepat	3	5	15	Awak kapal kurang terlatih	Pelatihan penggunaan CO <sub>2</sub> secara rutin

No.	Komponen Sistem	Risiko Potensial	Probabilitas (1–5)	Dampak (1–5)	RPN (Prob x Dampak)	Temuan Penelitian	Rekomendasi
5.	<i>Water Sprinkler</i>	Kerusakan mekanik	2	3	6	Sistem berfungsi, namun ada perawatan tertunda	Jadwal perawatan preventif tiap bulan
6.	<i>Human Error</i>	Salah prosedur saat darurat	4	5	20	Faktor kelelahan dan kurang simulasi	Perbaiki rotasi kerja, lakukan simulasi darurat reguler
7.	Audit Keselamatan	Tidak menindaklanjuti temuan	3	4	12	Audit formalitas, tanpa tindakan perbaikan	Tingkatkan kualitas audit dan tindak lanjut

Berdasarkan tabel tersebut, terlihat bahwa risiko tertinggi berasal dari faktor human error dengan RPN 20, diikuti penggunaan CO2 system yang kurang terlatih. Hal ini menunjukkan bahwa keberhasilan mitigasi risiko tidak hanya tergantung pada ketersediaan sistem teknis, tetapi juga pada kompetensi, pelatihan, dan kepatuhan awak kapal terhadap prosedur keselamatan.

Selain itu, efektivitas sistem teknis seperti inert *gas system*, *fire detection*, dan *fire suppression* sangat bergantung pada perawatan rutin, kesiapan peralatan, dan pemahaman awak kapal. Dari aspek manajerial, konsistensi penerapan *Safety Management System* dan kualitas audit keselamatan menjadi kunci untuk memastikan semua prosedur dijalankan sesuai standar. Penggunaan teknologi monitoring berbasis digital juga dapat meningkatkan deteksi dini risiko, tetapi perlu diperluas ke kapal skala kecil agar manfaatnya dapat dirasakan lebih merata.

Secara keseluruhan, penelitian menunjukkan bahwa penerapan mitigasi risiko kebakaran dan ledakan pada kapal pengangkut minyak telah berjalan cukup baik, namun masih terdapat kelemahan pada implementasi, sumber daya manusia, dan efektivitas pengawasan. Perbaikan yang melibatkan peningkatan pelatihan, penguatan budaya keselamatan, optimalisasi audit, serta penerapan teknologi modern menjadi langkah penting untuk menciptakan sistem keselamatan pelayaran yang efektif dan berkelanjutan.

### Evaluasi Tingkat Kesesuaian Implementasi Sistem Keselamatan Kapal dengan Standar Internasional (ISM Code, SOLAS, dan MARPOL)

Evaluasi penerapan sistem keselamatan pada kapal pengangkut minyak merupakan aspek penting untuk memastikan keselamatan awak kapal, perlindungan lingkungan laut, dan keberlanjutan operasional. Standar keselamatan internasional, seperti *International Safety Management (ISM) Code*, *International Convention for the Safety of Life at Sea (SOLAS)*, dan *International Convention for the Prevention of Pollution from Ships (MARPOL)*, menjadi pedoman utama yang digunakan untuk menilai kesesuaian implementasi prosedur keselamatan di lapangan<sup>(7)</sup>. Implementasi sistem keselamatan yang sesuai dengan standar internasional ini tidak hanya meminimalkan risiko kebakaran dan ledakan, tetapi juga meningkatkan budaya keselamatan dalam operasional kapal pengangkut minyak<sup>(2)</sup>.

Hasil evaluasi menunjukkan bahwa sebagian besar kapal telah menerapkan prosedur mitigasi risiko sesuai dengan ketentuan ISM Code, seperti identifikasi risiko, prosedur tanggap darurat, serta program pelatihan keselamatan bagi awak kapal. Penerapan prosedur ini mencakup penggunaan sistem deteksi dini kebakaran, sistem pemadam api (foam, CO2, dan

water sprinkler), serta pengaturan rotasi kerja untuk mengurangi risiko *human error*. Namun, temuan lapangan mengindikasikan bahwa tingkat kesesuaian implementasi bervariasi pada beberapa komponen. Misalnya, pada sistem inert gas, pemeliharaan rutin tidak dilakukan secara konsisten pada sekitar 20% kapal, yang berpotensi mengurangi efektivitas mitigasi risiko kebakaran di tangki penyimpanan minyak. Hal ini menunjukkan adanya kebutuhan untuk meningkatkan pengawasan internal dan kepatuhan terhadap jadwal perawatan yang telah ditetapkan dalam prosedur ISM Code <sup>(5)</sup>.

Evaluasi terhadap kesesuaian sistem deteksi kebakaran dengan standar SOLAS juga mengungkapkan beberapa kekurangan. Sensor asap dan panas pada beberapa kapal tidak diuji secara berkala, sehingga kemampuan deteksi dini menjadi kurang optimal. Menurut Rahman, pengujian rutin sistem deteksi kebakaran merupakan komponen kritis untuk memastikan bahwa alat dapat bekerja pada kondisi darurat <sup>(3)</sup>. Kekurangan ini dapat meningkatkan risiko insiden yang dapat berkembang menjadi kebakaran serius atau ledakan. Untuk itu, perusahaan pelayaran perlu memastikan program uji sensor dan latihan tanggap darurat dilakukan secara berkala, sesuai dengan pedoman SOLAS, sehingga awak kapal dapat merespons situasi darurat dengan cepat dan tepat.

Selain aspek teknis, faktor human error menjadi salah satu risiko yang signifikan dalam implementasi keselamatan kapal. Evaluasi menunjukkan bahwa kesalahan prosedur akibat kelelahan dan kurangnya latihan menjadi faktor utama dalam risiko kebakaran dan ledakan. Data observasi memperlihatkan bahwa kapal yang memiliki jadwal rotasi kerja yang padat dan latihan darurat yang jarang mengalami tingkat kesalahan prosedur lebih tinggi. Hal ini sejalan dengan temuan Yulianto yang menyatakan bahwa kompetensi awak kapal dan frekuensi latihan darurat sangat berpengaruh terhadap efektivitas mitigasi risiko <sup>(9)</sup>. Dengan demikian, peningkatan program pelatihan, simulasi situasi darurat, dan manajemen rotasi kerja menjadi strategi penting untuk meminimalkan human error sesuai dengan ISM Code dan SOLAS.

Evaluasi implementasi sistem pemadam kebakaran, seperti *foam system*, CO2 system, dan *water sprinkler*, menunjukkan bahwa kapasitas pemadaman umumnya sesuai standar, namun distribusi peralatan di beberapa area kapal masih kurang optimal. Selain itu, pemeliharaan preventif pada beberapa kapal belum dilakukan secara rutin. Menurut Setiawan, pemeliharaan rutin dan pemeriksaan peralatan pemadam kebakaran menjadi komponen utama dalam memastikan kesiapsiagaan kapal menghadapi kebakaran <sup>(6)</sup>. Hal ini menegaskan bahwa kepatuhan terhadap pedoman MARPOL dan SOLAS dalam hal kesiapan peralatan merupakan faktor kritis yang perlu diperhatikan perusahaan pelayaran.

Audit keselamatan juga menjadi salah satu indikator kesesuaian implementasi sistem keselamatan kapal. Temuan penelitian menunjukkan bahwa audit formalitas dilakukan pada sebagian kapal, namun tindak lanjut atas temuan audit sering kali kurang. Audit yang hanya bersifat prosedural tanpa perbaikan nyata tidak dapat meningkatkan tingkat keselamatan secara signifikan. Prabowo menyebutkan bahwa audit keselamatan harus dilengkapi dengan rencana tindakan korektif dan evaluasi berkelanjutan agar setiap temuan dapat diperbaiki dan mencegah insiden serupa terjadi kembali <sup>(7)</sup>. Dengan demikian, peningkatan kualitas audit dan tindak lanjut menjadi strategi penting untuk memastikan implementasi sistem keselamatan sesuai dengan standar internasional.

Evaluasi tingkat kesesuaian implementasi juga memperhatikan aspek lingkungan sesuai dengan pedoman MARPOL. Kapal pengangkut minyak wajib mematuhi prosedur pencegahan pencemaran laut akibat tumpahan minyak, emisi gas buang, dan limbah lainnya. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sebagian besar kapal telah menerapkan prosedur pencegahan pencemaran, termasuk pengelolaan limbah cair dan pembuangan sesuai area yang ditentukan. Namun, beberapa kapal masih menghadapi tantangan terkait pengawasan internal, terutama dalam dokumentasi pengelolaan limbah dan pelaporan tumpahan minor. Hal ini menunjukkan

perlunya peningkatan sistem manajemen lingkungan agar kesesuaian dengan MARPOL lebih optimal.

Penerapan standar internasional tidak hanya bergantung pada kepatuhan teknis, tetapi juga pada budaya keselamatan di perusahaan pelayaran. Evaluasi menemukan bahwa perusahaan yang menerapkan budaya keselamatan kuat, termasuk pelatihan berkelanjutan, pemantauan kinerja keselamatan, dan keterlibatan awak kapal dalam program keselamatan, memiliki tingkat kesesuaian implementasi yang lebih tinggi. Hal ini menegaskan pentingnya integrasi prosedur teknis dengan manajemen sumber daya manusia untuk memastikan sistem keselamatan berfungsi optimal.

Secara keseluruhan, evaluasi tingkat kesesuaian implementasi sistem keselamatan kapal pengangkut minyak dengan ISM Code, SOLAS, dan MARPOL menunjukkan bahwa meskipun sebagian besar prosedur telah diterapkan, terdapat beberapa area yang masih perlu perbaikan. Peningkatan pemeliharaan rutin, pengujian alat secara berkala, latihan darurat yang lebih sering, rotasi kerja yang tepat, serta tindak lanjut audit keselamatan menjadi rekomendasi utama. Upaya ini akan memastikan bahwa risiko kebakaran dan ledakan dapat diminimalkan, awak kapal lebih siap menghadapi situasi darurat, dan operasional kapal tetap sesuai standar internasional.

Penelitian ini menegaskan bahwa penerapan sistem keselamatan bukan sekadar kepatuhan formal terhadap standar internasional, tetapi merupakan kombinasi antara kesiapan teknis, kompetensi awak kapal, pengawasan internal, dan budaya keselamatan perusahaan. Evaluasi yang komprehensif seperti ini memberikan dasar bagi perusahaan pelayaran untuk mengidentifikasi kelemahan, memperbaiki prosedur, dan meningkatkan efektivitas mitigasi risiko kebakaran dan ledakan pada kapal pengangkut minyak di Indonesia. Dengan demikian, penerapan ISM Code, SOLAS, dan MARPOL tidak hanya meminimalkan risiko keselamatan dan lingkungan, tetapi juga mendukung keberlanjutan transportasi minyak laut secara profesional dan aman<sup>(4)</sup>.

### **Identifikasi dan Analisis Faktor Teknis serta Non-Teknis Penyebab Risiko Kebakaran dan Ledakan pada Kapal Tanker Minyak**

Risiko kebakaran dan ledakan pada kapal tanker minyak merupakan hasil interaksi kompleks antara faktor teknis dan non-teknis yang saling memengaruhi dalam operasional pelayaran. Berdasarkan hasil penelitian, identifikasi terhadap kedua faktor tersebut menunjukkan bahwa kecelakaan tidak hanya disebabkan oleh kegagalan peralatan, tetapi juga oleh kelemahan dalam sistem manajemen, perilaku manusia, serta kondisi lingkungan kerja. Oleh karena itu, analisis yang komprehensif diperlukan untuk memahami akar penyebab serta merumuskan langkah mitigasi yang tepat.

Dari sisi teknis, salah satu faktor utama penyebab kebakaran dan ledakan adalah kegagalan sistem pada peralatan utama kapal, khususnya yang berkaitan dengan pengangkutan dan penyimpanan minyak. Sistem tangki muatan yang tidak terjaga dengan baik, seperti adanya kebocoran pada pipa atau valve, dapat menyebabkan akumulasi uap hidrokarbon yang mudah terbakar. Selain itu, kegagalan *inert gas system* (IGS) dalam menjaga kadar oksigen di dalam tangki juga menjadi faktor krusial yang dapat memicu ledakan apabila terjadi percikan api. Penelitian menunjukkan bahwa kurangnya pemeliharaan rutin dan inspeksi berkala menjadi penyebab utama terjadinya kegagalan sistem ini<sup>(10)</sup>.

Faktor teknis lainnya adalah gangguan pada sistem kelistrikan kapal. Instalasi listrik yang tidak sesuai standar atau mengalami kerusakan dapat menimbulkan percikan api (*spark*) yang berpotensi memicu kebakaran, terutama di area dengan konsentrasi gas yang tinggi. Selain itu, penggunaan peralatan yang tidak bersertifikasi *explosion-proof* di area berbahaya juga meningkatkan risiko terjadinya ledakan. Menurut Nugroho dan Santoso, sistem kelistrikan yang tidak terawat dengan baik merupakan salah satu sumber utama kebakaran di kapal tanker<sup>(11)</sup>.

Sistem deteksi dan pemadaman kebakaran yang tidak berfungsi optimal juga menjadi faktor teknis yang signifikan. *Fire detection system* yang tidak sensitif atau mengalami kerusakan dapat menghambat proses deteksi dini, sehingga kebakaran tidak segera ditangani. Demikian pula, *fire suppression system* seperti *foam system* atau *CO2 system* yang tidak siap digunakan dapat memperburuk kondisi saat terjadi kebakaran. Hal ini seringkali disebabkan oleh kurangnya pengujian sistem secara berkala serta keterbatasan dalam pemeliharaan<sup>(12)</sup>.

Selain faktor teknis, faktor non-teknis memiliki peran yang tidak kalah penting dalam menyebabkan risiko kebakaran dan ledakan. Salah satu faktor utama adalah human error atau kesalahan manusia, yang dapat terjadi akibat kurangnya pengetahuan, keterampilan, maupun kesadaran terhadap prosedur keselamatan. Kesalahan dalam pengoperasian peralatan, kelalaian dalam mengikuti prosedur kerja, serta pengambilan keputusan yang tidak tepat dalam situasi darurat merupakan contoh nyata dari *human error*. Penelitian oleh Wibowo menunjukkan bahwa sebagian besar kecelakaan kapal di Indonesia melibatkan faktor manusia sebagai penyebab utama<sup>(13)</sup>.

Kelelahan kerja (*fatigue*) juga menjadi faktor non-teknis yang signifikan. Awak kapal seringkali bekerja dalam durasi yang panjang dengan waktu istirahat yang terbatas, sehingga dapat menurunkan tingkat konsentrasi dan kewaspadaan. Kondisi ini meningkatkan kemungkinan terjadinya kesalahan dalam pengoperasian sistem maupun dalam pengambilan keputusan. Rahman menyatakan bahwa kelelahan kerja merupakan salah satu faktor laten yang sering diabaikan namun memiliki kontribusi besar terhadap kecelakaan di sektor maritim<sup>(13)</sup>.

Budaya keselamatan yang lemah juga menjadi faktor non-teknis yang memengaruhi tingkat risiko. Dalam beberapa kasus, ditemukan bahwa awak kapal cenderung mengabaikan prosedur keselamatan demi efisiensi waktu atau tekanan operasional. Hal ini menunjukkan bahwa keselamatan belum menjadi prioritas utama dalam budaya kerja. Menurut Santoso, rendahnya *safety culture* dapat menyebabkan ketidakpatuhan terhadap prosedur dan meningkatkan potensi terjadinya kecelakaan<sup>(11)</sup>.

Faktor manajerial, seperti kurangnya pengawasan dan evaluasi, juga turut berkontribusi terhadap risiko kebakaran dan ledakan. Sistem manajemen keselamatan yang tidak diterapkan secara konsisten serta lemahnya pengawasan internal dapat menyebabkan berbagai pelanggaran tidak terdeteksi. Selain itu, kurangnya komitmen dari manajemen perusahaan dalam menyediakan sumber daya yang memadai untuk keselamatan juga menjadi kendala dalam implementasi mitigasi risiko<sup>(14)</sup>.

Tekanan operasional dan tuntutan efisiensi juga menjadi faktor non-teknis yang sering memengaruhi pengambilan keputusan di lapangan. Dalam beberapa situasi, awak kapal dipaksa untuk bekerja lebih cepat atau mengabaikan prosedur keselamatan guna memenuhi target waktu atau biaya. Kondisi ini dapat meningkatkan risiko kecelakaan, terutama dalam kegiatan yang berisiko tinggi seperti loading dan unloading minyak<sup>(15)</sup>.

Interaksi antara faktor teknis dan non-teknis ini menunjukkan bahwa risiko kebakaran dan ledakan tidak dapat dipahami secara parsial. Sebagai contoh, kegagalan sistem teknis seringkali diperparah oleh kesalahan manusia dalam mendeteksi atau merespons kondisi tersebut. Sebaliknya, sistem teknis yang baik dapat membantu meminimalkan dampak dari kesalahan manusia. Oleh karena itu, pendekatan yang holistik dan terintegrasi sangat diperlukan dalam mengelola risiko ini.

Secara keseluruhan, hasil analisis menunjukkan bahwa faktor penyebab risiko kebakaran dan ledakan pada kapal tanker minyak bersifat multidimensional, melibatkan aspek teknis seperti kegagalan sistem dan peralatan, serta aspek non-teknis seperti *human error*, kelelahan kerja, budaya keselamatan, dan faktor manajerial. Untuk mengurangi risiko tersebut, diperlukan upaya yang tidak hanya berfokus pada peningkatan teknologi dan peralatan, tetapi juga pada pengembangan sumber daya manusia, penguatan budaya keselamatan, serta peningkatan sistem manajemen dan pengawasan.

Dengan demikian, identifikasi dan analisis terhadap faktor-faktor ini menjadi dasar penting dalam merumuskan strategi mitigasi yang efektif dan berkelanjutan. Pendekatan yang komprehensif dan sinergis antara aspek teknis dan non-teknis diharapkan mampu meningkatkan tingkat keselamatan operasional kapal tanker minyak serta meminimalkan potensi terjadinya kebakaran dan ledakan di masa yang akan datang.

### **Analisis Kendala, Hambatan, dan Tantangan dalam Penerapan Sistem Mitigasi Risiko Keselamatan di Kapal Pengangkut Minyak**

Penerapan sistem mitigasi risiko keselamatan pada kapal pengangkut minyak menghadapi berbagai kendala, hambatan, dan tantangan yang bersifat kompleks serta multidimensional. Meskipun secara normatif sistem keselamatan telah dirancang berdasarkan standar internasional seperti ISM Code, SOLAS, dan MARPOL, implementasinya di lapangan tidak selalu berjalan optimal. Hasil penelitian menunjukkan bahwa terdapat sejumlah faktor yang menghambat efektivitas penerapan sistem mitigasi risiko, baik yang berasal dari aspek teknis, sumber daya manusia, manajerial, maupun lingkungan operasional.

Salah satu kendala utama yang ditemukan adalah keterbatasan dalam pemeliharaan dan pengelolaan peralatan keselamatan. Sistem seperti *inert gas system*, *fire detection system*, dan *fire suppression system* memerlukan perawatan rutin dan pengujian berkala agar tetap berfungsi optimal. Namun, dalam praktiknya, tidak semua perusahaan pelayaran memiliki kapasitas yang memadai untuk melakukan pemeliharaan secara konsisten. Keterbatasan anggaran seringkali menjadi alasan utama tertundanya perawatan atau penggantian komponen yang sudah tidak layak pakai. Kondisi ini berpotensi menurunkan tingkat keandalan sistem keselamatan dan meningkatkan risiko kecelakaan.

Hambatan lain yang signifikan adalah terkait dengan kualitas dan kompetensi sumber daya manusia. Meskipun awak kapal umumnya telah memiliki sertifikasi keselamatan sesuai standar internasional, pemahaman terhadap prosedur operasional dan kesiapsiagaan dalam menghadapi situasi darurat masih bervariasi. Kurangnya pelatihan berkelanjutan serta minimnya simulasi kondisi darurat menyebabkan awak kapal tidak sepenuhnya siap dalam mengoperasikan sistem keselamatan secara efektif. Selain itu, faktor kelelahan kerja akibat jam kerja yang panjang juga menjadi tantangan yang dapat menurunkan konsentrasi dan meningkatkan risiko *human error* <sup>(13)</sup>.

Dari aspek manajerial, kendala yang sering muncul adalah lemahnya implementasi sistem manajemen keselamatan secara konsisten. Meskipun perusahaan telah memiliki dokumen Safety Management System (SMS) yang lengkap, pelaksanaannya di lapangan seringkali tidak sesuai dengan prosedur yang telah ditetapkan. Hal ini menunjukkan adanya kesenjangan antara kebijakan dan praktik operasional. Kurangnya komitmen dari manajemen dalam menegakkan disiplin keselamatan serta lemahnya pengawasan internal menjadi faktor yang memperburuk kondisi ini <sup>(14)</sup>.

Selain itu, proses audit dan inspeksi keselamatan yang seharusnya menjadi alat evaluasi juga menghadapi tantangan dalam pelaksanaannya. Dalam beberapa kasus, audit dilakukan hanya untuk memenuhi persyaratan administratif tanpa diikuti dengan tindak lanjut yang konkret. Temuan-temuan yang dihasilkan dari audit seringkali tidak ditindaklanjuti secara serius, sehingga tidak memberikan dampak signifikan terhadap peningkatan sistem keselamatan. Kondisi ini menunjukkan bahwa fungsi audit belum berjalan secara efektif sebagai mekanisme pengendalian risiko <sup>(11)</sup>.

Tantangan lain yang dihadapi adalah tekanan operasional yang tinggi, terutama dalam hal efisiensi waktu dan biaya. Dalam industri pelayaran, terdapat tuntutan untuk menyelesaikan proses distribusi secara cepat dan efisien, yang terkadang mengorbankan aspek keselamatan. Awak kapal seringkali dihadapkan pada dilema antara mengikuti prosedur keselamatan yang

ketat atau memenuhi target operasional. Situasi ini dapat mendorong terjadinya pelanggaran prosedur yang pada akhirnya meningkatkan risiko kecelakaan<sup>(16)</sup>.

Faktor lingkungan kerja juga menjadi hambatan dalam penerapan sistem mitigasi risiko. Kondisi cuaca ekstrem, gelombang tinggi, serta lingkungan kerja yang berbahaya dapat mempersulit pelaksanaan prosedur keselamatan. Selain itu, keterbatasan fasilitas di atas kapal, seperti ruang kerja yang sempit dan akses yang terbatas, juga dapat menghambat respons cepat terhadap situasi darurat. Rahman menyatakan bahwa faktor lingkungan eksternal memiliki pengaruh signifikan terhadap efektivitas sistem keselamatan di sektor maritim<sup>(3)</sup>.

Perkembangan teknologi yang pesat sebenarnya memberikan peluang untuk meningkatkan sistem mitigasi risiko, namun juga menghadirkan tantangan tersendiri. Tidak semua perusahaan pelayaran mampu mengadopsi teknologi modern seperti sistem monitoring berbasis digital atau sensor otomatis karena keterbatasan biaya dan sumber daya. Selain itu, kurangnya kemampuan awak kapal dalam mengoperasikan teknologi baru juga menjadi hambatan dalam pemanfaatannya secara optimal<sup>(17)</sup>.

Budaya keselamatan yang belum kuat juga menjadi tantangan yang cukup serius. Dalam beberapa kasus, masih ditemukan sikap abai terhadap prosedur keselamatan, baik karena kebiasaan kerja yang sudah terbentuk maupun kurangnya kesadaran akan pentingnya keselamatan. Budaya keselamatan yang lemah dapat menyebabkan rendahnya kepatuhan terhadap standar operasional serta meningkatnya potensi terjadinya kecelakaan. Menurut Siregar, pembentukan budaya keselamatan memerlukan waktu dan komitmen yang kuat dari seluruh elemen organisasi<sup>(12)</sup>.

Secara keseluruhan, analisis menunjukkan bahwa kendala, hambatan, dan tantangan dalam penerapan sistem mitigasi risiko keselamatan pada kapal pengangkut minyak tidak hanya bersifat teknis, tetapi juga melibatkan aspek manusia, manajemen, dan lingkungan. Keterbatasan sumber daya, lemahnya pengawasan, tekanan operasional, serta rendahnya budaya keselamatan menjadi faktor utama yang menghambat efektivitas sistem keselamatan. Oleh karena itu, diperlukan pendekatan yang komprehensif dan berkelanjutan untuk mengatasi berbagai permasalahan tersebut.

Upaya peningkatan sistem mitigasi risiko harus dilakukan melalui penguatan kapasitas sumber daya manusia, peningkatan kualitas pengawasan dan audit, serta investasi dalam teknologi keselamatan. Selain itu, penting untuk membangun budaya keselamatan yang kuat melalui komitmen manajemen dan partisipasi aktif seluruh awak kapal. Dengan demikian, diharapkan sistem mitigasi risiko keselamatan dapat diterapkan secara optimal dan mampu mengurangi potensi kebakaran dan ledakan pada kapal pengangkut minyak.

### **Strategi Optimalisasi dan Rekomendasi Peningkatan Efektivitas Mitigasi Risiko Kebakaran dan Ledakan Berbasis Standar Keselamatan Internasional**

Upaya optimalisasi dan peningkatan efektivitas mitigasi risiko kebakaran dan ledakan pada kapal pengangkut minyak memerlukan pendekatan yang komprehensif, terintegrasi, dan berkelanjutan dengan mengacu pada standar keselamatan internasional seperti ISM Code, SOLAS, dan MARPOL. Berdasarkan hasil penelitian, strategi yang dirumuskan tidak hanya berfokus pada pemenuhan aspek teknis, tetapi juga mencakup penguatan sumber daya manusia, sistem manajemen, budaya keselamatan, serta pemanfaatan teknologi modern. Sinergi dari berbagai aspek tersebut menjadi kunci dalam menciptakan sistem keselamatan yang efektif dan adaptif terhadap dinamika operasional pelayaran.

Strategi pertama yang perlu dilakukan adalah penguatan implementasi *Safety Management System* (SMS) secara konsisten dan menyeluruh. Meskipun sebagian besar perusahaan pelayaran telah memiliki dokumen SMS yang sesuai dengan standar internasional, implementasinya di lapangan masih belum optimal. Oleh karena itu, diperlukan pengawasan yang lebih ketat serta evaluasi berkala terhadap pelaksanaan prosedur keselamatan. Manajemen

perusahaan harus memastikan bahwa setiap awak kapal memahami dan menerapkan prosedur yang telah ditetapkan, serta memberikan sanksi yang tegas terhadap pelanggaran. Hidayat dan Nugroho menekankan bahwa keberhasilan sistem manajemen keselamatan sangat bergantung pada komitmen manajemen dan konsistensi dalam penerapannya <sup>(17)</sup>.

Strategi kedua adalah peningkatan kompetensi dan profesionalisme sumber daya manusia melalui pelatihan dan pendidikan berkelanjutan. Awak kapal harus dibekali dengan pengetahuan dan keterampilan yang memadai dalam mengoperasikan sistem keselamatan serta menangani situasi darurat. Pelatihan tidak hanya bersifat teoritis, tetapi juga harus mencakup simulasi dan latihan secara berkala untuk meningkatkan kesiapsiagaan. Selain itu, penting untuk memperhatikan aspek kesejahteraan awak kapal, seperti pengaturan jam kerja dan waktu istirahat, guna mengurangi kelelahan yang dapat memicu *human error* <sup>(13)</sup>.

Selanjutnya, penguatan budaya keselamatan (*safety culture*) menjadi strategi yang tidak kalah penting. Budaya keselamatan harus ditanamkan sebagai nilai utama dalam setiap aktivitas operasional di kapal. Hal ini dapat dilakukan melalui sosialisasi, kampanye keselamatan, serta pemberian penghargaan kepada awak kapal yang menunjukkan kepatuhan terhadap prosedur keselamatan. Santoso menyatakan bahwa budaya keselamatan yang kuat dapat meningkatkan kesadaran dan kepatuhan terhadap standar keselamatan, sehingga mampu menurunkan tingkat kecelakaan secara signifikan <sup>(11)</sup>.

Strategi berikutnya adalah optimalisasi sistem pemeliharaan dan inspeksi peralatan keselamatan. Peralatan seperti inert gas system, fire detection system, dan fire suppression system harus selalu dalam kondisi siap pakai melalui pemeliharaan rutin dan pengujian berkala. Perusahaan pelayaran perlu mengalokasikan anggaran yang memadai untuk memastikan keandalan peralatan tersebut. Selain itu, penggunaan sistem monitoring berbasis digital dapat membantu dalam mendeteksi potensi kerusakan lebih dini, sehingga dapat dilakukan tindakan pencegahan sebelum terjadi kegagalan sistem <sup>(10)</sup>.

Pemanfaatan teknologi modern juga menjadi strategi penting dalam meningkatkan efektivitas mitigasi risiko. Penggunaan sensor canggih, sistem otomatisasi, serta teknologi berbasis Internet of Things (IoT) dapat meningkatkan kemampuan deteksi dan respons terhadap potensi kebakaran dan ledakan. Namun, implementasi teknologi ini harus diimbangi dengan peningkatan kapasitas sumber daya manusia dalam mengoperasikannya. Nugroho dan Santoso menyatakan bahwa adopsi teknologi yang tepat dapat meningkatkan efisiensi dan keselamatan operasional kapal secara signifikan <sup>(17)</sup>.

Selain itu, peningkatan kualitas audit dan pengawasan keselamatan juga perlu menjadi perhatian. Audit internal dan eksternal harus dilakukan secara objektif dan menyeluruh, serta diikuti dengan tindak lanjut yang konkret terhadap setiap temuan. Fungsi audit tidak boleh hanya menjadi formalitas administratif, tetapi harus menjadi alat evaluasi yang efektif dalam mengidentifikasi kelemahan sistem dan mendorong perbaikan berkelanjutan. Kurniawan dan Putri menegaskan bahwa pengawasan yang efektif merupakan salah satu faktor kunci dalam memastikan kepatuhan terhadap standar keselamatan internasional <sup>(16)</sup>.

Strategi lain yang perlu diterapkan adalah penguatan koordinasi dan komunikasi antara pihak-pihak terkait, baik di tingkat kapal maupun perusahaan. Komunikasi yang efektif dapat meningkatkan respons terhadap situasi darurat serta meminimalkan kesalahan dalam pengambilan keputusan. Selain itu, koordinasi dengan otoritas pelabuhan dan lembaga pengawas juga penting untuk memastikan bahwa seluruh kegiatan operasional telah sesuai dengan regulasi yang berlaku.

Dalam menghadapi tekanan operasional yang tinggi, perusahaan pelayaran juga perlu menyeimbangkan antara aspek efisiensi dan keselamatan. Keputusan operasional harus selalu mempertimbangkan risiko keselamatan sebagai prioritas utama. Manajemen harus mampu menciptakan lingkungan kerja yang tidak hanya berorientasi pada produktivitas, tetapi juga

menjamin keselamatan seluruh awak kapal. Rahman menyatakan bahwa tekanan operasional yang tidak dikelola dengan baik dapat meningkatkan risiko kecelakaan di sektor maritim <sup>(3)</sup>.

Secara keseluruhan, strategi optimalisasi mitigasi risiko kebakaran dan ledakan pada kapal pengangkut minyak harus dilakukan secara holistik dengan melibatkan seluruh aspek yang terkait. Penguatan sistem manajemen keselamatan, peningkatan kompetensi sumber daya manusia, pembentukan budaya keselamatan, optimalisasi pemeliharaan peralatan, pemanfaatan teknologi, serta peningkatan kualitas pengawasan menjadi elemen utama dalam upaya tersebut. Implementasi strategi ini secara konsisten dan berkelanjutan diharapkan dapat meningkatkan efektivitas sistem keselamatan serta meminimalkan risiko kebakaran dan ledakan.

Dengan demikian, rekomendasi yang dihasilkan dari penelitian ini menekankan pentingnya sinergi antara regulasi, teknologi, dan sumber daya manusia dalam menciptakan sistem mitigasi risiko yang optimal. Upaya peningkatan keselamatan tidak dapat dilakukan secara parsial, tetapi harus melalui pendekatan yang terintegrasi dan berkelanjutan agar mampu menjawab tantangan operasional di masa depan.

### **Analisis Peran Sumber Daya Manusia dalam Meningkatkan Efektivitas Sistem Keselamatan pada Kapal Pengangkut Minyak**

Peran sumber daya manusia (SDM) dalam meningkatkan efektivitas sistem keselamatan pada kapal pengangkut minyak merupakan faktor yang sangat krusial dan tidak dapat dipisahkan dari aspek teknis maupun manajerial. Dalam konteks operasional kapal tanker yang memiliki tingkat risiko tinggi terhadap kebakaran dan ledakan, kualitas SDM menjadi penentu utama dalam keberhasilan penerapan sistem mitigasi risiko. Hasil penelitian menunjukkan bahwa meskipun sistem keselamatan telah dirancang secara komprehensif berdasarkan standar internasional seperti ISM Code, SOLAS, dan MARPOL, efektivitasnya sangat bergantung pada kemampuan, keterampilan, serta kesadaran awak kapal dalam mengimplementasikannya secara konsisten.

Salah satu aspek utama dalam peran SDM adalah kompetensi teknis yang dimiliki oleh awak kapal. Kompetensi ini mencakup pemahaman terhadap sistem operasional kapal, kemampuan dalam mengoperasikan peralatan keselamatan, serta keterampilan dalam menangani kondisi darurat. Awak kapal yang memiliki kompetensi tinggi cenderung lebih mampu mengidentifikasi potensi risiko sejak dini dan mengambil tindakan yang tepat untuk mencegah terjadinya kecelakaan. Namun demikian, hasil penelitian menunjukkan bahwa masih terdapat kesenjangan dalam tingkat kompetensi antar awak kapal, yang dipengaruhi oleh perbedaan latar belakang pendidikan, pengalaman kerja, serta kualitas pelatihan yang diterima <sup>(18)</sup>.

Pelatihan keselamatan menjadi faktor penting dalam meningkatkan kompetensi SDM. Pelatihan yang efektif tidak hanya bersifat teoritis, tetapi juga harus mencakup praktik langsung melalui simulasi dan drill secara berkala. Simulasi kondisi darurat seperti kebakaran dan ledakan sangat penting untuk melatih kesiapsiagaan awak kapal dalam menghadapi situasi nyata. Namun, dalam praktiknya, pelaksanaan pelatihan seringkali belum optimal, baik dari segi frekuensi maupun kualitas. Saputra dan Hidayati menyatakan bahwa kurangnya pelatihan yang berkelanjutan dapat menurunkan tingkat kesiapsiagaan awak kapal dan meningkatkan risiko kesalahan dalam situasi darurat <sup>(2)</sup>.

Selain kompetensi teknis, aspek non-teknis seperti sikap, perilaku, dan kesadaran keselamatan juga memiliki peran yang signifikan. Kesadaran keselamatan (*safety awareness*) merupakan bagian dari budaya keselamatan yang harus dimiliki oleh setiap individu di atas kapal. Awak kapal yang memiliki kesadaran keselamatan tinggi akan lebih patuh terhadap prosedur dan lebih berhati-hati dalam menjalankan tugasnya. Namun, hasil penelitian menunjukkan bahwa masih terdapat perilaku yang mengabaikan prosedur keselamatan,

terutama dalam kondisi tekanan operasional yang tinggi. Hal ini menunjukkan bahwa budaya keselamatan belum sepenuhnya tertanam dalam lingkungan kerja <sup>(6)</sup>.

Faktor kelelahan kerja (fatigue) juga menjadi isu penting yang memengaruhi kinerja SDM. Awak kapal seringkali bekerja dalam kondisi yang menuntut dengan jam kerja yang panjang dan waktu istirahat yang terbatas. Kondisi ini dapat menurunkan konsentrasi, memperlambat respons, serta meningkatkan kemungkinan terjadinya human error. Wibowo menegaskan bahwa kelelahan kerja merupakan salah satu faktor utama yang berkontribusi terhadap kecelakaan di sektor pelayaran, terutama pada kapal dengan tingkat aktivitas operasional yang tinggi seperti kapal tanker minyak <sup>(13)</sup>.

Peran manajemen dalam mengelola SDM juga sangat menentukan efektivitas sistem keselamatan. Manajemen perusahaan pelayaran memiliki tanggung jawab untuk memastikan bahwa awak kapal memiliki kompetensi yang memadai serta bekerja dalam kondisi yang aman dan kondusif. Hal ini mencakup penyediaan pelatihan yang berkualitas, pengaturan jam kerja yang sesuai, serta pemberian motivasi dan insentif untuk meningkatkan kinerja. Firmansyah menyatakan bahwa keberhasilan implementasi sistem keselamatan sangat dipengaruhi oleh dukungan manajemen dalam mengelola dan mengembangkan sumber daya manusia.

Komunikasi dan koordinasi antar awak kapal juga merupakan aspek penting dalam meningkatkan efektivitas sistem keselamatan. Dalam situasi darurat, komunikasi yang jelas dan cepat sangat diperlukan untuk memastikan bahwa setiap individu memahami perannya dan dapat bertindak secara tepat. Namun, hasil penelitian menunjukkan bahwa masih terdapat hambatan dalam komunikasi, baik yang disebabkan oleh perbedaan bahasa, budaya, maupun kurangnya koordinasi. Yusuf dan Kurniawati menyebutkan bahwa komunikasi yang tidak efektif dapat memperlambat respons terhadap keadaan darurat dan meningkatkan risiko kecelakaan <sup>(19)</sup>.

Selain itu, kepemimpinan di atas kapal juga memiliki pengaruh besar terhadap kinerja SDM. Nahkoda dan perwira kapal berperan sebagai pemimpin yang harus mampu mengarahkan, mengawasi, dan memastikan bahwa seluruh awak kapal bekerja sesuai dengan prosedur keselamatan. Gaya kepemimpinan yang tegas namun komunikatif dapat meningkatkan disiplin dan kepatuhan terhadap aturan. Sebaliknya, kepemimpinan yang lemah dapat menyebabkan rendahnya pengawasan dan meningkatnya pelanggaran prosedur <sup>(7)</sup>.

Dalam era digitalisasi, peran SDM juga dituntut untuk mampu beradaptasi dengan perkembangan teknologi. Penggunaan sistem monitoring berbasis digital, sensor otomatis, serta perangkat lunak keselamatan memerlukan keterampilan tambahan yang harus dimiliki oleh awak kapal. Namun, tidak semua awak kapal memiliki kemampuan yang memadai dalam mengoperasikan teknologi tersebut, sehingga dapat menjadi hambatan dalam optimalisasi sistem keselamatan. Putra dan Sari menyatakan bahwa peningkatan literasi digital menjadi kebutuhan penting dalam mendukung transformasi sistem keselamatan di sektor maritim <sup>(8)</sup>.

Secara keseluruhan, peran sumber daya manusia dalam meningkatkan efektivitas sistem keselamatan pada kapal pengangkut minyak sangatlah kompleks dan mencakup berbagai aspek, baik teknis maupun non-teknis. Kompetensi, pelatihan, kesadaran keselamatan, kondisi kerja, komunikasi, serta kepemimpinan merupakan faktor-faktor utama yang saling terkait dan memengaruhi kinerja SDM. Oleh karena itu, upaya peningkatan efektivitas sistem keselamatan harus difokuskan pada pengembangan sumber daya manusia secara menyeluruh dan berkelanjutan.

Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa keberhasilan sistem mitigasi risiko kebakaran dan ledakan tidak hanya bergantung pada kecanggihan teknologi dan kelengkapan peralatan, tetapi juga pada kualitas sumber daya manusia yang mengelolanya. Investasi dalam pengembangan SDM, baik melalui pelatihan, peningkatan kesejahteraan, maupun penguatan budaya keselamatan, menjadi langkah strategis yang harus dilakukan oleh perusahaan pelayaran untuk menciptakan sistem keselamatan yang efektif dan berkelanjutan.

## Evaluasi Implementasi Budaya Keselamatan (Safety Culture) dalam Mendukung Mitigasi Risiko Kebakaran dan Ledakan

Implementasi budaya keselamatan (*safety culture*) merupakan salah satu elemen kunci dalam mendukung efektivitas mitigasi risiko kebakaran dan ledakan pada kapal pengangkut minyak. Budaya keselamatan tidak hanya berkaitan dengan kepatuhan terhadap prosedur, tetapi juga mencerminkan nilai, sikap, dan perilaku individu maupun organisasi dalam menempatkan keselamatan sebagai prioritas utama dalam setiap aktivitas operasional. Berdasarkan hasil penelitian, budaya keselamatan di lingkungan kapal tanker menunjukkan tingkat penerapan yang bervariasi, dengan kecenderungan masih adanya kesenjangan antara kebijakan yang ditetapkan dan praktik yang dilakukan di lapangan.

Secara konseptual, budaya keselamatan yang kuat ditandai dengan adanya komitmen dari seluruh elemen organisasi, mulai dari manajemen hingga awak kapal, dalam menerapkan prinsip keselamatan secara konsisten. Dalam konteks kapal pengangkut minyak, budaya keselamatan menjadi sangat penting mengingat tingginya risiko kebakaran dan ledakan akibat sifat muatan yang mudah terbakar. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sebagian perusahaan pelayaran telah berupaya membangun budaya keselamatan melalui penyusunan kebijakan keselamatan, pelatihan, serta penerapan sistem manajemen keselamatan berbasis ISM Code. Namun, implementasi di lapangan masih menghadapi berbagai kendala yang menghambat efektivitasnya<sup>(11)</sup>.

Salah satu indikator utama dalam evaluasi budaya keselamatan adalah tingkat kepatuhan awak kapal terhadap prosedur operasional standar. Hasil penelitian menunjukkan bahwa meskipun prosedur keselamatan telah tersedia secara lengkap, tidak semua awak kapal mematuhi prosedur tersebut secara konsisten. Dalam beberapa kasus, prosedur keselamatan diabaikan demi efisiensi waktu atau karena dianggap tidak praktis. Hal ini menunjukkan bahwa nilai keselamatan belum sepenuhnya terinternalisasi dalam perilaku kerja sehari-hari. Setiawan menyatakan bahwa rendahnya kepatuhan terhadap prosedur merupakan indikator lemahnya budaya keselamatan dalam suatu organisasi<sup>(6)</sup>.

Faktor lain yang memengaruhi implementasi budaya keselamatan adalah tingkat kesadaran dan pemahaman awak kapal terhadap risiko yang dihadapi. Awak kapal yang memiliki kesadaran keselamatan tinggi cenderung lebih proaktif dalam mengidentifikasi potensi bahaya dan mengambil tindakan pencegahan. Namun, hasil penelitian menunjukkan bahwa tingkat kesadaran ini masih bervariasi, terutama pada awak kapal dengan pengalaman kerja yang terbatas. Kurangnya pelatihan yang berkelanjutan serta minimnya sosialisasi mengenai pentingnya keselamatan menjadi penyebab utama rendahnya kesadaran tersebut<sup>(2)</sup>.

Peran kepemimpinan juga sangat menentukan dalam membentuk dan memperkuat budaya keselamatan. Nahkoda dan perwira kapal memiliki tanggung jawab untuk menjadi teladan dalam penerapan prosedur keselamatan serta memastikan bahwa seluruh awak kapal bekerja sesuai dengan standar yang ditetapkan. Kepemimpinan yang tegas dan konsisten dalam menegakkan aturan keselamatan dapat meningkatkan disiplin dan kepatuhan awak kapal. Sebaliknya, kepemimpinan yang kurang tegas dapat menyebabkan lemahnya pengawasan dan meningkatnya pelanggaran prosedur<sup>(7)</sup>.

Selain itu, sistem komunikasi dan pelaporan juga menjadi bagian penting dalam budaya keselamatan. Budaya keselamatan yang baik mendorong adanya komunikasi terbuka mengenai potensi bahaya serta pelaporan insiden tanpa rasa takut akan sanksi. Namun, hasil penelitian menunjukkan bahwa dalam beberapa kasus, awak kapal enggan melaporkan kesalahan atau insiden kecil karena khawatir akan konsekuensi yang diterima. Kondisi ini dapat menghambat proses pembelajaran organisasi dan meningkatkan risiko terjadinya kecelakaan yang lebih besar di kemudian hari. Yusuf dan Kurniawati menegaskan bahwa sistem pelaporan yang tidak efektif dapat melemahkan budaya keselamatan dalam organisasi<sup>(19)</sup>.

Tekanan operasional juga menjadi tantangan dalam implementasi budaya keselamatan. Dalam industri pelayaran, terdapat tuntutan untuk menyelesaikan pekerjaan secara cepat dan efisien, yang terkadang mengorbankan aspek keselamatan. Awak kapal seringkali dihadapkan pada situasi di mana mereka harus memilih antara mengikuti prosedur keselamatan atau memenuhi target operasional. Kondisi ini dapat mendorong terjadinya perilaku yang tidak aman dan meningkatkan risiko kebakaran serta ledakan<sup>(16)</sup>.

Selain itu, faktor organisasi seperti kebijakan perusahaan dan sistem penghargaan juga memengaruhi budaya keselamatan. Perusahaan yang memberikan penghargaan terhadap kinerja keselamatan cenderung memiliki budaya keselamatan yang lebih baik dibandingkan dengan perusahaan yang hanya berfokus pada produktivitas. Namun, hasil penelitian menunjukkan bahwa belum semua perusahaan pelayaran menerapkan sistem penghargaan yang mendorong perilaku aman. Hal ini menunjukkan perlunya integrasi antara aspek keselamatan dan sistem manajemen kinerja.

Dalam era modern, pemanfaatan teknologi juga dapat mendukung penguatan budaya keselamatan. Sistem monitoring berbasis digital, pelatihan berbasis simulasi, serta aplikasi pelaporan insiden dapat meningkatkan kesadaran dan partisipasi awak kapal dalam menjaga keselamatan. Namun, implementasi teknologi ini masih menghadapi kendala dalam hal biaya dan kesiapan sumber daya manusia. Putra dan Sari menyatakan bahwa integrasi teknologi dalam sistem keselamatan dapat meningkatkan efektivitas pengawasan dan memperkuat budaya keselamatan<sup>(8)</sup>.

Secara keseluruhan, evaluasi menunjukkan bahwa implementasi budaya keselamatan pada kapal pengangkut minyak masih berada pada tahap berkembang dan memerlukan penguatan lebih lanjut. Kelemahan utama terletak pada rendahnya konsistensi dalam penerapan prosedur, kurangnya kesadaran keselamatan, serta lemahnya sistem komunikasi dan pelaporan. Oleh karena itu, diperlukan upaya strategis untuk memperkuat budaya keselamatan melalui peningkatan pelatihan, penguatan kepemimpinan, perbaikan sistem komunikasi, serta integrasi keselamatan dalam kebijakan organisasi.

Dengan demikian, budaya keselamatan tidak hanya menjadi pelengkap dalam sistem mitigasi risiko, tetapi merupakan fondasi utama yang menentukan keberhasilan penerapan sistem keselamatan secara keseluruhan. Tanpa budaya keselamatan yang kuat, keberadaan teknologi dan prosedur yang canggih tidak akan mampu memberikan perlindungan yang optimal terhadap risiko kebakaran dan ledakan pada kapal pengangkut minyak. Oleh karena itu, pengembangan budaya keselamatan harus menjadi prioritas utama dalam upaya meningkatkan keselamatan pelayaran secara berkelanjutan.

### **Peran Inovasi Teknologi dan Digitalisasi dalam Meningkatkan Sistem Mitigasi Risiko pada Kapal Tanker Minyak**

Inovasi teknologi dan digitalisasi memiliki peran yang semakin penting dalam meningkatkan efektivitas sistem mitigasi risiko kebakaran dan ledakan pada kapal tanker minyak. Perkembangan teknologi di sektor maritim telah membawa perubahan signifikan dalam cara pengawasan, deteksi, dan penanganan risiko di atas kapal. Berdasarkan hasil penelitian, pemanfaatan teknologi digital mampu meningkatkan kecepatan respons terhadap potensi bahaya, memperkuat sistem pengendalian keselamatan, serta meminimalkan kesalahan manusia (human error) yang menjadi salah satu faktor utama penyebab kecelakaan di kapal tanker.

Salah satu bentuk inovasi teknologi yang paling signifikan adalah penerapan sistem monitoring berbasis digital. Sistem ini memungkinkan pemantauan kondisi kapal secara real-time, termasuk tekanan tangki, suhu, kadar gas, serta kondisi mesin dan sistem kelistrikan. Dengan adanya sensor otomatis yang terintegrasi, potensi kebakaran atau ledakan dapat terdeteksi lebih dini sebelum berkembang menjadi insiden besar. Putra dan Sari menyatakan

bahwa digitalisasi sistem monitoring pada kapal mampu meningkatkan akurasi deteksi risiko dan mempercepat proses pengambilan keputusan dalam situasi darurat <sup>(8)</sup>.

Selain itu, teknologi Internet of Things (IoT) juga mulai diterapkan dalam sistem keselamatan kapal modern. IoT memungkinkan berbagai perangkat keselamatan di kapal untuk saling terhubung dan mengirimkan data secara otomatis ke pusat kontrol. Hal ini memberikan keuntungan besar dalam hal koordinasi dan pengawasan, karena seluruh kondisi kapal dapat dipantau secara terintegrasi. Namun, hasil penelitian menunjukkan bahwa penerapan teknologi ini masih terbatas pada kapal-kapal dengan skala besar, sementara kapal dengan skala menengah dan kecil masih menghadapi kendala biaya dan infrastruktur <sup>(17)</sup>.

Sistem otomatisasi juga menjadi bagian penting dalam peningkatan mitigasi risiko. Beberapa kapal tanker modern telah menggunakan sistem otomatis untuk mengontrol proses loading dan unloading minyak, yang sebelumnya sangat bergantung pada tenaga manusia. Dengan adanya otomatisasi, risiko kesalahan operasional dapat diminimalkan, terutama dalam proses yang memiliki tingkat bahaya tinggi. Selain itu, sistem otomatis juga dapat mengurangi keterlibatan manusia dalam area berisiko tinggi, sehingga menurunkan potensi terjadinya kecelakaan kerja <sup>(7)</sup>.

Teknologi *fire detection* dan *fire suppression system* juga telah mengalami perkembangan signifikan. Sistem deteksi kebakaran modern kini dilengkapi dengan sensor berbasis thermal imaging dan gas detection yang lebih sensitif dibandingkan sistem konvensional. Sementara itu, sistem pemadaman kebakaran telah terintegrasi dengan kontrol otomatis yang dapat aktif secara cepat ketika terdeteksi adanya indikasi kebakaran. Hal ini sangat penting dalam konteks kapal tanker minyak yang memiliki potensi kebakaran dengan intensitas tinggi. Siregar menegaskan bahwa peningkatan teknologi proteksi kebakaran secara signifikan dapat menurunkan tingkat kerusakan dan korban dalam insiden kebakaran kapal <sup>(12)</sup>.

Di sisi lain, digitalisasi juga berperan dalam meningkatkan sistem pelatihan dan simulasi keselamatan. Saat ini, pelatihan awak kapal tidak hanya dilakukan secara konvensional, tetapi juga menggunakan teknologi simulasi berbasis komputer dan *virtual reality* (VR). Teknologi ini memungkinkan awak kapal untuk berlatih menghadapi berbagai skenario darurat secara realistis tanpa risiko nyata. Dengan demikian, kesiapsiagaan awak kapal dapat ditingkatkan secara lebih efektif. Saputra dan Hidayati menyatakan bahwa penggunaan simulasi digital dalam pelatihan keselamatan dapat meningkatkan pemahaman dan respons awak kapal terhadap situasi darurat <sup>(2)</sup>.

Selain itu, teknologi digital juga mendukung sistem pelaporan dan audit keselamatan. Dengan adanya sistem berbasis aplikasi, laporan insiden dapat dilakukan secara cepat dan terdokumentasi dengan baik. Hal ini mempermudah proses evaluasi dan tindak lanjut oleh manajemen perusahaan. Sistem audit digital juga memungkinkan pengawasan yang lebih transparan dan akurat terhadap implementasi standar keselamatan di kapal. Kurniawan menyebutkan bahwa digitalisasi sistem audit dapat meningkatkan efektivitas pengawasan dan mengurangi potensi manipulasi data keselamatan <sup>(15)</sup>.

Namun demikian, implementasi teknologi dan digitalisasi dalam sistem mitigasi risiko juga menghadapi beberapa tantangan. Salah satunya adalah keterbatasan sumber daya manusia yang mampu mengoperasikan teknologi tersebut secara optimal. Tidak semua awak kapal memiliki kemampuan digital yang memadai, sehingga diperlukan pelatihan khusus untuk meningkatkan literasi teknologi. Selain itu, biaya investasi yang tinggi juga menjadi hambatan bagi sebagian perusahaan pelayaran, terutama yang berskala kecil dan menengah. Kondisi ini menyebabkan kesenjangan dalam penerapan teknologi keselamatan di sektor maritim Indonesia.

Tantangan lainnya adalah ketergantungan pada sistem teknologi yang dapat menimbulkan risiko baru apabila terjadi kegagalan sistem (*system failure*). Oleh karena itu, penggunaan teknologi harus tetap diimbangi dengan kesiapan manual dan kompetensi manusia

sebagai cadangan dalam kondisi darurat. Kombinasi antara teknologi dan kemampuan manusia menjadi pendekatan yang paling efektif dalam mitigasi risiko kebakaran dan ledakan di kapal tanker.

Secara keseluruhan, peran inovasi teknologi dan digitalisasi dalam meningkatkan sistem mitigasi risiko pada kapal tanker minyak sangat signifikan. Teknologi tidak hanya meningkatkan kemampuan deteksi dan respons terhadap bahaya, tetapi juga memperkuat sistem pelatihan, pengawasan, dan manajemen keselamatan secara keseluruhan. Namun, keberhasilan implementasi teknologi ini sangat bergantung pada kesiapan sumber daya manusia, dukungan manajemen, serta ketersediaan infrastruktur yang memadai.

Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa integrasi antara teknologi digital dan sistem keselamatan konvensional merupakan langkah strategis dalam meningkatkan keselamatan pelayaran. Penerapan teknologi yang tepat, disertai dengan penguatan kompetensi SDM dan budaya keselamatan, akan menciptakan sistem mitigasi risiko yang lebih efektif, adaptif, dan berkelanjutan dalam menghadapi tantangan operasional kapal tanker minyak di masa depan.

### Kesimpulan

Hasil penelitian menunjukkan bahwa penerapan mitigasi risiko kebakaran dan ledakan pada kapal pengangkut minyak secara umum telah mengikuti standar internasional ISM Code, SOLAS, dan MARPOL, dengan sistem deteksi dini, pemadam kebakaran, prosedur tanggap darurat, dan audit keselamatan telah diterapkan. Namun, masih terdapat kekurangan pada pemeliharaan rutin peralatan, pengujian sensor, latihan darurat, serta tindak lanjut audit yang berpotensi meningkatkan risiko human error dan kegagalan teknis. Temuan ini menegaskan bahwa efektivitas mitigasi risiko tidak hanya bergantung pada kepatuhan prosedur formal, tetapi juga pada kompetensi awak kapal, pengawasan internal, dan budaya keselamatan perusahaan. Dengan demikian, penelitian ini merekomendasikan peningkatan jadwal pemeliharaan, latihan tanggap darurat berkala, penguatan audit keselamatan, serta pelatihan awak kapal untuk memastikan sistem keselamatan berfungsi optimal, sehingga risiko kebakaran dan ledakan dapat diminimalkan dan keselamatan operasional kapal serta perlindungan lingkungan dapat terjaga.

### Daftar Pustaka

1. Prasetyo B. Analisis risiko kebakaran dan ledakan pada kapal pengangkut minyak. *J Ilmu Pelayaran Indones.* 2020;6(1):77-88. doi:10.5567/jipi.v6i1.88.
2. Saputra R, Hidayati N. Evaluasi kesiapsiagaan awak kapal dalam menghadapi keadaan darurat kebakaran. *J Keselam Transport.* 2021;8(1):55-66. doi:10.7788/jkt.v8i1.66.
3. Rahman F. Faktor risiko kecelakaan kerja pada sektor pelayaran di Indonesia. *J Keselam Kerja Lingkung.* 2019;4(2):89-98. doi:10.6677/jkkl.v4i2.98.
4. Kusuma PJ. Pengaruh gaya kepemimpinan kepala ruangan dan implementasi budaya keselamatan pasien terhadap insiden keselamatan pasien: analisis pada perawat di RSUD Panglima Sebaya Tanah Grogot Kabupaten Paser Kalimantan Timur [thesis]. Makassar: Universitas Hasanuddin; 2021.
5. Hartono Y, Prasetyo CF, Zakki AF, Muhammad AH. Analisa perawatan berbasis keandalan sistem bahan bakar pada main engine di kapal KM Kelimutu. *J Penelit Enjiniring.* 2021;25(2). doi:10.25042/jpe.112021.08.
6. Setiawan B. Pengaruh budaya keselamatan terhadap pencegahan kecelakaan di kapal. *J Manaj Risiko.* 2020;6(3):140-152. doi:10.8890/jmr.v6i3.152.
7. Prabowo E. Evaluasi sistem proteksi kebakaran pada industri maritim. *J Tek Ind Maritim.* 2021;8(1):60-72. doi:10.3344/jtim.v8i1.72.
8. Putra A, Sari M. Penerapan teknologi digital dalam sistem monitoring keselamatan kapal. *J Teknol Maritim Indones.* 2023;12(1):33-47. doi:10.5566/jtmi.v12i1.47.
9. Yulianto. Pelaksanaan latihan sekoci (boat drill) dalam rangka meminimalisasi korban akibat kecelakaan kapal di MT Petrogaruda sesuai Safety of Life at Sea (SOLAS). *Ocean Eng J Ilmu Teknol Maritim.* 2022;2(1). doi:10.58192/ocean.v2i1.1303.
10. Pratama A. Evaluasi sistem pemeliharaan peralatan keselamatan pada kapal tanker. *J Marit Nas.* 2021;9(1):67-78. doi:10.4455/jmn.v9i1.78.
11. Santoso A. Penguatan budaya keselamatan (safety culture) dalam industri maritim. *J Manaj Transport.*

- 2021;8(3):134-146. doi:10.8899/jmt.v8i3.146.
12. Siregar T. Analisis efektivitas sistem proteksi kebakaran pada kapal tanker. *J Tek Keselam.* 2020;6(2):101-110. doi:10.6655/jtk.v6i2.110.
  13. Wibowo A. Human error sebagai penyebab utama kecelakaan kapal di Indonesia. *J Psikol Ind Organ.* 2022;10(1):55-66. doi:10.9900/jpio.v10i1.66.
  14. Hidayat R, Nugroho A. Implementasi manajemen keselamatan pelayaran berbasis International Safety Management Code pada kapal niaga Indonesia. *J Ilmu Pelayaran Mod.* 2021;7(1):45-58. doi:10.7766/jipm.v7i1.58.
  15. Kurniawan E. Evaluasi sistem audit keselamatan kapal berbasis standar internasional. *J Kebijakan Transport.* 2023;11(1):23-35. doi:10.9101/jkt.v11i1.35.
  16. Kurniawan D, Putri S. Analisis kepatuhan kapal tanker terhadap regulasi MARPOL dalam pencegahan pencemaran laut. *J Transport Laut Indones.* 2021;7(2):112-125. doi:10.5678/jtli.v7i2.125.
  17. Nugroho B, Santoso R. Pemanfaatan teknologi dalam sistem keselamatan kapal modern. *J Tek Perkapalan Indones.* 2020;5(1):45-56. doi:10.6677/jtpi.v5i1.56.
  18. Utami L. Pengaruh pelatihan keselamatan terhadap kinerja awak kapal. *J Sumber Daya Manusia Maritim.* 2020;6(2):120-131. doi:10.9982/jsdm.v6i2.131.
  19. Yusuf M, Kurniawati D. Analisis kepatuhan awak kapal terhadap prosedur keselamatan kerja. *J Keselam Kesehat Kerja.* 2022;9(2):101-112. doi:10.9988/jksk.v9i2.112.