

BAB IV

HASIL & PEMBAHASAN

4.1 Objek Penelitian

4.1.1 Sistem Oily Water Separator (OWS)

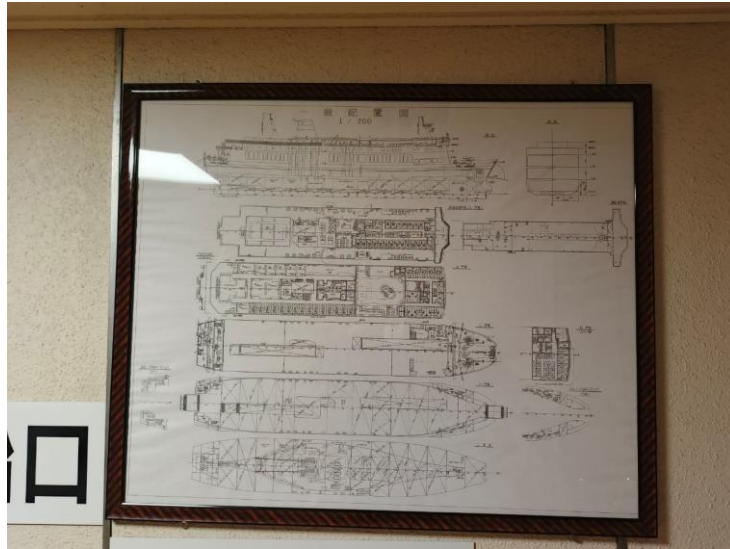


Gambar 4. 1 1 Skema Sistem Oily Water Separator

Sistem Oily Water Separator (OWS) bertujuan 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 (Sarifuiddin, 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.

4.1.2 Data Utama Kapal



Gambar 4. 2 General Arrangement

Table 4. 1 Data Utama Kapal Ferry Virgo Transport 8

Classification	BKI
LOA	119,00 m
Gross Tonnage	42771 Ton
Breath	21,00 m
Depth	11, 40 m
Draught	6,40 m

Table 4. 2 Data utama mesin Kapal (Sumber : Kapal Ferry Virgo Transport 8, 2025)

<i>Ship Name</i>	Ro-Ro Ferry Virgo Transport 8
<i>Main Engine</i>	Kobe Diesel – Mitsubishi UE Diesel Engine Type UEC-37LA
<i>Generator</i>	MP-H150-4 H4132-290 (150kW)
<i>Rate Power</i>	4,120 kW (≈ 5,600 PS)
<i>Rate Speed</i>	210 rpm
<i>Stroke</i>	880 mm
<i>Mean Piston Speed</i>	6.2 m/s
<i>Outline Dimension</i>	7000 x 2000 x 5500
<i>BMEP</i>	1,55 MPa

Berikut diatas merupakan data utama kapal Ferry Virgo Ferry Transport 8, Data ini didapatkan dari hasil wawancara serta observasi dan data historis yang berasal dari Perusahaan.

4.2 Studi Literatur

Studi literatur dilakukan untuk mendukung dan memperkuat pembahasan hasil penelitian dengan meninjau teori, konsep dasar, serta penelitian terdahulu yang berkaitan dengan sistem Oil Water Separator (OWS) dan analisis kegagalan. Literatur yang dikaji meliputi prinsip kerja OWS, jenis-jenis kegagalan yang umum terjadi pada sistem pemisahan minyak dan air, serta penerapan metode Root Cause Analysis (RCA) pada sistem teknik yang sejenis. Hasil kajian literatur ini digunakan sebagai acuan dalam membahas dan menafsirkan hasil analisis yang diperoleh pada penelitian ini, khususnya pada tahapan analisis 5 Why, Fishbone Diagram, dan Matrix Risk Diagram, sehingga pembahasan memiliki dasar teoritis yang jelas dan relevan. Sumber literatur diperoleh dari buku teks teknik, jurnal ilmiah, serta karya akademik lain yang berkaitan langsung dengan topik penelitian.

4.3 Observasi

Observasi terhadap sistem Oil Water Separator (OWS) dilakukan berdasarkan kondisi eksisting sistem yang telah berada dalam keadaan tidak beroperasi (idle) selama kurang lebih 30 tahun. Kegiatan observasi difokuskan pada pemeriksaan visual, kelengkapan komponen, serta kesesuaian konfigurasi sistem dengan dokumen teknis dan manual pabrikan yang tersedia. Hasil observasi, diketahui bahwa sistem OWS tidak menunjukkan aktivitas operasional, namun secara fisik masih terpasang lengkap dengan beberapa komponen utama seperti unit pemisah, katup, serta perangkat pendukung lainnya.

Selain itu, observasi juga dilakukan terhadap kondisi lingkungan penyimpanan dan potensi dampaknya terhadap sistem, seperti kemungkinan terjadinya korosi ringan, penurunan kondisi material non-logam, serta potensi penurunan fungsi pada komponen mekanis dan instrumen akibat tidak digunakan dalam jangka waktu yang lama. Hasil observasi ini digunakan sebagai gambaran awal kondisi sistem OWS sebelum dilakukan analisis kegagalan lebih lanjut menggunakan metode Root Cause Analysis (RCA).

4.4 Data Sekunder

Pengumpulan data sekunder merupakan tahapan penting dalam penelitian ini karena data yang digunakan menjadi dasar dalam pelaksanaan analisis kegagalan sistem. Data sekunder diperoleh dari dokumen teknis yang telah tersedia sebelumnya dan berfungsi sebagai pendukung data primer yang diperoleh melalui observasi, wawancara, dan kuesioner. Pada penelitian terhadap sistem Oil Water Separator (OWS), data sekunder bersumber dari manual operasi dan perawatan, gambar teknik (finished drawing), diagram sistem, serta spesifikasi teknis

peralatan yang disediakan oleh pabrikan. Data tersebut digunakan untuk memahami prinsip kerja sistem, susunan dan hubungan antar komponen, serta prosedur operasi dan perawatan pada kondisi normal. Mengingat sistem OWS berada dalam kondisi tidak beroperasi (idle) dalam jangka waktu yang lama, data sekunder dalam penelitian ini tidak digunakan untuk menelusuri riwayat kerusakan atau performa operasional aktual, melainkan sebagai landasan teknis dalam mengidentifikasi potensi kegagalan fungsi dan mekanisme kegagalan yang dianalisis menggunakan metode Root Cause Analysis (RCA).

4.4.1 Data Teknis Sistem Oil Water Separator (OWS).

Data teknis sistem Oil Water Separator (OWS) dalam penelitian ini disajikan dalam bentuk tabel spesifikasi yang memuat parameter dan karakteristik utama sistem sesuai dengan dokumen teknis pabrikan. Data tersebut meliputi identitas peralatan, tipe dan model OWS, kapasitas pemrosesan, batas tekanan kerja, serta spesifikasi perangkat pendukung seperti bilge monitor. Penyajian data teknis ini digunakan sebagai acuan untuk memahami karakteristik desain dan kemampuan sistem sebelum dilakukan analisis kegagalan lebih lanjut.

Table 4. 3 Spesifikasi Oily Water Separator (Sumber : Kapal Ferry Virgo Transport 8, 2025)

<i>Make</i>	TAIKO KIKAI INDUSTRIES CO., LTD
<i>Type</i>	UST-30N
<i>Capacity</i>	3 m ³ /h
<i>Max. Work Press</i>	3kg/cm ²
<i>Oil content limit</i>	≤ 15 ppm
<i>Material body</i>	Steel plate (coated)

<i>Applicable Regulation / Standard</i>	IMO / MARPOL Annex I
---	----------------------

Table 4. 4 Spesifikasi Bilge Monitor (Sumber : Kapal Ferry Virgo Transport 8, 2025)

<i>Certificate</i>	M-216 / SG0.98
<i>Model</i>	FOCAS-1500A
<i>Serial Number</i>	H 9496
<i>Measuring Range</i>	0 – 30 ppm
<i>Alarm Set Point / Accuracy</i>	Alarm aktif saat oil content > 15 ppm
<i>Power Supply</i>	AC 100 V \pm 10% / 50–60 Hz

4.4.2 Data Susunan Komponen dan Hubungan Antar Sistem OWS.

Data susunan komponen dan hubungan antar sistem Oil Water Separator (OWS) diperoleh dari dokumen teknis pabrikan berupa finished drawing, general arrangement, dan diagram sistem yang menggambarkan konfigurasi fisik serta alur kerja OWS. Data ini mencakup komponen utama penyusun sistem, antara lain unit pemisah, media coalescer, jalur aliran bilge, sistem pembuangan minyak, serta perangkat pendukung berupa bilge alarm dan drain line. Berdasarkan dokumen tersebut, alur fluida dimulai dari inlet bilge menuju ruang pemisahan, kemudian melewati tahapan pemisahan sebelum air hasil pemisahan dialirkan ke outlet dan dipantau oleh bilge alarm, sementara minyak hasil pemisahan dialirkan melalui jalur pembuangan tersendiri. Susunan komponen dan hubungan antar sistem OWS tersebut disajikan secara rinci pada Lampiran 1 Finished Drawing & Specification Oily Water Separator (Sumber: Kapal Ferry Virgo Transport 8, 2025) dan digunakan sebagai dasar dalam penyusunan Functional Block

Diagram (FBD) serta analisis kegagalan menggunakan metode Root Cause Analysis (RCA).

4.4.3 Data Prosedur Operasi Sistem OWS

Data prosedur operasi sistem Oil Water Separator (OWS) pada penelitian ini mengacu pada Instruction Manual pabrikan yang menjelaskan tahapan pengoperasian sistem pada kondisi normal. Prosedur tersebut meliputi tahap persiapan pengoperasian (preparation for run), pengoperasian (run), penghentian (stop), pengoperasian kembali (re-start), serta pengoperasian sistem automatic oil drain, yang selanjutnya dirangkum dalam bentuk tabel berikut.

Table 4. 5 Prosedur Operasi Sistem OWS

TAHAP OPERASI	PROSEDUR OPERASI
Preparation for Run	Menutup katup pembuangan lumpur (sludge drain valve) dan katup pembuangan (drain valve), kemudian membuka katup utama pressure gauge, katup inlet, dan katup outlet OWS. Katup manual pembuangan minyak (test cock) pada ruang ke-2 dan ke-3 dibuka untuk mengeluarkan udara saat air laut mulai masuk, lalu ditutup kembali setelah proses pembuangan udara selesai.
Run (Pengoperasian)	Mengalihkan jalur hisap pompa suplai bilge ke jalur air laut dan menjalankan pompa hingga separator terisi penuh air laut. Setelah itu, jalur hisap dikembalikan ke jalur bilge sehingga air bilge dialirkan ke separator. Pada saat yang sama, sumber listrik sistem automatic oil drain

	dihidupkan sehingga OWS dapat beroperasi secara otomatis
Catatan Operasi (Suplai Air Laut)	Separator harus diisi penuh dengan air laut sebelum bilge dialirkan. Jika bilge dialirkan saat separator kosong atau volume air laut rendah, proses pemisahan tidak akan terjadi dan dapat menyebabkan media coalescer tersumbat serta kualitas air hasil pemisahan tidak terjamin.
Stop (Penghentian Operasi)	Setelah proses pengolahan bilge selesai, pompa suplai bilge dihentikan dan katup penghubung antara pompa dan separator ditutup untuk mencegah aliran balik bilge. Selanjutnya, sumber listrik sistem automatic oil drain dimatikan.
Re-start (Pengoperasian Kembali)	Membuka kembali katup penghubung dan menghidupkan sumber listrik sistem automatic oil drain, kemudian menjalankan sistem secara otomatis. Sebelum pompa dijalankan, test cock ruang ke-2 dibuka untuk memastikan level air tidak turun. Setelah sistem berjalan, test cock ruang ke-3 dibuka untuk memeriksa adanya akumulasi minyak dan minyak dikeluarkan apabila ditemukan.

Table 4. 6 Operasi Automatic Oil Drain System

ASPEK OPERASI	URAIAN
Prinsip Kerja	Sistem automatic oil drain bekerja berdasarkan sinyal dari sensor level minyak yang mendeteksi batas minyak dan air di dalam separator.

Operasi Solenoid	Katup	Ketika sensor mendeteksi minyak hasil pemisahan, katup solenoid akan terbuka secara otomatis untuk membuang minyak dan akan menutup kembali sesuai waktu yang diatur oleh timer.
Pengaturan Drain	Waktu	Waktu buka katup solenoid dapat diatur melalui pengaturan timer untuk menyesuaikan volume pembuangan minyak dengan kondisi operasi sistem.
Operasi Manual		Sistem dilengkapi tombol operasi manual yang memungkinkan katup solenoid dibuka secara manual untuk pembuangan minyak apabila diperlukan.

4.4.4 Data Prosedur Perawatan dan Pemeriksaan Sistem OWS

Data prosedur perawatan dan pemeriksaan sistem Oil Water Separator (OWS) dalam penelitian ini mengacu pada Instruction Manual pabrikan yang memuat ketentuan pemeriksaan dan perawatan sistem pada kondisi normal. Prosedur tersebut disusun berdasarkan tahapan pengoperasian sistem, yaitu sebelum pengoperasian (checks before start), selama pengoperasian (checks on run), dan setelah sistem dihentikan (checks on stop), serta prosedur pembongkaran dan pemasangan kembali komponen (disassembling and assembling). Data ini digunakan untuk menggambarkan standar perawatan yang direkomendasikan pabrikan dan disajikan dalam bentuk tabel berikut.

Table 4. 7 Prosedur Maintenance dan Inspection (Sumber: Instruction Manual OWS, 2025)

Tahap Pemeriksaan	Komponen Yang Diperiksa	Pemeriksaan Dan Perawatan
Checks before start	Sistem kelistrikan	Memeriksa kondisi kabel, sambungan listrik, dan memastikan sistem kelistrikan dalam kondisi normal sebelum pengoperasian.
	Katup dan cock	Memastikan seluruh katup inlet, outlet, drain, dan cock dapat dibuka dan ditutup dengan baik.
Checks on run	Pompa suplai bilge	Memastikan pompa bilge bekerja dengan normal selama sistem beroperasi.
	Tekanan separator	Memantau tekanan di dalam separator agar tetap berada dalam kondisi yang diizinkan.
	Automatic oil drain system	Memeriksa fungsi kerja katup solenoid dan respon sistem pembuangan minyak otomatis selama operasi.
	Kebocoran	Memastikan tidak terdapat kebocoran air atau minyak pada sambungan dan bagian sistem yang disegel.
Checks on stop	Sumber listrik	Memastikan sumber listrik sistem automatic oil drain dalam kondisi mati setelah sistem dihentikan.

Tahap Pemeriksaan	Komponen Yang Diperiksa	Pemeriksaan Dan Perawatan
	Perpipaan dan katup	Memeriksa kembali kondisi perpipaan dan katup setelah pengoperasian selesai.

Table 4. 8 Prosedur Disassembling Inspection (Sumber: Instruction Manual OWS, 2025)

Kegiatan	Komponen	Uraian Tindakan
Preparation	Oily Water Separator System	Memastikan sistem tidak beroperasi, menutup inlet valve dan outlet valve, serta mengosongkan sisa fluida di dalam separator sesuai ketentuan manual.
Opening	Separator Cover / Upper Cover	Membuka penutup bagian atas separator untuk mendapatkan akses ke komponen internal sesuai urutan yang ditetapkan pabrikan.
Removal	Coalescer Element	Melepas coalescer element dari dalam separator untuk keperluan pemeriksaan dan pembersihan dari endapan atau kotoran.
	Level Detector Probe	Melepas level detector probe (oil-water interface probe) dengan hati-hati untuk mencegah kerusakan sensor dan sambungan.

Kegiatan	Komponen	Uraian Tindakan
Inspection	Inside of Separator	Melakukan pemeriksaan visual pada bagian dalam separator untuk memastikan tidak terdapat endapan berlebih, kotoran, atau indikasi kerusakan.

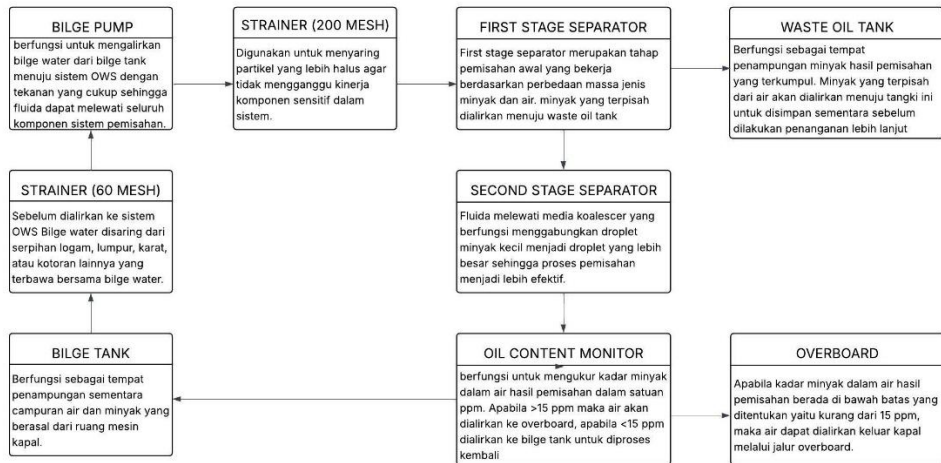
Table 4. 9 Prosedur Assembling Inspection (Sumber: Instruction Manual OWS, 2025)

Kegiatan	Komponen	Uraian Tindakan
Installation	Coalescer Element	Memasang kembali coalescer element ke dalam separator sesuai posisi dan orientasi yang ditentukan oleh pabrikan.
	Level Detector Probe	Memasang kembali level detector probe dan memastikan posisi serta sambungan terpasang dengan benar.
Closing	Separator Cover / Upper Cover	Menutup kembali bagian atas separator dan memastikan seluruh baut serta sambungan terpasang dengan baik.
Final Inspection	Oily Water Separator System	Melakukan pemeriksaan akhir untuk memastikan seluruh komponen telah terpasang dengan benar dan sistem siap untuk

		tahap pengoperasian.
--	--	----------------------

4.5 Functional Block Diagram (FBD)

Functional Block Diagram (FBD) dapat digunakan untuk menggambarkan alur kerja suatu sistem yang akan dianalisis. Melalui penyusunan FBD, proses kerja sistem *Oily Water Separator (OWS)* pada kapal dapat diuraikan secara bertahap mulai dari tahap awal masuknya campuran air berminyak hingga proses pemisahan dan pembuangan hasil olahan. Diagram ini juga membantu menunjukkan hubungan antar komponen dalam sistem OWS secara sistematis, sehingga memudahkan pemahaman terhadap mekanisme kerja serta keterkaitan fungsi setiap komponen dalam proses pemisahan minyak dan air.



Gambar 4. 3 Functional Block Diagram

Pada Gambar 4.3 di atas ditunjukkan alur proses kerja sistem Oily Water Separator (OWS) pada kapal mulai dari tahap awal hingga tahap

akhir proses pemisahan minyak dan air. Diagram tersebut menggambarkan tahapan aliran bilge water yang masuk ke dalam sistem OWS, proses pemisahan yang terjadi pada setiap komponen, hingga keluaran akhir sistem. Selain itu, gambar tersebut juga memperlihatkan keterkaitan dan urutan kerja antar komponen yang saling mendukung dalam satu sistem untuk menjalankan fungsi pemisahan minyak dari air sehingga air hasil proses dapat memenuhi standar pembuangan yang berlaku

4.6 Wawancara

Wawancara dilakukan dengan satu narasumber yaitu Manager Facility PT. Karya Teknik Utama Shipyard yang terlibat dalam pengawasan teknis dan kegiatan perawatan kapal Virgo Ferry Transport 8. Tujuan wawancara ini untuk menggali informasi umum mengenai kondisi dan penerapan sistem kontrol otomatis Oily Water Separator (OWS), khususnya yang berkaitan dengan komponen Oil Content Meter (OCM), panel kontrol, sistem pengkabelan, dan discharge valve.

Beberapa poin utama yang diperoleh dari wawancara antara lain:

1. Pernyataan mengenai kondisi dan keandalan sistem kontrol otomatis OWS saat kapal beroperasi, termasuk respons discharge valve terhadap pembacaan OCM.
2. Pengalaman terkait gangguan yang pernah terjadi, seperti ketidaksesuaian pembacaan kadar minyak oleh OCM atau katup otomatis yang tidak membuka/menutup sesuai perintah sistem.
3. Kondisi panel kontrol dan sistem pengkabelan yang menghubungkan OCM dengan discharge valve, serta potensi pengaruh lingkungan ruang mesin terhadap kestabilan sinyal.

4. Pelaksanaan pemeriksaan dan kalibrasi OCM serta pengujian fungsi discharge valve.
5. Kesesuaian praktik pemeriksaan dan perawatan sistem kontrol otomatis dengan ketentuan yang tercantum dalam instruction manual pabrikan.

Hasil wawancara ini memberikan gambaran awal mengenai potensi kelemahan pada sistem kontrol otomatis OWS, yang selanjutnya dianalisis lebih lanjut menggunakan pendekatan Root Cause Analysis (RCA).

4.6.1 Hasil Wawancara

Hasil wawancara dilakukan dengan Manager Facility PT. Karya Teknik Utama Shipyard yang bertanggung jawab terhadap pengawasan teknis kapal. Wawancara ini bertujuan untuk mengidentifikasi potensi kegagalan sistem berdasarkan kondisi aktual kapal yang telah lama tidak beroperasi.

Penulis: Selamat siang, Pak. Terima kasih atas kesediaannya untuk meluangkan waktu dalam wawancara ini. Saya ingin mengajukan beberapa pertanyaan terkait kondisi aktual sistem Oily Water Separator (OWS) dan kesiapan sistem apabila akan dioperasikan kembali setelah periode idle panjang. Pertama, Bagaimana kondisi umum sistem OWS pada kapal ini saat dilakukan pemeriksaan?

Narasumber: Secara fisik sistem OWS masih lengkap dan terpasang sesuai instalasi awal. Unit separator, panel kontrol, OCM, serta jalur pipa masih berada pada posisinya. Tidak ditemukan kerusakan besar secara visual. Namun perlu dipahami bahwa sejak kapal beroperasi di Jepang, OWS tidak pernah

digunakan untuk pembuangan bilge ke laut. Kebijakan di sana lebih mengutamakan pembuangan limbah melalui fasilitas pelabuhan. Jadi walaupun kapal aktif berlayar, sistem OWS sendiri tidak pernah difungsikan dalam kondisi operasional nyata.

Penulis: Apakah saat awal pemasangan sistem pernah dilakukan pengujian?

Narasumber: Pada saat commissioning awal kemungkinan besar sudah dilakukan pengujian sesuai prosedur pabrikan dan persyaratan klasifikasi. Sistem seperti ini biasanya tidak mungkin dilepas ke operasional tanpa pengujian awal. Namun setelah periode tersebut, dan selama OWS tidak digunakan, tidak ada pengoperasian rutin maupun pengujian ulang yang dilakukan terhadap sistem kontrol otomatisnya.

Penulis: Selama sistem tidak digunakan, apakah ada perawatan atau pengujian berkala yang tetap dilakukan?

Narasumber: Pemeriksaan yang dilakukan lebih bersifat umum dan visual, seperti memastikan tidak ada kebocoran, karat berlebihan, atau kerusakan fisik pada instalasi. Untuk pengujian fungsi otomatis seperti simulasi pembacaan OCM atau respons discharge valve, sejauh yang kami ketahui belum pernah dilakukan kembali setelah sistem lama tidak dioperasikan.

Penulis: Apakah pernah dilakukan kalibrasi ulang terhadap OCM sebelum rencana pengaktifan kembali sistem?

Narasumber: Belum ada kalibrasi ulang yang dilakukan dalam konteks reaktivasi. Karena sistem tidak digunakan, maka tidak ada

jadwal kalibrasi rutin yang dijalankan. Padahal untuk komponen elektronik seperti OCM, kalibrasi ulang sebelum pengoperasian kembali sangat penting untuk memastikan pembacaan tetap akurat dan sesuai batas 15 ppm.

Penulis: Bagaimana kondisi panel kontrol dan sistem kelistrikannya saat ini?

Narasumber: Secara visual panel masih dalam kondisi baik. Indikator dan komponen eksternal masih terlihat utuh. Namun belum dilakukan pengecekan detail terhadap kestabilan sinyal, kondisi relay, maupun integritas wiring. Mengingat usia sistem sudah cukup lama dan lingkungan ruang mesin cenderung lembab serta panas, secara teknis ada kemungkinan terjadi penurunan kualitas koneksi listrik atau sensitivitas komponen elektronik.

Penulis: Apakah pernah dilakukan pengujian terintegrasi antara OCM, panel kontrol, dan discharge valve setelah periode idle panjang ini?

Narasumber: Belum ada pengujian terintegrasi yang dilakukan untuk memastikan seluruh rangkaian kontrol otomatis bekerja sebagaimana mestinya. Artinya fungsi pembacaan kadar minyak oleh OCM, pemrosesan sinyal di panel, hingga respons buka-tutup discharge valve belum diverifikasi ulang secara menyeluruh sebelum rencana pengoperasian kembali.

Penulis: Menurut Bapak, apakah ada potensi kendala apabila sistem langsung dioperasikan kembali tanpa pengujian menyeluruh?

Narasumber: Potensi itu ada. Bukan berarti sistem pasti gagal, tetapi karena sudah lama tidak digunakan dan belum dilakukan verifikasi ulang maupun kalibrasi ulang, maka belum bisa dipastikan seluruh fungsi otomatis bekerja sesuai standar yang dipersyaratkan dalam manual. Sensor bisa mengalami perubahan karakteristik, relay bisa kurang responsif, dan valve yang lama tidak bergerak bisa mengalami kekakuan. Oleh karena itu sebelum reaktivasi, seharusnya dilakukan pengecekan, kalibrasi, dan pengujian fungsi sesuai prosedur pabrikan.

4.7 Kuisisioner Kegagalan Oily Water Separator System

Untuk mendukung analisis terhadap potensi kegagalan sistem kontrol otomatis Oily Water Separator (OWS), penulis mengumpulkan data primer melalui penyebaran kuisisioner tertulis kepada personel kamar mesin yang terlibat langsung dalam pengoperasian dan perawatan sistem OWS. Kuisisioner disusun berdasarkan pendekatan Root Cause Analysis (RCA) dan difokuskan pada rangkaian sistem kontrol otomatis, guna mengidentifikasi kemungkinan ketidaksesuaian prosedur, kelemahan verifikasi fungsi, serta faktor teknis yang berpotensi menimbulkan gangguan operasional.

Sebanyak empat responden dengan latar belakang teknis permesinan kapal berpartisipasi dalam pengisian kuisisioner. Data yang diperoleh kemudian dikategorikan berdasarkan elemen penyebab dalam pendekatan RCA dan dianalisis secara kualitatif untuk menelusuri akar potensi permasalahan. Hasil analisis ini digunakan sebagai dasar dalam penyusunan diagram sebab-akibat (Fishbone Diagram), pendalaman melalui metode 5 Whys, serta perumusan rekomendasi mitigasi untuk meminimalkan risiko kegagalan sistem di masa mendatang

Table 4. 10 Hasil kuisioner tertulis terkait kegagalan Oily Water Separator (OWS)

No.	Pertanyaan	Ringkasan Jawaban 4 Responden	Kategori RCA	Tema Kunci Utama
1.	Apakah sistem OWS tidak pernah digunakan untuk pembuangan ke laut selama kapal beroperasi?	4 Ya	Machine	Penggunaan operasional
2.	Dalam 10 tahun terakhir, apakah sistem OWS tidak pernah dijalankan dalam mode otomatis (OCM-Panel-Valve)?	3 Ya, 1 Tidak	Machine	Mode otomatis
3.	Apakah sejak dilakukan instalasi ows pernah dilakukan uji fungsi lengkap antara OCM, panel kontrol, dan discharge valve secara bersamaan?	4 Ya	Method	Uji fungsi terintegrasi
4.	Apakah tidak terdapat catatan/log book khusus terkait pengujian sistem kontrol otomatis OWS?	4 Ya	Method	Dokumentasi pengujian
5.	Apakah sistem OWS bukan	4 Ya	Method	Preventive maintenance

No.	Pertanyaan	Ringkasan Jawaban 4 Responden	Kategori RCA	Tema Kunci Utama
	termasuk dalam daftar perawatan rutin yang diperiksa secara berkala?			
6.	Apakah Oil Content Meter (OCM) belum pernah dikalibrasi ulang setelah lama tidak digunakan?	4 Ya	measurement	Kalibrasi alat ukur
7.	Apakah alarm 15 ppm belum pernah diuji kembali sebelum rencana pengoperasian ulang?	4 Ya	Measurement	Testing Alarm
8.	Apakah discharge valve belum pernah diuji respon otomatisnya terhadap sinyal dari OCM?	3 Ya, 1 Tidak	Machine	Respon valve otomatis
9.	Apakah terdapat prosedur tertulis khusus untuk reaktivasi OWS setelah lama idle?	4 Ya	Methode	SOP reaktivitasi
10.	Apakah pemeriksaan OWS biasanya	4 Ya	Method	Mengacu instruction manual

No.	Pertanyaan	Ringkasan Jawaban 4 Responden	Kategori RCA	Tema Kunci Utama
	mengacu langsung pada instruction manual book?			
11.	Apakah belum pernah dilakukan pengecekan kondisi wiring dan konektor panel secara khusus?	4 Ya	Machine	Pemeriksaan kelistrikan dilakukan
12.	Menurut Anda, apakah kondisi ruang mesin (panas dan lembab) dapat mempengaruhi sensor OCM?	4 Ya	Environment	Pengaruh lingkungan terhadap sensor
13.	Apakah kondisi ruang mesin dapat mempengaruhi wiring dan konektor panel?	3 Ya, 1 Tidak	Environment	Potensi degradasi koneksi listrik
14.	Apakah kondisi ruang mesin dapat mempengaruhi solenoid atau aktuator valve?	3 Ya, 1 Tidak	Environment	Potensi macet aktuator
15.	Menurut anda, mengapa sistem OWS jarang atau tidak pernah diuji ulang? Mohon dijelaskan	Regulasi lemah, minim genangan air, uji hanya saat docking/inspeksi, monitor 15ppm otomatis	Machine/Method	Validasi real-time

No.	Pertanyaan	Ringkasan Jawaban 4 Responden	Kategori RCA	Tema Kunci Utama
16.	Jika sistem tidak diuji dalam waktu lama, menurut anda apa risiko yang mungkin terjadi saat sistem diaktifkan kembali? Mohon dijelaskan.	Error/gagal fungsi, kerja kurang maksimal (cek pompa), solenoid valve macet, sensor/filter korosi, pompa air locking, pencemaran >15ppm	Machine	Potensi kegagalan Komponen
17.	Menurut Anda, bagaimana pembagian tanggung jawab terkait pemeriksaan dan verifikasi ulang sistem OWS di kapal? Mohon dijelaskan	KKM utama (perawatan dan <i>test</i>), masinis harian (operasi dan catat <i>Oil Record Book</i> , nakhoda legal, perusahaan audit, cek 2 minggu, hierarki kru-otoritas	Man	Hierarki tanggung jawab
18.	Selama Anda bertugas, apakah pernah ada instruksi atau kebijakan khusus terkait pemeriksaan atau reaktivasi sistem OWS setelah lama tidak digunakan? Mohon dijelaskan secara singkat.	Prosedur intensif (visual dan kebocoran, Pembersihan filter/sensor, priming pompa, uji dry/wet), standar MARPOL, cek rutin cegah kendala KSOP; pasca-docking	Method/ Management	Reaktivasi berbasis inspeksi eksternal
19.	Menurut pengalaman	Visual check pada kebocoran, pompa,	Method/Machine	Verifikasi teknis pra-

No.	Pertanyaan	Ringkasan Jawaban 4 Responden	Kategori RCA	Tema Kunci Utama
	Anda, pemeriksaan atau tahapan apa saja yang perlu dilakukan sebelum sistem OWS diaktifkan kembali setelah periode idle (tidak digunakan atau tidak dioperasikan dalam jangka waktu lama, meskipun tetap terpasang di kapal) yang panjang? Mohon dijelaskan	valve. Pembersihan sludge, filter, OCM. kalibrasi alarm dan solenoid. Priming, pengujian dry/wet. cek kran dan pompa. flushing coalescer dan sensor		operasi
20.	Dalam praktik di lapangan, apakah terdapat kendala tertentu ketika akan melakukan pengujian ulang sistem yang sudah lama tidak digunakan? Jika ada, mohon dijelaskan secara singkat.	Korosi, kebocoran dan penyumbatan tersembunyi, sensor malfunction, filter rusak, dokumentasi tidak lengkap, lingkungan usang	Machine/methode	Risiko degradasi saat idle

Berdasarkan hasil kuisisioner terhadap empat responden yang merupakan personel teknis kamar mesin, diperoleh gambaran bahwa sistem Oily Water Separator (OWS) pernah digunakan dalam operasional kapal dan

sejak instalasi awal telah dilakukan uji fungsi terintegrasi antara Oil Content Meter (OCM), panel kontrol, dan discharge valve. Namun demikian, seluruh responden menyatakan bahwa sistem OWS bukan termasuk dalam daftar perawatan rutin yang diperiksa secara berkala, serta tidak terdapat catatan atau log book khusus terkait pengujian sistem kontrol otomatis OWS. Hal ini menunjukkan bahwa meskipun sistem pernah diuji pada tahap awal, tidak terdapat mekanisme pemantauan berkala yang terstruktur terhadap rangkaian sistem kontrol otomatis.

Pada aspek verifikasi ulang setelah periode tidak digunakan (idle), seluruh responden menyatakan bahwa OCM belum pernah dikalibrasi ulang dan alarm 15 ppm belum pernah diuji kembali sebelum rencana pengoperasian ulang. Selain itu, pada pengujian respon otomatis discharge valve terhadap sinyal OCM terdapat ketidakkonsistenan jawaban (3 responden menyatakan belum pernah diuji, 1 menyatakan pernah). Temuan ini mengindikasikan bahwa validasi ulang integrasi sistem kontrol otomatis setelah periode idle panjang tidak dilakukan secara menyeluruh dan konsisten. Dari aspek kondisi teknis dan lingkungan operasional, mayoritas responden mengakui bahwa temperatur dan kelembaban ruang mesin berpotensi mempengaruhi sensor OCM, wiring panel, serta aktuator valve. Pada pertanyaan terbuka, responden juga mengidentifikasi sejumlah risiko teknis apabila sistem diaktifkan kembali tanpa pengujian ulang, antara lain macetnya solenoid valve, korosi pada sensor dan filter, penyumbatan tersembunyi, air locking pada pompa, serta potensi keluaran limbah melebihi batas 15 ppm. Kendala lain yang disebutkan meliputi degradasi komponen akibat usia serta tidak lengkapnya dokumentasi pengujian. Meskipun responden menyebutkan adanya prosedur reaktivasi, prosedur tersebut mengacu pada instruction manual secara umum dan bukan merupakan prosedur spesifik untuk kondisi idle jangka panjang. Selain itu, pengujian ulang sistem cenderung dilakukan saat docking atau inspeksi

eksternal, bukan sebagai bagian dari verifikasi teknis internal yang terjadwal sebelum sistem dioperasikan kembali.

Secara keseluruhan, hasil kuisioner menunjukkan bahwa sistem OWS tidak berada dalam skema perawatan rutin yang terstruktur, tidak memiliki dokumentasi khusus pengujian sistem kontrol otomatis, serta belum dilakukan kalibrasi dan pengujian ulang setelah periode idle panjang. Kondisi ini menimbulkan potensi ketidakpastian fungsi pada rangkaian sistem kontrol, khususnya pada integrasi antara OCM, panel kontrol, dan discharge valve. Temuan ini menjadi dasar dalam penyusunan diagram sebab-akibat (Fishbone Diagram) dan akan diperdalam melalui metode 5 Whys untuk menelusuri akar permasalahan serta merumuskan langkah mitigasi yang sesuai.

4.8 Wawancara 5 Whys Method

Pada penelitian ini wawancara dilakukan dengan satu orang narasumber yang menjabat sebagai Kepala Kamar Mesin (KKM) dan terlibat langsung dalam pengawasan serta perawatan sistem Oily Water Separator (OWS) di kapal Virgo Ferry Transport 8. Wawancara ini bertujuan untuk menelusuri akar permasalahan terkait tidak dilakukannya verifikasi dan pengujian ulang sistem kontrol otomatis OWS setelah periode idle panjang. Analisis dilakukan menggunakan pendekatan Root Cause Analysis (RCA) melalui teknik 5 Whys yang dikembangkan secara bertahap hingga diperoleh penyebab paling mendasar dari permasalahan tersebut.

4.8.1 Pertanyaan “Whys”

Table 4. 11 Alur Pertanyaan “whys”

Tahap	Pertanyaan “Whys”	Jawaban
Why 1	Mengapa sistem kontrol otomatis OWS tidak diverifikasi dan	Karena sistem dianggap masih dalam kondisi

Tahap	Pertanyaan “ <i>Whys</i> ”	Jawaban
	dikalibrasi ulang sebelum reaktivasi?	baik dan diasumsikan tetap berfungsi normal.
Why 2	Mengapa sistem diasumsikan tetap normal tanpa uji fungsi?	Karena selama beroperasi di Jepang, OWS tidak pernah digunakan sehingga dianggap tidak mengalami beban kerja.
Why 3	Mengapa sistem yang lama tidak digunakan tidak diuji kembali sebelum diaktifkan?	Karena tidak ada kewajiban atau prosedur khusus yang mengatur pengujian ulang pasca idle panjang.
Why 4	Mengapa pengujian hanya dilakukan saat inspeksi atau docking?	Karena pemeriksaan lebih difokuskan untuk memenuhi kebutuhan regulasi daripada verifikasi teknis internal.
Why 5	Mengapa tidak ada mekanisme pengujian teknis internal yang terjadwal?	Karena OWS tidak termasuk dalam daftar perawatan rutin berkala seperti sistem utama lainnya.
Why 6	Mengapa OWS tidak dimasukkan dalam sistem perawatan rutin?	Karena sistem dianggap jarang digunakan dan bukan sistem

Tahap	Pertanyaan “ <i>Whys</i> ”	Jawaban
		operasional harian.
Why 7	Mengapa sistem yang jarang digunakan tidak dianggap berisiko mengalami degradasi?	Karena belum ada evaluasi khusus terhadap potensi degradasi komponen kontrol akibat idle
Why 8	Mengapa dampak kegagalan sistem kontrol tidak menjadi dasar penilaian kritikalitas?	Karena penilaian selama ini lebih didasarkan pada frekuensi penggunaan, bukan pada risiko lingkungan dan kepatuhan.
Why 9	Apa akar permasalahan dari tidak dilakukannya verifikasi ulang tersebut?	Tidak adanya mekanisme manajemen perawatan berbasis risiko yang mewajibkan validasi dan pengujian terintegrasi sistem kontrol OWS sebelum reaktivasi.

Berdasarkan hasil wawancara yang dianalisis menggunakan metode 5 Whys hingga 9 tahapan, diketahui bahwa tidak dilakukannya verifikasi ulang dan kalibrasi sistem kontrol otomatis OWS sebelum reaktivasi bukan karena ditemukan kerusakan, tetapi karena sistem dianggap masih dalam kondisi normal. Hal ini disampaikan oleh narasumber bahwa

selama kapal beroperasi di Jepang, OWS tidak pernah digunakan untuk pembuangan ke laut. Karena tidak digunakan, sistem dianggap tidak mengalami beban kerja dan tidak berpotensi mengalami gangguan.

Hasil wawancara juga menyatakan bahwa tidak ada prosedur khusus yang mengatur pengujian ulang setelah sistem lama tidak digunakan. Pengujian biasanya dilakukan saat ada inspeksi atau docking untuk memenuhi persyaratan regulasi. Artinya, pemeriksaan lebih bersifat administratif daripada evaluasi teknis menyeluruh sebelum sistem dioperasikan kembali. Selain itu, sistem OWS tidak termasuk dalam daftar perawatan rutin berkala seperti sistem utama lainnya. Hal ini karena sistem dinilai jarang digunakan dan bukan bagian dari operasional harian kapal. Akibatnya, potensi degradasi akibat idle panjang, seperti perubahan pembacaan sensor, gangguan koneksi panel, atau respon valve yang tidak optimal, tidak menjadi perhatian utama dalam perawatan.

Berdasarkan rangkaian pertanyaan Why tersebut, dapat disimpulkan bahwa akar permasalahan bukan terletak pada kerusakan komponen secara langsung, melainkan pada tidak adanya mekanisme manajemen perawatan yang mewajibkan verifikasi dan pengujian terintegrasi sistem kontrol OWS sebelum reaktivasi. Kondisi ini menyebabkan adanya ketidakpastian terhadap fungsi sistem kontrol ketika dioperasikan kembali setelah periode idle panjang. Hasil analisis ini kemudian digunakan sebagai dasar dalam penyusunan Fishbone Diagram untuk mengelompokkan faktor penyebab yang telah diidentifikasi, serta menjadi dasar dalam penilaian risiko menggunakan Risk Matrix guna melihat tingkat risiko potensial apabila sistem dioperasikan tanpa verifikasi teknis yang memadai.

4.9 Fishbone Diagram

Berdasarkan hasil analisis akar penyebab menggunakan metode 5 Whys yang dikembangkan hingga sembilan tahapan, diperoleh bahwa permasalahan utama dalam penelitian ini bukan terletak pada kerusakan komponen secara langsung, melainkan pada tidak dilakukannya verifikasi dan pengujian terintegrasi sistem kontrol otomatis OWS sebelum reaktivasi setelah periode idle panjang. Permasalahan tersebut merupakan hasil dari rangkaian faktor yang saling berkaitan, baik dari aspek manajemen perawatan, metode kerja, hingga persepsi terhadap kritikalitas sistem. Untuk memperjelas hubungan sebab-akibat secara sistematis, hasil analisis tersebut divisualisasikan dalam bentuk Fishbone Diagram (Diagram Sebab-Akibat). Diagram ini digunakan untuk mengidentifikasi dan mengelompokkan faktor-faktor yang berkontribusi terhadap ketidakpastian fungsi sistem kontrol OWS (OCM–Panel–Discharge Valve) pasca-idle panjang. Dalam penelitian ini, faktor penyebab dikelompokkan ke dalam enam kategori utama, yaitu:

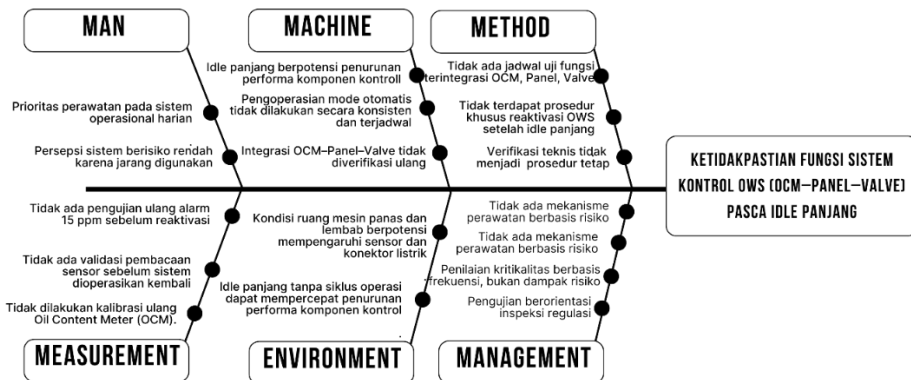
- a. Manusia (Man)
- b. Mesin (Machine)
- c. Metode (Method)
- d. Pengukuran (Measurement)
- e. Lingkungan (Environment)
- f. Manajemen (Management)

Table 4. 12 Kategori penyebab Fishbone

Kategori	Detail Penyebab
Manajemen (Management)	<ul style="list-style-type: none"> • Tidak adanya mekanisme perawatan berbasis risiko • Tidak ada kebijakan wajib verifikasi sistem kontrol pasca-idle panjang • Penilaian kritikalitas sistem berdasarkan frekuensi penggunaan, bukan dampak risiko • Pengujian lebih berorientasi pada inspeksi regulasi
Metode (Method)	<ul style="list-style-type: none"> • Tidak terdapat prosedur khusus reaktivasi OWS setelah idle panjang • Tidak ada jadwal uji fungsi terintegrasi OCM–Panel–Valve • Verifikasi teknis tidak menjadi bagian dari prosedur tetap
Pengukuran (Measurement)	<ul style="list-style-type: none"> • Tidak dilakukan kalibrasi ulang Oil Content Meter (OCM) • Tidak ada pengujian ulang alarm 15 ppm sebelum reaktivasi • Tidak ada validasi pembacaan sensor sebelum sistem dioperasikan kembali
Mesin (Machine)	<ul style="list-style-type: none"> • Pengoperasian mode otomatis tidak dilakukan secara konsisten dan terjadwal • Idle panjang berpotensi menyebabkan penurunan performa komponen kontrol (sensor OCM, wiring panel, aktuator valve) • Integrasi OCM–Panel–Valve tidak diverifikasi ulang sebagai satu kesatuan sistem setelah tidak digunakan dalam jangka waktu lama
Lingkungan	<ul style="list-style-type: none"> • Kondisi ruang mesin panas dan lembab berpotensi

Kategori	Detail Penyebab
(Environment)	<p>mempengaruhi sensor dan konektor listrik</p> <ul style="list-style-type: none"> Idle panjang tanpa siklus operasi dapat mempercepat penurunan performa komponen kontrol
Manusia (Man)	<ul style="list-style-type: none"> Persepsi sistem berisiko rendah karena jarang digunakan Prioritas perawatan pada sistem operasional harian

Berdasarkan hasil pengumpulan data melalui kuesioner dan wawancara yang dilakukan secara bertahap, serta setelah dilakukan pengelompokan faktor-faktor penyebab ke dalam kategori yang relevan, maka diperoleh visualisasi analisis dalam bentuk Fishbone Diagram sebagai berikut.



Gambar 4. 4 Fishbone Diagram

Berdasarkan faktor-faktor penyebab yang telah diidentifikasi melalui analisis Fishbone Diagram, terdapat beberapa potensi risiko yang dapat mempengaruhi fungsi sistem kontrol otomatis Oily Water Separator (OWS). Potensi risiko tersebut kemudian dianalisis menggunakan Matrix Risk Diagram dengan mempertimbangkan tingkat kemungkinan kejadian

(likelihood) dan tingkat dampak yang ditimbulkan (impact) guna menentukan prioritas penanganan risiko pada sistem OWS.

4.10 Matrix Risk Diagram

Table 4. 13 Matrix Risk Diagram

		<i>Impact (Consequence)</i>				
		<i>insignificant</i>	<i>minor</i>	<i>moderate</i>	<i>major</i>	<i>catastrophic</i>
Likelihood	<i>Almost certain</i>	5	10	15	20	25
	<i>Likely</i>	4	8	12	16	20
	<i>Possible</i>	3	6	9	12	15
	<i>Unlikely</i>	2	4	6	8	10
	<i>Rare</i>	1	2	3	4	5

Matriks risiko digunakan untuk memetakan tingkat risiko berdasarkan hubungan antara kemungkinan kejadian (likelihood) dan tingkat dampak yang ditimbulkan (impact). Nilai risiko diperoleh dari hasil perkalian antara kedua parameter tersebut. Berdasarkan faktor-faktor penyebab yang telah diidentifikasi melalui analisis Fishbone Diagram, beberapa potensi risiko yang dapat mempengaruhi fungsi sistem kontrol OWS kemudian dinilai menggunakan Matrix Risk Diagram untuk menentukan tingkat prioritas penanganan risiko.

Table 4. 14 Hasil akhir Perhitungan Matrix Diagram Risk

No.	Potensi Risiko	Penilaian risiko			Keterangan
		Likelihood	Impact	Tingkat risiko	
1.	Ketidakpastian fungsi sistem kontrol OWS	5 (Almost certain)	4 (major)	20	High

	(OCM-Panel-Valve)				
2.	Ketidakakuratan pembacaan Oil Content Meter	4 (Likely)	4 (Major)	12	Medium
3.	Respon otomatis discharge valve yang tidak optimal	3 (Possible)	4 (Major)	12	Medium
4.	Kegagalan alarm 15 ppm	3 (Possible)	4 (Major)	9	Medium
5.	Gangguan koneksi sistem kontrol (wiring dan panel)	3 (Possible)	3 (moderate)	16	High

Berdasarkan tabel hasil perhitungan Matrix Risk Diagram, diketahui bahwa beberapa potensi risiko pada sistem kontrol Oily Water Separator (OWS) memiliki tingkat prioritas yang berbeda. Penilaian risiko dilakukan dengan mempertimbangkan nilai kemungkinan kejadian (likelihood) dan tingkat dampak (impact) terhadap fungsi sistem kontrol OWS apabila sistem dioperasikan kembali setelah periode idle panjang tanpa verifikasi teknis yang memadai. Risiko yang termasuk dalam kategori tinggi adalah sebagai berikut:

1. Ketidakpastian fungsi sistem kontrol OWS (OCM-Panel-Discharge Valve) dengan nilai risiko 20 (Likelihood = 5, Impact = 4).

Risiko ini menunjukkan bahwa integrasi sistem kontrol berpotensi mengalami ketidaksesuaian fungsi apabila sistem dioperasikan

kembali tanpa dilakukan verifikasi dan pengujian fungsi secara menyeluruh setelah periode idle panjang.

2. Ketidakakuratan pembacaan Oil Content Meter (OCM) dengan nilai risiko 16 (Likelihood = 4, Impact = 4).

Risiko ini dapat terjadi apabila sensor OCM tidak dilakukan kalibrasi ulang setelah lama tidak digunakan, sehingga pembacaan kandungan minyak pada air buangan berpotensi menjadi tidak akurat.

Selain itu, terdapat beberapa risiko yang berada pada kategori sedang, yaitu:

1. Respon otomatis discharge valve yang tidak optimal dengan nilai risiko 12 (Likelihood = 3, Impact = 4).
2. Kegagalan alarm 15 ppm dalam mendeteksi kandungan minyak dengan nilai risiko 12 (Likelihood = 3, Impact = 4).
3. Gangguan koneksi sistem kontrol (wiring dan panel) dengan nilai risiko 9 (Likelihood = 3, Impact = 3).

Secara keseluruhan, hasil analisis Matrix Risk Diagram menunjukkan bahwa verifikasi teknis dan pengujian fungsi sistem kontrol OWS sebelum reaktivasi merupakan langkah penting untuk mengurangi potensi risiko yang dapat mempengaruhi fungsi sistem serta menjaga keandalan operasi OWS.

4.11 Corrective Action

Corrective Action merupakan tindakan perbaikan yang dilakukan untuk menghilangkan penyebab utama dari suatu permasalahan sehingga kejadian serupa tidak terulang kembali. Sementara itu, Preventive Action merupakan tindakan pencegahan yang bertujuan

untuk meminimalkan kemungkinan terjadinya potensi kegagalan di masa mendatang. Dalam sistem manajemen mutu, kedua tindakan tersebut dikenal sebagai Corrective and Preventive Action (CAPA) yang disusun berdasarkan hasil analisis akar penyebab masalah (Root Cause Analysis). Pada penelitian ini, tindakan corrective dan preventive action disusun berdasarkan hasil analisis Root Cause Analysis menggunakan metode 5 Whys, pengelompokan faktor penyebab melalui Fishbone Diagram, serta prioritas risiko yang diperoleh dari Matrix Risk Diagram. Berdasarkan hasil analisis tersebut, diketahui bahwa akar permasalahan utama terletak pada tidak adanya mekanisme manajemen perawatan yang mewajibkan verifikasi teknis sistem kontrol OWS sebelum reaktivasi setelah periode idle panjang.

Hasil penilaian menggunakan Matrix Risk Diagram menunjukkan bahwa risiko dengan tingkat prioritas tertinggi adalah ketidakpastian fungsi sistem kontrol OWS (OCM–Panel–Discharge Valve) dengan nilai risiko sebesar 20 yang termasuk dalam kategori risiko tinggi. Risiko tersebut berkaitan dengan tidak dilakukannya verifikasi teknis terhadap integrasi sistem kontrol sebelum sistem dioperasikan kembali. Selain itu, terdapat beberapa risiko lain seperti ketidakakuratan pembacaan Oil Content Meter (OCM), respon otomatis discharge valve yang tidak optimal, kegagalan alarm 15 ppm, serta gangguan koneksi sistem kontrol.

Berdasarkan hasil analisis tersebut, tindakan perbaikan difokuskan pada penerapan verifikasi teknis sistem kontrol OWS sebelum reaktivasi serta pemeriksaan terhadap komponen utama sistem kontrol untuk memastikan sistem dapat berfungsi dengan baik.

Table 4. 15 Corrective and Preventive Action Berdasarkan Hasil Risk Matrix

No.	Potensi Risiko	Tingkat Risiko	Corrective Action	Preventive Action
1.	Ketidakpastian fungsi sistem kontrol OWS (OCM–Panel–Discharge Valve)	Tinggi	Melakukan verifikasi fungsi terintegrasi antara Oil Content Meter, panel kontrol, dan discharge valve sebelum sistem dioperasikan Kembali.	Menyusun prosedur verifikasi teknis sistem kontrol OWS setelah periode idle Panjang.
2.	Ketidakakuratan pembacaan Oil Content Meter (OCM)	Tinggi	Melakukan kalibrasi ulang Oil Content Meter untuk memastikan akurasi pembacaan kandungan minyak.	Menetapkan jadwal kalibrasi berkala untuk sensor OCM.
3.	Respon otomatis discharge valve tidak optimal	Sedang	Melakukan pengujian respon discharge valve terhadap sinyal dari Oil Content Meter.	Menetapkan pengujian fungsi valve secara periodic.

No.	Potensi Risiko	Tingkat Risiko	Corrective Action	Preventive Action
4.	Kegagalan alarm 15 ppm	Sedang	Melakukan pengujian fungsi alarm 15 ppm untuk memastikan sistem peringatan bekerja dengan baik.	Menambahkan pengujian alarm dalam prosedur inspeksi sistem OWS.
5.	Gangguan koneksi sistem kontrol	Sedang	Melakukan inspeksi wiring, relay, dan konektor pada panel kontrol sistem OWS.	Melakukan pemeriksaan sistem kontrol secara berkala.

Berdasarkan Tabel Corrective and Preventive Action di atas, tindakan perbaikan difokuskan pada potensi risiko yang memiliki tingkat prioritas tinggi hingga sedang berdasarkan hasil penilaian Matrix Risk Diagram. Risiko dengan tingkat prioritas tertinggi berkaitan dengan ketidakpastian fungsi sistem kontrol OWS yang melibatkan integrasi antara Oil Content Meter (OCM), panel kontrol, dan discharge valve. Oleh karena itu, tindakan perbaikan utama yang diusulkan adalah melakukan verifikasi fungsi sistem kontrol secara terintegrasi sebelum sistem dioperasikan kembali setelah periode idle panjang.

Selain itu, beberapa risiko lain seperti ketidakakuratan pembacaan Oil Content Meter, respon otomatis discharge valve yang tidak optimal, kegagalan alarm 15 ppm, serta gangguan koneksi sistem kontrol

ditangani melalui tindakan pemeriksaan teknis pada masing-masing komponen sistem kontrol. Tindakan tersebut meliputi kalibrasi ulang sensor OCM, pengujian respon valve terhadap sinyal sensor, pengujian fungsi alarm 15 ppm, serta inspeksi wiring dan konektor pada panel kontrol. Secara keseluruhan, penerapan corrective action dan preventive action tersebut diharapkan dapat mengurangi potensi risiko kegagalan fungsi sistem kontrol OWS serta meningkatkan keandalan sistem ketika dioperasikan kembali setelah periode idle panjang.

4.12 Lifetime Oily Water Separator

a. Penentuan Komponen dan Material

Berdasarkan prinsip kerja sistem OWS sebagai satu kesatuan proses pemisahan minyak dan air, komponen-komponen dikelompokkan ke dalam beberapa fungsi utama, seperti fungsi pemisahan, fungsi pengendalian air, fungsi pemantuan dan proteksi dan fungsi penunjang mekanis. Penentuan komponen dilakukan berdasarkan peran operasional komponen dalam sistem dan mengacu pada prinsip kerja OWS sebagaimana dijelaskan dalam literatur teknis dan manual peralatan :

Table 4. 16 Pengelompokan Material Komponen

No.	Komponen	Jenis Material
1.	TEST COCK	BRASS
2.	TEST VALVE	BRASS
3.	TRANSMITTER	ALUMUNIUM ALLOY
4.	OIL LEVEL DETECTOR	ALUMUNIUM ALLOY
5.	SELENOID VALVE	BRONZE
6.	AIR VALVE	BRASS
7.	AIR VENT VALVE	MILD STEEL
8.	PRESSURE GAUGE	BRASS

9.	GASKET	RUBBER
----	--------	--------

b. Identifikasi Potensi Degradasi

Identifikasi mekanisme degradasi dilakukan dengan mempertimbangkan karakteristik material, lingkungan penyimpanan, serta lamanya periode tidak beroperasi. Karena sistem tidak mengalami beban operasi, mekanisme degradasi yang dianalisis difokuskan pada degradasi pasif yang terjadi seiring waktu, bukan degradasi akibat siklus kerja atau kelelahan material.

Table 4. 17 Potensi dan Dampak Degradasi

Material	Degradasi Utama	Komponen	Mekanisme Degradasi	Dampak
Brass	Korosi	Test Cock	Oksidasi dan korosi ringan pada permukaan	Potensi penyumbatan atau penurunan kelancaran aliran
		Test Valve	Korosi ringan serta kemungkinan endapan pada mekanisme valve	Mekanisme buka-tutup valve menjadi kurang optimal
		Air Valve	Korosi ringan pada permukaan dan kemungkinan endapan	Pengaturan aliran udara menjadi tidak optimal
		Pressure Gauge	Penuaan komponen	Penurunan akurasi pembacaan

			internal dan korosi ringan	tekanan
Alumunium Alloy	Korosi	Transmitter	Korosi permukaan pada housing dan penurunan kinerja komponen elektronik	Pembacaan sinyal menjadi kurang akurat
		Oil Level Detector	Korosi ringan pada bagian luar dan penurunan sensitivitas sensor	Deteksi level minyak menjadi kurang akurat
Bronze	Oksidasi	Solenoid Valve	Oksidasi dan potensi macet pada bagian mekanisme internal	Valve tidak merespons atau gagal membuka/menutup
Mild Steel	Korosi	Air Vent Valve	Korosi akibat oksidasi pada material baja karbon	Potensi penyumbatan atau kerusakan valve
Rubber	Aging	Gasket	Aging dan kehilangan elastisitas	Potensi kebocoran pada sambungan

c. Estimasi Lifetime OWS

Table 4. 18 Rekomendasi Tindakan Terhadap Komponen

Komponen	Mekanisme Degradasi	Rekomendasi Tindakan
----------	---------------------	----------------------

Test Cock	Oksidasi dan korosi ringan pada permukaan	Pembersihan
Test Valve	Korosi ringan serta kemungkinan endapan pada mekanisme valve	Pembersihan
Air Valve	Korosi ringan pada permukaan dan kemungkinan endapan	Pembersihan
Pressure Gauge	Penuaan komponen internal dan korosi ringan	Kalibrasi
Transmitter	Korosi permukaan pada housing dan penurunan kinerja komponen elektronik akibat usia	Kalibrasi
Oil Level Detector	Korosi ringan pada bagian luar dan penurunan sensitivitas sensor	Kalibrasi
Solenoid Valve	Oksidasi dan potensi macet pada bagian mekanisme internal	Penggantian
Air Vent Valve	Korosi akibat oksidasi pada material baja karbon	Penggantian
Gasket	Aging dan kehilangan elastisitas	Penggantian

Hasil penentuan lifetime komponen Oily Water Separator (OWS) diperoleh berdasarkan kondisi aktual material dan rekomendasi tindakan teknis yang diterapkan pada masing-masing komponen. Lifetime dalam penelitian ini didefinisikan sebagai umur pakai fungsional, yaitu perkiraan waktu komponen dapat berfungsi secara andal setelah dilakukan tindakan teknis yang sesuai, seperti penggantian atau kalibrasi. Mengingat sistem OWS pada kapal Ferry Virgo Transport 8 berada dalam kondisi idle jangka panjang sejak tahun 1987, penentuan lifetime tidak didasarkan pada umur kalender maupun jam operasi, melainkan

pada kondisi material pasca evaluasi. Komponen yang direkomendasikan untuk diganti diasumsikan kembali berada pada kondisi material baru sehingga umur pakainya mengacu pada umur desain material, sedangkan komponen yang dikalibrasi diberikan estimasi umur pakai layanan secara konservatif.

Penentuan lifetime komponen setelah tindakan perawatan dilakukan berdasarkan status material yang dihasilkan dari rekomendasi tindakan. Komponen yang diganti diasumsikan memiliki umur pakai sesuai umur desain material, sedangkan komponen yang hanya dilakukan pembersihan diasumsikan memiliki sisa umur pakai konservatif. Untuk komponen instrumentasi yang dilakukan kalibrasi, lifetime ditentukan

Status Material	Dasar Penentuan Lifetime
Material baru	Umur desain / standar material
Material lama – dipulihkan	Sisa umur pakai konservatif
Elektronik terkalibrasi	Umur layanan komponen
Material terdegradasi	Tidak direkomendasikan

Gambar 4. 5 Dasar Penentuan Lifetime Komponen

berdasarkan umur layanan komponen elektronik setelah dilakukan pengujian dan kalibrasi ulang.

Table 4. 19 Dasar Penentuan Lifetime Komponen

Komponen	Rekomendasi Tindakan	Status Material	Dasar Penentuan Lifetime
Test Cock	Pembersihan	Material lama – dipulihkan	Sisa umur pakai konservatif

Komponen	Rekomendasi Tindakan	Status Material	Dasar Penentuan Lifetime
Test Valve	Pembersihan	Material lama – dipulihkan	
Air Valve	Pembersihan	Material lama – dipulihkan	
Pressure Gauge	Kalibrasi	Elektronik terkalibrasi	Umur layanan komponen
Transmitter	Kalibrasi	Elektronik terkalibrasi	
Oil Level Detector	Kalibrasi	Elektronik terkalibrasi	
Solenoid Valve	Penggantian	Material Baru	Umur desain komponen
Air Vent Valve	Penggantian	Material Baru	
Gasket	Penggantian	Material Baru	

Umur desain komponen pada sistem Oily Water Separator (OWS) ditentukan berdasarkan referensi literatur mengenai umur layanan komponen valve industri, instrumentasi, serta material elastomer. Komponen valve berbahan brass diketahui memiliki ketahanan korosi yang baik sehingga umur operasionalnya dapat mencapai sekitar 20–30 tahun pada kondisi penggunaan normal (IFAN Brass Industry Co., 2023). Sementara itu, control valve seperti solenoid valve memiliki umur layanan yang lebih pendek, yaitu sekitar 5–15 tahun tergantung kondisi operasi dan frekuensi (Fevisa Valves, 2022).

Penggunaan Pada komponen instrumentasi seperti pressure gauge, transmitter, dan sensor level, umur layanan umumnya berada pada rentang 8–15 tahun karena dipengaruhi oleh stabilitas komponen elektronik serta kebutuhan kalibrasi berkala (General Instruments Consortium, 2021; Prism Calibration, 2022). Adapun komponen berbahan elastomer seperti gasket memiliki umur pakai yang lebih pendek, yaitu sekitar 5–10 tahun, karena material elastomer cenderung mengalami penuaan dan kehilangan elastisitas seiring waktu (Fluid Sealing Association, 2017).

Table 4. 20 Referensi Umur Desain Komponen

Komponen	Jenis Komponen	Umur Desain	Sumber
Test Cock	Brass valve	20 tahun	Berdasarkan umur layanan valve berbahan brass yang dapat mencapai lebih dari 20 tahun pada kondisi operasi normal (IFAN Brass Industry Co., 2023).
Test Valve	Brass valve	20 tahun	Brass shut-off valve memiliki umur operasional yang panjang dan dapat beroperasi lebih dari dua dekade dengan perawatan yang baik (IFAN Brass Industry Co., 2023).

Komponen	Jenis Komponen	Umur Desain	Sumber
Air Valve	Brass valve	20 tahun	Valve berbahan brass dikenal memiliki ketahanan korosi yang baik sehingga umur layanannya dapat mencapai sekitar 20–30 tahun (IFAN Brass Industry Co., 2023).
Solenoid Valve	Control valve	10 tahun	Control valve dan actuated valve umumnya memiliki umur layanan sekitar 5–15 tahun tergantung kondisi operasi dan frekuensi penggunaan (Fevisa Valves, 2022).
Air Vent Valve	Industrial valve	15 tahun	Umur layanan valve industri dapat berkisar antara 5 hingga 25 tahun tergantung jenis material dan kondisi operasional (Fevisa Valves, 2022).
Pressure Gauge	Instrument mekanis	10 tahun	Pressure instrument memiliki umur layanan sekitar 10–15 tahun dengan perawatan dan pengujian berkala

Komponen	Jenis Komponen	Umur Desain	Sumber
			(General Instruments Consortium, 2021).
Transmitter	Instrument elektronik	8 tahun	Perangkat instrumentasi elektronik industri umumnya memiliki umur layanan sekitar 8–12 tahun tergantung lingkungan dan pemeliharaan (Prism Calibration, 2022).
Oil Level Detector	Sensor instrumentasi	8 tahun	Sensor industri memiliki umur layanan sekitar 8–12 tahun yang dipengaruhi oleh kondisi operasi dan interval kalibrasi (Prism Calibration, 2022).
Gasket	Elastomer seal	5 tahun	Elastomer gasket memiliki umur pakai relatif pendek karena mengalami penuaan material dan kehilangan elastisitas (Fluid Sealing Association, 2017).

Tindakan pembersihan dilakukan pada komponen yang mengalami degradasi ringan seperti oksidasi permukaan atau endapan kotoran namun tidak mengalami kerusakan struktural. Proses pembersihan bertujuan untuk mengembalikan fungsi mekanis komponen tanpa mengganti material utama komponen tersebut. Namun demikian, tindakan ini tidak menghilangkan proses penuaan material yang telah terjadi selama masa operasi maupun selama periode tidak beroperasi.

Dalam kajian reliability engineering, komponen yang mengalami perawatan restoratif namun tidak diganti biasanya dianggap memiliki remaining useful life yang lebih pendek dibandingkan umur desain awalnya (Moubrey, 1997). Pendekatan konservatif yang umum digunakan dalam analisis pemeliharaan adalah memperkirakan sisa umur komponen sebesar sekitar setengah dari umur desain, karena komponen telah mengalami proses aging dan degradasi material sebelumnya (Mobley, 2002). Dengan pendekatan tersebut, lifetime komponen setelah tindakan pembersihan dapat diperkirakan menggunakan persamaan berikut:

$$L_{\text{cleaning}} = 0.5 \times \text{Umur desain komponen}$$

Pendekatan ini digunakan untuk memberikan estimasi umur pakai yang lebih konservatif terhadap komponen yang dipulihkan tanpa dilakukan penggantian material utama. Pada komponen instrumentasi seperti pressure gauge, transmitter, dan oil level detector, degradasi yang terjadi umumnya berkaitan dengan penurunan akurasi pengukuran akibat drift pada komponen elektronik atau mekanis. Kalibrasi dilakukan untuk mengembalikan

akurasi alat agar kembali berada dalam batas toleransi yang diizinkan.

Menurut Dunn (2014), proses kalibrasi tidak mengembalikan kondisi instrument menjadi baru, tetapi hanya memastikan bahwa alat ukur masih bekerja dalam rentang akurasi yang dapat diterima. Oleh karena itu, umur operasional instrument setelah kalibrasi biasanya lebih pendek dibandingkan umur desain awalnya. Selain itu, interval kalibrasi dalam industri umumnya dilakukan secara berkala untuk menjaga keandalan pengukuran (Bentley, 2005). Dalam penelitian ini, lifetime komponen instrumentasi setelah kalibrasi diasumsikan sebesar sekitar 60% dari umur desain komponen sebagai pendekatan konservatif terhadap sisa umur pakai instrument yang telah mengalami aging.

$$L \text{ calibration} = 0.6 \times \text{Umur desain komponen}$$

Table 4. 21 Rumus Penentuan Estimasi Lifetime

Tindakan	Status Material	Dasar Lifetime	Rumus
Penggantian	Material baru	Mengikuti umur desain	$L = \text{umur desain}$
Pembersihan	Material lama dipulihkan	Sisa umur konservatif	$L = 0.5 \times \text{umur desain}$
Kalibrasi	Elektronik terkalibrasi	Umur layanan instrument	$L = 0.6 \times \text{umur desain}$

Table 4. 22 Hasil Estimasi Lifetime Komponen OWS

Komponen	Umur Desain	Tindakan	Rumus	Estimasi Lifetime
Test Cock	20 tahun	Pembersihan	$L = 0.5 \times \text{umur desain}$	10 tahun
Test Valve	20 tahun			10 tahun
Air Valve	20 tahun			10 tahun
Solenoid Valve	10 tahun	Penggantian	$L = \text{umur desain}$	10 tahun
Air Vent Valve	15 tahun			15 tahun
Gasket	5 tahun			5 Tahun
Transmitter	8 tahun	Kalibrasi	$L = 0.6 \times \text{umur desain}$	4-5 tahun
Oil Level Detector	8 tahun			4-5 tahun
Pressure Gauge	10 tahun			6 Tahun