

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1 Landasan Teori

Pada bab ini dijelaskan teori-teori yang digunakan sebagai dasar penelitian dan berguna sebagai acuan dalam menganalisis permasalahan yang dibahas. Landasan teori disusun untuk memberikan pemahaman konseptual yang jelas mengenai variabel-variabel penelitian, prinsip-prinsip ilmiah yang relevan, serta temuan-temuan sebelumnya yang mendukung arah penelitian. Melalui uraian teori ini, diharapkan penelitian memiliki pijakan ilmiah yang kuat sehingga hasil analisis yang diperoleh dapat dipertanggungjawabkan secara akademis.

2.1.1 Kapal General Cargo



Gambar 2. 1 General Cargo (Sumber : Galangan Batam, 2025)

Kapal General Cargo merupakan jenis kapal kargo yang dirancang untuk mengangkut berbagai jenis muatan umum seperti barang curah kering, kontainer kecil, atau barang pecah belah yang tidak memerlukan fasilitas khusus seperti pendingin atau tangki. Kapal jenis ini umumnya digunakan untuk mengangkut barang dagangan dan memerlukan perawatan yang teliti akibat sifat kompleks serta operasinya yang sering berlangsung tanpa kehadiran awak secara penuh (Eriksen, Utne, and Lützen 2021)

2.1.2 Perawatan

Perawatan merupakan gabungan dari berbagai tindakan yang dilakukan untuk memastikan objek tetap berjalan dengan baik atau berada dalam keadaan yang dapat diterima. Secara umum, pemeliharaan dapat diartikan sebagai serangkaian aktivitas yang dibutuhkan untuk menjaga dan merawat sistem agar tetap dalam kondisi yang

ekonomis, efisien, aman, dan optimal dalam operasional (Nurchahyo 2024). Jenis perawatan yang biasanya dilakukan pada kapal yaitu perawatan *corrective* dan *preventif* oleh karena itu perlu dilakukannya analisa terhadap sistem dan komponen kapal dalam memilih tindakan perawatan yang tepat.

Selain itu, pemeliharaan bisa dimaknai sebagai serangkaian langkah yang diperlukan untuk mempertahankan pengelolaan dan peralatan kapal dalam keadaan tertentu. Dalam pengertian yang lebih umum, pemeliharaan kapal meliputi beragam aktivitas yang bertujuan untuk menjamin bahwa kapal selalu dalam kondisi siap berlayar (Widiatmaka 2017). Agar kapal selalu sedia berlayar, pemeliharaan yang baik dan berkelanjutan perlu mengikuti prosedur yang terencana, termasuk perencanaan, penjadwalan, pelaksanaan pemeliharaan, serta pengawasan yang konsisten dalam sebuah sistem yang terarah. Untuk memastikan kapal dinyatakan layak berlayar, maka pemeriksaan berkelanjutan harus dilakukan oleh Biro Klasifikasi (Nasional atau Internasional) yang dinyatakan dalam sertifikat-sertifikat atau dokumen-dokumen kapal.

Sistem Perawatan Terencana (*Planned Maintenance System*) Adalah salah satu sarana untuk menuju kepada perawatan kapal yang lebih baik dan secara garis besar tujuannya adalah (Pambudi Widiatmaka 2018) :

1. Meningkatkan efektivitas dan hasil pemanfaatan material sesuai dengan fungsinya (*Efficiency Material*)
2. Mencegah terjadinya kerusakan berat secara mendadak (*Breakdown*)
3. Mengurangi kejadian kerusakan mendadak atau mengurangi waktu tidak produktif, yang berarti meningkatkan hari efektif kapal beroperasi (*Commission days*)
4. Mengurangi jumlah dan durasi perbaikan saat kapal melakukan pemeliharaan tahunan (*Economical Cost*)
5. Menambah wawasan awak kapal dan mendidik agar memiliki rasa tanggung jawab serta kedisiplinan dalam bekerja (*Sence of belong*)

Perawatan memiliki keterkaitan yang kuat dengan pemeliharaan karena keduanya bertujuan untuk menjaga suatu objek dalam kondisi optimal agar tetap berfungsi dengan baik. Selain itu, perawatan dapat menghindari terjadinya kerusakan serta memperpanjang masa pakai objek tersebut. Namun, hal ini memerlukan pelaksanaan perawatan secara berkala atau pemeliharaan periodik. Kegiatan perawatan ini umumnya dilakukan setiap hari, minggu, bulan, maupun tahunan.

Terdapat beberapa kategori perawatan yang terencana, yang dikelompokkan berdasarkan waktu dan kondisi tertentu. Jenis-jenis perawatan atau pemeliharaan ini antara lain :

a. Corrective Maintenance

Perawatan ini dilakukan setelah sistem mengalami kerusakan, berhenti beroperasi, dan jika terjadi penurunan kinerja yang signifikan. Sistem hanya diperbaiki ketika diperlukan. Kelemahan dalam tahap ini mencakup waktu henti yang tidak terencana, keausan yang berlebihan, isu dengan komponen, biaya perbaikan yang mahal, waktu tunggu yang panjang, kelebihan pekerjaan pemeliharaan, serta tantangan dalam menemukan solusi (Nurchahyo 2024).

b. Preventive Maintenance

Perawatan ini bertujuan untuk mengidentifikasi kondisi dimana sistem dapat mengalami kerusakan saat digunakan, serta mencegah kerusakan yang tidak terduga. Kegiatan perawatan yang dilakukan secara terjadwal dan umumnya dilakukan secara periodik (Fahri 2025). Preventive maintenance dibagi menjadi tiga jenis perawatan, yaitu :

1. Periodic Maintenance (Perawatan Berkala)
2. Merupakan pemeliharaan rutin yang terjadwal, biasanya melibatkan tugas pemeliharaan dan perbaikan yang dilakukan secara teratur atau sesuai dengan waktu yang telah ditentukan sebelumnya.
3. Predictive Maintenance (Perawatan Prediktif)
4. Merupakan langkah pemeliharaan yang dilakukan dengan memprediksi waktu terjadinya kerusakan pada mesin, berdasarkan pola, tanda, atau indikasi yang menunjukkan potensi kerusakan yang lebih besar dapat dicegah.
5. Corrective Maintenance
6. Merupakan pelaksanaan pemeliharaan yang tidak terjadwal untuk mengembalikan fungsi peralatan atau sistem yang mengalami kegagalan atau tidak berfungsi dengan baik.

2.1.3 Pengertian sistem bilga kapal

Sistem bilga adalah jaringan pipa di kapal yang dirancang untuk menjaga keselamatan kapal dengan fungsi utama mengalirkan atau menguras air (drainase) saat terjadi kebocoran, baik karena *grounding* maupun tabrakan (Novariansyah 2017). Cara kerja sistem bilga yaitu menampung air di dalam sebuah sumur yang disebut sumur bilga (*bilge well*), kemudian air tersebut dihisap oleh pompa bilga dan dibuang melalui keluar kapal melalui *overboard*. Namun, air yang mengandung minyak akan disimpan di wadah tertentu dan kemudian air yang mengandung minyak tersebut di *treatment* di dalam sebuah peralatan yang disebut *oil water separator*, untuk mengurangi kadar minyak di dalam air sebelum dibuang dari kapal melalui *overboard*.

2.1.4 Komponen sistem bilga kapal

Sistem Bilga Kapal yang digunakan diatas kapal memiliki beberapa komponen diantara lain, sebagai berikut :

a. O.W.S (*Oil Water Separator*)



Gambar 2. 2 Oil Water Separator (Sumber : Penulis, 2025)

Oil Water Separator (OWS) merupakan peralatan esensial yang wajib tersedia di atas kapal, berfungsi untuk memisahkan kandungan minyak dari air sebelum limbah tersebut dibuang ke laut. Ketentuan ini sejalan dengan regulasi MARPOL 1978 Annex I yang mengatur prosedur pembuangan limbah berminyak dari kapal. Dengan penggunaan OWS, air limbah yang akan dibuang telah melalui proses penyaringan sehingga kadar minyak di dalamnya tidak boleh melebihi batas 15 ppm (Sarifuddin, 2024). Oleh karena itu, setiap kapal memiliki kewajiban untuk melakukan upaya pencegahan pencemaran, khususnya terhadap limbah yang dibuang ke perairan laut.

OWS juga merupakan salah satu mesin yang selalu menjadi objek pemeriksaan oleh Port State Control (PSC) ketika kapal memasuki pelabuhan. Ketatnya pengawasan ini menuntut agar OWS dapat berfungsi secara optimal selama kapal beroperasi. Mengingat pentingnya peran alat tersebut, setiap masinis diharapkan mampu

mengoperasikan serta memastikan kondisi OWS dalam keadaan baik sebelum digunakan, sehingga tujuan pencegahan pencemaran laut dan pelabuhan dapat tercapai. Dalam praktiknya, OWS sering digunakan dalam jangka waktu yang panjang. Namun, seiring dengan kualitas dan volume minyak yang disaring, kinerja alat ini dapat mengalami penurunan. Oleh sebab itu, diperlukan kegiatan pembersihan dan perawatan secara berkala untuk menjaga efektivitasnya (Haryadi, Hermawati, & Kundori, 2023).

b. Pompa Bilga



Gambar 2. 3 Pompa Bilga (Sumber : Penulis, 2025)

Pompa bilga merupakan sebuah instalasi yang memerankan penghisapan dan penyemprotan air. Umumnya pipa menjadi suatu alat yang dapat menimbulkan zat cair dari tempat yang satu ke tempat yang lain (Mahardika 2021), pompa ini digunakan sistem bilga pada kapal untuk pengurusan air pada *bilge well* menuju *overboard*. Selain itu pompa bilga juga dimanfaatkan untuk memadamkan api saat terjadi kebakaran, pencucian geladak yang disambungkan pada *main deck*, dan penampungan air laut untuk beberapa kegunaan.

Susunan saluran untuk pompa bilga umumnya perlu diidentifikasi atau ditetapkan sesuai dengan ketentuan dari Biro Klasifikasi Indonesia,

saluran pipa dan penghisapnya harus dirancang sedemikian rupa agar dapat sepenuhnya dikosongkan, bahkan jika kapal dalam posisi miring atau berada dalam situasi yang tidak menguntungkan. Pipa hisap dipasang pada kedua sisi kapal. Untuk ruang-ruang yang berada di kedua ujung kapal, masing-masing cukup dilengkapi dengan satu pipa hisap yang mampu mengeringkan ruang tersebut. Sementara itu, ruang yang terletak di depan sekat tubrukan serta di belakang tabung poros baling-baling, yang tidak terhubung dengan sistem pipa pompa bilga umum, harus dilengkapi dengan sistem pengeringan yang memadai.

c. Sludge Tank



Gambar 2. 4 Sludge Tank (Sumber : Penulis, 2025)

Sludge Tank berfungsi sebagai tempat penyimpanan sementara lumpur agar proses selanjutnya dapat dilakukan. Sludge dipindahkan ke sludge tank untuk menghilangkan butiran pasir halus yang terdapat di dalamnya. Kualitas minyak dalam sludge tank tergantung pengoperasian desander, karena alat ini hanya dapat berfungsi dengan efektif jika pembuangan pasir dilakukan secara terus-menerus (Novariansyah 2017). Terdapat 3 *Sludge Tank*, dua berada untuk kiri dan kanan, dan 1 di bagian depan kamar mesin yaitu *fore bilge tank*.

Sludge ini bekerja dari *underflow* lalu masuk ke dalam tangki, selanjutnya sludge yang berada dalam tank dipanaskan melalui pipa uap tertutup untuk mencegah minyak membentuk partikel di udara. Suhu tinggi ini memisahkan minyak yang terikat pada lumpur, oleh karena itu suhu dalam sludge tank dipertahankan 90-100 C.

Walaupun begitu keadaanya, endapan sisa edimentasi dari tangki sludge tidak boleh sembarangan dibuang ke laut hanya untuk kepentingan awak kapal. Karena sudah jelas itu sangat mencemari lingkungan, terutama air. Hal ini banyak sekali tercantum dalam MARPOL ANNEX-1 Pencemaran oleh minyak (2 Oktober 1983). Dan ANNEX-2 Pencemaran oleh bahan cair beracun dalam bentuk curah (6 April 1987)

d. Overboard



Gambar 2. 5 Overboard (Sumber : Penulis, 2025)

Menurut (Novariansyah 2017) Overboard berfungsi sebagai untuk mengeluarkan air yang sudah tidak terpakai, setelah diproses melewati Oil Water Separator sebelum dibuang ke laut. Peletakan Overboard ini haruslah diatas garis air dan harus diberi satu katup jenis SDNR V.

e. Pompa



Gambar 2. 6 Pompa (Sumber : Penulis, 2025)

Menurut (Lin et al. 2022) pompa sentrifugal adalah suatu alat yang digunakan untuk memompa cairan (air laut) di semua bidang industri termasuk juga dalam industri kemaritiman Pompa yang mendukung sistem bilga terdiri dari dua pompa, yaitu Pompa Bilga dan Pompa layanan umum (*General Service*) yang juga digunakan sistem lain, yakni sistem ballast dan sistem pemadam. (Novariansyah 2017)

f. Sounding



Gambar 2. 7 Sounding (Sumber : Penulis, 2025)

Sistem ini digunakan untuk proses penentuan kedalaman air di dalam tangki untuk menentukan apakah mereka penuh atau kosong. *Sounding* kiranya juga dapat sebagai pengambil dari pusran di sekitar kapal jika berada dalam air dangkal untuk membantu dalam navigasi. *Sounding* dapat secara manual atau dengan elektronik bahkan dapat secara otomatis mekanik *equipment*. (Novariansyah 2017). *Seamless Vesselsl* (pipa baja tanpa sambungan) salah satu jenis pipa utama digunakan untuk sistem bertekanan tinggi, wajib memiliki tabung dan memperkuat piring dibawah tabung sebagai pemberat ketika saat mecapai bagian bawah tangki.

g. Valve



Gambar 2. 8 Valve (Sumber : Penulis, 2025)

Valve pada sistem bilga digunakan sebagai akses buka tutup aliran bilga. Dan biasanya valve yang digunakan untuk sistem bilga yaitu NRV (Non Return Valve). Hal ini digunakan supaya tidak terjadi kembalinya air yang sudah dikuras ke dalam bilge well (Al-amin 2019)

2.1.5 Metode Reliability Centered Maintenance II (RCM II)

Reliability Centered Maintenance yang fokus pada keandalan dapat mendukung peningkatan efisiensi biaya dalam pemeliharaan dan memberikan dampak positif dalam mengatasi masalah mendasar yang menyebabkan kerusakan sistem. Ini merupakan metode terstruktur untuk menentukan program pemeliharaan berkala bagi fungsi-fungsi yang penting (Nurhadi and Fitri Ikatrinasari 2013). Agar dapat mempertahankan keandalan dari sebuah perawatan secara rutin membantu dalam mengenali penyebab kegagalan yang sering muncul dan memperkirakan dampak dari potensi kegagalan tersebut (Prabowo and Ihsan 2023).

Dengan menggunakan RCM II *Decision Worksheet*, dapat diidentifikasi bahwa langkah-langkah yang diperlukan untuk mengatasi kerusakan tersebut melalui *schedule restoration task*, yang mencakup kegiatan pemeliharaan serta perbaikan kerusakan

fungsi mesin untuk beroperasi serta melalui *schedule dicard task* dimana perawatan memerlukan penggantian komponen yang mengalami kerusakan.

Tujuan utama Reliability Centered Maintenance (RCM) menurut Smith (Smith and Hinchcliffe 2004) adalah mengoptimalkan pemeliharaan pencegahan agar :

1. Menjaga kelangsungan fungsi sistem
2. Mengidentifikasi berbagai mode kegagalan (*failure mode*)
3. Menentukan prioritas berdasarkan tingkat kepentingan tiap mode kegagalan
4. Memilih tindakan pemeliharaan pencegahan yang efektif dan aplikatif

Metode Reliability Centered Maintenance (RCM) memiliki sejumlah kelebihan, antara lain berupa program pemeliharaan yang lebih efisien. Biaya perawatan dapat menurun melalui pengurangan atau penghilangan tindakan perawatan yang tidak diperlukan, sehingga kemungkinan kegagalan mendadak pada mesin produksi berkurang, sekaligus peningkatan keandalan peralatan sehingga hasil produksi tetap berkualitas (Suryana 2021). Pada dasarnya, metode Reliability Centered Maintenance (RCM) memahami tidak semua peralatan atau mesin di suatu fasilitas memiliki tingkat prioritas yang seragam. Karena itu, RCM memahami bahwa rancangan dan pengoperasian alat bervariasi, sehingga kemungkinan kegagalan juga beragam (Hidayah and Ahmadi 2017a).

Berdasarkan *RCM-Gateway to World Class Maintenance* dalam Langkah – langkah yang diperlukan dalam proses RCM (Smith and Hinchcliffe 2004) meliputi hal-hal berikut :

1. Penentuan sistem dan pengumpulan data

Pada tahap ini, analisis dilakukan untuk mendapatkan informasi detail mengenai fungsi dan kerusakan komponen. Pemilihan sistem dapat didasarkan pada kriteria tertentu, sebagaimana yang diungkapkan oleh (Deshpande and Modak 2001):

- a. Sistem yang mendapat perhatian besar karena terkait dengan masalah keselamatan (*safety*) dan lingkungan
- b. Sistem yang memiliki pemeliharaan pencegahan dan biaya pemeliharaan pencegahan yang tinggi
- c. Sistem yang melibatkan Tindakan pemeliharaan korektif dan biaya pemeliharaan korektif yang besar

2. Pendefinisian Batasan sistem

Tahap ini memerlukan definisi Batasan sistem yang lebih spesifik. Definisi ini dilakukan untuk memastikan cakupan sistem yang akan didefinisikan menjadi lebih jelas dan terorganisir, sehingga dapat menghindari penyimpangan dengan sistem lain (Azhari et al. 2024a)

3. *Functional Block Diagram* (FBD)

Pada tahap ini, dikembangkan dua sistem utama yaitu deskripsi sistem dan blok diagram fungsi. Diagram functional block menunjukkan keterkaitan antara fungsi utama dan komponen pendukung atau sub-sistem. Dengan demikian, struktur sistem

dan interaksi antar komponen dapat dipahami, dan hasilnya dapat dimanfaatkan untuk merencanakan jadwal pemeliharaannya di waktu yang akan datang (Azhari et al. 2024b) FBD juga merelasakan keterkaitan dan alur kerja antara fungsi-fungsi yang membentuk sistem serta pengaturan yang memerlukan sistem tersebut.

4. FMEA (*Failure Mode and Effect Analysis*)

FMEA merupakan suatu pendekatan yang bertujuan untuk menganalisis berbagai mode kegagalan dalam sebuah sistem yang terdiri dari beberapa komponen, serta menilai pengaruhnya terhadap kinerja sistem. FMEA merupakan Teknik yang luas digunakan untuk menilai keandalan sistem secara kualitatif. Metode ini mencakup identifikasi, seperti yang disebutkan (Azhari et al. 2024b) :

- a. Failure Cause : penyebab terjadinya mode kegagalan
- b. Failure Effect : dampak yang dihasilkan oleh mode kegagalan. Dampak ini dapat dievaluasi dari tiga tingkatan, yaitu komponen, sistem, dan pabrik.

Tujuan dari FMEA adalah mengategorikan kegagalan berdasarkan nilai Risk Priority Number (RPN) untuk memungkinkan tindakan perbaikan. Risk Priority Number (RPN) berfungsi sebagai indikator untuk menilai risiko dari mode kegagalan dan membantu dalam menentukan prioritas untuk tindakan perbaikan atau pemeliharaan yang harus dilakukan terlebih dahulu. Aktivitas dalam FMEA meliputi identifikasi dan analisis mode kegagalan sistem, serta dampak yang ditimbulkan oleh kegagalan setiap komponen yang terdaftar dalam tabel indikator FMEA. Nilai RPN akan ditentukan oleh hasil dari menjumlahkan 3 Variable Penilaian, yaitu :

$$RPN = Severity \times Occurency \times Detection$$

1. *Severity* (S), Merupakan nilai yang mencerminkan dampak negatif dari kerusakan pada komponen, mulai dari derajat kerusakan peralatan, durasi perbaikan, serta tingkat cedera yang dialami oleh operator.

Tabel 2. 1 FMEA Severity Evaluation Criteria (Sumber : E- Book The Basic FMEA 2nd)

Pengaruh	Kriteria: Tingkat Keparahan dan Pengaruh terhadap Performa Komponen	Nilai
Kegagalan memenuhi persyaratan keselamatan dan/atau peraturan	Mode kegagalan potensial mempengaruhi pengoperasian komponen	10
Kegagalan memenuhi persyaratan keselamatan dan/atau peraturan	Mode kegagalan potensial mempengaruhi pengoperasian komponen	9
Kehilangan atau degradasi fungsi utama	Hilangnya fungsi utama (komponen tidak dapat dioperasikan, tidak mempengaruhi keselamatan pengoperasian komponen)	8

Kehilangan atau degradasi fungsi utama	Degradasi primer (komponen dapat dioperasikan, namun tingkat kinerja fungsinya berkurang)	7
Kehilangan atau degradasi fungsi sekunder	Hilangnya fungsi utama (komponen tidak dapat dioperasikan, namun fungsi kenyamanan/kemudahan tidak dapat dioperasikan)	6
Kehilangan atau degradasi fungsi sekunder	Penurunan fungsi utama (komponen tidak dapat dioperasikan, namun fungsi kenyamanan/kemudahan pada tingkat performa berkurang)	5
Gangguan	Penampilan atau kebisingan terdengar, komponen dapat dioperasikan, namun tidak sesuai (>75%)	4
Gangguan	Penampilan atau kebisingan terdengar, komponen dapat dioperasikan, namun tidak sesuai (50%)	3
Gangguan	Penampilan atau kebisingan terdengar, komponen dapat dioperasikan, namun tidak sesuai (<25%)	2
Tidak berpengaruh	Tidak ada efek yang terlihat	1

2. *Ocurency* (O), Merupakan merupakan penilaian yang mengindikasikan tingkat keparahan penyebab kerusakan pada komponen, sehingga frekuensi terjadinya kerusakan dapat diketahui.

Tabel 2. 2 FMEA Occurance Evaluation Criteria (Sumber : E- Book The Basic FMEA 2nd)

Peluang Terjadinya Penyebab Kegagalan	Tingkat Kemungkinan Kegagalan	Ranking
Sangat tinggi: kegagalan hampir tak terhindarkan	1 dalam 2	10
	1 dalam 3	9
Tinggi: berhubungan dengan proses serupa ke proses sebelumnya yang sudah sering gagal	1 dalam 8	8
	1 dalam 20	7
Sedang: berhubungan dengan proses serupa ke proses sebelumnya yang sudah mengalami kegagalan sekali-sekali	1 dalam 80	6
	1 dalam 400	5
	1 dalam 2000	4
Rendah: kegagalan yang terisolasi berhubungan dengan proses serupa	1 dalam 15000	3
	1 dalam 150000	2
Sangat kecil: kegagalan tidak mungkin terjadi, tidak terjadi kegagalan yang berhubungan dengan proses serupa	1 dalam 1500000	1

3. *Detection (D)*, Merupakan nilai yang menunjukkan tingkat kemampuan operator dalam mendeteksi dan mengendalikan kerusakan yang terjadi.

Tabel 2. 3 FMEA Detection Evaluation Criteria (Sumber : E- Book The Basic FMEA 2nd)

Deteksi	Kriteria	Ranking
Absolutely impossible	Tidak ada kendali untuk mendeteksi kegagalan	10
Very remote	Sangat sedikit kendali untuk mendeteksi kegagalan	9
Remote	Sedikit terdapat kendali untuk mendeteksi kegagalan	8
Very low	Sangat rendah terdapat kendali untuk mendeteksi kegagalan	7
Low	Rendah terdapat kendali untuk mendeteksi kegagalan	6
Moderate	Sedang terdapat kendali untuk mendeteksi kegagalan	5
Moderately high	Sedang tinggi terdapat kendali untuk mendeteksi kegagalan	4
High	Tinggi terdapat kendali untuk mendeteksi kegagalan	3
Very high	Sangat tinggi terdapat kendali untuk mendeteksi kegagalan	2
Almost certain	Hampir pasti dapat mendeteksi kegagalan	1

5. LTA (Logic Tree Analysis)

Penyusunan LTA bertujuan menentukan prioritas untuk setiap mode kegagalan serta meninjau fungsi dan kegagalan fungsi, sehingga status mode kegagalan tidak seragam dengan sistem Perawatan. Selain itu, LTA memiliki tujuan lain, yaitu prioritas bagi setiap mode kegagalan dan menilai fungsi serta kesalahan untuk berbagai kondisi mode kegagalan (Azhari et al. 2024c).

Dalam penilaian ini, terdapat tiga variabel utama yang menjadi pertanyaan bagi operator dan akan menentukan kondisi rata-rata komponen, sehingga dapat menentukan langkah lanjutan dalam pemeliharaan. Ketiga variabel tersebut dalam analisis kekritisan adalah (Azis et al., 2010):

- a. Evident: Apakah operator mengetahui bahwa dalam kondisi normal, terdapat masalah dalam sistem?
- b. Safety: Apakah mode kegagalan dapat menimbulkan masalah keselamatan?
- c. Outage: Apakah mode kegagalan menyebabkan seluruh atau sebagian mesin berhenti beroperasi?

Berdasarkan analisis LTA, dapat diperoleh kategori kegagalan untuk setiap komponen mesin. Pengkategorian komponen didasarkan pada beberapa

pertimbangan, seperti yang dikemukakan oleh Rizkya, Siregar, dan Siregar (2020):

1. Komponen Kategori A (*Safety Problem*) : Menyebabkan gangguan pada keselamatan operator dan lingkungan sekitarnya.
2. Komponen Kategori B (*Outage Problem*) : Komponen yang mengakibatkan sistem mengalami kegagalan secara keseluruhan atau sebagian sistem.
3. Komponen Kategori C (*Economic Problem*) : Mengakibatkan sistem tidak berfungsi dengan baik secara keseluruhan atau sebagian, serta menyebabkan kerugian bagi Perusahaan akibat penurunan kinerja komponen.
4. Kategori D (*Hidden Failure*): Komponen yang mengalami kegagalan tidak terdeteksi dan sulit dikenali oleh operator karena tersembunyi dari pandangan.

6. Task Selection

Tahap ini merupakan langkah akhir dalam proses analisis RCM, di mana ditentukan tindakan yang sesuai berdasarkan pengkategorian mode kegagalan untuk setiap komponen. Pemilihan tindakan pemeliharaan yang tepat pada setiap komponen membantu mengoptimalkan biaya pemeliharaan yang dikeluarkan perusahaan untuk merawat dan memelihara suatu sistem.

Task Selection diperoleh dari hasil analisis setiap komponen berdasarkan mode kegagalannya yang telah dianalisis pada tahap FMEA (Failure Mode and Effect Analysis) dan pengkategorian setiap komponen dari hasil analisis tahap LTA (Logic Tree Analysis). Ada tiga pendekatan dalam pemilihan tindakan, yaitu :

- a. Time Directed (TD): Tindakan yang bertujuan mencegah langsung sumber kerusakan peralatan berdasarkan waktu atau usia komponen (Hidayah dan Ahmadi, 2017b).
- b. Condition Directed (CD): Bertujuan mendeteksi munculnya kegagalan atau tanda-tanda kegagalan. Jika ada indikasi kerusakan pada peralatan atau sistem, maka dilanjutkan dengan perbaikan dan penggantian komponen.
- c. Failure Finding (FF): Bertujuan menemukan kerusakan atau kegagalan peralatan yang tidak terlihat melalui pemeriksaan rutin (Hidayah dan Ahmadi, 2017b)

7. Perhitungan data Kuantitatif

Pada tahap ini metode *Reliability Centered Maintenance II* memerlukan pengolahan dan menganalisis data lebih lanjut untuk memperkuat korelasi hasil yang sudah didapatkan, pada tahapan analisis sebelumnya. Pengolahan data ini bertujuan untuk mencari nilai *Mean Time Between Failure* (MTBF), *Mean Time to Repair* (MTTR) dan menganalisis penentuan biaya kerusakan atau perawatan pada suatu komponen (Fatma, Ponda, and Kuswara 2020)

Langkah–Langkah dalam menganalisis data *Reliability Centered Maintenance II* adalah sebagai berikut:

1. Penentuan Distribusi Data MTBF (*Mean Time Between Failure*) dan MTTR (*Mean Time to Repair*)

Pada tahap ini, analisis kuantitatif untuk memperoleh gambaran untuk mengukur Tingkat keandalan sistem (*reliability*) dan kemudahan menilai kemampuan sistem dalam proses perbaikan (*maintainability*) dari setiap komponen dalam sistem bilga kapal. Parameter utama yang digunakan adalah MTBF dan MTTR, yang dihitung berdasarkan data historis kerusakan dan perbaikan. Dalam penelitian ini, perhitungan MTBF dan MTTR dilakukan dengan menggunakan data historis yang diperoleh dari hasil observasi langsung di lapangan serta dokumentasi perawatan sistem bilga kapal. Data yang digunakan meliputi waktu operasi, jumlah kegagalan, serta durasi waktu perbaikan dari masing-masing komponen.

MTBF didefinisikan sebagai rata-rata waktu operasi suatu sistem atau komponen sebelum terjadinya kegagalan berikutnya. Parameter ini umumnya diterapkan pada sistem yang bersifat dapat diperbaiki (*repairable system*), di mana sistem dapat kembali beroperasi setelah mengalami kerusakan. Menurut (Liu, Liu, and Zhou 2022), MTBF merupakan selang waktu rata-rata antara dua kejadian kegagalan yang terjadi secara berurutan dalam suatu siklus operasi. Nilai MTBF mencerminkan Tingkat keandalan sistem, di mana semakin besar nilai MTBF, maka frekuensi kegagalan akan semakin rendah.

Secara matematis, MTBF dapat dinyatakan sebagai berikut :

$$MTBF : \frac{TOTAL\ UP\ TIME}{NUMBER\ OF\ FAILURES}$$

Hasil perhitungan MTBF digunakan untuk mengidentifikasi tingkat keandalan setiap komponen dalam sistem. Komponen dengan nilai MTBF rendah menunjukkan frekuensi kegagalan yang tinggi sehingga memerlukan perhatian lebih dalam perencanaan perawatan. Sebaliknya, komponen dengan nilai MTBF tinggi dapat dikategorikan sebagai komponen yang memiliki performa stabil.

Selain parameter keandalan, aspek kemudahan perbaikan dianalisis menggunakan MTTR, yaitu rata-rata waktu yang dibutuhkan untuk memperbaiki komponen setelah terjadi kegagalan hingga kembali beroperasi normal. Analisis ini juga memberikan gambaran efisiensi proses pemeliharaan serta kesepian sumber daya dalam kegiatan perbaikan.

Secara matematis, MTBF dapat dinyatakan sebagai berikut :

$$MTTF : \frac{TOTAL\ DOWN\ TIME}{NUMBER\ OF\ FAILURES}$$

Hasil perhitungan MTTR digunakan untuk mengevaluasi efisiensi proses perbaikan. Komponen dengan nilai MTTR tinggi menunjukkan bahwa waktu perbaikan relatif lama, yang berpotensi meningkatkan *downtime* dan menurunkan efisiensi operasional. Sebaliknya, nilai MTTR yang rendah menunjukkan bahwa proses perbaikan dapat dilakukan secara cepat dan efektif.

Secara keseluruhan, kombinasi analisis MTBF dan MTTR memberikan gambaran yang lebih komprehensif mengenai performa sistem, baik dari sisi keandalan maupun kemudahan perbaikan. Dalam konteks penelitian ini, kedua parameter tersebut digunakan sebagai dasar dalam menentukan prioritas pemeliharaan serta penyusunan interval perawatan yang optimal, serta mendukung pengambilan keputusan dalam penerapan metode Reliability Centered Maintenance II (RCM II) secara lebih efektif.

2. Perhitungan Total Biaya Perawatan Optimal

Setelah melakukan perhitungan MTBF dan MTTR, selanjutnya adalah melakukan perhitungan total biaya perawatan optimal. Total biaya perawatan optimum didapat dari total biaya perawatan terkecil dari masing-masing komponen kritis sistem bilga.

Biaya perawatan mencakup semua pengeluaran yang dilakukan oleh perusahaan untuk mempertahankan kondisi aset tetap atau fasilitas produksi serta menjamin kinerjanya yang optimal untuk tujuan yang diinginkan (Palah, Setiawan, and Melani 2024). Mengingat setiap aset tetap memiliki masa guna yang terbatas, pemeliharaan menjadi sangat penting untuk mencegah kerusakan atau penurunan kualitas sebelum saatnya tiba (Fadhilah Pase 2021). Dari sudut pandang akuntansi, biaya pemeliharaan dibagi menjadi dua klasifikasi yaitu pengeluaran pendapatan yang mencakup pengeluaran rutin dengan nilai yang rendah yang manfaatnya tidak melewati satu periode akuntansi, dan pengeluaran modal yang mencakup pengeluaran non-rutin dengan nilai yang tinggi yang memberikan manfaat lebih dari satu periode (Fadhilah Pase 2021). Dengan demikian, pengelolaan biaya pemeliharaan yang baik dan efisien tidak hanya penting untuk menjaga kelangsungan operasional perusahaan, tetapi juga berkontribusi secara langsung pada pengoptimalan nilai aset tetap dan peningkatan keuntungan.

Efisiensi biaya dalam perawatan sistem bertujuan untuk menekan pengeluaran pemeliharaan atau layanan pada alat atau mesin produksi. Efisiensi biaya pemeliharaan sangat penting bagi perusahaan untuk mengurangi biaya overhead pabrik dan dengan demikian mencapai tingkat keuntungan yang optimal (Palah et al. 2024)

2.2 Penelitian Terdahulu

Penelitian terdahulu bertujuan agar mendapatkan dan mengetahui perbandingan atau acuan pada penelitian saat ini, Selain itu agar menghindari kesamaan dengan penelitian yang lalu. Oleh sebab itu dalam kajian Pustaka ini peneliti mencantumkan hasil dari penelitian terdahulu sebagai berikut

Penelitian terdahulu mengenai penerapan Reliability Centered Maintenance (RCM) menunjukkan bahwa metode ini efektif dalam meningkatkan keandalan sistem serta menekan biaya perawatan. Siregar (2024) dalam penelitian berjudul Implementasi Reliability Centered Maintenance II (RCM II) dalam Penentuan Preventive Maintenance pada Mesin Screw Press (Pressing) menggunakan metode kualitatif dan kuantitatif untuk menentukan komponen kritis pada mesin screw press. Hasil penelitian menunjukkan bahwa komponen heating system menjadi komponen kritis dengan interval penggantian setiap 62 hari dan pemeriksaan setiap 50 hari, sehingga penerapan RCM II dinilai mampu meningkatkan keandalan mesin dan mengurangi biaya perawatan.

Selanjutnya, (Kalpita 2021) dalam penelitian Perencanaan Kebijakan Perawatan pada Mesin Pompa Menggunakan Metode Reliability Centered Maintenance (RCM) menggunakan metode kuantitatif untuk menganalisis kerusakan pada mesin pompa di area pengolahan bahan bakar minyak. Penelitian tersebut berhasil mengidentifikasi tiga komponen kritis utama, yaitu bearing pampancur, mechanical seal RU05, dan reciprocating pump jetty. Dengan penerapan distribusi lognormal dan simulasi preventive maintenance, tingkat reliabilitas mesin meningkat secara signifikan.

Penelitian lain dilakukan oleh (Tri Sulistiyono et al. 2022) melalui penelitian berjudul Implementation of RCM II (Reliability Centered Maintenance II) and RPN (Risk Priority Number) in Risk Assessment and Scheduling Maintenance Task at HPB (High Pressure Boiler) Base on JSA (Job Safety Analysis). Penelitian ini menggunakan metode kualitatif dan kuantitatif untuk mengidentifikasi 25 failure mode pada sistem High Pressure Boiler PT SMART Tbk Surabaya. Hasil penelitian menunjukkan bahwa prioritas kerusakan tertinggi terdapat pada mechanical seal pump water aus dan indikator termometer rusak. Penerapan RCM II dan RPN mampu meminimalkan biaya total perawatan, mencegah kegagalan prematur, serta mengurangi potensi bahaya kerja melalui penerapan pre-job meeting, SOP, dan work permit.

Selain itu, Lee, Kim, dan Chun (2023) dalam penelitian Bilge Pumping Performance for Cargo Holds of Large Container Ships menggunakan metode analisis hidrolis dan simulasi kinerja dengan persamaan Darcy-Weisbach dan Colebrook-White untuk mengevaluasi sistem bilga kapal container. Penelitian tersebut menemukan bahwa sistem bilga pada kapal container 24.000 TEU belum mampu mencegah terbentuknya free surface pada ruang muat ketika water spray system diaktifkan. Oleh karena itu, penulis merekomendasikan modifikasi desain, seperti peningkatan ukuran pipa bilga, guna memastikan sistem memenuhi standar keselamatan yang ditetapkan.