



**JURNAL PENDIDIKAN LINGKUNGAN DAN
PEMBANGUNAN BERKELANJUTAN**
*Journal of Environmental Education and Sustainable
Development*

Volume 26 - Nomor 02, 2026

Available at <http://journal.unj.ac.id/unj/index.php/plpb>

ISSN : 1411-1829 (print), 2580-9199 (online)

Mitigasi Risiko Pencemaran Laut dalam Krisis Kamar Mesin: Analisis Problem Solving Skills Taruna Teknik Politeknik Pelayaran

Monika Retno Gunarti¹, Anak Agung Istri Sri Wahyuni², Tanti Diah Rahmawati³,
Antonius Edy Kristiyono⁴

¹²³⁴Politeknik Pelayaran Surabaya

*Corresponding author email: monika.retno@poltekpel-sby.ac.id

Artikel info

Received : 13 Juli 2026

Revised : 20 Agustus 2026

Accepted: 11 September 2026

Kata kunci:

pencemaran laut, *problem solving skills*, mitigasi risiko

Keywords:

marine pollution, *problem-solving skills*, risk mitigation.

ABSTRAK

Pencemaran laut akibat operasional kapal, khususnya aktivitas di kamar mesin, menjadi ancaman penting bagi keberlanjutan maritim. Tumpahan minyak dan pembuangan limbah ilegal dapat terjadi akibat kegagalan teknis yang diperburuk oleh kepanikan kru dalam keadaan darurat. Karena itu, Taruna Teknik perlu menguasai keterampilan mekanis sekaligus kemampuan adaptif dalam memecahkan masalah di bawah tekanan. Penelitian ini bertujuan menganalisis urgensi, efikasi, dan dinamika keterampilan pemecahan masalah Taruna Teknik Politeknik Pelayaran sebagai instrumen mitigasi risiko pencemaran laut dalam krisis kamar mesin. Penelitian menggunakan metode kualitatif deskriptif dengan pendekatan studi kasus purposif terhadap taruna tingkat akhir di *laboratorium Engine Room Simulator*. Data dikumpulkan melalui observasi terstruktur berdasarkan rubrik *Engine-room Resource Management*, wawancara mendalam, dan dokumentasi log simulator. Hasil penelitian menunjukkan kesenjangan kognitif dalam siklus pemecahan masalah. Kemampuan taruna sangat baik pada tahap identifikasi masalah (85%), tetapi menurun pada tahap eksekusi solusi (40%) dan evaluasi dampak lingkungan (30%), sehingga diperlukan penguatan latihan respons krisis berorientasi lingkungan.

Marine pollution from ship operations, particularly engine-room activities, remains a threat to maritime sustainability. Oil spills and illegal waste discharge may result from technical failures aggravated by crew panic during emergencies. Therefore, marine engineering cadets must master mechanical competencies and adaptive problem-solving skills under pressure. This study analyzes the urgency, efficacy, and dynamics of problem-solving skills among final-year marine engineering cadets as an instrument for mitigating marine pollution risks during engine-room crises. A descriptive qualitative method with a purposive case-study approach was employed in an Engine Room Simulator laboratory. Data were collected through structured observations using an Engine-room Resource Management rubric, in-depth interviews, and simulator log documentation. The findings reveal a cognitive gap across the problem-solving cycle. Cadets performed very well in problem identification (85%), but their performance declined during solution execution (40%) and environmental-impact evaluation (30%). These results indicate the need to strengthen environmentally oriented crisis-response training for marine engineers.

How to Cite: Gunarti M.R, Wahyuni, A.A.I.S, Rahmawati. T.D & Kristiyono A.E, N. (2026). Mitigasi Risiko Pencemaran Laut dalam Krisis Kamar Mesin: Analisis Problem Solving Skills Taruna Teknik Politeknik Pelayaran. *Jurnal Pendidikan Lingkungan dan Pembangunan*, 27(02), 58-53.[doi: https://doi.org/10.21009/plpb.v27i0270339](https://doi.org/10.21009/plpb.v27i0270339)

Copyright © 2026

PENDAHULUAN

Lingkungan laut merupakan salah satu aset ekosistem paling krusial di planet bumi yang berfungsi sebagai regulator iklim global dan jalur utama transportasi internasional. Lebih dari 80% volume perdagangan global didistribusikan melalui jalur laut menggunakan armada kapal niaga. Namun, dibalik kontribusi ekonominya yang masif, aktivitas pelayaran menyimpan risiko ekologis yang signifikan. Ancaman antropogenik terbesar yang terus membayangi wilayah perairan adalah pencemaran laut oleh minyak dan limbah operasional kapal. Meskipun regulasi internasional seperti *International Convention for the Prevention of Pollution from Ships* (MARPOL 73/78) telah diadopsi secara ketat, insiden kebocoran dan pembuangan limbah ke laut bebas masih menjadi persoalan pelik di industri maritim.

Jika ditarik ke dalam area operasional kapal, kamar mesin (*engine room*) merupakan episentrum dari seluruh potensi risiko pencemaran tersebut. Aktivitas harian seperti purifikasi bahan bakar, pembersihan got kamar mesin (*bilge well*), hingga perawatan sistem perpipaan menghasilkan residu minyak bumi (*sludge* dan *oily water*) yang sangat toksik bagi biota laut. Berdasarkan regulasi MARPOL Annex I, pembuangan air got kamar mesin ke laut hanya diizinkan melalui perangkat *Oily Water Separator* (OWS) dengan batas kandungan minyak maksimal sebesar 15 *parts per million* (ppm). Kegagalan sistemik atau kebocoran mendadak pada komponen kritis ini berpotensi memicu eskalasi krisis lingkungan jika tidak segera diisolasi.

Tantangan nyata terjadi ketika kegagalan teknis berkolaborasi dengan situasi darurat yang tidak terduga. Kegagalan operasional, seperti pecahnya pipa bahan bakar berat atau meluapnya tangki penampung limbah, menuntut penanganan yang tidak hanya cepat secara mekanis, tetapi juga tepat secara ekologis. Di tengah situasi krisis ini, alarm visual dan auditori yang berbunyi simultan sering kali memicu fenomena *cognitive overload* (kepadatan kognitif) bagi kru kapal. Data investigasi maritim internasional secara konsisten menunjukkan bahwa lebih dari 80% kecelakaan maritim berakar pada faktor kesalahan manusia (*human error*), rendahnya situational awareness, serta lemahnya koordinasi tim.

Sebagai calon Perwira Mesin masa depan, Taruna Teknik di Politeknik Pelayaran memegang peranan vital dan harus dibekali kompetensi pertahanan berlapis. Sayangnya, sistem pendidikan vokasi kepelautan konvensional cenderung menitikberatkan evaluasi pada penguasaan keterampilan teknis mekanis semata. Aspek penanganan dampak lingkungan sering kali ditempatkan sebagai prioritas sekunder. Terdapat kesenjangan yang nyata antara penguasaan teori regulasi lingkungan dengan aplikasi psikomotorik taruna saat dihadapkan pada skenario krisis nyata di ruang simulator.

Kemampuan memecahkan masalah secara taktis di bawah tekanan (*problem solving skills*) menjadi kompetensi kunci yang perlu diteliti lebih mendalam. Ketidakmampuan mendiagnosis masalah secara holistik dalam hitungan menit dapat mengubah gangguan teknis menjadi bencana ekologi maritim. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan menganalisis secara komprehensif implementasi problem solving skills Taruna Teknik sebagai instrumen mitigasi risiko pencemaran laut dalam skenario krisis kamar mesin. Kebaruan penelitian ini terletak pada

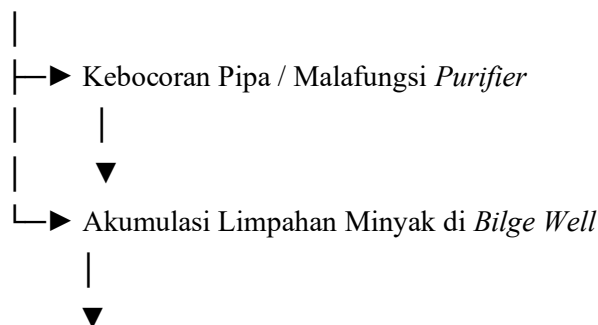
integrasi indikator kelestarian lingkungan ke dalam parameter penilaian manajemen krisis kamar mesin yang selama ini jarang dielaborasi secara empiris.

1. Dinamika Krisis Kamar Mesin dan Implikasinya terhadap Pencemaran Laut (MARPOL Annex I).

Kamar mesin (*engine room*) pada kapal niaga modern merupakan sebuah ekosistem teknis yang kompleks dan sarat risiko. Kompleksitas ini bersumber dari integrasi berbagai sistem mekanis bertekanan tinggi, fluida bersuhu tinggi, serta jaringan kelistrikan yang beroperasi secara kontinu. Dalam terminologi keselamatan maritim, "krisis kamar mesin" didefinisikan sebagai suatu kondisi anomali atau kegagalan sistemik mendadak yang mengancam keselamatan kapal, kru, maupun lingkungan laut (Holder, 2019). Krisis ini dapat bermanifestasi dalam berbagai bentuk, mulai dari kerusakan mesin induk (*main engine failure*), kebakaran, blackout listrik, hingga kebocoran fluida berbahaya.

Fokus krusial dari krisis kamar mesin adalah dampaknya terhadap pencemaran lingkungan laut oleh minyak. Secara internasional, regulasi mengenai pencegahan pencemaran ini diatur secara ketat dalam Konvensi MARPOL 73/78 Annex I (*Regulations for the Prevention of Pollution by Oil*). Industri pelayaran diwajibkan mengelola dua jenis limbah minyak utama hasil operasional kamar mesin: 1) *Sludge* (Minyak Kotor): Residu padat dan kental hasil dari proses purifikasi bahan bakar (*purifier*) dan minyak lumas; 2). *Bilge Water* (Air Got Kamar Mesin): Akumulasi campuran air laut, air tawar, dan tetesan minyak yang mengumpul di lambung kapal bagian bawah (*bilge well*);

[Operasional Kamar Mesin]



[Krisis Kamar Mesin: Risiko Pembuangan Overboard > 15 ppm]

MARPOL Annex I menetapkan aturan baku bahwa pembuangan air got ke laut bebas hanya legal jika dilewatkan melalui perangkat *Oily Water Separator* (OWS) dengan kadar kandungan minyak maksimal 15 *parts per million* (ppm) (IMO, 2020). Ketika krisis terjadi misalnya perpecahan pipa bahan bakar utama (*High Fuel Oil*) volume minyak yang masuk ke *bilge well* melonjak drastis. Jika taruna atau kru kapal gagal mengisolasi tumpahan ini, sistem otomatis pompa got dapat mengalami malafungsi, atau dalam kondisi panik, terjadi tindakan pembuangan darurat secara langsung ke laut (illegal discharge melalui katup overboard). Oleh karena itu, krisis teknis di kamar mesin selalu berjalan linier dengan risiko bencana ekologis perairan.

2. Konseptualisasi *Problem Solving Skills* dan *Situational Awareness* di Lingkungan Maritim

Dalam lingkungan kerja dengan risiko tinggi (*high-stakes environment*), kemampuan memecahkan masalah bukan sekadar aktivitas intelektual normatif, melainkan sebuah kompetensi mitigasi yang menentukan hidup dan mati (Robbins & Judge, 2020). *Problem*

solving skills (keterampilan pemecahan masalah) perwira mesin kapal merujuk pada kapasitas kognitif dan psikomotorik untuk mengidentifikasi deviasi sistem, mendiagnosis akar penyebab, mengevaluasi alternatif solusi, dan mengeksekusi tindakan korektif secara instan di bawah tekanan waktu.

Salah satu kerangka kerja yang diadopsi dalam menganalisis kemampuan ini adalah Siklus IDEAL yang dikembangkan oleh Bransford & Stein, yang kemudian dimodifikasi dalam konteks operasional darurat maritim; 1) I (*Identify problems*): Kemampuan mengenali indikasi awal krisis melalui bunyi alarm, perubahan tekanan, atau bau aneh; 2) D (*Define and represent the problem*): Melokalisasi komponen yang rusak (misal: membedakan antara kebocoran pipa atau kegagalan pompa); 3) E (*Explore possible strategies*): Menimbang opsi tindakan, seperti melakukan emergency bypass atau mematikan subsistem; 4) A (*Act on the strategies*): Mengeksekusi tindakan teknis secara fisik atau melalui panel kontrol simulator; 5) L (*Look back and evaluate effects*): Memastikan tindakan tidak memicu efek samping negatif, khususnya tumpahan limbah ke laut.

Keberhasilan siklus IDEAL ini sangat bergantung pada *Situational Awareness* (Kesadaran Situasional). Berdasarkan teori Endsley (dalam Kristensen & Borch, 2021), kesadaran situasional memiliki tiga tingkatan logis; Level 1: Persepsi (*Perception*) – Mendengar alarm dan melihat parameter indikator di control room, level 2: Pemahaman (*Comprehension*) – Memahami makna dari parameter tersebut (misal: tekanan minyak turun berarti ada kebocoran masif), level 3: Proyeksi (*Projection*) Memprediksi dampak beberapa menit ke depan (jika katup tidak ditutup, minyak akan meluap ke got dan berisiko terpompa ke laut). Ketika taruna mengalami kegagalan pada Level 1 atau Level 2, mereka akan mengalami cognitive overload (kepadatan kognitif). Kepanikan menyebabkan penyempitan fokus kognitif (*tunnel vision*), di mana taruna hanya terpaku pada perbaikan mekanis mesin dan kehilangan kesadaran spasial terhadap risiko pencemaran lingkungan di sekitarnya.

3. *Engine-room Resource Management* (ERM) dan Mitigasi Human Error

Secara historis, analisis kecelakaan maritim yang dirilis oleh *International Maritime Organization* (IMO) menunjukkan bahwa sekitar 80% hingga 85% insiden di laut berakar dari kesalahan manusia (*human error*). Menanggapi tren negatif ini, Amandemen Manila 2010 pada Konvensi STCW (*Standards of Training, Certification and Watchkeeping for Seafarers*) mewajibkan penerapan *Engine-room Resource Management* (ERM) untuk perwira mesin tingkat operasional maupun manajemen (STCW, 2011).

ERM adalah penggunaan seluruh sumber daya yang tersedia secara efektif mencakup personel, perangkat keras, informasi, dan waktu untuk memastikan keselamatan operasional kamar mesin dan perlindungan lingkungan. Kompetensi inti dalam ERM meliputi; 1) Komunikasi yang efektif (*closed-loop communication*); 2) Kepemimpinan dan kerja sama tim (*teamwork*); 3) Asertifitas dan penugasan tugas yang jelas dan 4) Pengambilan keputusan berbasis manajemen risiko.

Dalam konteks pendidikan vokasi di Politeknik Pelayaran, pemenuhan standar ERM diuji menggunakan media *Engine Room Simulator* (ERS). Simulator maritim bertindak sebagai jembatan pedagogis yang krusial (*experiential learning*). ERS mereplikasi kondisi fisik, akustik, dan fungsional dari kamar mesin kapal nyata, lengkap dengan pemodelan matematika dari dinamika fluida dan termodinamika mesin (Ziarati & Bilgili, 2023). Melalui ERS, *problem solving skills* taruna tidak lagi dinilai berdasarkan hafalan teoritis, melainkan melalui respons kinetik dan psikomotorik mereka saat instruktur menyuntikkan (*inject*) skenario kegagalan

sistem yang mengancam kelestarian laut.

METODE

Penelitian ini menggunakan pendekatan kualitatif deskriptif dengan metode studi kasus terpilih (*purposive case study*). Fokus penelitian diarahkan pada pengamatan perilaku, pola pengambilan keputusan, dan kemampuan koordinasi Taruna Program Studi Teknik Politeknik Pelayaran saat dihadapkan pada skenario krisis di kamar mesin yang berpotensi menimbulkan pencemaran laut. Subjek penelitian ini adalah Taruna Teknik tingkat akhir (Semester VII/VIII) yang sedang melaksanakan praktek berlayar di Politeknik Pelayaran Surabaya. Pemilihan subjek didasarkan pada asumsi bahwa mereka telah mendapatkan bekal teori dasar pemesinan kapal dan regulasi pencegahan pencemaran (*MARPOL Annex I*). Lokasi penelitian dipusatkan di Laboratorium *Engine Room Simulator* yang memiliki spesifikasi replikasi fungsional sesuai standar *International Maritime Organization* (IMO) Model Course 2.07. Untuk memperoleh data yang komprehensif dan valid, digunakan teknik triangulasi data yang meliputi: Observasi Partisipatif Terstruktur: Peneliti mengamati secara langsung jalannya simulasi krisis (misalnya: skenario kebocoran pipa bahan bakar berat/HFO pada *purifier* dan kegagalan fungsi *Oily Water Separator* / OWS). Lembar observasi berbasis rubrik kompetensi *Engine-room Resource Management* (ERM) digunakan untuk mencatat kecepatan respons, akurasi tindakan, dan komunikasi tim. Wawancara Mendalam (*In-Depth Interview*): Dilakukan terhadap 3 orang instruktur simulator (sebagai ahli/expert) dan 6 orang perwakilan taruna dari kelompok simulasi yang berbeda untuk menggali aspek kognitif di balik keputusan teknis yang mereka ambil saat krisis terjadi dan studi Dokumentasi: Menganalisis *print-out log data* dari sistem simulator yang merekam urutan penekanan tombol, aktivasi alarm, dan parameter kestabilan mesin selama krisis berlangsung. Data yang diperoleh dianalisis menggunakan model interaktif Miles, Huberman, dan Saldana, yang terdiri dari tiga alur tahapan secara simultan dengan menggunakan reduksi data, penyajian data dan penarikan Kesimpulan.

PEMBAHASAN DAN DISKUSI

1. Pemetaan Kronologi Krisis Berdasarkan Ekstraksi Log Data Simulator

Untuk mengurai secara objektif bagaimana *problem solving skills* diimplementasikan oleh taruna, penelitian ini mengekstraksi log data otomatis dari sistem *Engine Room Simulator* (ERS). Skenario krisis difokuskan pada "Kebocoran Masif pada *Fuel Oil Purifier* No. 1 yang Disertai Anomali Sistem *Alarm Bilge*". Skenario ini didesain sedemikian rupa untuk menciptakan situasi *double-fault* (kegagalan ganda), di mana bahan bakar Heavy Fuel Oil (HFO) meluap ke dasar kamar mesin tanpa adanya peringatan instan dari sensor ketinggian air got, sehingga memaksa taruna mengandalkan observasi manual dan pembacaan parameter sekunder.

Analisis terhadap rekam jejak digital (*digital footprint*) dari 5 kelompok simulasi (Kelompok A hingga E) mengungkap divergensi pola respons kinetik yang terbagi menjadi dua tipologi utama:

Respons Proaktif-Ekologis (Kelompok B & D): Kelompok ini merepresentasikan standar ideal mitigasi. Mereka berhasil mengidentifikasi penurunan tekanan suplai bahan bakar (*low pressure alarm*) dan mengaitkannya dengan potensi kebocoran. Dalam waktu rata-rata 2 menit 15 detik, mereka melakukan tiga sekuens tindakan secara simultan: melakukan emergency stop

pada pompa purifier, mengisolasi katup aliran (*quick closing valve*), dan secara proaktif memastikan katup pembuangan ke laut (*overboard valve*) dalam posisi terkunci penuh. Tindakan ini secara efektif menihilkan risiko eskalasi polusi.

Respons Reaktif-Mekanis (Kelompok A, C, & E): Tipologi ini merepresentasikan kegagalan mitigasi akibat keterlambatan diagnosis. Kelompok ini rata-rata membutuhkan waktu 5 menit 40 detik untuk menyadari krisis. Log data menunjukkan bahwa selama rentang waktu tersebut, taruna sibuk melakukan penyesuaian beban listrik dan mencoba me-restart pompa yang gagal tanpa memeriksa lokasi fisik mesin. Mereka baru menyadari adanya kebocoran ketika indikator volume tangki bilge mencapai level kritis (luapan simulatif telah terjadi).

2. Analisis Efikasi Kognitif melalui Modifikasi Siklus IDEAL

Untuk membedah mengapa kelambanan pada kelompok reaktif bisa terjadi, evaluasi dilakukan menggunakan pendekatan siklus IDEAL. Temuan di lapangan memperlihatkan adanya fenomena distorsi kognitif yang memicu bottleneck (kemacetan) pada proses pengambilan keputusan taruna:

Identifikasi (85% Keberhasilan): Sebagian besar taruna mampu menangkap anomali karena stimulus yang diberikan simulator sangat kuat (suara alarm di atas 80 desibel dan lampu indikator merah menyala terang).

Diagnosis (60% Keberhasilan): Taruna mulai mengalami kesulitan menghubungkan antara "alarm kelistrikan" dan "kegagalan sistem bahan bakar". Mereka cenderung berpikir secara parsial, bukan holistik.

Eksekusi Solusi (40% Keberhasilan): Di sinilah terjadi kelumpuhan pengambilan keputusan (*decision paralysis*). Taruna ragu-ragu untuk mematikan sistem bahan bakar utama karena takut tindakan tersebut akan memicu blackout (mati listrik total) pada kapal.

Evaluasi Dampak Lingkungan (30% Keberhasilan): Fase ini mencatat tingkat kegagalan tertinggi. Karena fokus kognitif taruna telah habis terkuras untuk menstabilkan RPM (putaran mesin), memori prosedural mereka mengenai aktivasi instrumen *Oily Water Separator* (OWS) dan pengecekan ambang batas 15 ppm limbah MARPOL Annex I sama sekali terabaikan.

Data ini mengonfirmasi bahwa insting alamiah taruna (*muscle memory*) di bawah tekanan masih sangat bias terhadap "penyelamatan aset mekanis" dibandingkan "proteksi lingkungan laut".

3. Manifestasi Cognitive Overload dan Hierarki Kaku dalam Kerja Tim

Analisis transkrip wawancara debriefing pasca-simulasi memberikan justifikasi kualitatif atas kegagalan fase eksekusi di atas. Fenomena utama yang teridentifikasi adalah cognitive overload yang diperparah oleh budaya power distance (jarak kekuasaan) yang terlalu kaku di dalam struktur hierarki kepelautan. Salah satu operator panel dari Kelompok A (Kelompok Gagal) menyatakan: "Saya sebenarnya sudah melihat bahwa tekanan bahan bakar turun drastis dan kemungkinan ada pipa yang pecah. Tapi saya hanya bertugas di panel listrik. Saya tidak berani menekan tombol emergency stop tanpa perintah langsung dari *Chief Engineer*, sementara saat itu beliau sedang lari ke lantai bawah untuk mengecek fisik mesin." Kutipan di atas menunjukkan betapa destruktifnya budaya hierarki kaku saat dihadapkan pada krisis yang menuntut respons hitungan detik. Taruna tingkat bawah kehilangan inisiatif (*loss of autonomy*) karena takut disalahkan jika melakukan shutdown sepihak. Hal ini mengindikasikan hilangnya apa yang dalam teori organisasi disebut sebagai *Shared Mental Model* yaitu kesamaan

pemahaman antaranggota tim mengenai apa yang sedang terjadi dan apa prioritas tindakan saat ini. Ketika *Chief Engineer* meninggalkan pos komando, rantai komando terputus, dan pemecahan masalah berhenti total.

4. Evaluasi *Engine-room Resource Management* (ERM): Hilangnya Kesadaran Situasional

Kegagalan mitigasi polusi laut pada simulasi ini berakar secara fundamental pada rendahnya implementasi ERM. Konsep ERM mensyaratkan manajemen beban kerja (*workload management*) dan komunikasi *closed-loop*. Pada kelompok reaktif-mekanis, instruksi yang diberikan bersifat *open-loop* (satu arah tanpa konfirmasi). Perintah seperti "Coba cek pompa!" tidak memiliki spesifikasi subjek yang jelas dan tindakan balasan yang terukur. Akibatnya, beberapa taruna memeriksa objek yang sama (*redundant actions*), sementara instrumen penting seperti katup proteksi lingkungan tidak ada yang menjaga.

Sebaliknya, pada kelompok proaktif-ekologis, keberhasilan mitigasi polusi didasarkan pada penerapan kepemimpinan asertif. *Chief Engineer* mengisolasi dirinya dari kepanikan visual dengan tetap berdiri di pusat *Control Room*. Ia membagi tugas secara spesifik: "Oiler 1, amankan beban listrik! Masinis 2, bypass aliran bahan bakar! Masinis 3, pastikan *valve overboard* ke laut terkunci sekarang!". Distribusi beban kognitif ini mencegah terjadinya *tunnel vision* (penyempitan fokus), sehingga aspek keselamatan mesin dan kepatuhan lingkungan (MARPOL) dapat ditangani secara beriringan.

5. Implikasi Pedagogis: Urgensi Implementasi Green-ERM

Berbagai temuan empiris dalam pembahasan ini memberikan kritik konstruktif terhadap kurikulum pendidikan kepelautan konvensional. Selama ini, doktrin pelatihan terlalu menitikberatkan pada kelancaran operasional mesin (propulsi) sebagai indikator sukses utama. Taruna secara psikologis dikondisikan bahwa "mesin mati di tengah laut adalah aib terbesar perwira mesin". Sayangnya, paradigma ini sering kali membuat mereka mengabaikan fakta bahwa "membuang limbah minyak di luar batas toleransi hukum internasional adalah tindak pidana maritim".

Sebagai rekomendasi taktis, Politeknik Pelayaran perlu segera merestrukturisasi modul simulator dengan mengadopsi model Green-ERM. Dalam pendekatan ini, metrik penilaian tidak lagi hanya mengukur response time terhadap perbaikan mesin, tetapi menyertakan "Nilai Keparahan Polusi Simulatif" sebagai penentu absolut kelulusan. Apabila sebuah kelompok berhasil menyelamatkan mesin dari blackout tetapi membiarkan 50 liter simulasi HFO tumpah melampaui batas ambang OWS, maka kelompok tersebut secara otomatis dinyatakan gagal (*zero-tolerance policy*). Pendekatan pedagogis radikal ini diperlukan untuk membentuk ulang mindset taruna bahwa proteksi ekosistem laut memiliki derajat kepentingan yang sama bahkan lebih tinggi secara hukum regulatori dibandingkan efisiensi mekanis kapal.

KESIMPULAN

Berdasarkan kristalisasi temuan empiris dan analisis komprehensif terhadap dinamika simulasi krisis kamar mesin, penelitian ini merumuskan tiga kesimpulan fundamental terkait urgensi problem solving skills Taruna Teknika dalam memitigasi risiko pencemaran laut: Pertama, Terjadinya Bottleneck (Kemacetan) Kognitif dalam Fase Eksekusi Resolusi. Terdapat disparitas yang sangat tajam antara kemampuan taruna dalam mendeteksi masalah dan kapasitas mereka dalam menyelesaikan masalah tersebut hingga tuntas secara ekologis.

Evaluasi berdasarkan modifikasi siklus IDEAL menunjukkan bahwa meskipun efikasi identifikasi anomali operasional sangat tinggi (85%), kapasitas eksekusi teknis (40%) dan tahap evaluasi dampak lingkungan (30%) justru mengalami kelumpuhan. Kesenjangan ini membuktikan bahwa taruna belum mampu mengonversi pengetahuan deklaratif (hafalan regulasi MARPOL di kelas) menjadi memori prosedural (tindakan refleks kinetik) ketika berada di bawah tekanan waktu yang ekstrem.

Kedua, Dominasi Paradigma Mekanis dan Fenomena Tunnel Vision. Ketika dihadapkan pada situasi kegagalan ganda (*double-fault*) seperti alarm kelistrikan yang berbunyi bersamaan dengan kebocoran bahan bakar taruna secara psikologis mengalami *cognitive overload*. Kondisi ini memicu penyempitan fokus (*tunnel vision*) di mana insting taruna secara eksklusif hanya tertuju pada upaya penyelamatan daya dorong kapal (mencegah *blackout*) dan secara fatal mengabaikan parameter proteksi lingkungan. Hal ini membuktikan adanya bias prioritas yang mengakar, di mana kelancaran mekanis mesin masih dianggap lebih krusial dibandingkan pencegahan polusi laut, padahal keduanya memiliki bobot urgensi yang sama di mata hukum maritim internasional.

Ketiga, Kegagalan Mitigasi Bersumber dari Defisit Kesadaran Situasional dan Hierarki Kaku. Akar utama dari meluapnya limbah minyak ke perairan dalam skenario darurat ini bukan disebabkan oleh ketiadaan *Standard Operating Procedure* (SOP). Kegagalan ini murni merupakan manifestasi dari hilangnya situational awareness dan disfungsi *Engine-room Resource Management* (ERM). Komunikasi yang berjalan searah (*open-loop*), distribusi beban kerja yang tumpang tindih, serta budaya power distance (jarak hierarki komando) yang terlalu kaku menyebabkan taruna level bawah mengalami paralisis keputusan (*decision paralysis*). Hilangnya *shared mental model* dalam tim membuat instrumen vital pencegah polusi, seperti katup *overboard*, luput dari pengawasan.

DAFTAR PUSTAKA

- Asyhar, M., & Supriyono, H. (2021). Analisis Kesiapan Taruna Teknik dalam Menghadapi Emergency Situation di Kamar Mesin Melalui Engine Room Simulator. *Jurnal Sains Teknologi Transportasi Laut*, 13(2), 45–52.
- Badan Pengembangan Sumber Daya Manusia Perhubungan (BPSDMP). (2022). Standar Operasional Prosedur Pendidikan dan Pelatihan Kepelautan Indonesia. Kementerian Perhubungan Republik Indonesia.
- Holder, T. (2019). *Engine-room Resource Management (ERM): Operational Safety and Environmental Protection*. Maritime Press.
- International Maritime Organization (IMO). (2017). *Engine-Room Simulator (IMO Model Course 2.07)*. IMO Publishing.
- International Maritime Organization (IMO). (2020). *MARPOL Consolidated Edition 2020: International Convention for the Prevention of Pollution from Ships*. IMO Publishing.
- Kristensen, S., & Borch, O. J. (2021). Crisis Management in the Engine Room: Team Coordination and Cognitive Load Under High-Stakes Maritime Emergencies. *Safety Science*, 142, 105–118.
- Prasetyo, A. B., & Wibowo, S. (2023). Pengaruh Situational Awareness Terhadap Human Error pada Operasional Oily Water Separator (OWS) di Kapal Niaga. *Jurnal Penelitian Transportasi Laut*, 25(1), 12–21.

- Robbins, S. P., & Judge, T. A. (2020). *Organizational Behavior* (18th ed.). Pearson Education.
- Setyawan, D., & Raharjo, P. (2024). Evaluasi Problem Solving Skills Taruna Perhubungan Melalui Case-Based Learning di Laboratorium Simulator. *Jurnal Pendidikan Vokasi Maritim*, 6(1), 33–41.
- STCW. (2011). *International Convention on Standards of Training, Certification and Watchkeeping for Seafarers, 1978, as amended in 2010 (Manila Amendments)*. International Maritime Organization.
- Suprpto, H. (2022). Mitigasi Risiko Pencemaran Limbah Minyak dari Kapal Berdasarkan Regulasi MARPOL Annex I. *Jurnal Kelautan Nasional*, 17(3), 189–201.
- Ziarati, R., & Bilgili, A. (2023). Improving Engine Room Resource Management Training to Prevent Marine Pollution. *International Journal of Maritime Engineering*, 165(A2), 77–86.