



Analisis Risiko dan Strategi Mitigasi Pada Pola Operasi Kapal Selam di Wilayah Koarmada II

Hudha Dwi Saputro^{1*}, Rizal Musa Karim², M.B. Pandjaitan³

^{1,2,3} Sekolah Staf dan Komando TNI Angkatan Laut, Indonesia

ARTICLE INFO

Article history:

Received October 06, 2025

Revised December 28, 2025

Accepted December 31, 2025

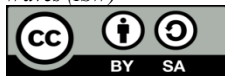
Available online December 31, 2025

Kata Kunci :

Risiko, Distressed Submarine (DISSUB), Failure Mode and Effects Analysis (FMEA), Internal Solitary Waves (ISW)

Keywords:

Risk, Distressed Submarine (DISSUB), Failure Mode and Effects Analysis (FMEA), Internal Solitary Waves (ISW)



This is an open access article under the [CC BY-SA](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/) license.

Copyright ©2025 by Hudha Dwi Saputro, Rizal Musa Karim, M.B. Pandjaitan. Published by CV. Rifainstitut

ABSTRAK

Risiko yang signifikan adalah ketidakmampuan kapal selam untuk muncul ke permukaan karena malfungsi pada kemudi, sistem propulsi, atau mekanisme penyelaman dan permukaan. Jika kapal selam tidak dapat naik, kapal selam dapat terdampar di dasar laut. Situasi darurat seperti itu disebut sebagai *Distressed Submarine (DISSUB)*. Penulis menggunakan metode *Failure Mode and Effect Analysis (FMEA)* untuk mengidentifikasi risiko potensial dan memprioritaskan akar penyebabnya berdasarkan tingkat keparahan dan dampaknya. FMEA adalah pendekatan terstruktur yang membantu menentukan sumber kegagalan yang sebenarnya. Dengan memahami masalah mana yang paling kritis, penulis dapat fokus untuk mengatasi masalah yang menimbulkan ancaman terbesar bagi keselamatan operasional kapal selam. Analisis RPN (*Risk Priority Number*) mengungkapkan bahwa hilangnya daya apung adalah risiko paling kritis dalam insiden kapal selam, yang terutama disebabkan oleh *Internal Solitary Waves (ISW)*. Untuk mengurangi risiko ini secara efektif, diperlukan tindakan yang lebih kuat di seluruh faktor manusia, pertimbangan lingkungan, dan pembuatan kebijakan. Memperkuat area ini akan membantu memastikan mitigasi risiko operasional yang lebih efektif dalam misi kapal selam.

ABSTRACT

This study explores risk analysis and mitigation strategies employed by submarines and their crews. One significant risk is the inability of the submarine to surface due to malfunctions in the rudder, propulsion system, or the diving and surfacing mechanisms. If the submarine cannot ascend, it may become stranded on the seabed. Such an emergency situation is referred to as a *Distressed Submarine (DISSUB)*. The author uses the *Failure Mode and Effect Analysis (FMEA)* method to identify potential risks and prioritize their root causes based on their severity and impact. FMEA is a structured approach that helps in pinpointing the actual sources of failure. By understanding which issues are most critical, the author can focus on addressing those that pose the greatest threat to the submarine's operational safety. The RPN (*Risk Priority Number*) analysis reveals that loss of buoyancy is the most critical risk in submarine incidents, primarily caused by *Internal Solitary Waves (ISW)*. To effectively mitigate this risk, there is a need for stronger measures across human factors, environmental considerations, and policy-making. Strengthening these areas will help ensure more effective mitigation of operational risks in submarine missions.

1. PENDAHULUAN

Pendahuluan adalah bagian awal yang bertujuan untuk memberikan gambaran AUKUS adalah pakta keamanan trilateral antara Australia, United Kingdom (Inggris), dan United States (AS) yang diumumkan pada September 2021. Salah satu poin pentingnya adalah kerja sama pengembangan kapal selam bertenaga nuklir untuk Australia, serta kolaborasi teknologi militer canggih lainnya.

Kehadiran AUKUS berpotensi menggeser keseimbangan kekuatan militer di kawasan Indo-Pasifik. Australia yang sebelumnya non-nuklir, kini akan memiliki kapal selam nuklir

*Corresponding author

E-mail addresses: Sgurita44@gmail.com (Sugiarto)

berkemampuan jarak jauh dan operasi senyap yang bisa beroperasi di dekat wilayah Indonesia. Ini membuat Indonesia perlu meningkatkan kewaspadaan dan kemampuan deteksi bawah laut di sekitar ALKI (Alur Laut Kepulauan Indonesia). AUKUS bisa memicu perlombaan senjata bawah laut di kawasan, karena negara-negara lain seperti Tiongkok merasa terancam.

Indonesia sebagai negara non-blok harus berhati-hati menjaga netralitas dan stabilitas kawasan, tanpa terjebak dalam rivalitas kekuatan besar. Secara geografis Indonesia merupakan negara kepulauan yang membentang di antara Benua Australia dan Benua Asia serta di antara Samudra Pasifik dan Samudra Hindia.

Kapal selam sebagai salah satu sistem senjata strategis dirancang dapat beroperasi di permukaan ataupun di bawah permukaan laut. Sebagai wahana yang dituntut harus selalu beroperasi di bawah permukaan laut, resiko yang dihadapi oleh kapal selam maupun pengawaknya sangat besar. Salah satu resiko yang dapat terjadi adalah kapal selam tidak dapat timbul ke permukaan karena tidak berfungsinya kemudi dan pendorongan serta sistem selam timbul. Dengan tidak dapatnya kapal selam untuk timbul ke permukaan, akan menyebabkan kapal duduk di dasar laut. Kapal selam yang mengalami kedaruratan sehingga tidak dapat timbul ke permukaan disebut *Distressed Submarine (DISSUB)*.

DISSUB mempunyai 2 (dua) metode untuk penyelamatan kru yaitu dengan metode pertolongan (*rescue*) dan metode penyelamatan (*escape*). Jika metode *rescue* mengandalkan kemampuan *rescue force* dalam mencari lokasi *DISSUB* dan memberikan pertolongan, metode *escape* mengandalkan pengetahuan dan kemampuan kru *DISSUB* dalam menilai situasi di dalam *DISSUB* untuk pengambilan keputusan. Penentuan batas waktu tunggu (*waiting limit*) di dalam *DISSUB* dipengaruhi beberapa faktor, antara lain batas kadar karbondioksida (CO₂), batas tekanan (*pressure*) dan batas kadar oksigen (O₂) (Buku Prosedur Tetap (Protap) Satuan Kapal Selam KOARMADA II, 2020).

Selanjutnya, jika metode *escape* dipilih untuk menyelamatkan diri dari *DISSUB*, maka terdapat 2 (dua) teknik *escape* yaitu *Rush* atau *Compartment Escape* dan *Tower Escape*. Kedua teknik *escape* ini dilaksanakan menggunakan *Submarine Escape Immersion Equipment (SEIE)*. Setelah melaksanakan penyelamatan dari *DISSUB*, selanjutnya kru kapal selam timbul di permukaan dan melaksanakan *surface survival* sambil menunggu pertolongan (Buku Prosedur Tetap (Protap) Satuan Kapal Selam KOARMADA II, 2020).

Awak Kapal Selam sebagai personil pengawak perlu mengembangkan suatu kemampuan dalam melaksanakan *escape* baik *rush escape* maupun *tower escape*. Kemampuan yang dikembangkan tersebut meliputi penguasaan teknologi peralatan keselamatan, pengetahuan dan keterampilan personel pengawak organisasi yang baik, prosedur yang tepat serta didukung oleh pelaksanaan latihan yang baik dan terencana. Kondisi Kapal Selam yang baik dan profesionalitas awak Kapal Selam, tentunya menjadi modal dalam pengamanan laut Indonesia.

Peristiwa tenggelamnya KRI Nanggala-402 pada 21 April 2021 menjadi catatan kelam dalam sejarah kapal selam Indonesia. Kapal tersebut dinyatakan hilang kontak sebelum akhirnya dinyatakan tenggelam (*subsunk*) di perairan Bali pada Sabtu, 24 April 2021. Kejadian ini menyisakan duka mendalam bagi seluruh bangsa, mengingat kapal selam buatan Jerman tersebut telah menjadi bagian dari kekuatan TNI AL selama empat dekade (sumber: www.kompas.com).

Tragedi tersebut mencerminkan salah satu bentuk risiko yang harus dikelola dalam sistem manajemen. Risiko dapat diartikan sebagai potensi terjadinya kerugian, yang melekat pada setiap aktivitas manusia, baik secara individu maupun dalam organisasi, dan mencakup ketidakpastian yang bisa berdampak negatif maupun positif (Kountur, 2004).

2. KAJIAN LITERATUR

Risiko dapat diartikan sebagai dampak negatif yang mungkin timbul akibat berbagai sumber ketidakpastian. Secara umum, risiko muncul karena adanya perubahan yang menyebabkan ketidakpastian, dan merupakan deviasi dari hasil yang diharapkan (Joel Bessis, 2010). Unsur ketidakpastian inilah yang menjadi akar dari risiko dalam berbagai aktivitas.

Dalam kehidupan, setiap aktivitas manusia—baik individu maupun organisasi—selalu mengandung ketidakpastian, sehingga risiko menjadi bagian yang tak terpisahkan dari kehidupan dan pekerjaan manusia.

Dalam dunia bisnis, risiko operasional sering kali tidak mudah diidentifikasi secara spesifik, berbeda dengan risiko pasar atau risiko kredit yang cenderung lebih jelas. Risiko operasional merujuk pada potensi kerugian yang diakibatkan oleh kegagalan operasional, baik karena tindakan, kelalaian, maupun keterlambatan. Contohnya, kegagalan dalam mengambil keputusan pada waktu yang tepat. Peristiwa yang menyebabkan kerugian operasional ini bisa berupa kesalahan tak sengaja, kerusakan sistem, pelanggaran hukum atau regulasi, hingga pengambilan risiko secara berlebihan. Maka dari itu, risiko operasional adalah segala bentuk potensi gangguan terhadap jalannya operasional perusahaan, yang bisa muncul akibat kegagalan dalam penerapan prosedur dan proses bisnis (Mulyawan, 2015). Menurut Darmawan (2011), risiko operasional diklasifikasikan ke dalam empat kategori: sumber daya manusia (SDM), teknologi, proses, dan faktor eksternal.

Manajemen risiko sendiri adalah aktivitas organisasi yang bersifat sistematis dan terkoordinasi untuk menangani risiko yang dihadapi. Terdapat tiga komponen utama dalam manajemen risiko, yakni prinsip, kerangka kerja, dan proses. Prinsip menjadi pedoman dasar dalam implementasi manajemen risiko di seluruh bagian organisasi, kerangka kerja menjadi landasan struktural, dan proses manajemen risiko mencakup langkah-langkah untuk menangani risiko, baik secara individual maupun kelompok, sesuai dengan sasaran yang terdampak. Dari ketiganya, proses manajemen risiko menjadi inti dari seluruh sistem manajemen risiko (Kaho, 2018).

Langkah awal dalam manajemen risiko adalah identifikasi risiko, yang bertujuan mengenali, memahami, dan mendeskripsikan risiko yang berpotensi mempengaruhi pencapaian tujuan organisasi. Proses ini membutuhkan informasi yang relevan, lengkap, dan terkini. Berbagai pendekatan dapat digunakan untuk mengenali ketidakpastian yang memengaruhi sasaran, dan proses identifikasi risiko yang baik dilakukan secara sistematis terhadap program, proyek, kegiatan, dan proses kerja yang berjalan. Hal ini dilakukan agar tidak ada aspek penting yang terlewat.

Metode-metode identifikasi risiko yang diakui secara internasional dan dijelaskan dalam ISO 31010 meliputi: telaah dokumen, analisis pemangku kepentingan, risk breakdown structure, dan pemetaan proses bisnis. Untuk pemetaan proses bisnis, metode FMEA (Failure Mode and Effect Analysis) dapat digunakan untuk menggali lebih lanjut potensi kegagalan dalam proses.

Analisis risiko bertujuan untuk memahami risiko secara lebih mendalam, termasuk menilai dampaknya terhadap tujuan dan kemungkinan terjadinya. Hasil analisis ini akan menjadi dasar dalam mengevaluasi dan menentukan penanganan risiko. Risiko dievaluasi berdasarkan tingkat keparahan (*severity*) dan kemungkinan terjadinya (*occurrence*), dan hasilnya dinyatakan dalam tingkat risiko. Skala dan metode pengukuran yang digunakan harus konsisten dengan kriteria yang telah ditetapkan sebelumnya.

Analisis risiko juga mencakup pemahaman terhadap sifat risiko, peringkat risiko jika diperlukan, serta mempertimbangkan berbagai aspek seperti ketidakpastian, sumber risiko, dampak, kemungkinan, skenario, pengendalian, dan efektivitasnya.

Selanjutnya, tahap evaluasi risiko dilakukan dengan menelaah data hasil analisis dan membandingkannya dengan kriteria evaluasi risiko yang sudah ditentukan di tahap

perencanaan. Proses ini akan mengidentifikasi risiko mana yang masih bisa diterima dan mana yang harus ditangani lebih lanjut. Dari sinilah pemilik risiko mengambil keputusan: apakah risiko akan diterima atau perlu perlakuan khusus (risk treatment).

Evaluasi risiko bisa dilakukan dengan pendekatan kuantitatif maupun kualitatif. Pendekatan kuantitatif lebih umum digunakan di sektor riil, sementara pendekatan kualitatif membantu dalam menentukan prioritas penanganan berdasarkan peringkat risiko. Untuk pendekatan kuantitatif, dibutuhkan data yang cukup dan akurat, serta informasi tentang distribusi probabilitas dari risiko yang dianalisis.

3. METODE PENELITIAN

Pendekatan penelitian kualitatif digunakan untuk memperoleh data secara langsung dari subjek penelitian melalui wawancara yang berkaitan dengan analisis risiko. Menurut Creswell (2014) dalam bukunya *Qualitative Inquiry and Research Design*, penelitian kualitatif merupakan suatu proses untuk memahami permasalahan sosial atau kemanusiaan dengan pendekatan menyeluruh, menggambarkan pandangan informan secara rinci, serta disusun dengan metode ilmiah. Tujuan dari pendekatan ini adalah untuk mengungkap makna dari suatu fenomena, yang dilakukan melalui prosedur sistematis, pengumpulan data yang mendalam, analisis data secara induktif, dan interpretasi terhadap makna data tersebut.

Populasi dalam penelitian ini mencakup seluruh individu yang memiliki karakteristik relevan dengan fokus penelitian. Secara khusus, populasi terdiri dari 10 orang praktisi berpengalaman lebih dari 15 tahun dalam kedinasan, antara lain Komandan Satuan, seluruh Komandan KRI, Perwira Staf Operasi, Perwira Staf Harmat, Komandan Koopskasel, serta Dirops, Dirlog, dan Dirrena Koopskasel.

Sampel penelitian adalah sebagian dari populasi yang dipilih untuk mewakili keseluruhan, dan dalam penelitian ini menggunakan teknik purposive sampling. Teknik ini berarti pemilihan responden dilakukan secara sengaja berdasarkan posisi strategis, pengalaman yang relevan, dan keterlibatan langsung dalam operasi kapal selam. Sampel yang dipilih adalah Komandan Koopskasel, karena dinilai memiliki tingkat kepangkatan, pengalaman, dan tanggung jawab tertinggi dalam pelaksanaan operasi kapal selam.

Pengumpulan data dalam penelitian ini dilakukan melalui dua jenis sumber, yaitu data primer dan data sekunder. Kedua jenis data tersebut dikumpulkan untuk memperoleh informasi yang komprehensif dan mendalam guna keperluan analisis.

Data primer penelitian bersumber dari data yang dikumpulkan sendiri oleh penulis dari sumber dimana objek penelitian dilaksanakan. Data primer bersumber dari Perwira yang berdinan di Kapal Selam Koarmada II. Data ini kemudian digunakan untuk mengidentifikasi kondisi saat ini serta sebagai data awal dalam penelitian.

Data sekunder diperoleh dari literatur, artikel, jurnal serta website di internet yang berkenaan dengan penelitian yang dilakukan termasuk juga kompilasi dari peraturan-peraturan dan kebijakan- kebijakan yang terkait dengan penelitian. Penggunaan data sekunder memberikan pilihan yang tepat bagi peneliti yang memiliki keterbatasan waktu dan sumber daya.

Analisis data bertujuan untuk mengidentifikasi elemen-elemen terkecil dari data penelitian yang dapat dikategorikan. Berdasarkan permasalahan yang diteliti, pendekatan yang digunakan dalam analisis adalah metode Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) dan Fault Tree Analysis (FTA).

Kedua metode ini digunakan untuk menilai tingkat risiko yang terkait dengan kejadian pada aspek keselamatan dan kesehatan kerja (K3). Penilaian dilakukan dengan mempertimbangkan tiga faktor utama, yaitu Severity (S) atau tingkat keparahan, Occurrence (O) atau frekuensi terjadinya, dan Detection (D) atau kemampuan mendeteksi risiko. Masing-masing faktor diberi skor pada skala 1 sampai 10 untuk setiap risiko yang telah teridentifikasi.

Setelah skor diberikan, selanjutnya dihitung Risk Priority Number (RPN) untuk setiap kejadian risiko, dengan rumus:

$$RPN = S \times O \times D$$

Nilai RPN kemudian diurutkan mulai dari yang tertinggi hingga yang terendah. Risiko dengan nilai RPN tertinggi dianggap sebagai faktor dominan dan menjadi prioritas utama dalam penanganan risiko.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil penelitian ini diperoleh melalui tahapan identifikasi, analisis, dan evaluasi risiko operasional kapal selam di wilayah Koarmada II dengan menggunakan metode *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA) dan *Fault Tree Analysis* (FTA). Analisis difokuskan pada empat kelompok risiko utama, yaitu kehilangan buoyancy, kebakaran, kebocoran, dan keracunan gas beracun, yang selama ini menjadi ancaman dominan dalam operasi kapal selam.

Identifikasi Risiko Operasional Kapal Selam

Hasil identifikasi awal menunjukkan bahwa risiko operasional kapal selam dapat diklasifikasikan ke dalam empat variabel utama, yaitu: kehilangan buoyancy kapal, kebakaran di dalam kapal, kebocoran sistem, dan keracunan gas beracun. Kehilangan buoyancy diidentifikasi sebagai risiko paling krusial karena berpotensi langsung menyebabkan kondisi *Distressed Submarine* (DISSUB), terutama ketika kapal selam tidak mampu mengendalikan kedalaman akibat gangguan teknis maupun fenomena lingkungan laut.

Kehilangan buoyancy disebabkan oleh beberapa faktor, antara lain terhentinya sistem pendorong akibat gangguan teknis, kemacetan sistem kemudi, perubahan massa jenis air laut, serta pengaruh fenomena *Internal Solitary Wave* (ISW). Sementara itu, risiko kebakaran diklasifikasikan berdasarkan kelas kebakaran A hingga K, risiko kebocoran berasal dari kegagalan sistem pipa, katup, dan rumah pompa air laut, serta risiko keracunan gas beracun terutama berasal dari gas hidrogen dan elektrolit baterai timbal-asam.

Analisis Tingkat Keparahan (Severity)

Penilaian tingkat keparahan (severity) bertujuan untuk mengukur dampak yang ditimbulkan oleh setiap risiko operasional terhadap keselamatan awak, kelangsungan operasi, dan keberhasilan misi. Skala severity yang digunakan disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Skala Severity Risiko Operasional

Skor Severity	Kategori
1	Sangat Rendah
1,1–3	Rendah
3,9–5,9	Sedang
6–7	Tinggi
7,1–9	Sangat Tinggi
9,1–10	Ekstrem

Hasil penilaian severity oleh para ekspert disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Skor Severity Risiko Operasional Kapal Selam

Risiko Operasional	Sub Penyebab	Severity (S)	Keterangan
Kehilangan Buoyancy	Pendorong Terhenti	7,80	Sangat Tinggi
	Kemudi Macet	8,00	Sangat Tinggi
	Massa Jenis Air Laut	8,40	Sangat Tinggi
	Internal Solitary Wave	9,00	Sangat Tinggi
Kebakaran	Kelas A	5,40	Sedang
	Kelas B	4,70	Sedang
	Kelas C	4,80	Sedang
	Kelas D	4,40	Sedang
	Kelas E	4,30	Sedang
	Kelas K	4,50	Sedang
Kebocoran	Sistem Pipa & Katup	3,70	Sedang
	Rumah Pompa Air Laut	4,20	Sedang
Keracunan Gas	Gas Hidrogen	5,30	Sedang
	Baterai Asam Timbal	6,00	Tinggi

Berdasarkan Tabel 2, risiko kehilangan buoyancy akibat *Internal Solitary Wave* memiliki nilai severity tertinggi (9,00), yang menunjukkan bahwa dampaknya sangat kritis. Fenomena ISW mampu menyebabkan perubahan tekanan dan arus vertikal secara mendadak, sehingga mengganggu stabilitas kapal selam, meningkatkan risiko penurunan kedalaman tidak terkendali, serta berpotensi menyebabkan kerusakan struktural dan kegagalan misi. Oleh karena itu, dari sisi dampak, ISW merupakan ancaman paling serius dalam operasi kapal selam di wilayah Koarmada II.

Analisis Tingkat Frekuensi Kejadian (Occurrence)

Analisis occurrence dilakukan untuk mengetahui seberapa sering risiko-risiko tersebut berpotensi terjadi. Skala occurrence disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Skala Occurrence Risiko Operasional

Skor Occurrence	Kategori
1	Sangat Jarang
1,1–3	Jarang
3,1–5,9	Sedang
6–7	Sering
7,1–9	Sangat Sering
9,1–10	Hampir Pasti

Hasil penilaian occurrence disajikan pada Tabel 4.

Tabel 4. Skor Occurrence Risiko Operasional

Risiko Operasional	Sub Penyebab	Occurrence (O)	Keterangan
Kehilangan Buoyancy	Pendorong Terhenti	3,70	Sedang
	Kemudi Macet	3,70	Sedang

Risiko Operasional	Sub Penyebab	Occurrence (O)	Keterangan
Kebakaran	Massa Jenis Air Laut	3,70	Sedang
	Internal Solitary Wave	4,00	Sedang
	Kelas A	3,60	Sedang
	Kelas B	3,60	Sedang
	Kelas C	3,70	Sedang
	Kelas D	3,50	Sedang
	Kelas E	3,40	Jarang
Kebocoran	Kelas K	2,70	Jarang
	Sistem Pipa & Katup	3,60	Sedang
	Rumah Pompa Air Laut	3,40	Jarang
Keracunan Gas	Gas Hidrogen	3,80	Sedang
	Baterai Asam Timbal	3,20	Jarang

Meskipun frekuensi kejadian ISW berada pada kategori sedang, kombinasi antara frekuensi dan tingkat keparahan yang sangat tinggi menjadikan risiko ini tetap harus diprioritaskan. Hal ini menunjukkan bahwa meskipun tidak terjadi setiap saat, dampaknya yang ekstrem menuntut kesiapsiagaan operasional yang tinggi.

Analisis Kemampuan Deteksi (Detection)

Kemampuan deteksi risiko dianalisis untuk menilai sejauh mana risiko dapat dikenali sebelum menimbulkan dampak serius. Skala detection disajikan pada Tabel 5.

Tabel 5. Skala Detection Risiko Operasional

Skor Detection	Kategori
1	Sangat Mudah
1,1–3	Mudah
3,1–5,9	Sedang
6–7	Sulit
7,1–9	Sangat Sulit
9,1–10	Hampir Tidak Mungkin

Hasil penilaian detection disajikan pada Tabel 6.

Tabel 6. Skor Detection Risiko Operasional

Risiko Operasional	Sub Penyebab	Detection (D)	Keterangan
Kehilangan Buoyancy	Pendorong Terhenti	3,80	Sedang
	Kemudi Macet	3,80	Sedang
	Massa Jenis Air Laut	4,10	Sedang
	Internal Solitary Wave	4,20	Sedang
Kebakaran	Kelas A	3,60	Sedang
	Kelas B	3,40	Mudah
	Kelas C	3,60	Sedang
	Kelas D	3,30	Mudah

Risiko Operasional	Sub Penyebab	Detection (D)	Keterangan
	Kelas E	3,30	Mudah
	Kelas K	3,00	Mudah

Nilai detection ISW yang berada pada kategori sedang menunjukkan bahwa kemampuan sistem dan prosedur saat ini belum sepenuhnya mampu memberikan peringatan dini secara optimal. Hal ini memperkuat kebutuhan peningkatan teknologi deteksi dan integrasi data oseanografi dalam perencanaan operasi kapal selam.

Analisis Risk Priority Number (RPN)

Hasil perhitungan RPN disajikan pada Tabel 7 hingga Tabel 10.

Tabel 7. RPN Kehilangan Buoyancy

Sub Penyebab	S	O	D	RPN
Pendorong Terhenti	7,80	3,70	3,80	109,7
Kemudi Macet	8,00	3,70	3,80	112,5
Massa Jenis Air Laut	8,40	3,70	4,10	127,4
Internal Solitary Wave	9,00	4,00	4,20	151,2

Nilai RPN tertinggi terdapat pada risiko kehilangan buoyancy akibat ISW, yang menegaskan bahwa risiko ini merupakan prioritas utama dalam mitigasi risiko operasional kapal selam. Risiko ini memiliki kombinasi dampak sangat tinggi, frekuensi sedang, dan kemampuan deteksi yang masih terbatas.

Integrasi Analisis FMEA dan FTA

Hasil FMEA kemudian diperdalam melalui analisis FTA yang menunjukkan bahwa kehilangan buoyancy akibat ISW dipengaruhi oleh kombinasi faktor manusia, lingkungan, dan kebijakan operasional. Faktor-faktor tersebut meliputi kesiapan dan kompetensi awak, kondisi lingkungan laut yang dinamis, serta keterbatasan data dan koordinasi antar unsur pendukung operasi. Integrasi kedua metode ini memberikan gambaran komprehensif mengenai akar penyebab risiko serta jalur mitigasi yang perlu dilakukan secara sistemik dan berkelanjutan.

5. KESIMPULAN

Penelitian ini menunjukkan bahwa pengelolaan risiko operasional kapal selam di wilayah Koarmada II menuntut pendekatan yang sistematis dan komprehensif, mengingat kompleksitas lingkungan laut serta karakteristik operasi kapal selam yang memiliki tingkat kerentanan tinggi. Penerapan metode *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA) mampu mengidentifikasi dan memprioritaskan berbagai potensi kegagalan operasional berdasarkan tingkat keparahan, frekuensi kejadian, dan kemampuan deteksi, sehingga memberikan gambaran objektif mengenai risiko-risiko yang paling dominan dalam mendukung tugas TNI Angkatan Laut.

Hasil analisis FMEA menunjukkan bahwa risiko kehilangan buoyancy merupakan ancaman operasional paling kritis dibandingkan risiko kebakaran, kebocoran, dan keracunan gas beracun. Di antara seluruh subpenyebab yang dianalisis, fenomena *Internal Solitary Wave* (ISW) memiliki nilai *Risk Priority Number* (RPN) tertinggi, yang mencerminkan kombinasi dampak yang sangat besar, frekuensi kejadian yang tidak dapat diabaikan, serta keterbatasan kemampuan deteksi dini. Kondisi ini menegaskan bahwa faktor lingkungan laut, khususnya

dinamika oseanografi bawah laut, berperan signifikan dalam menentukan keselamatan dan keberhasilan operasi kapal selam.

Pendalaman analisis melalui metode *Fault Tree Analysis* (FTA) memperkuat temuan tersebut dengan menunjukkan bahwa kehilangan buoyancy akibat ISW tidak hanya dipengaruhi oleh satu faktor tunggal, melainkan merupakan hasil interaksi antara kesiapan dan kompetensi awak kapal, kondisi lingkungan laut yang ekstrem dan dinamis, serta aspek kebijakan dan perencanaan operasi yang belum sepenuhnya terintegrasi dengan data oseanografi. Keterbatasan pengetahuan awak terhadap ISW, kurang optimalnya pemanfaatan data hidrografi, serta lemahnya koordinasi antar unsur pendukung operasi menjadi faktor-faktor yang secara kumulatif meningkatkan risiko terjadinya kondisi darurat kapal selam.

Berdasarkan keseluruhan hasil analisis tersebut, dapat disimpulkan bahwa strategi mitigasi risiko operasional kapal selam perlu difokuskan pada peningkatan kesiapan sumber daya manusia, penguatan sistem dan prosedur operasional, serta integrasi data oseanografi—khususnya data ISW—ke dalam perencanaan dan pelaksanaan operasi. Upaya ini tidak hanya bertujuan untuk menurunkan probabilitas terjadinya kehilangan buoyancy, tetapi juga untuk meningkatkan kemampuan deteksi dini dan respons awak kapal terhadap perubahan kondisi laut yang ekstrem. Dengan penerapan mitigasi yang terstruktur dan berkelanjutan, risiko operasional kapal selam di wilayah Koarmada II dapat diminimalisir secara signifikan, sehingga mendukung keselamatan personel, keberhasilan misi, dan efektivitas peran strategis TNI Angkatan Laut dalam menjaga kedaulatan maritim nasional.

6. REFERENSI

- Ahmad, H., dkk. (2021). Pemanfaatan citra PlanetScope untuk estimasi batimetri (Studi kasus di perairan laut dangkal Pulau Karimunjawa, Jepara, Jawa Tengah). *Jurnal Hidropilar*, 7(1), 1–10.
- Ahmad, A., et al. (2020). Mitigation of supply chain risk using HOR model at PT Sumber Karya Indah. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 847(1), 012059. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/847/1/012059>
- Alijoyo, A. (2006). *Enterprise risk management*. PT Ray Indonesia.
- Ardhiwirawan, D. S. (2018). *Analisis pelaksanaan manajemen risiko dengan aplikasi enterprise risk management pada PT Bukit Asam Tbk*.
- Arimbo, T. (2020). *Model pemilihan KRI alih bina untuk mendukung tugas pokok Koarmada III menggunakan metode integrasi MCDM* (Tesis Magister). STTAL.
- Bekti, H. (2021). *Model pemilihan lokasi home base kapal selam di Koarmada I menggunakan metode DEMATEL dan ANP* (Tesis Magister). Seskoal.
- Bessis, J. (2010). *Risk management in banking*. Wiley.
- Buku Putih Pertahanan. (2015). *Kementerian Pertahanan Republik Indonesia*. Jakarta.
- Cohen, L. (1995). *Quality function deployment: How to make QFD work for you*. Addison-Wesley.
- COSO. (2017). *Enterprise risk management: Integrating with strategy and performance*. COSO.
- Creswell, J. W., & Poth, C. N. (2018). *Qualitative inquiry and research design: Choosing among five approaches* (4th ed.). Sage Publications.
- Darmawan. (2011). *Manajemen risiko*. Erlangga.
- Devi, R. S. (2016). Analisis risiko operasional PT XYZ.
- Diksono. (2018). *Manajemen risiko pada pelaksanaan tugas operasi KRI dalam rangka mendukung program zero accident*.
- Fahmi, I. (2010). *Manajemen risiko: Teori, kasus, dan solusi*. Alfabeta.
- Franz-Stefan, G. (2019, April 11). Indonesia launches third Nagapasa-class diesel electric attack submarine. *The Diplomat*. <https://thediplomat.com>

- Gibson, D. I. (1997). *Organizational effectiveness and management*. Erlangga.
- ISO. (2018). *ISO 31000:2018 risk management—Guidelines*. International Organization for Standardization.
- Kaho, L. J. (2018). *Manajemen risiko berbasis ISO 31000:2018*. Gramedia Widiasarana Indonesia.
- Kamus Besar Bahasa Indonesia. (n.d.). *KBBI daring*. <https://kbbi.kemdikbud.go.id>
- Kountur, R. (2004). *Manajemen risiko operasional*. PPM.
- Liotta, P. H., & Lloyd, R. M. (2005). From here to there: The strategy and force planning framework. *Naval War College Review*, 58(2), 1–22.
- Mabes TNI AL. (2016). *Peraturan Kepala Staf Angkatan Laut Nomor 5 Tahun 2016 tentang kebijakan dasar pembangunan TNI AL menuju MEF*. Jakarta.
- Marsetio. (2014). *Sea power Indonesia*. Jakarta.
- Marsetio. (2015). Aktualisasi peran pengawasan wilayah laut dalam mendukung pembangunan Indonesia sebagai negara maritim.
- Mulyawan, I. (2015). *Manajemen risiko*. Jakarta.
- Nainggolan, P. P. (2015). Indonesia dan ancaman keamanan di Alur Laut Kepulauan Indonesia (ALKI). *Security Threats to Indonesia's Sea Lanes*, 183–200.
- Notoatmodjo, S. (2003). *Pengembangan sumber daya manusia* (5th ed.). Rineka Cipta.
- Pujawan, I. N., & Geraldin, L. H. (2009). House of risk: A model for proactive supply chain risk management. *Business Process Management Journal*, 15(6), 953–967.
- Putra, I. N. (2016). *Konsepsi pembangunan kekuatan dan kemampuan teknologi informasi TNI AL*. Bintang Surabaya.
- Ramdhan, T. (2021). *Analisis penentuan lokasi pangkalan kapal selam di wilayah Koarmada III* (Tesis Magister). STTAL.
- Saaty, T. L. (2001). *Decision making with dependence and feedback: The analytic network process*. RWS Publications.
- Saaty, T. L. (2015). *Multiple criteria decision analysis*. RWS Publications.
- Wang, X., et al. (2022). Characteristics of internal solitary waves in the Bali Sea and their implications for submarine operations. *Journal of Marine Science and Engineering*, 10(3), 1–18.