



ISSN 2338-0322

JURNAL TEKNIK PERKAPALAN

Jurnal Hasil Karya Ilmiah Lulusan S1 Teknik Perkapalan Universitas Diponegoro

Analisis Perawatan Berbasis Keandalan Sistem Fuel Oil Purifier Pada MT. Cordelia W

Andi Rizki Al Ghani Ridata¹⁾, Hartono Yudo²⁾, Samuel³⁾

¹⁾Laboratorium Teknologi Sistem dan Permesinan Kapal

Departemen Teknik Perkapalan, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

Jl. Prof. Soedarto, SH, Kampus Undip Tembalang, Semarang, Indonesia 50275

^{*)}e-mail : andirizki@students.undip.ac.id, hartonoyudo@lecturer.undip.ac.id, samuel@lecturer.undip.ac.id

Abstrak

Sistem bahan bakar kapal memegang peran krusial karena secara langsung memengaruhi kinerja main engine. Main engine bekerja secara 24 jam dalam pengoperasian kapal sehingga perlu metode khusus untuk pencegahan kerusakan pada main engine, khususnya pada bagian sistem fuel oil purifier. Fuel Oil Purifier merupakan peralatan bantu di kapal yang mempunyai peranan penting dalam memisahkan bahan bakar dari air dan kotoran. Penggunaan bahan bakar yang bersih adalah untuk menunjang pengoperasian mesin induk dalam menghasilkan pembakaran yang sempurna. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menganalisis sistem Fuel Oil Purifier pada kapal MT. Cordelia W menggunakan metode keandalan karena kegagalan pada sistem ini akan berdampak langsung pada mesin induk kapal. Metode keandalan digunakan untuk memeriksa sistem bahan bakar dengan menggunakan analisis kuantitatif dan kualitatif. Untuk analisis kualitatif, digunakan Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) dan Fault Tree Analysis (FTA). Untuk analisis kuantitatif, digunakan analisis data, pencarian Reliability Block Diagram (RBD), dan simulasi Monte Carlo. Pada penelitian ini menunjukkan hasil RPN terbesar adalah 270 dengan komponen bowl & disc dan crank case. Hasil simulasi menunjukkan availability sebesar 0,962333 dan MTTF adalah 1659,548047 jam. Dapat disimpulkan bahwa semakin banyak komponen yang dianalisis keandalannya, maka semakin kecil nilai MTTF, dan sebaliknya.

Kata Kunci : Sistem fuel oil purifier, Keandalan, Perawatan

1. PENDAHULUAN

Kapal MT Cordelia.W adalah tanker minyak yang dibangun pada 2009 dan beroperasi di bawah bendera Indonesia. Dengan panjang 99,9 meter, kapal ini dirancang untuk memenuhi standar keselamatan dan efisiensi transportasi bahan bakar. Terdaftar dengan nomor IMO 9554901, kapal ini dilengkapi sistem navigasi dan permesinan andal untuk memastikan operasional yang lancar di berbagai perairan. Kapal merupakan sarana transportasi yang digunakan untuk mengangkut penumpang dan barang di perairan, serupa dengan sampan atau perahu berukuran lebih kecil. Umumnya, kapal memiliki dimensi yang cukup besar sehingga mampu membawa perahu kecil

seperti sekoci. Dalam bahasa Inggris, terdapat perbedaan istilah antara *ship*, yang merujuk pada kapal berukuran besar, dan *boat*, yang digunakan untuk perahu dengan ukuran lebih kecil [1].

Keandalan (*reliability*) adalah ukuran probabilitas suatu sistem atau komponen dalam menjalankan fungsi yang telah ditetapkan secara optimal dalam kondisi operasi tertentu selama periode waktu yang ditentukan. Keandalan sangat penting dalam berbagai industri, terutama dalam bidang teknik dan transportasi, di mana kegagalan suatu komponen dapat berdampak pada efisiensi, keselamatan, serta biaya operasional. Semakin tinggi tingkat keandalan suatu sistem, semakin kecil kemungkinan terjadinya gangguan atau kerusakan selama masa operasionalnya. Untuk

memastikan keandalan tetap terjaga, diperlukan pemantauan, analisis kegagalan, serta penerapan strategi perawatan yang efektif. Salah satu metode yang sering digunakan dalam menilai keandalan adalah analisis statistik berdasarkan data historis kegagalan, seperti *Mean Time Between Failures* (MTBF) dan *Mean Time To Failure* (MTTF). Dengan memahami dan meningkatkan keandalan suatu sistem, risiko gangguan dapat diminimalkan, sehingga operasional menjadi lebih efisien dan aman [2].

Berdasarkan penelitian yang berjudul *Maintenance Analysis based on Fuel System Reliability of Main Engine on the Ship KM*. Kelimutu, dilakukan analisis terhadap sistem bahan bakar kapal menggunakan pendekatan keandalan. Penelitian ini menerapkan metode analisis kualitatif dan kuantitatif untuk mendapatkan gambaran menyeluruh mengenai tingkat keandalan sistem. Pada tahap analisis kualitatif, digunakan dua metode utama, yaitu *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA) dan *Fault Tree Analysis* (FTA). FMEA digunakan untuk mengidentifikasi, menganalisis, serta menentukan tingkat risiko dari setiap kemungkinan kegagalan pada komponen sistem bahan bakar. Sedangkan FTA berfungsi untuk menggambarkan hubungan logis dari berbagai penyebab kegagalan yang dapat menyebabkan kerusakan sistem secara keseluruhan. Tujuan utama dari penelitian ini adalah untuk menentukan komponen paling kritis dalam sistem bahan bakar KM. Kelimutu serta memahami pola kegagalan yang terjadi.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa komponen filter pada sistem bahan bakar merupakan komponen yang paling kritis, dengan nilai *Risk Priority Number initial* (RPNi) sebesar 320. Nilai RPN ini menunjukkan tingkat prioritas risiko yang cukup tinggi, sehingga perawatan atau perhatian lebih lanjut terhadap filter sangat diperlukan untuk menjaga keandalan sistem secara keseluruhan. Selain itu, penelitian ini juga menemukan bahwa sistem bahan bakar yang hanya terdiri dari dua komponen utama cenderung memiliki tingkat kegagalan lebih tinggi berdasarkan hasil simulasi yang dilakukan. Simulasi ini bertujuan untuk menguji kinerja sistem di bawah berbagai kondisi operasional dan mengidentifikasi seberapa besar peluang terjadinya kegagalan.

Lebih lanjut, hasil simulasi yang dilakukan dalam penelitian ini memberikan dua parameter penting dalam analisis keandalan, yaitu angka *availability* dan nilai *Mean Time to Failure* (MTTF). Angka *availability* dari sistem bahan bakar KM. Kelimutu tercatat sebesar 0,993. Ini berarti bahwa sistem dalam kondisi siap operasi

sebesar 99,3% dari total waktu pengoperasian, menunjukkan tingkat keandalan yang sangat tinggi. Sementara itu, nilai MTTF yang diperoleh sebesar 317,99 jam mengindikasikan rata-rata waktu beroperasinya sistem sebelum mengalami kegagalan pertama. Nilai MTTF ini menjadi dasar penting dalam menentukan interval perawatan yang optimal, sehingga diharapkan dapat meminimalkan risiko kerusakan mendadak dan memperpanjang umur operasional sistem bahan bakar. Kesimpulannya, penelitian ini memberikan gambaran rinci tentang pentingnya pengelolaan keandalan pada sistem bahan bakar kapal untuk menjaga performa mesin utama secara maksimal [3].

Berdasarkan penelitian sebelumnya mengenai *Reliability Centered Maintenance* (RCM) pada sistem bahan bakar kapal KM. Bukit Siguntang, dilakukan analisis mendalam untuk mengevaluasi tingkat keandalan sistem tersebut. Peneliti menggunakan kombinasi beberapa metode analisis, yaitu *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA), *Fault Tree Analysis* (FTA), serta simulasi Monte Carlo. FMEA digunakan untuk mengidentifikasi potensi kegagalan pada setiap komponen sistem bahan bakar dan menilai dampaknya terhadap keseluruhan performa sistem. Sementara itu, FTA dipakai untuk menggambarkan secara logis hubungan antara berbagai penyebab kegagalan yang dapat mengarah pada kegagalan sistem secara keseluruhan. Metode simulasi Monte Carlo kemudian diterapkan untuk memperkirakan kinerja sistem dalam berbagai skenario operasional yang melibatkan unsur ketidakpastian, sehingga menghasilkan data keandalan yang lebih realistis.

Tujuan utama dari penelitian ini adalah untuk mengidentifikasi komponen kritis yang paling berpengaruh terhadap tingkat ketersediaan (*availability*) dari sistem bahan bakar kapal. Hasil analisis menunjukkan bahwa filter merupakan komponen yang paling kritis dalam sistem tersebut. Filter memiliki peran vital dalam menjaga kelancaran aliran bahan bakar dan melindungi komponen mesin lainnya dari potensi kerusakan akibat kontaminan. Dalam penelitian ini, filter tercatat memiliki nilai ketersediaan sebesar 0,91. Angka ini menunjukkan bahwa meskipun sistem cukup andal, ada ruang untuk peningkatan, khususnya dengan memperhatikan perawatan dan penggantian filter secara berkala. Selain itu, *Mean Time to First Failure* (MTTFF) untuk filter tercatat sebesar 4570,96 jam, yang mengindikasikan rata-rata waktu sebelum terjadi kegagalan pertama kali pada komponen ini cukup panjang.

Penelitian ini juga menemukan bahwa semakin banyak komponen *standby* yang mengalami kegagalan, maka ketersediaan sistem

bahan bakar akan menurun secara signifikan. Komponen *standby*, yang berfungsi sebagai cadangan ketika komponen utama gagal, memainkan peranan penting dalam mempertahankan kontinuitas operasi sistem. Ketika komponen-komponen ini tidak berfungsi dengan baik, sistem menjadi lebih rentan terhadap gangguan dan downtime, yang pada akhirnya berdampak negatif terhadap efisiensi operasional kapal secara keseluruhan. Temuan ini menekankan pentingnya strategi pemeliharaan berbasis keandalan, di mana perawatan tidak hanya difokuskan pada komponen utama, tetapi juga pada komponen *standby* untuk memastikan sistem tetap dapat beroperasi dengan optimal dalam jangka Panjang [4].

Berdasarkan penelitian sebelumnya mengenai *Reliability Centered Maintenance* (RCM) pada sistem bahan bakar KM. Bima, peneliti menggunakan metode FMEA, FTA, dan simulasi Monte Carlo untuk menganalisis potensi kegagalan. Penelitian ini bertujuan menentukan interval perawatan optimal dengan mempertimbangkan biaya perawatan dan perbaikan. Peneliti mengidentifikasi tujuh mode kegagalan utama pada mesin induk. Hasil analisis menunjukkan bahwa interval perawatan (TM) harus lebih kecil dari nilai *Mean Time To Failure* (MTTF) untuk mencegah kerusakan. Dari hasil perhitungan, komponen *blower turbocharger* memiliki interval tertinggi yaitu 1071,4 jam, sedangkan *connecting rod* memiliki interval terendah yaitu 453,5 jam [5].

Berdasarkan penelitian tentang analisa kegagalan sistem bahan bakar kapal yang menggunakan metode *Preliminary Hazard Analysis* (PHA) dan *Fault Tree Analysis* (FTA), diperoleh beberapa temuan penting yang berhubungan dengan strategi perawatan sistem. Penelitian ini bertujuan untuk membantu merancang langkah-langkah perawatan yang tepat guna mencegah terjadinya kegagalan pada sistem bahan bakar kapal, yang dapat berdampak serius terhadap kinerja mesin dan keselamatan operasional. Dalam proses analisis, metode PHA digunakan untuk mengidentifikasi potensi bahaya dan risiko awal dari setiap komponen sistem, sedangkan metode FTA digunakan untuk menganalisis hubungan sebab akibat dari berbagai kegagalan yang dapat terjadi.

Hasil analisis dari kedua metode tersebut menunjukkan bahwa komponen filter bahan bakar memiliki tingkat risiko kegagalan yang paling tinggi dibandingkan komponen lainnya. Nilai *Mean Time to Failure* (MTTF) filter tercatat sebesar 150,73 jam, yang menunjukkan bahwa *filter* cenderung mengalami kegagalan lebih cepat

dibandingkan komponen lain dalam sistem. Temuan ini mengindikasikan bahwa *filter* memerlukan perhatian khusus dalam perawatan rutin, seperti penggantian secara berkala sebelum mencapai batas MTTF untuk menghindari gangguan operasional yang tidak diinginkan.

Sementara itu, komponen lain seperti *booster pump*, *separator*, dan *transfer pump* menunjukkan kinerja yang lebih baik dengan nilai MTTF yang lebih tinggi. *Booster pump* memiliki MTTF sebesar 322,38 jam, *separator* sebesar 504,9 jam, dan *transfer pump* sebesar 319,7 jam. Nilai MTTF yang lebih tinggi pada ketiga komponen ini menunjukkan bahwa mereka memiliki ketahanan yang lebih baik terhadap kegagalan dibandingkan filter. Meskipun demikian, strategi perawatan tetap perlu dirancang dengan memperhitungkan interval waktu berdasarkan nilai MTTF masing-masing komponen, sehingga tindakan *preventif* dapat dilakukan sebelum potensi kegagalan terjadi [6].

Penggunaan metode FTA dan FMEA secara bersamaan atau berurutan semakin populer karena terbukti efektif dan efisien. Pendekatan terstruktur ini memungkinkan analisis yang lebih komprehensif terhadap ancaman keamanan sistem. FMEA mengidentifikasi lokasi kesalahan dan dampaknya pada peristiwa puncak, sementara FTA merumuskan solusi menyeluruh untuk mencegah peristiwa yang tidak diinginkan. Kombinasi keduanya menjadi metode yang efektif dalam evaluasi keamanan dan keandalan. Kemudian Setelah menerapkan FTA, FMEA digunakan untuk menyelidiki dan mengidentifikasi berbagai penyebab kegagalan pada sistem deteksi kebocoran gas, tanpa mempertimbangkan keterbatasan teknik tertentu. Sebagai alternatif, Bluyband et al. Menggunakan pendekatan *bouncing unifikasi* diterapkan dengan mempertimbangkan matriks interaksi untuk kegagalan multipoint, memberikan peningkatan signifikan dibandingkan FMEA konvensional [7].

Penelitian sebelumnya telah membahas konsep keandalan sebagai kerangka penting dalam analisis ini. Keandalan menunjukkan peluang suatu sistem berfungsi optimal dalam kondisi tertentu selama waktu yang ditentukan. Insinyur memprioritaskan keandalan karena dapat mengurangi gangguan, menekan biaya perawatan, dan meningkatkan kepuasan pengguna. Dengan mengevaluasi risiko kegagalan dan menerapkan desain yang tangguh, mereka dapat meningkatkan keandalan secara sistematis. Oleh karena itu, analisis keandalan menjadi dasar utama dalam pengelolaan risiko teknis dan operasional [8].

Selain aspek keandalan, *preventive maintenance* juga memiliki peran penting dalam menjaga sistem tetap beroperasi secara optimal.

Preventive maintenance merupakan strategi pemeliharaan yang dilakukan secara terjadwal dengan tujuan untuk mencegah terjadinya kerusakan sebelum terjadi gangguan serius. Dengan menerapkan pendekatan ini, operator dapat menghindari waktu henti yang tidak direncanakan, meminimalkan risiko kegagalan mendadak, serta menjaga stabilitas dan efisiensi sistem secara keseluruhan. Strategi ini terbukti mampu meningkatkan umur pakai peralatan dan mengurangi biaya perbaikan dalam jangka panjang [9].

Preventive maintenance juga membantu memperpanjang umur peralatan dan mengurangi biaya perbaikan mendadak. Melalui perawatan terjadwal dan terstruktur, perusahaan dapat mencegah kerusakan yang berpotensi mengganggu jalannya operasional. Dengan menggabungkan analisis keandalan dan pemeliharaan preventif, perusahaan mampu mengelola aset secara lebih efisien dan berkelanjutan. Pendekatan ini tidak hanya meningkatkan keandalan peralatan, tetapi juga mempercepat waktu respon terhadap potensi kegagalan. Selain itu, *preventive maintenance* memberikan dampak positif terhadap keselamatan kerja, mengurangi *downtime*, serta membantu galangan kapal dalam menjaga performa mesin dan mencapai target produksi secara konsisten [10].

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengantisipasi kegagalan pada *fuel oil purifier* ini dapat dilakukan dengan cara analisa keandalan. Pelaksanaannya dengan cara mengidentifikasi bagaimana *fuel oil purifier* tersebut dapat mengalami kegagalan dan konsekuensi dari kejadian tersebut. Evaluasi keandalan ini akan dilaksanakan dengan analisa kualitatif menggunakan metode *Fault Tree Analysis (FTA)* dan *Failure Mode and Effect (FMEA)* serta menggunakan analisa kuantitatif dengan analisa data, pembuatan *Reliability Block Diagram (RBD)*, dan menjalankan simulasi *Monte Carlo* dengan menggunakan kapal MT. Cordelia W.

2. METODE

Penelitian ini menggunakan metode campuran kualitatif dan kuantitatif untuk menganalisis keandalan sistem *fuel oil purifier* pada kapal MT. Cordelia W. Penggunaan metode campuran ini bertujuan untuk mendapatkan hasil analisis yang lebih komprehensif dan mendalam, menggabungkan pemahaman subjektif dari observasi dan wawancara dengan analisis objektif berbasis data kuantitatif. Fokus utama penelitian ini adalah sistem *fuel oil purifier*, yang memiliki peran sangat penting dalam menjaga kualitas bahan bakar yang digunakan oleh mesin induk kapal. *Fuel*

oil purifier bertugas untuk menyaring dan memisahkan kontaminan seperti air dan partikel padat dari bahan bakar sebelum bahan bakar tersebut masuk ke mesin. Dengan demikian, kinerja *purifier* secara langsung mempengaruhi keandalan dan efisiensi operasional mesin induk.

Spesifikasi kapal MT. Cordelia W yang menjadi objek penelitian ini disajikan dalam Tabel 1, yang memuat informasi teknis seperti ukuran kapal, kapasitas mesin, serta detail sistem bahan bakarnya. Untuk mendukung analisis, data dikumpulkan melalui beberapa teknik. Pertama, dilakukan wawancara mendalam dan diskusi dengan pihak-pihak yang terlibat langsung dalam operasi dan pemeliharaan kapal, seperti kepala mesin (*chief engineer*), teknisi, dan operator *fuel oil purifier*. Melalui wawancara ini, diperoleh informasi tentang pengalaman operasional, pola kegagalan yang sering terjadi, prosedur pemeliharaan rutin, serta kendala yang dihadapi di lapangan. Diskusi-diskusi tersebut membantu peneliti memahami kondisi nyata sistem dan praktik perawatan yang diterapkan.

Selain itu, dokumentasi yang berkaitan dengan sistem bahan bakar juga digunakan sebagai sumber data penting. Dokumentasi tersebut meliputi *fuel analysis report*, *log book* perawatan mesin, serta diagram sistem bahan bakar kapal. *Fuel analysis report* memberikan gambaran tentang kualitas bahan bakar yang dipakai serta seberapa efektif purifier dalam menyaring kontaminan. *Log book* perawatan berisi catatan kegiatan pemeliharaan, penggantian komponen, dan insiden kegagalan yang pernah terjadi. Sementara itu, diagram sistem *fuel oil purifier* membantu memahami alur dan struktur sistem secara teknis, sehingga dapat dianalisis hubungan antar komponen.

2.1 Objek Penelitian

Bambu Apus (*Gigantochloa Apus*) adalah Objek yang akan digunakan dalam penelitian ini adalah sistem *fuel oil purifier* MT. Cordelia W. Ukuran utama kapal dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Ukuran Utama Kapal MT. Cordelia W

Sifat Mekanik	Nilai
<i>Length Over All (LOA)</i>	99.88 m
<i>Length Between Perpendicular (LBP)</i>	95.55 m
<i>Breadth (Moulded)</i>	18.00 m
<i>Height (Moulded)</i>	35.50 m
<i>Deadweight</i>	6921 Ton
<i>Gross Tonnage</i>	5153 Ton
<i>Net Tonnage</i>	2054 Ton
<i>Speed</i>	12.0 knot

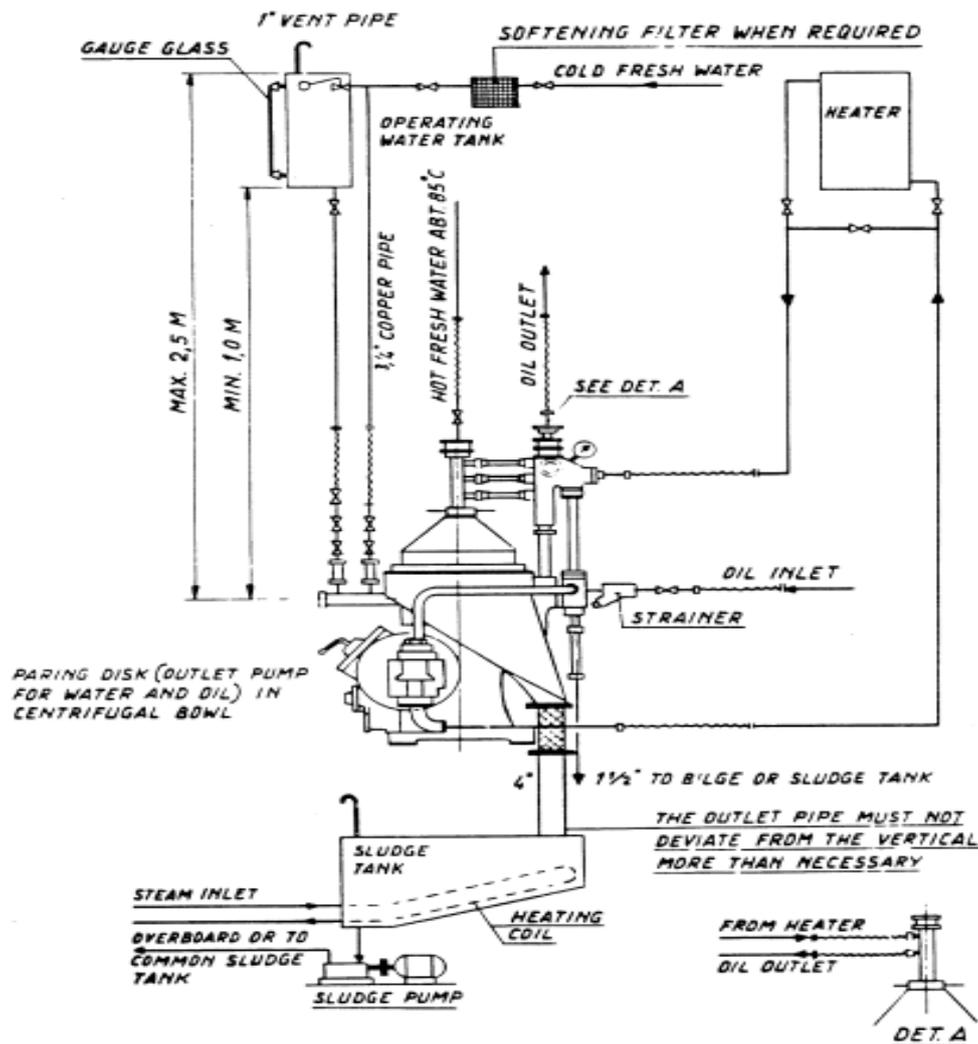
2.2 Pengumpulan Data

Pengumpulan data yang diperlukan dalam penelitian ini dilakukan secara langsung pada kapal MT. Cordelia W. Data yang dikumpulkan mencakup berbagai informasi penting yang berkaitan dengan sistem *fuel oil purifier* untuk mendukung analisis keandalan. Proses pengumpulan data diawali dengan melakukan diskusi dan wawancara kepada pihak-pihak terkait, seperti teknisi kapal, kepala mesin, dan personel perawatan. Melalui diskusi ini, peneliti memperoleh data utama yang diperlukan, yaitu *fuel analysis report* yang berisi informasi tentang kondisi bahan bakar selama periode operasional, log book perbaikan dan perawatan dari tahun 2020 hingga 2023, serta diagram sistem bahan bakar kapal MT. Cordelia W yang menggambarkan alur dan komponen yang terlibat dalam sistem *fuel oil purifier*.

Selain data primer tersebut, peneliti juga mengumpulkan data pendukung lain untuk

melengkapi dan memperkuat analisis yang dilakukan. Data tambahan ini meliputi manual book yang berisi teori-teori dasar tentang keandalan sistem mekanis, sehingga dapat digunakan sebagai referensi dalam memahami karakteristik dan potensi kegagalan pada *fuel oil purifier*. Selain itu, jurnal ilmiah, artikel teknis, dan hasil penelitian sebelumnya yang relevan juga dikaji untuk memberikan landasan teoritis yang lebih kuat serta membandingkan hasil penelitian ini dengan temuan-temuan serupa di bidang keandalan sistem *fuel oil purifier* kapal.

Kombinasi antara data primer dari kapal dan data sekunder dari literatur ini bertujuan untuk memastikan bahwa analisis yang dilakukan bersifat komprehensif, valid, dan dapat dipertanggungjawabkan. Dengan adanya berbagai sumber data tersebut, peneliti dapat melakukan evaluasi yang mendalam terhadap sistem *fuel oil purifier* di kapal MT. Cordelia W, mulai dari identifikasi potensi kegagalan hingga pemodelan keandalan sistem secara akurat.



Gambar 1 Diagram Flowchart Fuel Oil Purifier Kapal MT. Cordelia W



Gambar 2 Gambar *Fuel Oil Purifier* Kapal MT. Cordelia W

2.3 Pengolahan Data

Tahap pengolahan data dalam penelitian ini diawali dengan pengumpulan berbagai data yang berasal dari kapal MT. Cordelia W. Data yang dikumpulkan terdiri atas data primer, data sekunder, serta data dari studi literatur. Data primer diperoleh langsung melalui diskusi, wawancara, serta dokumen operasional kapal seperti *fuel analysis report*, *log book* perbaikan dan perawatan, serta diagram sistem bahan bakar. Sementara itu, data sekunder berasal dari sumber tambahan seperti *manual book* mesin, jurnal ilmiah, artikel teknis, serta penelitian-penelitian sebelumnya yang berkaitan dengan keandalan sistem bahan bakar kapal. Studi literatur ini dilakukan untuk memperkaya pemahaman teoritis serta mendukung analisis yang akan dilakukan.

Setelah seluruh data terkumpul, tahap berikutnya adalah melakukan analisis kualitatif menggunakan dua metode utama, yaitu *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA) dan *Fault Tree Analysis* (FTA). Dengan menggunakan metode FMEA, peneliti mengidentifikasi berbagai potensi kegagalan yang dapat terjadi pada setiap komponen sistem *fuel oil purifier*, menganalisis penyebab kegagalan tersebut, serta mengevaluasi dampaknya terhadap keseluruhan sistem. Setiap potensi kegagalan kemudian diberi skor berdasarkan tingkat keparahan, kemungkinan terjadinya, dan kemampuan mendeteksi kegagalan, untuk menghasilkan nilai *Risk Priority Number* (RPN). Sedangkan metode FTA digunakan untuk

memetakan secara sistematis hubungan sebab akibat dari suatu kegagalan utama, dengan menguraikan faktor-faktor yang dapat memicu terjadinya kegagalan tersebut dalam bentuk diagram pohon.

Setelah analisis kualitatif selesai dilakukan, tahap selanjutnya adalah analisis kuantitatif. Pada tahap ini, data historis kegagalan dan perawatan yang telah dikumpulkan dianalisis lebih lanjut untuk memahami pola dan tingkat keandalan sistem. Peneliti kemudian membuat *Reliability Block Diagram* (RBD) untuk memodelkan struktur keandalan sistem *fuel oil purifier*. RBD ini menggambarkan bagaimana setiap komponen berkontribusi terhadap keandalan keseluruhan sistem. Terakhir, dilakukan simulasi Monte Carlo untuk memperkirakan parameter keandalan seperti *availability*, *mean time to failure* (MTTF), dan peluang kegagalan sistem berdasarkan data yang ada. Melalui tahapan ini, peneliti memperoleh gambaran menyeluruh tentang tingkat keandalan sistem serta dapat memberikan rekomendasi perawatan yang lebih akurat.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini menganalisis sistem *fuel oil purifier* pada kapal MT. Cordelia W dengan menerapkan pendekatan kualitatif dan kuantitatif untuk mengevaluasi tingkat keandalan sistem secara menyeluruh. Sistem *fuel oil purifier* memiliki peran penting dalam menjaga kebersihan

bahan bakar yang digunakan oleh mesin induk, sehingga keandalannya sangat berpengaruh terhadap kelangsungan operasional kapal. Dalam proses analisis, peneliti mengidentifikasi berbagai potensi kegagalan yang dapat terjadi pada setiap komponen dalam sistem ini. Setiap potensi kegagalan ditelusuri untuk menemukan penyebab utamanya, baik yang bersifat teknis seperti keausan komponen maupun operasional seperti kesalahan prosedur perawatan. Dampak dari setiap kegagalan terhadap performa keseluruhan sistem bahan bakar juga dievaluasi, sehingga dapat diketahui sejauh mana pengaruh masing-masing kegagalan terhadap turunnya efisiensi dan keandalan operasional kapal.

Pada pendekatan kualitatif, peneliti menggunakan metode *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA) dan *Fault Tree Analysis* (FTA). FMEA digunakan untuk mengidentifikasi semua kemungkinan kegagalan pada komponen, menilai tingkat keparahan, peluang terjadinya, serta kemampuan sistem mendeteksi kegagalan tersebut, sehingga menghasilkan nilai prioritas risiko yang membantu menentukan fokus perbaikan. Sedangkan FTA dipakai untuk menggambarkan hubungan logis antara berbagai penyebab kegagalan secara sistematis, sehingga jalur kegagalan yang paling kritis dapat dikenali dengan lebih jelas. Dengan kombinasi kedua metode ini, peneliti mendapatkan pemetaan risiko kegagalan yang lebih rinci dan terstruktur.

Sementara itu, dalam pendekatan kuantitatif, peneliti mengolah data historis mengenai kerusakan dan pemeliharaan sistem fuel oil purifier. Data ini kemudian digunakan untuk

membangun model keandalan sistem menggunakan *Reliability Block Diagram* (RBD). RBD membantu memvisualisasikan hubungan keandalan antar komponen dan menghitung keandalan sistem secara keseluruhan berdasarkan konfigurasi blok-blok komponen. Selain itu, untuk memperoleh gambaran keandalan dalam kondisi ketidakpastian operasional, peneliti menerapkan simulasi *Monte Carlo*. Simulasi ini memungkinkan analisis prediktif tentang kemungkinan kegagalan di masa depan dan dampaknya terhadap performa sistem, dengan mempertimbangkan berbagai variabel acak yang dapat memengaruhi kinerja. Melalui pendekatan ini, penelitian memberikan gambaran komprehensif tentang kondisi keandalan sistem *fuel oil purifier* pada kapal MT. Cordelia W serta rekomendasi strategis untuk meningkatkan performa dan mengurangi risiko kegagalan.

3.1 Identifikasi Fungsi dan Kegagalan

Peneliti melakukan identifikasi terhadap fungsi dan potensi kegagalan dari setiap komponen dalam sistem fuel oil purifier MT. Cordelia W. Langkah ini dilakukan dengan cara menganalisis mode-mode kegagalan yang berkaitan dengan fungsi operasional masing-masing komponen.

Melalui proses ini, peneliti dapat mengetahui secara rinci bagaimana fungsi utama dari tiap komponen dapat terganggu jika terjadi kerusakan atau malfungsi. Tabel identifikasi fungsi dan kegagalan komponen ditampilkan pada Tabel 2 berikut:

Tabel 2. Identifikasi Fungsi dan Kegagalan Komponen Sistem *Fuel Oil Purifier* Kapal MT. Cordelia W

No	Nama Komponen	Fungsi Komponen	Kegagalan Komponen
1.	<i>Bowl & Disc</i>	Untuk proses pemisahan kontaminan dari bahan bakar atau minyak pelumas.	Terjadinya keausan padapermukaan <i>bowl</i> , Kerusakan pada <i>seal</i> gasket, dan Keretakan atau deformasi, <i>Misalignment</i> . Terjadinya keausan atau kerusakan <i>disc</i> , Tersumbatnya <i>disc</i> , dan Deformasi atau keretakan.
2.	<i>Crank Case</i>	Untuk rumah komponen mesin, <i>Reservoir</i> oli pelumas, Sirkulasi oli, dan Pengean dali tekanan ventilasi	Terjadinya kebocoran oli, Penumpukan lumpur oli, Kerusakan sistem ventilasi <i>crackcase</i> , Kontaminasi oli dengan bahan bakar atau air, dan <i>Overheating</i> .
3.	<i>Lub. Oil</i>	Untuk Pelumasan komponen berputar, Pendinginan, Pembersihan, dan Pencegahan karat dan korosi.	Terjadinya degradasi kualitas oli, Kontaminasi oli, Kebocoran oli, Keausan berlebih pada komponen lain, dan <i>Overheating</i> .

4.	<i>Friction Pads</i>	Untuk kontrol kecepatan, Stabilisasi komponen, dan Proteksi terhadap keausan.	Terjadinya keausan berlebih, Panas berlebih, Kerusakan atau retak pada pad, Kontaminasi dengan oli, dan Ketidakselarasan.
5.	<i>Attached Pump</i>	Untuk penggerak utama dalam sirkulasi bahan bakar atau minyak pelumas melalui Purifier.	Terjadinya kerusakan mekanis pada pompa, Kebocoran pada sistem pompa, Kegagalan motor penggerak pompa, Penyumbatan pada saluran masuk, <i>Overheating</i> , dan Kavitasi.
6.	<i>Horizontal Shaft & Bearing</i>	Untuk mendukung dan mengarahkan putaran komponen setrifugal di dalam sistem.	Terjadinya keausan atau korosi pada <i>shaft</i> , dan patah atau retak pada <i>shaft</i> , <i>misalignment</i> . Terjadinya Keausan pada <i>bearing</i> , Kontaminasi pada <i>bearing</i> , dan Kerusakan pada cincin <i>bearing</i> .
7.	<i>Vertical Shaft</i>	Untuk menghubungkan motor penggerak dengan komponen sentrifugal yang berputar.	Terjadinya keausan pada <i>shaft</i> , Korosi, <i>Misalignment</i> , Patah atau retak pada <i>shaft</i> , <i>Overheating</i> , dan Kegagalan pada sistem pelumasan.
8.	<i>Electro Motor</i>	Untuk sumber tenaga menggerakkan komponen sentrifugal seperti shaft dan bowl.	Terjadinya <i>overheating</i> , Kegagalan pada gulungan, Kegagalan pada starter atau kontoler, Masalah listrik, Kegagalan mekanis, dan Kebocoran pada <i>seal & gasket</i> .
9.	<i>Suction Valve</i>	Untuk mengatur aliran fluida kedalam sistem purifier.	Terjadinya kebocoran <i>valve</i> , <i>Valve</i> macet, <i>Valve</i> tidak menutup rapat, korosi, dan Kontaminasi <i>valve</i> .
10.	<i>Inlet Pipe</i>	Untuk mengalirkan fluida dari tangki penyimpanan atau sistem distribusi menuju <i>fuel oil purifier</i> .	Terjadinya kebocoran pipa, Penyumbatan, Korosi, Kondensasi, dan Kelonggaran.
11.	<i>Filter</i>	Untuk menyaring partikel padat atau kontaminan sebelum atau selama proses pemurnian minyak.	Terjadinya penyumbatan, Kebocoran pada <i>filter</i> , Kerusakan pada elemen <i>filter</i> , Efek tekanan berlebih, dan Korosi.

3.2 Pembahasan Analisa Kualitatif

Pada tahap ini, peneliti melakukan analisis terhadap sistem berdasarkan metode *Fault Mode and Effect Analysis* (FMEA) dan *Fault Tree Analysis* (FTA). Peneliti mengidentifikasi setiap komponen dalam sistem *fuel oil purifier* dan menganalisis kemungkinan mode kegagalan yang dapat terjadi, efek yang ditimbulkan, serta penyebab kegagalan tersebut.

3.2.1 *Fault Mode and Effect Analysis* (FMEA)

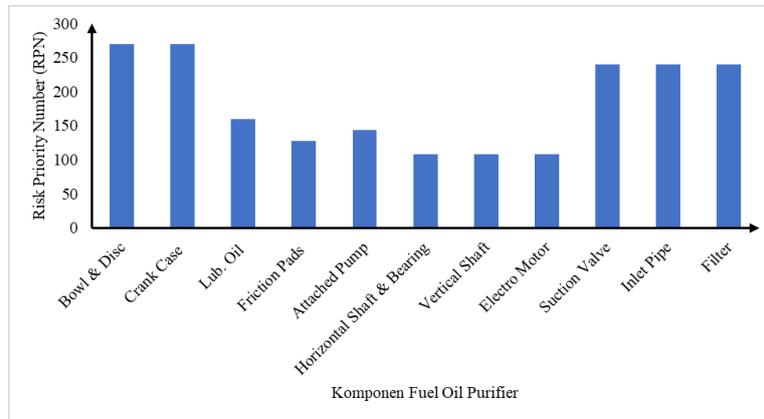
Analisis ini bertujuan untuk menentukan nilai *Risk Priority Number* (RPN), sehingga dapat diketahui komponen mana yang paling kritis dan perlu mendapat prioritas dalam perawatan maupun evaluasi teknis lebih lanjut.

Analisis FMEA dilakukan dengan menggunakan *software Microsoft Excel*, dan hasilnya ditampilkan pada Tabel 3 dan Grafik 1 berikut:

Tabel 3. FMEA Kapal MT. Cordelia W

Item	Failure	Effect	Cause	S	O	D	RPN
<i>Bowl & Disc</i>	Terjadinya keretakan pada bowl dan Terjadinya penyumbatan pada disc.	Penurunan efisiensi pemurnian, Kerusakan komponen lain, Meningkatkan risiko korosi dan kerusakan mesin, dan <i>Downtime</i> .	Keausan dan korosi, ketidakseimbangan dinamis, Perawatan yang tidak tepat, Kualitas bahan bakar yang buruk, dan Kesalahan operasional	9	5	6	270
<i>Crank Case</i>	Terjadinya keretakan pada crank case dan masuknya air .	Kebocoran minyak, Kontaminasi internal, Kerusakan Lingkungan, dan <i>Overheating</i> .	Retak atau keausan, Penyegehan yang buruk, Korosi, Desain yang cacat, dan Perawatan yang tidak tepat.	9	5	6	270
<i>Lub. Oil</i>	Terjadinya kontaminasi pada oli.	Kerusakan Komponen, Penurunan kinerja, Peningkatan risiko kerusakan mesin, Kontaminasi sistem, dan <i>Overheating</i> .	Kontaminasi minyak, Kerusakan pompa pelumasan, Kegagalan filter, Penyegehan yang buruk, dan Perawatan yang tidak tepat.	8	5	4	160
<i>Friction pads</i>	Terjadinya keretakan pada friction pads.	Penurunan efisiensi pemisahan, Kenaikan suhu Operasi, Kerusakan komponen lain, Peningkatan biaya perbaikan, dan Pengurangan umur mesin.	Kelebihan beban, kontaminasi, Pemasangan yang tidak tepat, Perawatan yang buruk, dan kualitas material.	8	4	4	128
<i>Attached pump</i>	Terjadinya kebocoran pada attached pump.	Penurunan aliran minyak, Kerusakan Komponen, kontaminasi, <i>Overheating</i> dan <i>Downtime</i> .	Kotoran atau endapan, Keausan, Kebocoran seal, Kesalahan pemasangan, dan <i>Overheating</i> .	9	4	4	144
<i>Horizontal Shaft & Bearing</i>	Terjadinya fatigue pada horizontal shaft dan Terjadinya fatigue pada bearing.	Getaran Berlebihan, Penurunan efisiensi pemurnian, Kerusakan total, <i>Overheating</i> , dan <i>Downtime</i> .	Keausan, Pelumasan tidak memadai, Ketidakseimbangan, Kontaminasi, <i>Overload</i> .	9	3	4	108
<i>Vertical Shaft</i>	Terjadinya fatigue pada vertical shaft.	Kerusakan komponen lain, Penurunan efisiensi pemurnian, Potensi kegagalan total, <i>Overheating</i> , dan <i>Downtime</i> .	Keausan, Pelumasan tidak memadai, Ketidakseimbangan, Kontaminasi, dan Beban berlebih.	9	3	4	108
<i>Electro Motor</i>	Terjadinya kegagalan isolasi pada electro motor.	Terhentinya operasi, Penurunan efisiensi, Kerusakan berantai, <i>Overheating</i> , dan <i>Downtime</i> .	Kegagalan isolasi, Kontaminasi, Keausan bearing, Kegagalan sirkuit listrik, dan <i>Overheating</i> .	9	3	4	108
<i>Suction Valve</i>	Terjadinya kebocoran pada suction valve.	Gangguan aliran minyak, <i>Cavitation</i> , Penuruna efisiensi pemurnian, <i>Overheating</i> , dan <i>Downtime</i> .	Kotoran & endapan, Keausan mekanis, Korosi, Kerusakan <i>seal</i> , dan Pemasangan yang salah.	8	6	5	240
<i>Inlet Pipe</i>	Terjadinya kebocoran pada inlet pipe.	Kebocoran minyak, Penurunan efisiensi pemurnian, Kontaminasi, <i>Overheating</i> , dan <i>Donwtime</i> .	Korosi, Keausan, Getaran berlebihan, Tekanan berlebih, dan Pemasangan yang tidak tepat.	8	6	5	240

<i>Filter</i>	Terjadinya tersumbat pada filter.	Kontaminasi minyak, Kerusakan komponen lain, Penurunan efisiensi pemurnian, <i>Overheating</i> , dan <i>Downtime</i> .	Penyumbatan, Kualitas <i>filter</i> rendah, Perawatan yang buruk, Kontaminasi bahan bakar, dan Kerusakan mekanis.	8	6	5	240
---------------	-----------------------------------	--	---	---	---	---	-----



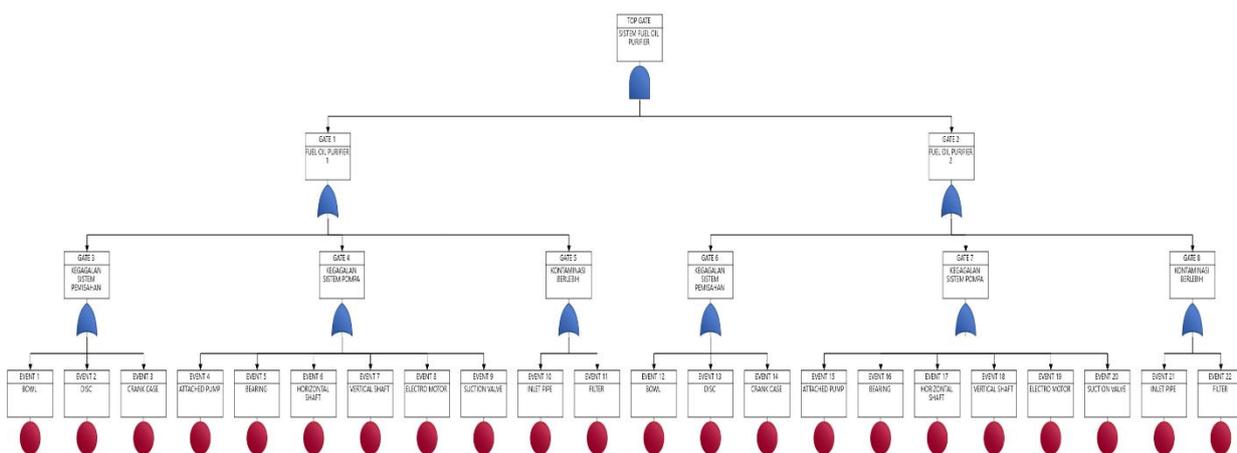
Gambar 3. Grafik Cause Ranked by Intial RPN Kapal MT. Cordelia W

Berdasarkan hasil analisa FMEA Tabel 3 dan Grafik 1 didapatkan bahwa *bowl & disc* merupakan komponen paling kritis dari sistem Fuel Oil Purifier MT. Cordelia W dengan nilai RPN sebesar 270.

3.2.2 Fault Tree Analysis (FTA)

Proses pengkontruksian *Fault Tree Analysis* (FTA) menggunakan simbol AND dan OR, gambar 2 menunjukkan hasil FTA dari sistem *Fuel Oil Purifier* kapal MT. Cordelia W. Langkah selanjutnya menentukan minimal Cut Set

berdasarkan *Fault Tree Diagram* yaitu: {1}, {2}, {3}, {4}, {5}, {6}, {7}, {8}, {9}, {10}, {11}, {12}, {13}, {14}, {15}, {16}, {17}, {18}, {19}, {20}, {21}, dan {22}. Hasil analisis FTA pada sistem *fuel oil purifier* MT. Cordelia W menunjukkan bahwa sistem akan mengalami kegagalan jika salah satu dari tiga jalur utama, yaitu kegagalan sistem pemisahan, kegagalan sistem pompa, dan kontaminasi berlebih, terjadi. Ketiga jalur tersebut secara langsung memicu kegagalan *top event*, yaitu berhentinya fungsi sistem *fuel oil purifier*.



Gambar 4. Fault Tree Analysis Diagram Sistem *Fuel Oil Purifier* Kapal MT. Cordelia W

3.3 Pembahasan Analisa Kuantitatif

Pada tahap ini, peneliti melakukan analisis kuantitatif terhadap sistem Fuel Oil Purifier dengan memanfaatkan perangkat lunak *Relyence*. Peneliti mengolah data waktu kegagalan komponen untuk menentukan parameter distribusi Weibull, yaitu

beta (β), eta (η), gamma (γ), dan nilai p (ρ) untuk mengukur kecocokan data.

3.3.1 Analisa Data

Analisa data dilakukan dengan bantuan *software Relyence*. Hasil analisa data distribusi ditunjukkan pada Tabel 4 sebagai berikut:

Tabel 4. Hasil Distribusi Sistem Fuel Oil Purifier MT. Cordelia W

Komponen	Distribusi	β	η	γ	ρ
<i>Bowl & Disc</i>	<i>Weibull</i>	20,408	4556,349	-2328,0	0,956
<i>Crank Case</i>	<i>Weibull</i>	22,938	4555,578	-2328,0	0,956
<i>Lub. Oil</i>	<i>Weibull</i>	8,443	1886,724	309,4	0,980
<i>Friction Pads</i>	<i>Weibull</i>	21,953	4527,179	-2280,0	0,908
<i>Attached Pump</i>	<i>Weibull</i>	23,848	4542,359	-2328,0	0,971
<i>Horizontal Shaft & Bearing</i>	<i>Weibull</i>	24,653	4485,856	-2280,0	0,913
<i>Vertical Shaft</i>	<i>Weibull</i>	25,587	4484,464	-2280,0	0,959
<i>Electro Motor</i>	<i>Weibull</i>	8,154	1599,885	598,608	0,978
<i>Suction Valve</i>	<i>Weibull</i>	26,336	4590,037	-2376,0	0,966
<i>Inlet Pipe</i>	<i>Weibull</i>	26,848	4584,719	-2376,0	0,979
<i>Filter</i>	<i>Weibull</i>	22,746	4573,575	-2376,0	0,984

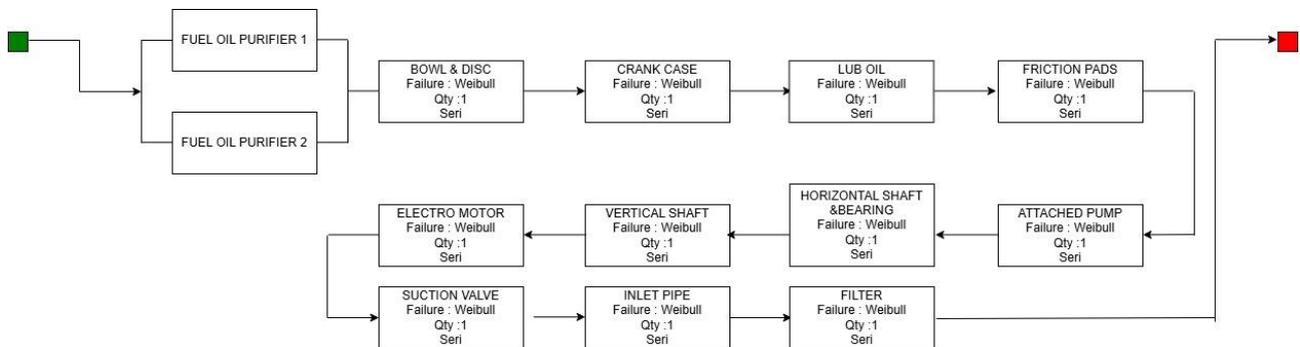
Untuk penentuan distribusi yang tepat untuk menghitung nilai availability maka dipilih distribusi weibull dan eksponensial berdasarkan validasi pada penelitian sebelumnya, yaitu pada analisa perawatan berbasis keandalan pada fuel oil purifier KM. Bukit Siguntang dengan metode RCM, menggunakan komponen yang sama sesuai distribusinya dengan penentuan distribusi yang sama.

menggambarkan hubungan logis antar komponen dalam sistem fuel oil purifier MT. Cordelia W. Peneliti merancang diagram ini berdasarkan urutan kerja aktual dari setiap komponen, sehingga alur keandalan sistem dapat divisualisasikan dengan jelas.

3.3.2 RBD (Reliability Block Diagram)

Pada tahap ini, peneliti menyusun konstruksi Reliability Block Diagram (RBD) untuk

Berikut konstruksi dari Reliability Block Diagram sistem fuel oil purifier MT. Cordelia W yang dapat dilihat pada Gambar 5 berikut: Berikut konstruksi dari *Reliability Block Diagram* sistem fuel oil purifier MT. Cordelia W dapat dilihat pada Gambar 5 berikut:



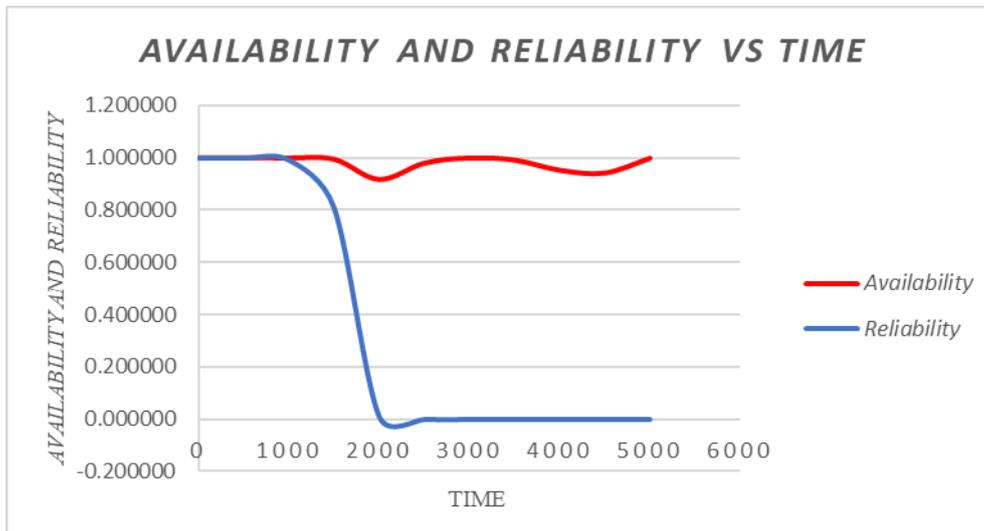
Gambar 5. RBD Sistem Fuel Oil Purifier MT. Cordelia W

3.3.3 Simulasi Monte Carlo

Dalam tahap ini, peneliti melaksanakan simulasi *Monte Carlo* sebagai pendekatan kuantitatif untuk menganalisis keandalan sistem. Peneliti mengisi parameter simulasi untuk setiap komponen berdasarkan hasil distribusi Weibull yang telah dianalisis sebelumnya. Selanjutnya, peneliti juga menentukan parameter simulasi

sistem secara keseluruhan sebelum menjalankan proses simulasi.

Hasil simulasi ini memberikan gambaran probabilistik terhadap kinerja sistem *Fuel Oil Purifier* dalam berbagai skenario waktu operasional. Berikut hasil dari simulasi *Monte Carlo* yang ditampilkan pada Gambar 6 dan Tabel



Gambar 6. Grafik Availability dan Reliability Terhadap Waktu Sistem *Fuel Oil Purifier* MT. Cordelia W

Berdasarkan hasil simulasi didapatkan nilai rata-rata ketersediaan 9,62333% dari sistem *fuel oil purifier* MT. Cordelia W yang dapat beroperasi selama 5000 jam, dan nilai MTTF (*Mean Time To Failure*) sebesar 1659,548047 jam.

Tabel 5. Ringkasan Hasil Simulasi Sistem *Fuel Oil Purifier* MT. Cordelia W

Time Summary			
Time	Mean Availability	Total Downtime	Number Of Failures
0	1.000	0.000	0.000
500	1.000	0.000	0.000
1000	0.999	0.036	0.008
1500	0.999	1.122	0.208
2000	0.990	18.516	3.114
2500	0.975	61.667	9.995
3000	0.978	63.105	10.239
3500	0.981	64.776	10.520
4000	0.980	77.784	12.744
4500	0.974	113.101	18.447
5000	0.974	126.572	20.675

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis penelitian terhadap sistem *fuel oil purifier* pada kapal MT. Cordelia W menggunakan metode keandalan, ditemukan bahwa komponen yang memiliki nilai *Risk Priority*

Number (RPN) paling besar adalah *bowl & filter* dan *crank case*. Temuan ini mengindikasikan bahwa filter merupakan komponen yang paling rentan terhadap kegagalan dan memiliki dampak signifikan terhadap keseluruhan performa sistem jika terjadi kerusakan. Identifikasi komponen kritis ini sangat penting agar tindakan perbaikan dan pencegahan dapat difokuskan pada area yang tepat untuk meningkatkan keandalan sistem secara keseluruhan.

Melalui metode *Fault Tree Analysis* (FTA), peneliti mengidentifikasi bahwa kegagalan sistem *fuel oil purifier* disebabkan oleh tiga jalur utama, yaitu kegagalan sistem pemisahan, sistem pompa, dan Kontaminasi Berlebih. Peneliti memetakan bahwa masing-masing jalur tersebut terdiri dari komponen-komponen kritis seperti *bowl & disc*, *crank case*, *attached pump*, *bearing*, *horizontal shaft*, *vertical shaft*, *suction valve*, *inlet pipe*, dan *filter*. Peneliti menggambarkan hubungan logis antar komponen menggunakan gerbang logika untuk menunjukkan bahwa kegagalan pada salah satu komponen dapat menyebabkan kegagalan *subsystem*, yang pada akhirnya memicu kegagalan sistem secara menyeluruh. Dengan memahami jalur kegagalan ini, peneliti dapat menentukan fokus perawatan pada komponen yang paling berisiko, sehingga mencegah kerusakan total sistem.

Peneliti juga memperoleh nilai rata-rata *availability* sebesar 0,962333. Angka ini menunjukkan bahwa sistem *fuel oil purifier* pada kapal MT. Cordelia W dapat beroperasi secara optimal dengan tingkat keberfungsian mencapai 9,623% selama periode operasional tertentu. Dengan kata lain, sistem mampu berfungsi dengan baik dalam sebagian besar waktu, sehingga dapat mendukung kelancaran operasional mesin induk kapal. Performa tinggi ini mencerminkan efektivitas sistem dalam menjaga kebersihan bahan bakar dan mencegah kontaminasi yang dapat merusak mesin.

Selain itu, hasil simulasi memperlihatkan bahwa sistem memiliki nilai *Mean Time To Failure* (MTTF) sebesar 1659,54807 jam. Nilai ini berarti bahwa, secara rata-rata, setelah beroperasi selama sekitar 1659 jam, sistem berpotensi mengalami kegagalan pertama. Informasi ini menjadi indikator penting dalam perencanaan perawatan, karena membantu operator kapal menentukan kapan harus melakukan tindakan *preventif* untuk menghindari terjadinya gangguan mendadak yang dapat menghambat operasional.

Berdasarkan hasil tersebut, peneliti menyarankan agar operator kapal melakukan perawatan preventif sebelum sistem mencapai batas waktu MTTF. Perawatan yang dilakukan secara tepat waktu akan menjaga keandalan sistem tetap tinggi, mengurangi risiko kegagalan yang tidak terduga, serta memperpanjang umur operasional *fuel oil purifier*. Tindakan ini tidak hanya meningkatkan ketersediaan sistem, tetapi juga mendukung efisiensi operasional kapal secara keseluruhan. Dengan strategi pemeliharaan yang berbasis pada analisis keandalan ini, diharapkan kapal MT. Cordelia W dapat mempertahankan kinerja optimalnya selama masa pelayaran.

UCAPAN TERIMA KASIH

Dengan ini penulis mengucapkan terima kasih kepada karyawan di kapal MT. Cordelia W yang telah membantu menyelesaikan penelitian tugas akhir ini dengan informasi mengenai kapal serta data mengenai kapal MT. Cordelia W memberikan data serta dukungannya.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Sumaryanto, *Konsep Dasar Kapal*, Kementerian Pendidikan & Kebudayaan, Malang, 2013.
- [2] L. Noviansyah, E. Purnamawati, and D. Ernawati, "Analisis Performance Mesin Residual Oil Main Burner Pada Unit Pltu 3/4

- Dengan Metode *Reliability Availability Maintainability* (RAM) Di Pt Pembangkit Jawa Bali Unit Pembangkit Gresik," *Juminten*, vol. 1, no. 2, pp. 12–23, 2020.
- [3] C. F. Prasetyo, H. Yudo, A. F. Zakki, and A. H. Muhammad, "Analisa Perawatan Berbasis Keandalan Sistem Bahan Bakar pada *Main Engine* di Kapal KM. Kelimutu," *J. Penelit. Enj.*, vol. 25, no. 2, pp. 132–140, 2022.
- [4] M. A. Waroy, U. Budiarto, and Kiryanto, "Analisa Perawatan Berbasis Keandalan Pada *Fuel Oil System* Km. Bukit Siguntang Dengan Metode *Reliability Centered Maintenance* (RCM)," *J. Tek. Perkapalan*, vol. 4, no. 1, 2016.
- [5] T. Yuristiawan, A. Arninputranto, W. E. N. Budiyo, "Penjadwalan Kegiatan Perawatan Mesin Induk Kapal Tunda KM Bima Dengan Menggunakan Metode RCM II," *J. Tek. Perpipaan*, P, 2016.
- [6] R. Gagana, "Analisa Kegagalan Sistem Bahan Bakar Kapal Dengan Menggunakan Metode Preliminary Hazard Analysis (PHA) Dan Fault Tree Analysis (FTA)," *J. Tek. Sistem Perkapalan*, 2022.
- [7] Z. Bluvband, R. Polak, and P. Grabov, "Bouncing failure analysis (BFA): the unified FTA FMEA methodology, in *Annual Reliability and Maintainability Symposium*," 2005. Proceedings., pp. 463. 467. doi: 10.1109/RAMS.2005.1408406.
- [8] P. D. T. O'Connor and A. Kleyer, *Practical Reliability Engineering*. Wiley, 2012.
- [9] J. Moubray, *Reliability-Centered Maintenance*. Industrial Press Inc., 1997.
- [10] K. Mobley, *Maintenance Engineering Handbook*. McGraw-Hill., 2008.