

## BAB II

### LANDASAN TEORI

#### 2.1 Landasan Teori

##### 2.1.1 Kapal Ferry



Gambar 2. 1 Kapal Ferry Virgo Transport 8

Kapal Ferry atau kapal penyeberangan merupakan sebuah alat transportasi laut jarak dekat. Kapal Ferry memiliki peranan penting dalam sistem pengangkutan bagi banyak kota pesisir pantai, membuat transit langsung antar kedua tujuan dengan biaya lebih kecil dibandingkan jembatan atau terowongan. Kapal ferry terutama digunakan untuk sarana penyeberangan, termasuk menyeberangkan kendaraan darat. Sehingga kapal ro-ro ferry dapat diartikan sebagai kapal penyeberangan yang dapat mengangkut penumpang jalan kaki dan bermotor, serta dapat mengangkut kendaraan seperti mobil, truck dan bus yang dapat naik ke atas kapal dengan mesin penggeraknya sendiri.

##### 2.1.2 *Maintenance*

Menurut (Chambers et al., 2010) dalam buku yang berjudul “Operations Management”, yaitu Perawatan mencakup semua

kegiatan yang bertujuan menjaga peralatan sistem agar tetap berfungsi dengan baik. Pendapat ini menekankan bahwa perawatan melibatkan upaya untuk memastikan sistem peralatan beroperasi secara optimal. Demikian yang juga dikemukakan oleh (Chambers et al., 2010) dalam buku “Operations Management Sixth Edition” menyatakan bahwa pemeliharaan adalah cara organisasi menghindari kegagalan dengan merawat fasilitas fisik mereka, yang artinya, perusahaan berusaha mencegah kerusakan melalui perawatan terhadap peralatan fisik. Perawatan merupakan serangkaian aktivitas yang dilakukan agar sistem dan peralatan tetap berada dalam kondisi kerja yang optimal. Tujuan utama dari perawatan adalah untuk mencegah terjadinya kerusakan atau kegagalan fungsi yang dapat menghambat operasi sistem secara keseluruhan.

Menurut (Prof. Dr. Ir. Koesmawan A. Sobandi, 2014:126) di buku yang berjudul Manajemen Operasi (Bagian kedua) dikemukakan bahwa pengertian Preventive dan Corrective Maintenance, adalah sebagai berikut :

A. Pemeliharaan Perbaikan (Corrective Maintenance)

Merupakan kegiatan perawatan yang dilakukan setelah terjadinya kerusakan pada suatu peralatan. Dalam prosesnya, kerusakan yang terjadi dianalisis untuk mengetahui penyebab utama agar kejadian serupa dapat dicegah dimasa mendatang. Tujuan dari perawatan ini adalah meminimalkan terulangnya kerusakan yang sama serta mengembalikan fungsi peralatan ke kondisi normal.

B. Pemeliharaan Berkala (Preventive Maintenance)

Merupakan kegiatan pemeliharaan pencegahan

untuk mencegah agar tidak adanya kerusakan saat pemakaian alat serta kualitas mutu alat disetiap proses dengan cara pengecekan berkala dan juga menjaga keoptimalan daya suatu alat agar mampu bekerja dengan baik dan juga menjaga ketersediaan alat. Jenis Preventive Maintenance terdiri dari 2 (dua) jenis, yaitu:

1. Perawatan Periodik (Periodic Maintenance)

Kegiatan pemeliharaan yang dilakukan secara rutin dan terjadwal untuk menjaga kondisi mesin agar tetap berfungsi dengan baik. Tujuan kegiatan ini ialah mencegah terjadinya kerusakan mendadak yang dapat menghambat kelancaran proses operasional, khususnya dilingkungan kerja seperti pelabuhan. Jadwal pelaksanaan perawatan berkala dapat dilakukan dalam rentang waktu harian, mingguan, bulanan, hingga tahunan tergantung tingkat penggunaan dan kebutuhan peralatan.

2. Perawatan Prediktif (Predictive Maintenance)

Kegiatan pemeliharaan yang dilakukan untuk mencegah kegagalan sebelum terjadi kerusakan total. Tujuan kegiatan ini adalah memperkirakan waktu terjadinya kerusakan pada komponen mesin tertentu melalui analisis kecenderungan (Trend Analysis) terhadap perilaku atau kondisi operasi peralatan. Dengan demikian, tindakan perawatan dilakukan hanya ketika indikator kondisi menunjukkan potensi kerusakan, sehingga dapat meningkatkan efisiensi dan

mengurangi waktu henti operasi secara tidak terencana.

### 2.1.3 Sistem Oily Water Separator



Gambar 2. 2 Oily Water Separator (Dokumentasi Pribadi)

Oily Water Separator (OWS) merupakan perangkat penting yang terdapat pada setiap kapal yang digunakan untuk memisahkan campuran antara minyak dan air (Bilge Water) menjadi dua komponen terpisah sebelum limbah tersebut dibuang ke lingkungan Menurut ketentuan Marpol 73/78 Annex 1, setiap kapal wajib memastikan air pembuangan dari sistem OWS mempunyai kandungan minyak tidak melebihi batas 15 part per million (ppm) agar tidak mencemari lingkungan laut (Sarifuddin, 2024).

Pengoptimalan Kinerja pada sistem Oily Water Separator (OWS) sangat penting untuk menjaga efektivitas sistem guna memisahkan air dan minyak. Oleh karena itu, perlu dilakukan kegiatan pemeliharaan rutin dan pemahaman yang baik dari crew

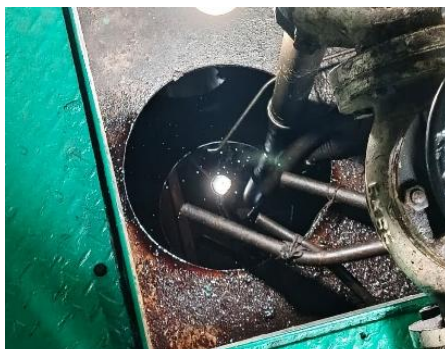
kapal menjadi faktor utama agar sistem ows berfungsi dengan optimal. Minimnya pemeliharaan dan pengetahuan teknis dapat mengakibatkan penurunan pada kinerja alat dan berpotensi menimbulkan pencemaran lingkungan. Sebagaimana sesuai ketentuan yang ditetapkan Marpol 73/78 Annex 1 Reg. 9 menyatakan bahwa pembuangan minyak atau campuran minyak diperbolehkan, apabila:

1. Tidak termasuk di dalam (Special Area) seperti Laut Mediteranean, laut baltic, laut hitam, laut merah dan daerah teluk
2. Lokasi pembuangan tidak lebih dan sama dengan 50 mil laut dari daratan
3. Pembuangan dilaksanakan selagi kapal berlayar
4. Pembuangan tidak lebih dri 30 liter/nautical mile
5. Pembuangan tidak boleh besar dari 1:30.000 dari jumlah muatan
6. Kapal Tanker wajib memiliki Oil Discharge Monitoring (ODM) atau ODM dengan kontrol sistemnya.

#### 2.1.4 Komponen Oily Water Separator

Menurut (Sarifuddin, 2024) “Permesinan Bantu”, berikut ini merupakan komponen-komponen terdapat pada Oily Water Sparator, yaitu :

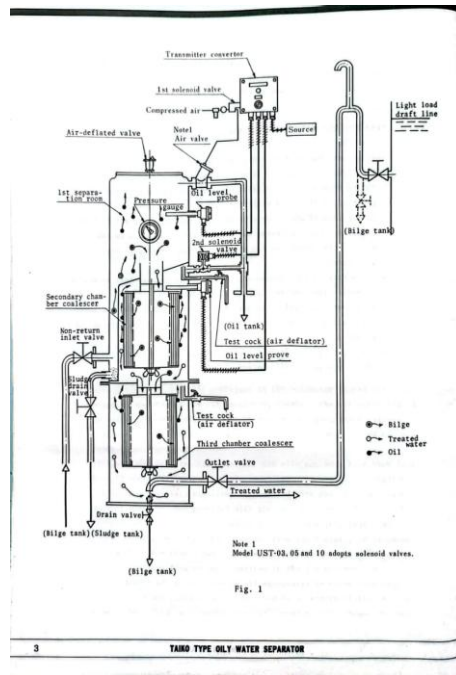
## 1. Bilga



Gambar 2. 3 Bilge Well

Bilge well merupakan tempat penampungan sementara bilge water yang berasal dari ruang mesin sebelum diolah di Oily Water Separator (OWS). Keberadaan bilge well berpengaruh langsung terhadap kinerja OWS, karena kualitas dan kandungan minyak pada bilge water yang masuk dari bilge well akan menentukan efektivitas proses pemisahan minyak dan air pada OWS. Selain itu, pemisahan minyak dan air dari bilge water merupakan bagian esensial dari sistem perlindungan lingkungan di kapal, sebagaimana dijelaskan dalam berbagai literatur teknis OWS yang bertujuan memenuhi persyaratan pembuangan limbah. Batas maksimum kandungan minyak pada air hasil pengolahan yang diperbolehkan untuk dibuang ke laut adalah 15 ppm, sebagaimana ditetapkan dalam konvensi MARPOL 73/78 Annex I (IMO, 2021), sehingga pengelolaan bilge water melalui bilge well dan OWS memiliki peran penting dalam upaya pencegahan pencemaran laut.

## 2. First Separation Room (Tabung Pemisah Kamar)



Gambar 2. 4 Komponen Oily Water Separator

Tabung ini berfungsi sebagai ruang pemisahan awal antara air dan minyak berdasarkan perbedaan berat jenis. Di dalamnya terdapat:

- Inlet Valve dan Non- Return Valve*: Katup masuk (*inlet valve*) berfungsi mengatur aliran *bilge water* dari *bilge tank* menuju tabung pemisah pertama. Sementara *non-return valve* mencegah terjadinya aliran balik dari ruang pemisahan ke bilge tank sehingga sistem tetap bekerja satu arah.
- Plat pemisah utama dan sekunder (*Primary and Secondary Plates*): Berfungsi memperlambat aliran dan membantu proses pengendapan lumpur berat ke dasar tabung.

- c. *Pressure Gauge*: Mengukur tekanan internal di ruang pemisahan agar tetap dalam batas aman.
- d. *Air Deflated Valve / Test Cock*: Digunakan untuk mengeluarkan udara saat awal operasi dan memeriksa sampel air hasil pemisahan.
- e. *Oil Collecting Chamber* (Ruang Penampung Minyak Awal): Menampung minyak yang mulai terpisah dari air sebelum dialirkan ke ruang selanjutnya.
- f. *Oil Level Probe* (Sensor Level Minyak): Mendeteksi tinggi permukaan minyak di ruang pemisah dan mengirim sinyal ke sistem kontrol otomatis.

### 3. *Secondary Chamber Coalescer*

Merupakan tahap lanjutan untuk memperhalus hasil pemisahan. Komponen coalescer berfungsi menggabungkan partikel-partikel kecil minyak menjadi tetesan besar agar mudah terpisah dan naik ke permukaan. Ruang ini juga dilengkapi dengan

- a. *Coalescer Element / Coalescing Plat*: Berfungsi menyatukan partikel-partikel kecil minyak menjadi tetesan besar sehingga mudah mengapung dan terpisah dari air.
- b. *Oil Drain Valve / Sludge Drain Valve*: Digunakan untuk mengeluarkan lumpur atau minyak pekat yang mengendap di dasar ruang pemisah.
- c. *Test Cock (Air Deflator)*: Sebagai ventilasi udara atau saluran uji untuk memeriksa kebersihan air hasil pemisahan.
- d. *Interconnecting Pipe*: Menghubungkan ruang pemisah pertama dan kedua, dilengkapi dengan check valve untuk

mencegah aliran balik.

#### 4. *Third Chamber Coalescer*

Merupakan tahap akhir penyaringan, di mana air hasil pemisahan (*treated water*) dipastikan memiliki kadar minyak di bawah 15 ppm sebelum dialirkan ke *overboard*. Di ruang ini terdapat outlet valve untuk mengatur pengeluaran air hasil pemisahan menuju *treated water line*.

- a. *Fine Coalescer Element*: Menyaring sisa minyak halus yang masih terbawa agar air benar-benar bersih.
- b. *Outlet Valve*: Mengatur pengeluaran air hasil pemisahan ke *treated water line*.
- c. *Oil Content Meter (OCM)*: Alat pengukur kadar minyak pada air hasil pemisahan. Jika kadar minyak melebihi 15 ppm, sinyal akan dikirim untuk mengarahkan aliran kembali ke bilge tank.
- d. *Drain Valve*: Mengeluarkan sisa endapan atau residu dari ruang ketiga agar sistem tidak tersumbat.

#### 5. Sistem Kontrol dan Katup Otomatis

- a. *Transmitter Converter / Control Unit*: Mengatur kerja otomatis sistem berdasarkan sinyal dari sensor level minyak dan OCM.
- b. *1st Solenoid Valve*: Mengatur suplai udara tekan (*compressed air*) ke sistem kontrol otomatis.
- c. *2nd Solenoid Valve*: Membuka saluran pembuangan minyak ke *waste oil tank* jika level minyak sudah tinggi.
- d. *Safety Valve*: Sebagai pengaman terhadap tekanan berlebih di dalam sistem.

#### 6. *Treated Water Outlet*

Merupakan saluran akhir keluaran air hasil pemisahan yang sudah memenuhi standar maksimal kandungan minyak <15 ppm sebelum dialirkan ke laut melalui overboard discharge line

#### 2.1.5 *Lifetime Oily Water Separator*

Lifetime atau umur pakai adalah jangka waktu di mana suatu komponen atau sistem dirancang untuk dapat berfungsi dengan baik sesuai spesifikasi teknisnya. Umur pakai tidak hanya ditentukan oleh lamanya komponen digunakan, tetapi juga dipengaruhi oleh faktor waktu, kondisi lingkungan, serta proses penuaan material yang terjadi secara alami. Seiring bertambahnya waktu, material dan komponen akan mengalami penurunan sifat fisik dan kinerja meskipun tidak digunakan secara aktif (Lin, 2024).

Pada sistem Oily Water Separator (OWS), pemahaman mengenai lifetime menjadi penting karena komponen OWS tetap mengalami penuaan dan penurunan kondisi meskipun sistem tidak dioperasikan secara terus-menerus. Oleh karena itu, konsep lifetime dengan pendekatan prinsip degradasi material digunakan sebagai dasar teoritis untuk menentukan kondisi serta rekomendasi kedepannya untuk menilai kesiapan operasional dan potensi kegagalan komponen OWS ketika sistem dijalankan kembali.

#### 2.1.6 *Metode RCA (Root Cause Analysis)*

Metode *Root Cause Analysis* (RCA) biasanya digambarkan sebagai rangkaian analisis terstruktur yang bertujuan mengungkap akar penyebab suatu masalah atau kegagalan sistem, sehingga kejadian serupa tidak terulang kembali di masa mendatang. Berdasarkan, *Root Cause Analysis* (RCA) merupakan metode

investigatif yang berlandaskan bukti (*evidence-based*), menekankan pada pertanyaan mengapa suatu peristiwa terjadi, bukan sekadar apa yang terjadi. Metode ini kini lazim dipakai di berbagai bidang—industri, kelistrikan, perkapalan, dan keselamatan—untuk memperkuat keandalan (*reliability*) serta meningkatkan kinerja sistem).

Menurut (L. N. . Vanden Heuvel et al., 2014) menyatakan bahwa tujuan utama dari penerapan metode RCA:

1. Mengidentifikasi akar penyebab kegagalan sistem
2. Menetapkan hubungan sebab-akibat secara logis dan terstruktur,
3. Mencegah terulangnya kejadian serupa melalui perbaikan sistem yang bersifat permanen
4. Meningkatkan keandalan (*reliability*) dan keselamatan operasi.

Pendekatan RCA menyediakan berbagai manfaat strategis untuk manajemen sistem teknik (L. N. . Vanden Heuvel et al., 2014), yang berfungsi sebagai alat penilaian kinerja sistem, guna mengungkap kelemahan dalam desain maupun fungsi peralatan. Mengarahkan upaya perbaikan yang lebih efektif dengan menitikberatkan pada akar masalah, bukan sekadar mengatasi gejala yang tampak di permukaan. Mengurangi seberapa sering kegagalan tak terduga terjadi dengan melakukan perbaikan yang didukung oleh data dan bukti teknis. Menajamkan kualitas dokumentasi teknis sekaligus menyusun ulang alur pengambilan keputusan yang berhubungan dengan pemeliharaan berfokus keandalan (*Reliability-Centered Maintenance*). Meningkatkan budaya keselamatan sekaligus menegakkan kepatuhan pada standar

lingkungan (misalnya MARPOL Annex I).

Secara fundamental, pendekatan RCA menyadari bahwa setiap system atau komponennya saling berinteraksi dan memengaruhi satu sama lain, sehingga satu kegagalan kecil dapat menimbulkan efek domino pada keseluruhan system. Karena itu, RCA tidak sekadar mencari “komponen yang rusak”, melainkan juga menelusuri mengapa komponen tersebut gagal berfungsi sebagaimana mestinya.

Menurut (L. N. . Vanden Heuvel et al., 2014), proses RCA teknis secara umum dilakukan sebagai berikut :

1. Identifikasi Masalah dan Pendefinisian *Top Event*

Pada tahap ini merupakan langkah awal untuk menentukan masalah utama (*top event*) atau kejadian yang tidak diinginkan (*undesired event*) yang akan dianalisis.

Berikut tujuannya:

- a. Menetapkan batasan analisis (*system boundaries*)
- b. Menentukan apakah peristiwa tersebut layak dilakukan RCA berdasarkan dampak dan frekuensi
- c. Memahami sistem dan konteks operasional tempat kegagalan terjadi.

2. Pengumpulan Data dan bukti Teknis

Pada tahap ini memerlukan pengumpulan data dan bukti yang relevan untuk menjelaskan kronologi dan kondisi sistem saat kejadian terjadi. Setelah mendapatkan informasi yang valid untuk mengidentifikasi *causal factors* dan membangun dasar analisis yang kuat.

3. Functional Block Diagram (FBD)

Tahapan ini bertujuan untuk memahami cara kerja sistem dan hubungan antar komponennya berdasarkan fungsi, bukan hanya bentuk fisiknya. Analisis dilakukan dengan menyusun *Functional Block Diagram* (FBD) yang menggambarkan aliran energi, sinyal, atau fluida antar komponen dalam bentuk blok blok fungsi yang saling terhubung. Menurut (L. N. Vanden Heuvel et al., 2014), FBD berfungsi sebagai dasar untuk penyusunan *Root Cause Analysis* (RCA), karena membantu memahami hubungan sebab-akibat antar fungsi dalam sistem secara logis dan terstruktur.

#### 4. RCA (*Root Cause Analysis*)

Setelah struktur sistem dipahami melalui FBD dan penyebab logis dianalisis melalui RCA, maka pada tahap ini Menurut (L. N. Vanden Heuvel et al., 2008) , RCA dilakukan untuk menganalisis hubungan sebab-akibat antara peristiwa, faktor teknis, manusia, dan organisasi, sehingga dapat ditemukan penyebab paling mendasar yang secara langsung berkontribusi terhadap kejadian puncak (*top event*). Proses ini membantu memisahkan antara penyebab langsung (*direct cause*), penyebab tidak langsung (*contributing cause*), dan akar penyebab (*root cause*). Untuk mencapai pemahaman yang komprehensif terhadap mekanisme penyebab kegagalan, BSI Standards merekomendasikan penggunaan alat bantu analisis (*analysis tools*) seperti berikut:

##### a. 5 Why Method

Metode ini merupakan teknik yang efektif untuk menelusuri akar penyebab permasalahan dengan cara mengajukan pertanyaan “mengapa” secara berulang

hingga ditemukan penyebab mendasar (*root cause*) dari suatu kejadian.

Menurut (L. N. Vanden Heuvel et al., 2008), metode ini memungkinkan analisis untuk mengidentifikasi rantai penyebab sebab-akibat secara bertingkat, dari gejala yang tampak dipermukaan hingga faktor yang paling dasar. Berikut tahapan penerapan 5 *Why Methode*:

1. Menentukan top event atau masalah utama yang akan dianalisis.
2. Mengajukan pertanyaan pertama “mengapa peristiwa tersebut terjadi”.
3. Menuliskan jawaban yang paling logis berdasarkan bukti atau data teknis.
4. Mengulangi pertanyaan “mengapa” pada setiap jawaban sebelumnya hingga diperoleh penyebab utama yang tidak dapat dijelaskan lebih lanjut secara logis.
5. Menetapkan penyebab terakhir tersebut sebagai root cause yang sesungguhnya.

Penerapan metode 5 Why membantu memastikan bahwa analisis tidak berhenti pada gejala permukaan, tetapi menembus hingga ke faktor yang bersifat sistemik dan dapat dikendalikan melalui tindakan perbaikan (*corrective action*).

b. Diagram Ishikawa (*Fishbone Diagram*)

*Fishbone Diagram* atau *Cause and Effect Diagram* ini, metode ini digunakan untuk mengelompokkan

berbagai faktor penyebab potensial dari suatu masalah ke dalam beberapa kategori utama. Menurut (L. N. Vanden Heuvel et al., 2008), diagram ini membantu visualisasi hubungan antara berbagai variabel yang mempengaruhi terjadinya kegagalan, baik yang bersifat teknis maupun non- teknis. Melalui diagram ini, setiap faktor penyebab dapat dikelompokkan secara visual untuk mengidentifikasi kombinasi variabel yang berpotensi menjadi akar penyebab masalah, (*root Cause*). Hasil ini akan menjadi dasar dalam proses perumusan tindakan korektif (*corrective action*).

c. Matrix Risk Diagram

Matrix Risk Diagram merupakan alat bantu yang digunakan untuk menilai tingkat risiko dari suatu potensi kegagalan berdasarkan dua parameter utama, yaitu kemungkinan terjadinya (*likelihood*) dan tingkat dampak yang ditimbulkan (*impact*). Pada konteks Root Cause Analysis (RCA), metode ini tidak digunakan untuk mengidentifikasi akar penyebab secara langsung, melainkan sebagai alat pendukung untuk mengevaluasi dan memprioritaskan faktor-faktor penyebab yang telah ditemukan melalui analisis sebelumnya, seperti 5 Why Method dan Fishbone Diagram. Setiap potensi kegagalan dipetakan ke dalam matriks risiko, peneliti dapat menentukan tingkat urgensi penanganan serta fokus pada penyebab yang memiliki risiko paling signifikan terhadap kinerja sistem. Oleh karena itu, Matrix Risk Diagram berperan penting dalam

membantu pengambilan keputusan yang lebih terarah dalam penentuan tindakan perbaikan (*corrective action*) guna meningkatkan keandalan sistem dan mencegah terulangnya kegagalan di masa mendatang.

#### 5. Tindakan Pencegahan (*Corrective Action*)

Tahap terakhir dari proses RCA (*Root Cause Analysis*) adalah formulasi perbaikan masalah dan pencegahan berdasarkan hasil identifikasi akar penyebab (*root cause*). Menurut (L. N. Vanden Heuvel et al., 2008), tujuan utama dari tahap ini adalah memastikan bahwa penyebab mendasar yang ditemukan benar-benar diatasi melalui tindakan yang efektif dan dapat mencegah terulangnya kejadian serupa di masa mendatang. Sementara itu, menekankan bahwa setiap tindakan yang diambil harus bersifat spesifik, realistis, dan terukur, serta berorientasi pada peningkatan keandalan sistem.

## 2.2 Penelitian Terdahulu

Beberapa penelitian internasional telah mengkaji kinerja sistem Oily Water Separator (OWS) serta penerapan metode analisis untuk mengidentifikasi potensi kegagalan pada sistem maritim. American Bureau of Shipping (ABS) (2023) dalam laporan Letter to Industry: Oily Water Separator Issues and Flow Switch (MEPC.107(49)) mengidentifikasi berbagai permasalahan yang sering terjadi pada sistem OWS di kapal. Hasil kajian tersebut menunjukkan bahwa kesalahan instalasi valve pada jalur sampling serta posisi sampling yang tidak

vertikal dapat menyebabkan Oil Content Meter (OCM) tidak mampu merespons perubahan kadar minyak secara akurat. Kondisi ini berpotensi memicu detensi oleh Port State Control (PSC). Oleh karena itu, ABS merekomendasikan pemasangan flow switch untuk meningkatkan keandalan pemantauan kadar minyak dalam sistem OWS.

Penelitian lain yang dilakukan oleh Barale et al. (2022) melalui studi berjudul *Sea Oil Separator* menggunakan metode eksperimen kuantitatif untuk mengevaluasi performa sistem pemisahan minyak pada air bilge kapal. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem pemisahan minyak mampu bekerja secara efektif dengan menghasilkan air buangan yang memiliki kandungan minyak di bawah batas 15 ppm sesuai standar MARPOL. Selain itu, minyak yang berhasil dipisahkan dari air bilge dapat dimanfaatkan kembali untuk kebutuhan pelumasan mesin, sehingga meningkatkan efisiensi pemanfaatan sumber daya serta mendukung praktik operasi kapal yang lebih ramah lingkungan.

Di sisi lain, penelitian Maria Fernanda Parra Jimenez (2023) berjudul *Root Cause Analysis of Fishing Vessel Accidents Using the Fishbone Diagram and 5 Whys* menerapkan metode RCA dengan teknik Fishbone Diagram dan 5 Whys untuk menganalisis kecelakaan kapal penangkap ikan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa akar penyebab kecelakaan adalah keterlambatan pengambilan keputusan abandon ship dan kegagalan penerapan prosedur darurat. Penelitian ini menunjukkan bahwa metode RCA efektif untuk mengidentifikasi penyebab utama permasalahan pada sistem operasional maritim.