

**Mitigasi Potensi Sumber Bahaya pada *Engine Room* di Kapal dalam Industri Pelayaran Menggunakan Metode *Hazard and Operability Study (HAZOP)* dan *Fault Tree Analysis (FTA)*
(Studi Kasus Kapal XYZ)**

*(Mitigation of Potential Hazard Sources in the Ship's Engine Room within the Maritime Industry Using the Hazard and Operability Study (HAZOP) and Fault Tree Analysis (FTA) Methods)
(A Case Study of XYZ Ship)*

Daryanto¹, Kuncowati²

**¹Program Studi Teknologi Rekayasa Permesinan Kapal,
²Program Studi Teknologi Rekayasa Operasi Kapal,
Fakultas Vokasi Pelayaran, Universitas Hang Tuah**

Abstrak: Perkembangan industri maritim menuntut peningkatan keselamatan kerja, terutama di area berisiko tinggi seperti Engine Room kapal. Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi potensi bahaya di Engine Room kapal XYZ dengan menggunakan metode Hazard and Operability Study (HAZOP) dan Fault Tree Analysis (FTA). Hasil penelitian menunjukkan adanya beberapa sumber bahaya dengan tingkat risiko yang bervariasi. Analisis mengidentifikasi 15 sumber bahaya, dengan 3 dikategorikan sebagai risiko tinggi, 5 sebagai risiko sedang, dan 7 sebagai risiko rendah. Melalui FTA, penyebab utama potensi kecelakaan berhasil diidentifikasi, serta direkomendasikan tindakan mitigasi berupa perbaikan desain, peningkatan sistem pemeliharaan, dan pelatihan keselamatan bagi kru kapal.

Kata kunci: keselamatan kerja, engine room, HAZOP, FTA

Abstract: The development of the maritime industry demands improved work safety, especially in high-risk areas such as a ship's Engine Room. This study aims to identify potential hazards in the Engine Room of ship XYZ using the Hazard and Operability Study (HAZOP) and Fault Tree Analysis (FTA) methods. The results indicate the presence of several hazards with varying risk levels. The analysis identified 15 hazard sources, with 3 classified as high risk, 5 as medium risk, and 7 as low risk. Through FTA, the primary causes of potential accidents were identified, and mitigation measures were recommended, including design improvements, enhanced maintenance systems, and safety training for the ship's crew.

Keywords: work safety, engine room, HAZOP, FTA

Alamat korespondensi:

Daryanto, Program Studi Teknologi Rekayasa Permesinan Kapal, Fakultas Vokasi Pelayaran, Universitas Hang Tuah, Jalan A. R. Hakim 150, Surabaya. e-mail: daryanto.daryanto@hangtuah.ac.id

PENDAHULUAN

Keselamatan kerja di industri maritim menjadi perhatian utama karena tingginya tingkat kecelakaan yang terjadi, terutama di area Engine Room kapal. Engine Room merupakan pusat kendali utama dari sistem propulsi kapal yang memiliki potensi bahaya tinggi akibat kehadiran mesin dengan suhu dan tekanan tinggi, bahan bakar mudah terbakar, serta sistem kelistrikan yang kompleks (Asfahl, 1999). Menurut data dari International

Maritime Organization (IMO), kecelakaan di ruang mesin menyumbang lebih dari 30% insiden kapal akibat faktor teknis dan human error (IMO, 2020). Oleh karena itu, perlu dilakukan analisis potensi bahaya untuk mengidentifikasi risiko serta mencari solusi pencegahannya. Kecelakaan maritim memiliki dampak yang menghancurkan terhadap kehidupan manusia, lingkungan, dan ekonomi. (Konur O et al, 2023).

Dalam upaya meningkatkan

keselamatan kerja, berbagai metode analisis risiko telah diterapkan, salah satunya adalah Hazard and Operability Study (HAZOP). HAZOP merupakan pendekatan sistematis yang digunakan untuk mengidentifikasi potensi penyimpangan dalam operasi dan mengevaluasi dampaknya terhadap keselamatan sistem (Juliana, 2008). Selain itu, Fault Tree Analysis (FTA) juga digunakan untuk menganalisis akar penyebab kegagalan sistem secara deduktif, sehingga dapat memberikan rekomendasi mitigasi yang lebih efektif (Vesely et al., 1981). Kurangnya keterampilan, pengetahuan, dan familiarisasi prosedur keselamatan kerja menyebabkan kecelakaan pada kru kapal. (Adiputra et al, 2021).

Penelitian ini menganalisis risiko dalam proses pengaliran BBM di PT Pertamina (Persero) Marketing Operation Region VI Fuel Samarinda yang didistribusikan dari Balikpapan melalui jalur laut. Menggunakan metode HAZOP untuk mengidentifikasi 47 risiko dan mengklasifikasikannya berdasarkan tingkat keparahan, penelitian ini menemukan bahwa 53,20% termasuk risiko rendah, 38,30% sedang, 4,25% tinggi, dan 4,25% ekstrim. Risiko dengan level tinggi dan ekstrim dianalisis lebih lanjut menggunakan metode FTA untuk mengidentifikasi 15 akar masalah dan memberikan rekomendasi perbaikan yang tepat guna meningkatkan keselamatan dan kesehatan kerja selama proses pengaliran BBM.(Cantika et al., 2022). Penelitian ini dilakukan pada kapal XYZ dengan tujuan memberikan rekomendasi perbaikan untuk meningkatkan keselamatan kerja di ruang mesin. Dengan menerapkan metode HAZOP dan FTA, penelitian ini diharapkan dapat mengurangi tingkat kecelakaan kerja, meningkatkan efisiensi operasional, serta memperkuat kesadaran kru terhadap pentingnya

prosedur keselamatan

METODE PENELITIAN

Jenis Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan deskriptif analitis dengan metode kuantitatif dan kualitatif. Pendekatan deskriptif analitis bertujuan untuk memberikan gambaran menyeluruh terkait kondisi keselamatan kerja di Engine Room kapal XYZ, serta mengidentifikasi faktor-faktor risiko yang berkontribusi terhadap kecelakaan kerja (Creswell, 2014). Penelitian ini juga menggunakan pendekatan studi kasus untuk memberikan pemahaman lebih mendalam terkait dengan konteks operasional kapal dan implementasi sistem keselamatan kerja (Yin, 2018).

Metode kuantitatif digunakan untuk menganalisis tingkat risiko dan probabilitas kejadian menggunakan matriks risiko, yang mengacu pada standar Occupational Health and Safety Assessment Series (OHSAS) 18001. Sedangkan metode kualitatif digunakan untuk memahami aspek perilaku, pengalaman kru kapal, dan prosedur keselamatan yang diterapkan melalui teknik wawancara dan observasi partisipatif (Patton, 2002).

Data dalam penelitian ini dikumpulkan melalui beberapa teknik:

1. Observasi Langsung: Peneliti melakukan kunjungan ke Engine Room kapal XYZ untuk mengamati kondisi fisik lingkungan kerja, operasional mesin, dan potensi sumber bahaya. Teknik ini memungkinkan identifikasi bahaya yang tidak selalu terdokumentasi dalam laporan kecelakaan sebelumnya (Bryman, 2015).

2. Wawancara Mendalam: Dilakukan dengan kru kapal, termasuk Chief Engineer dan teknisi, untuk mendapatkan wawasan terkait pengalaman kerja mereka, kepatuhan terhadap prosedur keselamatan, serta insiden kecelakaan yang pernah terjadi. Wawancara dilakukan secara semi-

terstruktur untuk memungkinkan fleksibilitas dalam eksplorasi isu-isu keselamatan yang lebih mendalam (Kvale, 2007).

3. Studi Dokumentasi: Melibatkan analisis laporan kecelakaan kerja, pedoman keselamatan, serta prosedur operasional standar (SOP) yang berlaku di kapal XYZ. Dokumen-dokumen ini dianalisis menggunakan metode content analysis untuk mengidentifikasi pola dan tren dalam insiden kecelakaan sebelumnya (Bowen, 2009).

Teknik triangulasi digunakan untuk memvalidasi data dengan membandingkan hasil dari ketiga metode pengumpulan data tersebut. Dengan menggunakan triangulasi, penelitian ini dapat meningkatkan kredibilitas dan akurasi dalam mengidentifikasi serta memitigasi potensi sumber bahaya di Engine Room kapal XYZ (Denzin, 2012).

2.2 Hazard and Operability Study (HAZOP)

HAZOP merupakan metode analisis risiko semi-kuantitatif yang bertujuan untuk mengidentifikasi penyimpangan dalam sistem operasi normal (Kolluru, 1996). Langkah-langkah dalam metode ini meliputi:

1. Mengidentifikasi tahapan operasi dalam Engine Room.
2. Menentukan potensi penyimpangan dan sumber bahaya.
3. Menganalisis penyebab dan konsekuensi dari penyimpangan.
4. Melakukan perankingan risiko berdasarkan likelihood dan consequences menggunakan Rmatriks risiko (Tabel 1).

5. Menentukan rekomendasi mitigasi terhadap risiko yang ditemukan.

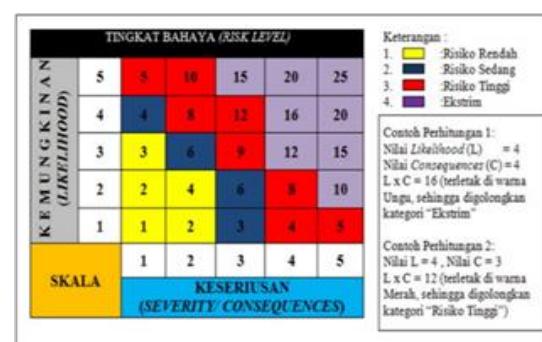
Tabel 1. Likelihood (Kemungkinan Terjadinya Bahaya)

| Level Kategori | Deskripsi | | | | |
|-----------------|---------------------|---------------------------|--|--|--|
| | Kualitatif | Kuantitatif | | | |
| 1 Sangat Jarang | Hampir tidak pernah | Kurang dari 1 kali per 10 | | | |

| | | terjadi | tahun |
|---|---------------|--|-----------------------------|
| 2 | Jarang | Dapat terjadi, tetapi kemungkinan sangat kecil | Terjadi 1 kali per 10 tahun |
| 3 | Mungkin | Pernah terjadi sebelumnya dan bisa terjadi kembali | Terjadi 1 kali per 5 tahun |
| 4 | Sering | Sering terjadi, dapat terjadi dalam satu tahun | Lebih dari 1 kali per tahun |
| 5 | Sangat Sering | Hampir pasti terjadi | Lebih dari 1 kali per bulan |

Tabel 2. Consequences (Dampak dari Bahaya yang Terjadi)

| Level Kategori | Deskripsi |
|-----------------|---|
| 1 Sangat Ringan | Tidak ada cedera atau dampak finansial yang signifikan |
| 2 Ringan | Cedera ringan yang memerlukan pertolongan pertama, kerugian finansial kecil |
| 3 Sedang | Cedera serius tetapi tidak permanen, downtime produksi signifikan |
| 4 Berat | Cedera parah, cacat permanen, atau kerugian finansial besar |
| 5 Fatal | Kematian atau bencana besar yang berdampak pada operasional kapal |



Gambar 1. Risk Matrik

| Tingkat Resiko | Deskripsi |
|----------------|--|
| Ekstrim | Perlu tindakan segera (perhatian dari manajemen) |
| Tinggi | Perlu investigasi proses |
| Sedang | Perlu perencanaan pengendalian |
| Rendah | Perlu aturan, prosedur atau rambu |

Gambar 2. Deskripsi Level of Risk (CCOHS, 2017)

Berdasarkan observasi dan analisis dokumentasi kecelakaan kerja di kapal XYZ, ditemukan 15 sumber bahaya utama yang dapat mengancam keselamatan kerja di Engine Room. Berikut adalah tabel sumber bahaya yang telah diidentifikasi:

Tabel 3. Sumber Bahaya di Engine Room

| No | Sumber Bahaya | Deskripsi | Tingkat Risiko |
|----|--------------------------------|--|----------------|
| 1 | Kebocoran bahan bakar | Potensi kebakaran akibat kebocoran pada Tinggi pipa bahan bakar | Tinggi |
| 2 | Overheating mesin utama | Suhu mesin berlebih yang dapat menyebabkan kegagalan sistem | Tinggi |
| 3 | Korsleting kelistrikan | Hubungan pendek listrik yang dapat memicu kebakaran | Tinggi |
| 4 | Kebocoran oli | Oli bocor dapat menyebabkan permukaan licin dan risiko kebakaran | Sedang |
| 5 | Kegagalan sistem pendingin | Pendinginan mesin yang tidak optimal meningkatkan risiko overheating | Sedang |
| 6 | Paparan suhu tinggi | Lingkungan kerja yang panas dapat menyebabkan kelelahan dan dehidrasi | Sedang |
| 7 | Getaran berlebihan | Getaran mesin yang berlebihan dapat menyebabkan kelelahan pada pekerja | Sedang |
| 8 | Kesalahan prosedur operasional | Kesalahan manusia dalam mengoperasikan mesin berisiko terhadap sistem | Sedang |
| 9 | Kebisingan tinggi | Mesin menghasilkan suara keras yang berisiko merusak pendengaran | Rendah |

| | | | |
|----|---|--|--------|
| 10 | Penempatan alat tidak aman | Peralatan yang tidak terorganisir dapat menyebabkan kecelakaan kerja | Rendah |
| 11 | Paparan asap | Emisi gas berbahaya yang dapat menyebabkan gangguan pernapasan | Rendah |
| 12 | Lantai licin | Tumpahan cairan menyebabkan risiko terpeleset dan cedera | Rendah |
| 13 | Penerangan kurang | Kurangnya pencahayaan menyebabkan visibilitas rendah di ruang mesin | Rendah |
| 14 | Penggunaan alat pelindung diri yang tidak tepat | Tidak menggunakan APD dengan benar meningkatkan risiko cedera | Rendah |
| 15 | Kebocoran udara bertekanan | Tekanan tinggi dapat menyebabkan cedera akibat semburan udara | Rendah |

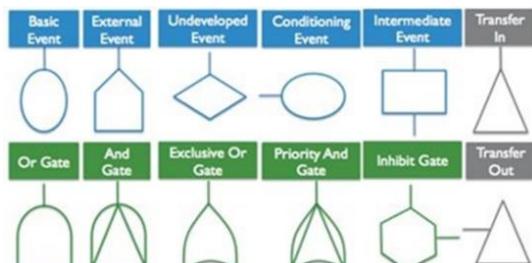
(Sumber: Data Observasi, 2024)

Data ini digunakan sebagai dasar dalam analisis HAZOP dan FTA untuk mengembangkan strategi mitigasi yang efektif.

Fault Tree Analysis (FTA)

FTA adalah metode deduktif yang bertujuan untuk mengidentifikasi akar penyebab dari suatu kegagalan sistem (Vesely et al., 1981). Dalam penelitian ini, FTA digunakan untuk menganalisis dua sumber bahaya dengan tingkat risiko tinggi. Langkah-langkah dalam FTA adalah sebagai berikut:

1. Menentukan kejadian puncak (top event) yang ingin dianalisis.
2. Mengidentifikasi kejadian perantara dan dasar yang menyebabkan top event.
3. Menggunakan simbol gerbang (AND/OR) untuk menghubungkan penyebab-penyebab kejadian puncak (Gambar 3).
4. Menentukan strategi mitigasi berdasarkan analisis akar penyebab.



Gambar 3. Simbol-Simbol FTA
(Sumber: Baxter, 2015)

Pengumpulan dan Pengolahan Data

Metode Pengumpulan Data

Pengumpulan data dalam penelitian ini dilakukan dengan tujuan untuk memperoleh informasi yang komprehensif dan akurat mengenai potensi bahaya di ruang mesin (Engine Room) kapal XYZ. Data yang dikumpulkan terdiri dari data primer dan sekunder yang diperoleh melalui metode observasi langsung, wawancara, dokumentasi, studi literatur, serta penyebaran kuesioner. Observasi langsung dilakukan dengan mengunjungi ruang mesin kapal guna mengidentifikasi sumber bahaya berdasarkan kondisi operasional aktual. Beberapa aspek yang diamati meliputi kondisi lingkungan kerja (suhu, kebisingan, dan ventilasi), penempatan serta pemeliharaan peralatan, kepatuhan kru terhadap prosedur keselamatan kerja, serta potensi bahaya mekanik, elektrik, dan kimiawi. Observasi ini dilakukan secara sistematis dengan menggunakan daftar periksa inspeksi keselamatan yang merujuk pada standar keselamatan maritim yang ditetapkan oleh International Maritime Organization (IMO) serta sistem manajemen keselamatan dan kesehatan kerja OHSAS 18001.

Selain observasi, wawancara semi-terstruktur dilakukan dengan kru kapal yang bertugas di ruang mesin, termasuk Chief Engineer, teknisi mesin, serta petugas keselamatan kapal. Wawancara ini bertujuan untuk menggali informasi mengenai pengalaman kru terkait insiden

kecelakaan atau kejadian nyaris celaka (near miss), prosedur kerja yang diterapkan, kendala yang dihadapi dalam pelaksanaan tugas, serta persepsi mereka terhadap efektivitas langkah-langkah keselamatan yang telah diterapkan. Untuk melengkapi data yang diperoleh, dilakukan analisis terhadap dokumentasi laporan kecelakaan kerja di kapal XYZ selama lima tahun terakhir guna mengidentifikasi pola kejadian serta faktor utama penyebab kecelakaan.

Selain itu, penelitian ini juga mengacu pada sumber literatur dari organisasi maritim internasional seperti IMO, American Bureau of Shipping (ABS), dan Occupational Safety and Health Administration (OSHA) guna memastikan bahwa aspek keselamatan yang dikaji telah sesuai dengan standar yang berlaku secara global.

Lebih lanjut, untuk mengukur persepsi kru terhadap tingkat bahaya di ruang mesin, dilakukan penyebaran kuesioner yang dirancang dengan menggunakan skala Likert 1–5. Kuesioner ini mengukur kemungkinan terjadinya bahaya (likelihood) serta tingkat keparahan akibat yang ditimbulkan (consequences). Data yang diperoleh dari kuesioner dianalisis sebagai dasar dalam penyusunan matriks risiko menggunakan metode Hazard and Operability Study (HAZOP). Dengan menerapkan kombinasi berbagai metode pengumpulan data tersebut, penelitian ini diharapkan dapat menghasilkan analisis yang komprehensif dan objektif mengenai potensi bahaya di ruang mesin kapal serta memberikan rekomendasi strategis dalam meningkatkan keselamatan kerja di lingkungan maritim.

Metode Pengolahan Data

Setelah data dikumpulkan, proses pengolahan data dilakukan secara sistematis guna mengidentifikasi

dan mengelompokkan berbagai jenis bahaya yang terdapat di ruang mesin kapal XYZ. Data yang diperoleh dari hasil observasi dan wawancara diklasifikasikan berdasarkan kategori bahaya, yang mencakup bahaya mekanik (seperti overheating mesin dan getaran berlebihan), bahaya elektrik (seperti korsleting dan kebocoran arus listrik), bahaya kimia (seperti kebocoran bahan bakar dan paparan gas berbahaya), serta bahaya ergonomis (seperti paparan suhu tinggi dan posisi kerja yang tidak ergonomis). Setiap jenis bahaya yang telah teridentifikasi dideskripsikan secara rinci dan dicatat dalam lembar identifikasi bahaya untuk memastikan keakuratan serta memudahkan analisis lebih lanjut.

Setelah proses klasifikasi dilakukan, tahap berikutnya adalah analisis risiko berdasarkan dua faktor utama, yaitu tingkat kemungkinan terjadinya bahaya (likelihood) serta tingkat keparahan dampaknya (consequences). Likelihood menggambarkan probabilitas suatu bahaya terjadi berdasarkan data historis dan kondisi operasional aktual di ruang mesin. Sementara itu, consequences mengacu pada dampak yang ditimbulkan apabila bahaya tersebut terjadi, baik terhadap keselamatan kru, kelangsungan operasional kapal, maupun kondisi lingkungan kerja secara keseluruhan. Analisis ini dilakukan dengan pendekatan yang terstruktur guna memastikan objektivitas dalam penilaian risiko.

Melalui tahapan klasifikasi dan analisis risiko ini, penelitian dapat memperoleh gambaran yang komprehensif mengenai tingkat bahaya yang ada di ruang mesin kapal. Hasil pengolahan data ini selanjutnya dijadikan dasar dalam penyusunan strategi mitigasi serta rekomendasi kebijakan keselamatan untuk mengurangi potensi kecelakaan dan meningkatkan standar keselamatan

kerja di kapal XYZ. Dengan demikian, diharapkan bahwa tindakan pencegahan yang lebih efektif dapat diterapkan untuk meminimalkan risiko yang berpotensi membahayakan keselamatan kru dan operasional kapal. Penilaian ini dilakukan dengan mengacu pada Tabel 4 dan 5 di bawah ini:

Tabel 4. Kriteria Likelihood (Kemungkinan Terjadi)

| Level | Kategori | Deskripsi | Frekuensi Kejadian |
|-------|--------------|---|--------------------|
| 1 | Jarang | Kejadian sangat tidak mungkin <1x dalam 10 tahun terjadi | |
| 2 | Rendah | Kejadian bisa terjadi dalam 1x dalam 10 tahun kondisi ekstrem | |
| 3 | Sedang | Kejadian pernah terjadi sebelumnya 1x dalam 5 tahun | |
| 4 | Tinggi | Kejadian dapat terjadi dengan 1x per tahun mudah | |
| 5 | Hampir Pasti | Kejadian terjadi sering >1x per bulan | |

Tabel 5. Kriteria Consequences (Tingkat Keparahan Dampak)

| Leve | Kategori | Dampak Kesehatan dan Keselamatan | Kerusakan Peralatan | Kerugian Finansia |
|------|------------------|---|----------------------|----------------------|
| 1 | Tidak Signifikan | Tidak ada cedera atau dampak minimal | Tidak ada kerusakan | < \$1.000 |
| 2 | Kecil | Cedera ringan, bisa tetap bekerja | Kerusakan ringan | \$1.000 - \$5.000 |
| 3 | Sedang | Cedera sedang, kehilangan waktu kerja | Kerusakan sedang | \$5.000 - \$50.000 |
| 4 | Berat | Cedera serius, kehilangan anggota tubuh | Kerusakan besar | \$50.000 - \$500.000 |
| 5 | Fatal | Kematian, kecelakaan besar | Kehancuran > n total | > \$500.000 |

Setelah tingkat likelihood dan consequences ditetapkan, analisis risiko dilakukan dengan menyusun Matriks Risiko sebagai alat evaluasi untuk

menentukan tingkat risiko keseluruhan. Matriks ini mengintegrasikan kedua variabel tersebut guna memberikan gambaran kuantitatif terhadap setiap potensi bahaya yang telah teridentifikasi. Dengan menggunakan Matriks Risiko, tingkat keparahan suatu risiko dapat dikategorikan ke dalam berbagai tingkatan, seperti rendah, sedang, tinggi, atau sangat tinggi, sehingga memungkinkan penyusunan prioritas dalam upaya mitigasi dan pengendalian risiko. Pendekatan ini bertujuan untuk memastikan bahwa langkah-langkah pengelolaan risiko yang diterapkan sesuai dengan tingkat ancaman yang dihadapi, sehingga dapat meningkatkan keselamatan dan keandalan operasional di ruang mesin kapal XYZ.

Tabel 6. Matriks Risiko

| Consequences \ Likelihood | 1 (Jarang) | 2 (Rendah) | 3 (Sedang) | 4 (Tinggi) | 5 (Hampir Pasti) |
|---------------------------|------------|------------|------------|------------|------------------|
| 1 Tidak Signifikan | Rendah | Rendah | Rendah | Rendah | Sedang |
| 2 Kecil | Rendah | Rendah | Sedang | Sedang | Tinggi |
| 3 Sedang | Rendah | Sedang | Sedang | Tinggi | Tinggi |
| 4 Berat | Sedang | Sedang | Tinggi | Tinggi | Ekstrim |
| 5 Fatal | Sedang | Tinggi | Tinggi | Ekstrim | Ekstrim |

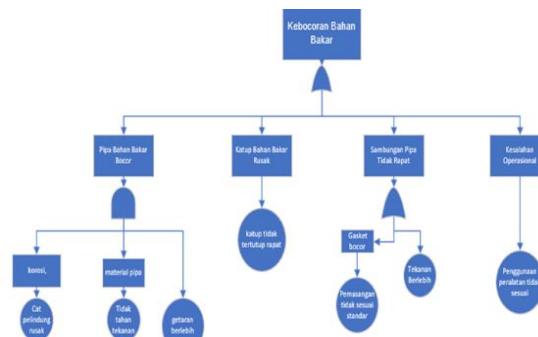
PEMBAHASAN

Berdasarkan hasil analisis Hazard and Operability Study (HAZOP), teridentifikasi sebanyak 15 sumber bahaya di ruang mesin (Engine Room) kapal XYZ, yang dikategorikan berdasarkan tingkat risiko. Tiga sumber bahaya masuk dalam kategori risiko tinggi, yaitu kebocoran bahan bakar, overheating pada mesin utama, dan korsleting kelistrikan, yang berpotensi menyebabkan dampak serius terhadap keselamatan kru serta operasional kapal. Lima sumber bahaya lainnya diklasifikasikan sebagai risiko sedang,

mencakup kebocoran oli, kegagalan sistem pendingin, paparan suhu tinggi, getaran berlebihan, dan kesalahan prosedur operasional, yang dapat mengganggu efisiensi kerja serta meningkatkan kemungkinan terjadinya kecelakaan kerja. Sementara itu, tujuh sumber bahaya dengan tingkat risiko rendah, seperti kebisingan tinggi, penempatan alat yang tidak aman, paparan asap, lantai licin, penerangan yang kurang memadai, penggunaan alat pelindung diri yang tidak sesuai, serta kebocoran udara bertekanan, tetap perlu mendapatkan perhatian untuk mencegah akumulasi risiko yang dapat mempengaruhi keselamatan kerja secara keseluruhan.

Sebagai langkah lanjutan, tiga sumber bahaya dengan tingkat risiko tinggi dianalisis lebih mendalam menggunakan metode Fault Tree Analysis (FTA). Metode ini digunakan untuk mengidentifikasi faktor-faktor penyebab utama dari setiap bahaya serta mengevaluasi hubungan kausal antara berbagai elemen yang berkontribusi terhadap terjadinya risiko tersebut. Dengan menerapkan FTA, dapat diketahui akar permasalahan yang menjadi penyebab utama kecelakaan atau kegagalan sistem, sehingga memungkinkan penyusunan strategi mitigasi yang lebih efektif dan berbasis pada analisis mendalam terhadap faktor risiko yang telah teridentifikasi.

1. FTA Kebocoran Bahan Bakar



Gambar 4. FTA Kebocoran Bahan Bakar

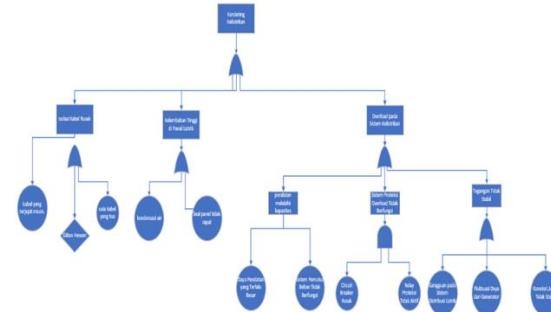
Berdasarkan analisis Fault Tree Analysis (FTA) yang disajikan pada Gambar 4, kebocoran bahan bakar di ruang mesin kapal XYZ diidentifikasi sebagai salah satu sumber bahaya utama. Kebocoran ini berpotensi menimbulkan risiko tinggi terhadap keselamatan kru serta operasional kapal, terutama karena bahan bakar merupakan zat yang mudah terbakar dan dapat memicu kebakaran atau ledakan jika tidak ditangani dengan baik. Dari hasil analisis, ditemukan beberapa faktor utama yang menjadi penyebab kebocoran bahan bakar, yang secara umum dapat dikategorikan ke dalam kesalahan operasional, ketidaksempurnaan sambungan pipa, kerusakan pada katup bahan bakar, serta kebocoran pada pipa bahan bakar. Kesalahan operasional menjadi salah satu faktor utama yang berkontribusi terhadap kebocoran bahan bakar. Penggunaan peralatan yang tidak sesuai dengan standar operasional dapat menyebabkan komponen sistem bahan bakar tidak berfungsi dengan optimal, sehingga meningkatkan risiko kebocoran. Selain itu, sambungan pipa yang tidak rapat juga menjadi penyebab signifikan. Kebocoran pada gasket, baik akibat tekanan berlebih maupun kesalahan dalam pemasangan, dapat mengurangi efektivitas penyegelan pada sambungan pipa bahan bakar. Apabila gasket mengalami kegagalan, maka bahan bakar dapat merembes keluar dan berpotensi menyebabkan kebocoran yang serius.

Faktor lain yang turut berkontribusi adalah kerusakan pada katup bahan bakar. Katup yang tidak tertutup rapat dapat menyebabkan kebocoran bahan bakar yang tidak terkendali. Salah satu penyebab utama dari kondisi ini adalah getaran berlebih di ruang mesin, yang dapat mengendurkan atau bahkan merusak katup seiring waktu. Selain itu, kebocoran juga dapat terjadi akibat

kerusakan pada pipa bahan bakar. Material pipa yang tidak tahan terhadap tekanan tinggi, serta adanya korosi atau kegagalan pada gas pelindung, dapat menyebabkan melemahnya struktur pipa dan meningkatkan risiko kebocoran.

Dengan memahami berbagai faktor penyebab kebocoran bahan bakar yang telah diidentifikasi melalui FTA, langkah-langkah mitigasi yang lebih efektif dapat dirancang untuk mencegah terjadinya kebocoran di masa mendatang. Penerapan standar operasional yang ketat, pemeliharaan rutin terhadap sistem bahan bakar, serta penggunaan material berkualitas tinggi menjadi aspek penting dalam upaya meningkatkan keselamatan di ruang mesin kapal.

2. FTA untuk Korsleting Kelistrikan



Gambar 5. Korsleting Kelistrikan

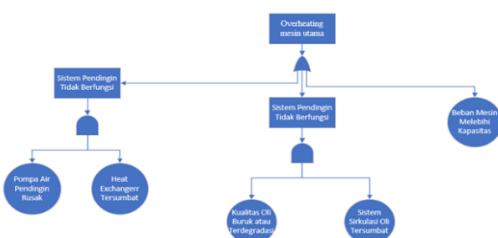
Berdasarkan Fault Tree Analysis (FTA) pada Gambar 5, korsleting listrik di ruang mesin kapal XYZ diidentifikasi sebagai ancaman utama terhadap keselamatan operasional. Fenomena ini berisiko menimbulkan kebakaran, kerusakan peralatan, dan gangguan sistem kelistrikan, sehingga diperlukan analisis terhadap faktor penyebabnya. Tiga faktor utama yang berkontribusi terhadap korsleting adalah kelembaban tinggi, overload sistem kelistrikan, dan ketidakstabilan tegangan.

Kelembaban tinggi mempercepat degradasi isolasi kabel, terutama jika kabel telah menua atau

mengalami kerusakan. Kondensasi air dan gas korosif di ruang mesin semakin meningkatkan risiko hubungan pendek. Overload terjadi ketika beban listrik melebihi kapasitas sistem, yang dapat menyebabkan kegagalan proteksi jika circuit breaker atau relay tidak berfungsi. Sementara itu, ketidakstabilan tegangan akibat fluktuasi daya dari generator atau distribusi listrik yang buruk dapat merusak isolasi dan memperbesar risiko korsleting.

Pemahaman terhadap penyebab korsleting ini memungkinkan penerapan langkah pencegahan yang lebih efektif, seperti inspeksi rutin isolasi kabel, peningkatan sistem proteksi listrik, dan pengelolaan beban yang sesuai kapasitas sistem. Dengan demikian, keselamatan serta efisiensi operasional kapal dapat lebih terjaga.

3. FTA Overheating Mesin Utama



Gambar 6. Overheating Mesin Utama

Berdasarkan Fault Tree Analysis (FTA) pada Gambar 5, overheating pada mesin utama diidentifikasi sebagai ancaman utama terhadap kinerja operasional kapal. Overheating terjadi akibat suhu mesin yang melebihi batas aman, yang dapat menyebabkan penurunan efisiensi, kerusakan komponen, hingga kegagalan mesin. Dua faktor utama penyebab overheating adalah kegagalan sistem pendingin dan beban mesin yang berlebihan.

Kegagalan sistem pendingin disebabkan oleh kerusakan pompa air, penyumbatan pada heat exchanger, serta kualitas oli yang buruk atau

terdegradasi, yang menghambat proses pendinginan. Selain itu, pengoperasian mesin melebihi kapasitas yang direkomendasikan meningkatkan produksi panas yang tidak dapat ditangani oleh sistem pendingin, sehingga mempercepat overheating.

Untuk mencegah overheating, diperlukan pemeliharaan sistem pendingin yang rutin, inspeksi berkala terhadap kualitas oli, serta pengoperasian mesin sesuai kapasitas. Langkah-langkah ini dapat meningkatkan keselamatan dan keandalan operasional kapal serta meminimalkan risiko kerusakan akibat overheating.

KESIMPULAN DAN SARAN

Penelitian ini menggunakan metode HAZOP dan FTA untuk mengidentifikasi 15 sumber bahaya di Engine Room kapal XYZ, dengan tiga di antaranya dikategorikan sebagai risiko tinggi: kebocoran bahan bakar, korsleting kelistrikan, dan overheating mesin utama. Kebocoran bahan bakar berisiko memicu kebakaran akibat korosi pipa dan kerusakan katup. Korsleting kelistrikan dapat terjadi akibat isolasi kabel yang rusak dan kelembaban tinggi, sedangkan overheating mesin utama disebabkan oleh kegagalan sistem pendingin dan beban mesin yang berlebihan.

Analisis FTA mengungkap akar penyebab bahaya ini, termasuk kurangnya inspeksi rutin, kegagalan sistem proteksi, serta material dan desain yang kurang optimal. Oleh karena itu, strategi mitigasi yang direkomendasikan mencakup inspeksi dan perawatan rutin, penggunaan material tahan korosi, pemasangan sistem proteksi listrik yang lebih ketat, serta penerapan alarm dan shutdown otomatis. Selain itu, pelatihan keselamatan bagi kru kapal menjadi

langkah penting untuk meningkatkan kesiapan menghadapi potensi bahaya di Engine Room.

DAFTAR PUSTAKA

- Asfahl, C.R. (1999). *Industrial Safety and Health Management*, Fourth Edition. New Jersey: Prentice Hall, Inc.
- Baxter, R. (2015). *Operational Excellence Handbook*. United States: Morrisville.
- Cantika, N. A., Fathimahayati, L. D., & Pawitra, T. A. (2022). Penilaian Risiko K3 pada Pengaliran BBM ke Tangki Timbun dengan Menggunakan Metode HAZOP dan FTA. *Jurnal INTECH Teknik Industri Universitas Serang Raya*, 8(1), 67–74.
<https://doi.org/10.30656/INTECH.V8I1.4640>
- Daryanto, D. (2024). Penerapan Metode Failure Mode And Effect Analysis (FMEA) Pada Industri Pelayaran Dalam Mengidentifikasi Potensi Kegagalan Komponen Mesin Induk (Studi Kasus di Kapal XYZ). *Zona Laut Jurnal Inovasi Sains Dan Teknologi Kelautan*, 256-265.
- Daryanto, D., & Basuki, M. (2023). Mitigasi Risiko Kegagalan Fungsi Peralatan Mesin Fresh Water Generator Dengan Pendekatan Failure Mode And Effect Analysis (FMEA) di Kapal Niaga XYZ. *JURNAL SAINS DAN TEKNOLOGI MARITIM*, 24(1), 1-10.
- Fajar Gumelar O, Sutanto H, Syafril Sunusi M, Komang Hedi Pramana Adiputri. (2021). Optimalisasi Kompetensi Awak Kapal Dalam Penerapan Keselamatan Kerja Di Kapal Latih Frans Kaisiepo. <http://ejournal.poltekpel-sorong.ac.id/index.php/jpb/article/view/24>
- Gürgen S, Yazır D, Konur O. (2023). Fuzzy fault tree analysis for loss of ship steering ability: Ocean Engineering.
- Hariastuti, N. L. P., & Syahputra, W. I. (2025). Analisa risiko kecelakaan kerja dengan metode FMEA (Failure Mode And Analysis) Dan FTA (Fault Tree Analysis) (Studi kasus: PT Emitraco Transportasi Mandiri). *Jurnal Teknik Industri Terintegrasi (JUTIN)*, 8(1), 796-806.
- International Maritime Organization (IMO). (2020). *Maritime Safety Reports*. London: IMO Publications.
- Kolluru, R.V. (1996). *Risk Assessment and Management Handbook for Environmental, Health, and Safety Professionals*. New York: McGraw-Hill.
- Marsukik, A. R., Saleh, A., & Nur, T. (2024). IMPLEMENTASI METODE HIRADC DAN JSA SEBAGAI UPAYA PENCEGAHAN KECELAKAAN KERJA PADA BAGIAN PEMURNIAN BIJIH NIKEL DI PT. SMI. JAPSI: *Jurnal Aplikasi dan Pengembangan Sistem Industri*, 2(3), 183-190.
- Rahmadani, F. (2025). *Assesment dan Evaluasi Keselamatan Kesehatan Kerja (K3) di PT INKA (Persero) Berbasis Hazard and Operability Studies*. (Doctoral dissertation, Institut Teknologi Sepuluh Nopember).
- Ramisdar, I. O. (2019). Analisis Risiko Kecelakaan Kerja Pada Proses Bongkar Muat Dengan Metode Job Safety Analysis (JSA) dan Hazard And Operability Study (HAZOPS) di PT. Pelindo IV (Persero) Terminal Peti kemas

- Makassar. Fakultas Kedokteran Dan Ilmu Kesehatan Universitas Islam Negeri (Uin) Alauddin Makassar.
- Sondakh, B. V., Opit, P. F., & Rottie, R. F. I. (2018). Analisis Kecelakaan Kerja Menggunakan Metode Hazard And Operability (HAZOP) Dan Fault Tree Analysis (FTA). (Doctoral Dissertation, Universitas Katolik De La Salle).
- Vesely, W.E., et al. (1981). Fault Tree Handbook. Washington, DC: U.S. Nuclear Regulatory Commission.