

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Penelitian Sebelumnya

Penelitian mengenai analisis risiko pada operasional kapal tanker, khususnya yang berkaitan dengan proses *cargo survey* dan *tank cleaning*, telah banyak dilakukan oleh para peneliti sebelumnya dengan berbagai pendekatan metodologis. (Sezer et al., 2023) melakukan kajian mendalam terhadap penilaian risiko terintegrasi pada proses *cargo manifold* di kapal tanker dengan menggunakan metode *Failure Modes, Effects, and Criticality Analysis* (FMECA) yang dikombinasikan dengan pendekatan *Dempster-Shafer Theory* dan *Rule-Based Bayesian Network*. Penelitian tersebut berhasil mengidentifikasi dan mengkuantifikasi berbagai mode kegagalan yang berpotensi menyebabkan keterlambatan dalam operasi kargo di terminal, serta memberikan kerangka sistematis untuk memprioritaskan risiko berdasarkan tingkat kekritisannya. Meskipun demikian, penelitian ini belum menjangkau analisis mendalam terhadap kualitas kargo (*cargo condition*) di tingkat survei kapal maupun sistem tangki, sehingga masih terdapat celah penelitian yang perlu diisi, terutama terkait kondisi *out of specifications* yang terjadi pada saat *cargo survey* berlangsung.

Pada tahun yang sama, (Tonia et al., 2024a) melakukan penelitian tentang optimasi proses *tank cleaning* pada kapal MT Bauhinia untuk kebutuhan *cargo change*. Penelitian tersebut menguraikan secara rinci tahapan prosedur pembersihan tangki yang efektif guna memastikan tidak terjadi kontaminasi silang antara muatan lama dan muatan baru. Namun demikian, penelitian ini tidak mengaitkan temuan optimasinya dengan analisis risiko terjadinya *out of specification* secara sistematis, dan belum mengintegrasikan metode analitik seperti FMEA untuk mengidentifikasi *failure mode* dalam proses *tank cleaning* yang secara langsung dapat memicu penyimpangan kualitas muatan. Ketiadaan analisis prioritas risiko berupa *Risk Priority Number* (RPN) dalam penelitian ini menjadi celah yang signifikan dalam konteks pengelolaan keamanan muatan cair di atas kapal tanker.

Lebih lanjut, (Akyuz, 2017) mengembangkan pendekatan *Fuzzy FMEA* untuk melakukan analisis risiko secara ekstensif dalam rekayasa transportasi maritim. Penelitian ini memberikan kontribusi metodologis yang penting dengan memperkenalkan unsur *fuzzy logic* ke dalam struktur FMEA konvensional, sehingga ketidakpastian dalam penilaian risiko dapat diakomodasi secara lebih realistis. Namun, kajian tersebut bersifat umum dan mencakup industri maritim secara luas tanpa menyentuh kasus spesifik seperti analisis *out of specifications* pada *cargo survey* di kapal tanker pengangkut muatan kimia cair. Dengan demikian, terdapat ruang yang terbuka untuk mengembangkan penerapan FMEA ke dalam konteks yang lebih sempit dan praktis, yaitu analisis kualitas kargo dalam tangki kapal tanker tertentu, sebagaimana yang menjadi fokus utama penelitian ini.

Berdasarkan tinjauan terhadap penelitian-penelitian terdahulu tersebut, dapat disimpulkan bahwa metode FMEA telah terbukti relevan dan efektif sebagai alat analisis risiko dalam operasional maritim. Namun, belum ada penelitian yang secara spesifik mengintegrasikan FMEA ke dalam analisis *out of specifications* pada proses *cargo survey* muatan kimia cair, khususnya *caustic soda*, di kapal tanker. Penelitian ini hadir untuk mengisi celah tersebut dengan mengaplikasikan FMEA secara langsung pada kasus yang terjadi di MT. Erawan 12, guna mengidentifikasi mode kegagalan kritis dan merancang rekomendasi perbaikan yang berbasis data dan terstruktur.

## 2.2 Landasan teori

### 2.2.1 Kapal Tanker



Gambar 2. 1 Kapal MT. Erawan 12

(Sumber: <https://www.vesselfinder.com/vessels/details/9301366>)

Kapal merupakan alat transportasi laut yang memiliki berbagai tipe dan fungsi sesuai dengan kebutuhan operasionalnya. Salah satu tipe kapal yang memiliki peranan penting dalam industri pelayaran dan distribusi muatan cair adalah kapal tanker. Kapal tanker dirancang secara khusus untuk mengangkut berbagai jenis cairan dalam jumlah besar, seperti minyak mentah (*crude oil*), bahan bakar minyak (BBM), bahan kimia cair, dan produk olahan minyak lainnya (Nik Hariry & Ramlan, 2023).

Keistimewaan dari kapal tanker terletak pada struktur ruang muat (*cargo tank*) yang dibuat sedemikian rupa untuk menjamin keselamatan muatan, awak kapal, dan lingkungan. Desainnya umumnya dilengkapi dengan double-hull, yakni dinding ganda yang memberikan perlindungan ganda terhadap kebocoran dan kontaminasi (Rofidayanti et al., 2025). Selain itu, tangki pada kapal tanker juga dilengkapi sistem ventilasi, pipa pengisian dan pengeluaran, inert gas sistem, dan sistem pemanas (*heating coil*) bila diperlukan (Magazinović, 2019).

Pentingnya desain dan konstruksi tangki kapal tanker ini tidak hanya untuk menampung muatan, tetapi juga untuk menjaga integritas kualitas muatan cair yang sensitif terhadap kontaminasi dan perubahan kondisi fisik atau kimia (Ozan et al., 2026). Oleh karena itu, sistem manajemen dan pengawasan yang ketat dibutuhkan, termasuk dalam proses pembersihan (*tank cleaning*), pemeliharaan tangki, dan inspeksi secara rutin.

### 2.2.2 Cargo Survey

*Cargo survey* adalah kegiatan pemeriksaan teknis terhadap kondisi muatan kapal, baik dari segi kuantitas maupun kualitas, yang dilakukan sebelum, selama, dan setelah proses pengangkutan. Kegiatan ini bertujuan untuk memastikan bahwa muatan yang diangkut sesuai dengan perjanjian pengangkutan, serta tidak mengalami kerusakan atau penurunan mutu selama proses distribusi (ARSLAN, 2021).

Dalam praktiknya, surveyor bertanggung jawab untuk melakukan berbagai tahapan inspeksi, seperti:

1. Pemeriksaan visual terhadap tangki dan peralatan transfer muatan.

2. Pengambilan sampel muatan (*sampling*) untuk diuji laboratorium.
3. Pemeriksaan dokumen (*Bill of Lading, Certificate of Quality*).
4. Pengukuran kuantitas (*ullage, temperature, density*).

*Cargo survey* pada kapal tanker memiliki tingkat kerumitan yang lebih tinggi dibandingkan dengan kapal kargo kering karena karakteristik muatan cair yang sangat mudah tercemar oleh sisa muatan sebelumnya, kelembapan, udara, atau bahan kimia lain. Oleh karena itu, proses ini sangat bergantung pada profesionalitas dan ketelitian seorang surveyor dalam melakukan evaluasi (Alfathi et al, 2025).

### 2.2.3 Tank Inspection



Gambar 2. 2 Tank Inspection

(Sumber: <https://insideunmannedsystems.com/cyberhawk-uses-roav-for-first-maersk-oil-tank-inspection/>)

Inspeksi tangki (*tank inspection*) adalah proses peninjauan menyeluruh terhadap ruang muat kapal tanker sebelum dilakukan pemuatan. Kegiatan ini meliputi pengecekan kondisi fisik dan kebersihan tangki untuk memastikan tidak ada sisa residu dari muatan sebelumnya, korosi, atau kontaminan lainnya yang dapat memengaruhi kualitas muatan berikutnya (Alfathi et al, 2025).

Menurut Chemical Tanker Manual (2021), Inspeksi tangki dilakukan dalam beberapa tahap:

1. Visual inspection untuk melihat langsung permukaan tangki, sistem pipa, dan pompa.
2. Wall wash test yang bertujuan menguji apakah dinding tangki sudah benar-benar bersih.
3. Gas freeing test untuk memastikan tidak ada gas berbahaya atau sisa muatan yang mudah terbakar.
4. Dryness test untuk memastikan tangki dalam kondisi kering dan siap diisi muatan baru.

Untuk itu, kualitas hasil inspeksi sangat menentukan keberhasilan pengangkutan muatan cair, terutama dalam mencegah *out of specifications*. Oleh sebab itu, inspeksi tangki sering

kali disertai dengan dokumentasi lengkap yang menjadi dasar dalam pengambilan keputusan oleh pihak *charterer* dan *shipper*.

#### 2.2.4 *Out of Specifications*

*Out of specifications (Out of Specification)* adalah kondisi di mana hasil pemeriksaan terhadap muatan menunjukkan ketidaksesuaian terhadap parameter mutu yang telah disepakati sebelumnya, baik dari sisi fisik, kimia, maupun volume. Parameter tersebut bisa meliputi:

1. Warna dan bau muatan,
2. *Densitas* ( $\text{kg/m}^3$ ),
3. Titik nyala (*flash point*),
4. *Viskositas*, dan lain-lain.

Kejadian *out of specifications* dapat menimbulkan berbagai dampak serius, seperti:

1. Penolakan muatan oleh penerima (*receiver*),
2. Klaim asuransi atau penalti kontrak,
3. Kerugian finansial,
4. Risiko keselamatan kapal dan lingkungan.

Penyebab utama dari *out of specifications* di kapal tanker antara lain adalah proses tank cleaning yang tidak tuntas, kontaminasi silang antar muatan, kerusakan peralatan, kesalahan prosedur pemuatan, hingga kesalahan dalam pengambilan sampel. Oleh karena itu, dibutuhkan metode identifikasi risiko yang sistematis, seperti FMEA, untuk menganalisis penyebab potensialnya.

#### 2.2.5 *Tank Cleaning*



Gambar 2. 3 Tank Cleaning

(Sumber: <http://www.pipelinepsi.com/tank-cleaning/>)

*Tank Cleaning* adalah proses pembersihan internal tangki penyimpanan atau tangki kargo, baik di industri manufaktur, pengolahan kimia, maupun sektor maritim seperti kapal tanker. Proses ini bertujuan untuk menghilangkan residu, kontaminan, atau sisa produk dari dinding dan permukaan dalam tangki guna mencegah pencemaran silang, menjaga kualitas produk berikutnya, serta memenuhi standar keselamatan dan lingkungan (Tonía et al., 2024b).

Pembersihan tangki sangat krusial terutama pada industri yang menangani bahan kimia berbahaya, produk minyak, maupun industri makanan dan minuman. Kegagalan dalam membersihkan tangki dapat menyebabkan kontaminasi produk, kerusakan alat, bahaya ledakan, serta pelanggaran regulasi internasional (Tonia et al., 2024b).

Menurut Yunus Emre Senol, (2021), metode *tank cleaning* digunakan sesuai dengan jenis tangki, produk sebelumnya, dan standar industri, antara lain:

1. *Manual Cleaning*

Pembersihan dilakukan oleh tenaga manusia dengan peralatan sederhana seperti sikat, pel, atau semprotan tekanan rendah. Metode ini banyak digunakan untuk tangki kecil atau tangki dengan akses mudah, namun memiliki risiko keselamatan tinggi

2. *Automated/CIP (Clean-in-Place)*

Sistem otomatis tanpa membuka tangki, menggunakan semprotan tekanan tinggi, *nozzle* berputar, atau robot pembersih. Sangat umum pada industri makanan, farmasi, dan kimia untuk efisiensi dan konsistensi kebersihan

3. *Hydroblasting*

Menggunakan air bertekanan sangat tinggi untuk membersihkan residu membandel, umum pada tangki bahan kimia berat atau minyak mentah.

4. *Chemical Cleaning*

Menggunakan larutan pembersih berbasis kimia seperti deterjen, alkali, atau pelarut untuk melarutkan residu spesifik seperti lemak, asam, atau kerak.

5. *Gas-freeing dan Inerting*

Sebelum pembersihan, tangki diisi dengan udara segar atau *gas inert* (seperti nitrogen) untuk menghindari risiko ledakan, terutama pada tangki minyak atau bahan kimia mudah terbakar

### 2.2.6 Metode FMEA (Failure Mode and Effect Analysis)

FMEA (*Failure Mode and Effect Analysis*) merupakan metode yang digunakan untuk mengidentifikasi, mengevaluasi, dan memprioritaskan potensi kegagalan dalam suatu sistem atau proses berdasarkan tingkat risiko yang ditimbulkan. FMEA memberikan pendekatan sistematis dalam mengantisipasi permasalahan sejak dini dan mencegah dampak yang lebih besar.

Setiap potensi kegagalan (*failure mode*) dinilai berdasarkan:

1. Severity (S): tingkat keparahan akibat kegagalan,
2. Occurrence (O): kemungkinan terjadinya kegagalan,
3. Detection (D): kemampuan sistem dalam mendeteksi kegagalan tersebut.

Ketiga nilai ini dikalikan untuk menghasilkan *Risk Priority Number* (RPN), yaitu skor risiko yang menjadi dasar dalam menentukan prioritas tindakan korektif. Semakin tinggi RPN, semakin besar risiko yang harus segera ditangani (Puspitasari et al., 2017).

Dalam konteks kapal tanker, FMEA dapat digunakan untuk menganalisis risiko pada sistem pemuatan, kebersihan tangki, kondisi peralatan transfer muatan, hingga prosedur *cargo survey*. Penerapan FMEA membantu meningkatkan keandalan operasional serta meminimalkan kejadian *out of specifications*.

### 2.2.7 Integrasi Cargo Survey dan FMEA

Penggabungan antara kegiatan cargo survey dan metode FMEA memberikan nilai tambah yang signifikan dalam pengelolaan risiko muatan cair di kapal tanker. Cargo survey yang bersifat deskriptif dan observatif akan semakin efektif jika didukung oleh analisis kuantitatif dari FMEA.

Dengan pendekatan ini, surveyor dapat:

1. Mengidentifikasi titik kritis dalam rantai prosedur pemuatan,
2. Menganalisis penyebab utama dari potensi kegagalan,
3. Menyusun strategi mitigasi risiko secara terstruktur,
4. Meningkatkan kepercayaan pelanggan dan charterer atas integritas proses pengangkutan.

Integrasi ini juga memperkuat pengambilan keputusan berbasis data, serta mempercepat proses investigasi ketika terjadi insiden out of specifications. Dalam dunia pelayaran modern, penggunaan pendekatan terintegrasi seperti ini sejalan dengan standar ISO dan sistem manajemen mutu internasional di bidang transportasi laut.