

BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Objek Penelitian

4.1.1 Sistem Bilga Kapal

Sebuah rangkaian komponen dan proses yang dirancang untuk mengumpulkan, memisahkan, dan membuang air bilga yaitu campuran air, minyak, dan partikel padat yang terkumpul di bagian bawah kapal akibat kebocoran, kondensasi, atau sisa operasional mesin. Fungsi utamanya adalah mencegah akumulasi cairan yang dapat mengganggu stabilitas kapal, mengurangi risiko kebakaran, serta meminimalkan pencemaran lingkungan laut (Aini Amran and Nor Adibah Mustapha 2021)

Sistem bilga pada ruang mesin kapal selalu dirancang terpisah dari sistem bilga lain. Tujuannya adalah mencegah kontaminasi oli pada perpipaan sistem bilga, karena oli dapat menghambat proses pembuangan air bilga ke overboard. Cairan yang terkumpul di ruang mesin dialirkan ke *bilge well* di kamar mesin.



Gambar 4. 1 Diagram Skema Sistem Bilga Engine Room (Sumber : Penulis, 2026)

Pada Gambar 4.1 ditunjukkan skema alur kerja sistem bilga kapal yang diawali dengan pengumpulan air bilga dari berbagai sumber di ruang mesin. Air bilga yang terkumpul dialirkan menuju bilge well sebagai tempat penampungan sementara sebelum diproses lebih lanjut. Melalui pompa bilga, fluida kemudian dialirkan menuju sistem pemisahan minyak dan air (Oil Water Separator) atau langsung menuju fasilitas penampungan sesuai kondisi operasional kapal. Proses

pemisahan dilakukan untuk memastikan kandungan minyak dalam air buangan memenuhi standar lingkungan yang berlaku sebelum dibuang ke laut melalui overboard discharge. Seluruh proses didukung oleh sistem kontrol dan monitoring yang berfungsi mengawasi kondisi operasional, mendeteksi peningkatan level air bilga, serta mengendalikan kinerja pompa. Oleh karena itu, sistem bilga berperan penting dalam menjaga keselamatan operasional kapal, melindungi peralatan ruang mesin, dan mencegah terjadinya pencemaran lingkungan laut.

4.1.2 Data Utama Dimensi Kapal

Tabel 4. 1 Data Utama Kapal

<i>Name Of The Ship</i>	MV. Armada Mandiri 18
<i>Kind Of Vessel</i>	<i>General Cargo</i>
<i>Classification</i>	BKI (Biro Klasifikasi Indonesia)
<i>Flag</i>	Indonesia
<i>Port Of Register</i>	Batam
<i>Length Over All</i>	114,30 m
<i>Length Between Perpendiculars</i>	107,60 m
<i>Breath</i>	16,00 m
<i>Depth</i>	7,80 m
<i>Draught</i>	6,10 m
<i>Deadweight Tonage</i>	6750 T
<i>Gross Tonnage</i>	4401 T
<i>Net Tonnage</i>	2464 T

4.1.3 Komponen Sistem Bilga Kapal

Sistem bilga merupakan salah satu sistem vital pada kapal yang berfungsi untuk mengumpulkan, menampung, memproses, dan membuang air yang terakumulasi di bagian bawah kapal. Umumnya merupakan campuran air, minyak dan kontaminan lainnya yang berasal dari berbagai sumber seperti kebocoran lambung, kondensasi, rembesan sistem perpipaan, serta aktivitas operasional di ruang mesin (Nugraha 2025). Sistem ini terdiri dari beberapa komponen utama seperti *bilge well*, pompa bilga, pipa, *valve*, *oil water separator*, dan saluran *overboard* yang bekerja dengan cara mengumpulkan cairan di *bilge well*, kemudian mengalirkannya melalui jaringan perpipaan menuju pompa bilga untuk dipindahkan ke proses pengolahan seperti melalui *oil water separator* (OWS), sebelum akhirnya dibuang ke laut melalui sistem *overboard* sesuai dengan ketentuan lingkungan internasional seperti MARPOL.

4.2 Pendefinisian Batasan Sistem

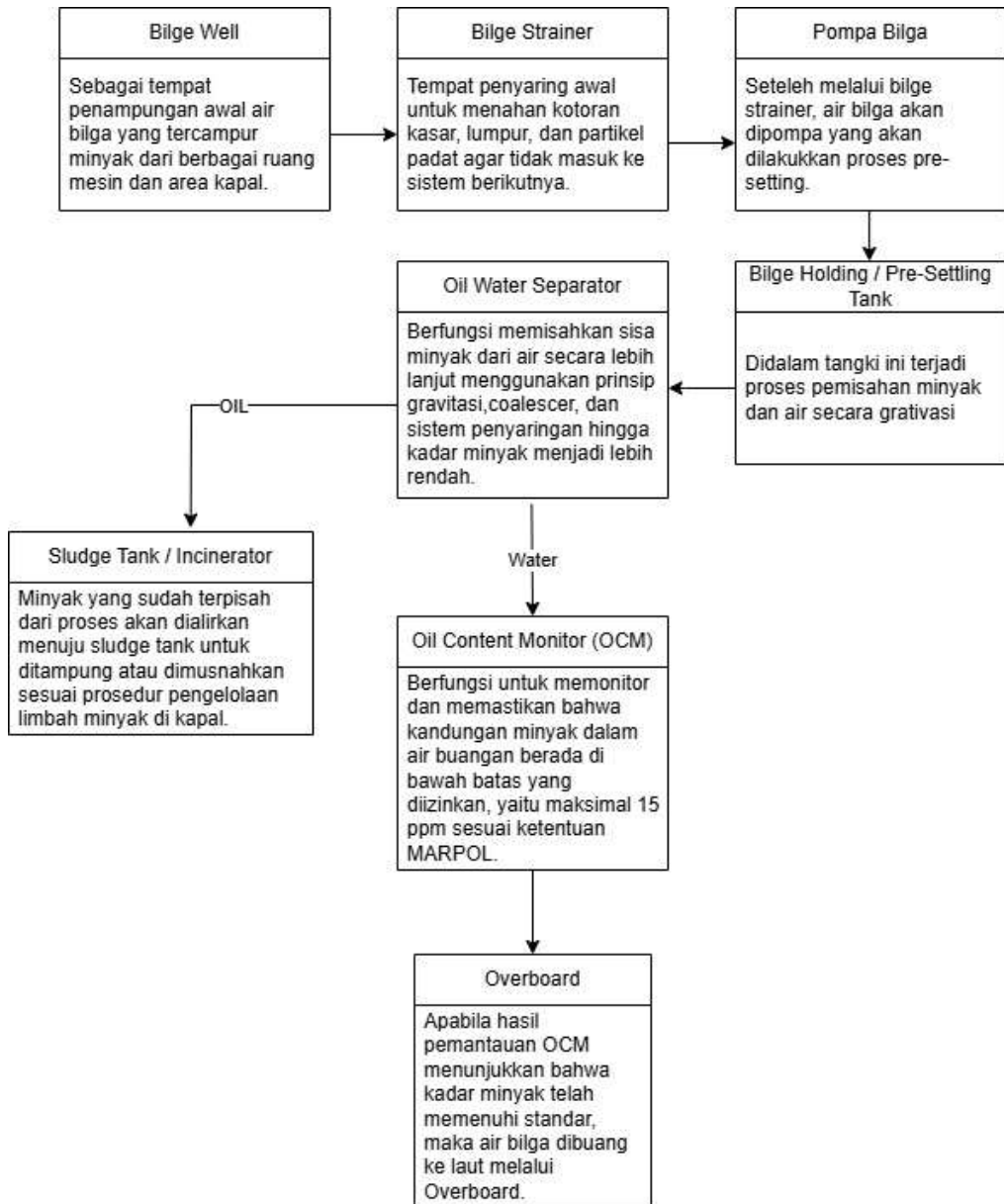
Berdasarkan data yang diperoleh dari wawancara dan pengamatan, komponen-komponen yang sering mengalami kerusakan dalam sistem bilge kapal MV. Armada Mandiri 18 adalah sebagai berikut :

Tabel 4. 2 Definisi Fungsi Komponen

No	Jenis Komponen	Fungsi
1.	Oil Water Separator	Memisahkan minyak dan air dalam air bilge melalui proses gravitasi, koelesensi dan filter, sehingga air buangan memiliki kadar minyak kurang dari 15 ppm sebelum dibuang ke laut.
2.	Pompa Bilge	Menghisap dan memompa air bilge dari bilge well ke <i>oil water separator</i> atau <i>sludge tank</i> , mencegah genangan air diruang mesin.
3.	Sludge Tank	Menampung sementara residu minyak kotor (<i>sludge</i>) hasil pemisahan dari oil water separator, untuk mencegah pencemaran internal dan kemungkinan pemantuan volume.
4.	Overboard	Mengeluarkan air bersih hasil pemisahan langsung ke laut melalui saluran khusus, diposisikan minimal 0,76m di atas garis untuk mencegah <i>backflow</i> .
5.	Pompa Oil Water Separator	Memompa air bilge yang telah diproses pemisahan dari oil water separator ke <i>sludge tank</i> /bilge well.
6.	Sounding	Mengukur level cairan di tangka seperti <i>sludge tank</i> atau <i>bilge well</i> secara manual/elektronik untuk <i>monitoring</i> volume,deteksi kebocoran, dan stabilitas kapal.
7.	Valve	Mengatur aliran cairan di pipa bilge, seperti mengatur masuknya air ke pompa atau pembuangan ke overboard

4.3 Functional Blok Diagram (FBD)

Functional Block Diagram (FBD) adalah diagram blok fungsional yang digunakan dalam Reliability Centered Maintenance (RCM) untuk memvisualisasikan struktur dan hubungan fungsional antar komponen sistem bilge pada kapal mulai dari tahap awal hingga tahap akhir pengoperasian suatu sistem, serta menyajikan keterkaitan antar komponen secara terstruktur dan sistematis. FBD menjadi langkah awal dalam proses RCM untuk menganalisis keandalan peralatan. Berikut disajikan diagram tahapan proses kerja sistem bilge pada kapal



Gambar 4.2 Diagram Blok Fungsi (Sumber : Penulis, 2026)

Pada gambar 4.1 di atas ditampilkan alur proses kerja sistem bilge pada kapal MV. Armada Mandiri 18, yang menggambarkan tahapan operasional sejak awal hingga akhir proses kerja sistem tersebut. Selain itu, gambar tersebut juga memperlihatkan urutan hubungan yang sistematis antar komponen yang saling terintegrasi, sehingga membentuk satu kesatuan sistem dalam menunjang fungsi sistem bilge pada ruang mesin kapal.

4.4 Failure Mode Effect & Analysis (FMEA)

Analisis FMEA dimanfaatkan untuk mengidentifikasi berbagai bentuk kegagalan, alasan yang mendasari, serta efek kerusakan yang dapat terjadi pada komponen sistem bilga kapal. Metode ini juga menilai seberapa besar kemungkinan kegagalan akan muncul, tingkat keparahan akibat yang ditimbulkan, serta kemampuan untuk mendeteksi terhadap kegagalan tersebut, yang diukur dalam bentuk nilai *Risk Priority Number* (RPN). Nilai yang diperoleh menunjukkan urutan prioritas peralatan atau komponen yang dinilai memiliki tingkat risiko kegagalan fungsi paling tinggi.

Metode FMEA juga menunjukkan tingkat keparahan suatu kegagalan pada komponen berdasarkan nilai *Risk Priority Number* (RPN). Nilai RPN diperoleh melalui proses penilaian yang dilakukan oleh operator atau seseorang yang bertanggung jawab dalam pengawasan dan penanganan sistem tersebut. Hasil perhitungan RPN dapat menggambarkan tingkat urgensi serta besarnya risiko kerusakan pada suatu komponen, dengan mengacu pada indikator yang telah ditetapkan berdasarkan *RCM-Gateway to World Class Maintenance*.

Tabel 4. 3 Failure Mode Effect and Analysis (FMEA)

No	Jenis Komponen	Efek dari Potensi Kegagalan	Potensi Penyebab	Pengendalian
1	Oil Water Separator	Tidak kedapnya pada valve Terkumpulnya di jantung/lidah valve yang menghasilkan tidak dapatnya buka & tutup	Valve yang tidak pernah digunakan dan tidak pernah dilakukan servis	Servis Valve dan Mengganti Valve
2	Pompa Bilga	Mengurangi kemampuan pompa untuk menghisap dengan efektif	Pemakaian yang cukup lama dan tidak pernah dilakukan servis	Melakukan servis pada pompa
		Getaran/kebisingan yang berlebihan dan mengurangi efisiensi pada saat operasional	Keausan pada impeller dan Shaft yang tidak seimbang	Melakukan servis pada impeller dan shaft
3	Sludge Tank	Meluap melebihi kapasitas Tidak munculnya sinyal/alarm di Engine Control Room	Umur pakai yang cukup lama	Mengganti terminator sensor
4	Overboard	Aliran air yang tidak lancar dan menurunkan efisiensi pompa	Penumpukan kotoran/partikel pada valve Korosi pada lidah valve	Melakukan pembersihan berkala pada valve overboard

5	Pompa Oil Water Separator	Tidak maksimalnya kerja pompa saat digunakan	Umur pakai yang cukup lama dan korosi	Melakukan servis pada pompa
6	Sounding	Tidak akurat pada saat dilakukan pengukuran	Kegagalan sistem pada saat pengukuran	Melakukan pembersihan secara berkala dan cleaning pada tangki
7	Valve	Terjadinya kesumbatan saat digunakan untuk menghisap	Umur pakai yang cukup lama	Melakukan servis starainer valve atau diganti

Berdasarkan tabel 4.3 diatas merupakan hasil indentifikasi berbagai mode kegagalan setiap komponen pada sistem bilga kapal MV. Armada Mandiri 18 yang didapatkan dari hasil wawancara bersama narasumber, hasil diatas menyatakan bahwasanya terdapat 7 komponen sistem bilga yang berpotensi mengalami kegagalan hingga kerusakan fungsi, sehingga setelah mendapatkan hasil indentifikasi kegagalan langkah selanjutnya ialah menentukan nilai *Risk Priority Number* (RPN) dari masing - masing penilaian narasumber.

4.5 Logic Tree Analysis (LTA)

Tahapan *Logic Tree Analysis* (LTA) merupakan proses analisis yang memuat informasi terkait komponen yang akan dievaluasi, fungsi dari masing-masing komponen, serta mode kegagalan yang berpotensi terjadi. Dalam proses penyusunan LTA, terdapat tiga variabel utama yang menjadi dasar pertanyaan bagi operator. Ketiga variabel ini berperan penting dalam menentukan kondisi rata-rata komponen, sehingga dapat digunakan sebagai acuan dalam penentuan langkah perawatan yang tepat. Ketiga variabel dalam analisis tingkat kekritisan tersebut (Sodikin, Jati, and Wanti 2022) meliputi :

- a. *Evident*, merupakan kondisi dimana operator bisa mengetahui adanya kegagalan pada komponen pada saat sistem bilga berjalan dengan normal.
- b. *Safety*, merupakan kondisi dimana ketika komponen tersebut mengalami kegagalan fungsi, apakah akan berbahaya bagi operator atau tidak.
- c. *Outage*, merupakan suatu kondisi kegagalan pada komponen, apakah dapat menyebabkan semua sistem terhenti atau tidak.

Setiap data yang didapatkan berdasarkan hasil dari narasumber akan menjawab pertanyaan dari 3 variabel diatas berupa (Yes / No), hasil jawaban tersebut akan menjadi data acuan untuk menentukan pengkategorian setiap komponen pada sistem bilga kapal pada kapal MV. Armada Mandiri 18

4.6 Hasil Analisis

4.6.1 Hasil Analisis FMEA

Berikut disajikan nilai *Severity*, *Occurrence* dan *Detection* untuk masing-masing komponen sistem bilga pada kapal MV. Armada Mandiri 18.

A. Narasumber 1 (Chief Engginer)

Tabel 4. 4 Nilai RPN Narasumber 1 (Sumber : Penulis, 2026)

No	Jenis Komponen	Kegagalan Fungsi	S	O	D	Total RPN (SxOxD)
1	Oil Water Separator	Valve yang sudah mengalami korosi dan karatan pada katupnya	7	7	4	196
2	Pompa Bilga	Kebocoran Seal dan Bearing yang sudah tidak layak digunakan	7	6	9	378
		Impeller yang Aus dan Shaft yang tidak seimbang	6	6	5	180
3	Sludge Tank	Terminator Sensor yang telah eror	8	3	2	48
4	Overboard	Terjadinya kesumbatan pada pembuangan valve overboard	6	3	2	36
5	Pompa Oil Water Separator	Kipas keong yang sudah mengalami korosi	6	6	4	144
6	Sounding	Tidak dapat mendeteksi Tingkat air dengan akurat	6	3	1	18
7	Valve	Strainer Valve yang menjadi tempat terkumpulnya kotoran	7	6	2	84

B. Narasumber 2 (Second Engginer)

Tabel 4. 5 Nilai RPN Narasumber 2 (Sumber : Penulis, 2026)

No	Jenis Komponen	Kegagalan Fungsi	S	O	D	Total RPN (SxOxD)
1	Oil Water Separator	Valve yang sudah mengalami korosi dan karatan pada katupnya	8	6	8	384
2	Pompa Bilga		7	6	7	294

		Kebocoran Seal dan Bearing yang sudah tidak layak digunakan				
		Impeller yang Aus dan Shaft yang tidak seimbang	4	5	4	80
3	Sludge Tank	Terminator Sensor yang telah eror	5	5	2	50
4	Overboard	Terjadinya kesumbatan pada pembuangan valve overboard	6	3	4	72
5	Pompa Oil Water Separator	Kipas keong yang sudah mengalami korosi	7	3	3	63
6	Sounding	Tidak dapat mendeteksi Tingkat air dengan akurat	8	5	4	160
7	Valve	Strainer Valve yang menjadi tempat terkumpulnya kotoran	7	4	3	84

C. Narasumber 3 (Third Engginer)

Tabel 4. 6 Nilai RPN Narasumber 3 (Sumber : Penulis, 2026)

No	Jenis Komponen	Kegagalan Fungsi	S	O	D	Total RPN (SxOxD)
1	Oil Water Separator	Valve yang sudah mengalami korosi dan karatan pada katupnya	4	8	10	320
2	Pompa Bilga	Kebocoran Seal dan Bearing yang sudah tidak layak digunakan	6	3	2	36
		Impeller yang Aus dan Shaft yang tidak seimbang	7	2	2	28
3	Sludge Tank	Terminator Sensor yang telah eror	8	3	2	48
4	Overboard	Terjadinya kesumbatan pada pembuangan valve overboard	10	3	2	60

5	Pompa Oil Water Separator	Kipas keong yang sudah mengalami korosi	4	2	2	16
6	Sounding	Tidak dapat mendeteksi Tingkat air dengan akurat	5	2	6	60
7	Valve	Strainer Valve yang menjadi tempat terkumpulnya kotoran	7	4	7	196

D. Narasumber 4 (Bosun)

Tabel 4. 7 Nilai RPN Narasumber 4 (Sumber : Penulis, 2026)

No	Jenis Komponen	Kegagalan Fungsi	S	O	D	Total RPN (SxOxD)
1	Oil Water Separator	Valve yang sudah mengalami korosi dan karatan pada katupnya	2	3	5	30
2	Pompa Bilga	Kebocoran Seal dan Bearing yang sudah tidak layak digunakan	8	6	5	140
		Impeller yang Aus dan Shaft yang tidak seimbang	9	3	5	135
3	Sludge Tank	Terminator Sensor yang telah eror	9	3	4	108
4	Overboard	Terjadinya kesumbatan pada pembuangan valve overboard	6	4	6	144
5	Pompa Oil Water Separator	Kipas keong yang sudah mengalami korosi	5	3	4	60
6	Sounding	Tidak dapat mendeteksi Tingkat air dengan akurat	6	2	5	60
7	Valve	Strainer Valve yang menjadi tempat terkumpulnya kotoran	7	3	5	105

E. Narasumber 5 (Oilman)

Tabel 4. 8 Nilai RPN Narasumber 5 (Sumber : Penulis, 2026)

No	Jenis Komponen	Kegagalan Fungsi	S	O	D	Total RPN (SxOxD)
1	Oil Water Separator	Valve yang sudah mengalami korosi dan karatan pada katupnya	5	4	3	60
2	Pompa Bilga	Kebocoran Seal dan Bearing yang sudah tidak layak digunakan	7	3	8	168
		Impeller yang Aus dan Shaft yang tidak seimbang	5	2	4	40
3	Sludge Tank	Terminator Sensor yang telah eror	8	4	3	96
4	Overboard	Terjadinya kesumbatan pada pembuangan valve overboard	6	4	7	168
5	Pompa Oil Water Separator	Kipas keong yang sudah mengalami korosi	6	4	5	120
6	Sounding	Tidak dapat mendeteksi Tingkat air dengan akurat	9	2	2	36
7	Valve	Strainer Valve yang menjadi tempat terkumpulnya kotoran	8	7	3	168

4.6.2 Hasil Analisis LTA

A. Narasumber 1 (Chief Engginer)

Tabel 4. 9 Hasil LTA Narasumber 1 (Sumber, Penulis 2026)

No	Jenis Komponen	Kegagalan Fungsi	E		S		O	
1	Oil Water Separator	Valve yang sudah mengalami korosi dan karatan pada katupnya	Y	2	N	1	Y	2
2	Pompa Bilga	Kebocoran Seal dan Bearing yang sudah tidak layak digunakan	Y	2	Y	2	Y	2

		Impeller yang Aus dan shaft yang tidak seimbang	Y	2	Y	2	Y	2
3	Sludge Tank	Terminator Sensor yang telah eror	Y	2	Y	2	N	1
4	Overboard	Terjadinya kesumbatan pada pembuangan valve overboard	Y	2	N	1	Y	2
5	Pompa Oil Water Separator	Kipas Keong yang sudah mengalami korosi	Y	2	N	1	Y	2
6	Sounding	Tidak dapat mendeteksi tingkat air dengan akurat	Y	2	N	1	N	1
7	Valve	Starainer Valve yang menjadi tempat terkumpulnya kotoran	Y	2	N	1	Y	2

B. Narasumber 2 (Second Engginer)

Tabel 4. 10 Hasil LTA Narasumber 2 (Sumber; Penulis 2026)

No	Jenis Komponen	Kegagalan Fungsi	E		S		O	
1	Oil Water Separator	Valve yang sudah mengalami korosi dan karatan pada katupnya	Y	2	Y	2	Y	2
2	Pompa Bilga	Kebocoran Seal dan Bearing yang sudah tidak layak digunakan	Y	2	Y	2	Y	2
		Impeller yang Aus dan shaft yang tidak seimbang	N	1	N	1	Y	2
3	Sludge Tank	Terminator Sensor yang telah eror	Y	2	N	1	N	1
4	Overboard	Terjadinya kesumbatan pada pembuangan valve overboard	Y	2	N	1	Y	2
5	Pompa Oil Water Separator	Kipas Keong yang sudah mengalami korosi	Y	2	N	1	N	1
6	Sounding	Tidak dapat mendeteksi tingkat air dengan akurat	N	1	Y	2	N	1
7	Valve	Starainer Valve yang menjadi tempat terkumpulnya kotoran	Y	2	N	1	N	1

C. Narasumber 3 (Third Engginer)

Tabel 4. 11 Hasil LTA Narasumber 3 (Sumber, Penulis 2026)

No	Jenis Komponen	Kegagalan Fungsi	E		S		O	
1	Oil Water Separator	Valve yang sudah mengalami korosi dan karatan pada katupnya	Y	2	N	1	N	1
2	Pompa Bilga	Kebocoran Seal dan Bearing yang sudah tidak layak digunakan	Y	2	Y	2	Y	2
		Impeller yang Aus dan shaft yang tidak seimbang	N	1	Y	2	Y	2
3	Sludge Tank	Terminator Sensor yang telah eror	N	1	Y	2	Y	2
4	Overboard	Terjadinya kesumbatan pada pembuangan valve overboard	Y	2	Y	2	N	1
5	Pompa Oil Water Separator	Kipas Keong yang sudah mengalami korosi	Y	2	Y	2	Y	2
6	Sounding	Tidak dapat mendeteksi tingkat air dengan akurat	Y	2	N	1	Y	2
7	Valve	Starainer Valve yang menjadi tempat terkumpulnya kotoran	Y	2	Y	2	Y	2

D. Narasumber 4 (Bosun)

Tabel 4. 12 Hasil LTA Narasumber 4 (Sumber, Penulis 2026)

No	Jenis Komponen	Kegagalan Fungsi	E		S		O	
1	Oil Water Separator	Valve yang sudah mengalami korosi dan karatan pada katupnya	Y	2	N	1	Y	2
2	Pompa Bilga	Kebocoran Seal dan Bearing yang sudah tidak layak digunakan	Y	2	N	1	Y	2
		Impeller yang Aus dan shaft yang tidak seimbang	Y	2	N	1	Y	2
3	Sludge Tank	Terminator Sensor yang telah eror	Y	2	N	1	N	1
4	Overboard	Terjadinya kesumbatan pada pembuangan valve overboard	Y	2	N	1	N	1

5	Pompa Oil Water Separator	Kipas Keong yang sudah mengalami korosi	N	1	N	1	Y	2
6	Sounding	Tidak dapat mendeteksi tingkat air dengan akurat	Y	2	N	1	N	1
7	Valve	Starainer Valve yang menjadi tempat terkumpulnya kotoran	Y	2	N	1	Y	2

E. Narasumber 5 (Oilman)

Tabel 4.13 Hasil LTA Narasumber 5 (Sumber, Penulis 2026)

No	Jenis Komponen	Kegagalan Fungsi	E		S		O	
1	Oil Water Separator	Valve yang sudah mengalami korosi dan karatan pada katupnya	Y	2	N	1	N	1
2	Pompa Bilga	Kebocoran Seal dan Bearing yang sudah tidak layak digunakan	Y	2	Y	2	N	1
		Impeller yang Aus dan shaft yang tidak seimbang	Y	2	N	1	N	1
3	Sludge Tank	Terminator Sensor yang telah eror	Y	2	Y	2	N	1
4	Overboard	Terjadinya kesumbatan pada pembuangan valve overboard	Y	2	N	1	Y	2
5	Pompa Oil Water Separator	Kipas Keong yang sudah mengalami korosi	Y	2	N	1	N	1
6	Sounding	Tidak dapat mendeteksi tingkat air dengan akurat	Y	2	N	1	N	1
7	Valve	Starainer Valve yang menjadi tempat terkumpulnya kotoran	Y	2	N	1	Y	2

4.7 Validasi

Validasi merupakan proses yang dilakukan untuk memastikan bahwa data, metode dan instrumen yang digunakan dalam penelitian memiliki tingkat keakuratan dan kesesuaian dengan kondisi sebenarnya. Dalam penelitian ilmiah, validasi diperlukan untuk menjamin bahwa temuan analisis yang didapat benar-benar mencerminkan fenomena yang diteliti serta dapat dipertanggungjawabkan secara akademik (Mandasini 2022). Oleh karena itu, proses validasi menjadi tahap krusial dalam penelitian karena dapat memastikan bahwa data yang dipakai benar-benar mencerminkan keadaan yang sebenarnya serta dapat mendukung penarikan kesimpulan penelitian secara tepat.

4.7.1 Validasi data FMEA

Untuk memvalidasi data yang diperoleh dari hasil penilaian masing-masing narasumber, dapat digunakan perhitungan nilai rata-rata. Penggunaan *mean* dan modus membantu dalam menentukan nilai yang paling representatif sehingga dapat menghasilkan keputusan akhir yang lebih akurat pada setiap komponen sistem bilga kapal (Dellya et al., 2023).

Langkah validasi pada metode FMEA dilakukan dengan menghitung nilai *mean* (rata-rata) menggunakan Microsoft Excel. Proses ini melibatkan penjumlahan seluruh penilaian yang dilakukan terhadap *Severity*, *Occurrence* dan *Detection* dari setiap narasumber, lalu membaginya dengan total responden untuk memperoleh nilai akhir yang valid. Hasil perhitungan tersebut dapat dilihat pada Gambar 4.2 di bawah ini.

Total Nilai RPN (Risk Priority Number) Sistem Bilga Kapal MV. ARMADA MANDIRI 18							
No	Jenis Komponen	Kegagalan Fungsi	S	O	D	TOTAL RPN (SxOxD)	
A	1	Oil Water Separator	Valve yang sudah mengalami korosi dan karatan pada katupnya	5,6	5,6	6	174,72
B1	2	Pompa Bilga	Kebocoran Seal dan Bearing yang sudah tidak layak digunakan	7	4,8	6,2	208,32
B2			Impeller yang Aus dan shaft yang tidak seimbang	6,2	3,6	4	89,28
C	3	Sludge Tank	Terminator Sensor yang telah eror	7,6	3,6	2,6	71,136
D	4	Overboard	Terjadinya kesumbatan pada pembuangan valve overboard	6,8	3,4	4,2	97,104
E	5	Pompa Oil Water Separator	Kipas Keong yang sudah mengalami korosi	5,6	3,6	3,6	72,576
F	6	Sounding	Tidak dapat mendeteksi tingkat air dengan akurat	6,8	2,8	3,6	68,544
G	7	Valve	Starliner Valve yang menjadi tempat terkumpulnya kotoran	7,2	4,8	4	138,24
						919,92	

Gambar 4. 3 Validasi Mean (Rata – Rata)

4.7.2 Validasi data LTA

Pada tahapan LTA, validasi penilaian terhadap aspek *Evident*, *Safety*, dan *Outage* dilakukan dengan menerapkan metode modus, yaitu memilih nilai yang paling sering muncul atau paling dominan dalam kumpulan data. Untuk memudahkan proses pengolahan data, setiap jawaban diberi bobot angka, di mana Yes (Y) diberi nilai 2 dan No (N) diberi nilai 1. Pendekatan ini membantu dalam menentukan hasil akhir yang paling representatif dari seluruh jawaban narasumber pada setiap komponen, sebagaimana ditampilkan pada Gambar 4.3 di bawah ini.

-MODE.MULT(G4:G21;G38;G55;G72)										
Total Nilai LTA										
No	Jenis Komponen	Kegagalan Fungsi	E	S	O	D	Kategori			
A	1	Oil Water Separator	Valve yang sudah mengalami korosi dan karatan pada katupnya	Y	2	N	1	Y	2	B
B1	2	Pompa Bilga	Kebocoran Seal dan Bearing yang sudah tidak layak digunakan	Y	2	Y	2	Y	2	B
B2			Impeller yang Aus dan shaft yang tidak seimbang	Y	2	N	1	Y	2	B
C	3	Sludge Tank	Terminator Sensor yang telah eror	Y	2	Y	2	N	1	A
D	4	Overboard	Terjadinya kesumbatan pada pembuangan valve overboard	Y	2	N	1	Y	2	B
E	5	Pompa Oil Water Separator	Kipos Keong yang sudah mengalami korosi	Y	2	N	1	Y	2	B
F	6	Sounding	Tidak dapat mendeteksi tingkat air dengan akurat	Y	2	N	1	N	1	A
G	7	Valve	Stemmer Valve yang menjadi tempat terkumpulnya kotoran	Y	2	N	1	Y	2	B

Gambar 4. 4 Validasi Modus LTA

Setelah mendapatkan hasil akhir pada tahapan LTA, langkah selanjutnya ialah mengkategorikan setiap mode kegagalan berdasarkan pertimbangan indikator FMEA dan LTA yang sudah didapatkan

4.8 Hasil & Pembahasan

4.8.1 Hasil pembahasan FMEA

Berdasarkan Tabel 4.4, Tabel 4.5, Tabel 4.6, Tabel 4.7, Tabel 4.8 didapatkan hasil rata-rata variabel dan *Risk Priority Number* (RPN) pada setiap komponen sistem bilga pada kapal MV. Armada Mandiri 18 sebagai berikut :

Tabel 4. 14 Tabel Hasil RPN Sistem Bilga Kapal (Sumber : Penulis, 2026)

No	Jenis Komponen	Kegagalan Fungsi	S	O	D	TOTAL RPN (SxOxD)	
A	1	Oil Water Separator	Valve yang sudah mengalami korosi dan karatan pada katupnya	5,2	5,6	6	174,72
B1	2	Pompa Bilga	Kebocoran Seal dan Bearing yang sudah tidak layak digunakan	7	4,8	6,2	208,32
B2			Impeller yang Aus dan shaft yang tidak seimbang	6,2	3,6	4	89,28
C	3	Sludge Tank	Terminator Sensor yang telah eror	7,6	3,6	2,6	71,136
D	4	Overboard	Terjadinya kesumbatan pada pembuangan valve overboard	6,8	3,4	4,2	97,104

E	5	Pompa Oil Water Separator	Kipas Keong yang sudah mengalami korosi	5,6	3,6	3,6	72,576
F	6	Sounding	Tidak dapat mendeteksi tingkat air dengan akurat	6,8	2,8	3,6	68,544
G	7	Valve	Starainer Valve yang menjadi tempat terkumpulnya kotoran	7,2	4,8	4	138,24
							919,92

Berdasarkan Tabel diatas terdapat pada pompa bilga bagian seal dan bearing bernilai sebesar 208,32, yang menunjukkan bahwa komponen tersebut memiliki tingkat prioritas penanganan paling tinggi karena berpotensi menimbulkan gangguan signifikan terhadap kinerja sistem. Selanjutnya, komponen oil water separator dengan kegagalan pada valve akibat korosi memiliki nilai RPN 174,72, serta valve (strainer) dengan nilai RPN 138,24 yang juga memerlukan perhatian dalam program perawatan. Sementara itu, komponen lain seperti overboard bernilai 97,104, impeller dan shaft tidak seimbang pada pompa bilga dengan nilai 89,28 yang tergolong risiko sedang. Pada *sludge tank*, kerusakan terminator sensor menghasilkan RPN 71,136 yang relatif lebih rendah karena masih mudah terdeteksi. Komponen *overboard* yang mengalami kesumbatan valve memiliki RPN 97,104 dan memerlukan pengawasan rutin. Selanjutnya, pompa oil water separator dengan kerusakan kipas keong akibat korosi memiliki RPN 72,576, sedangkan *sounding* yang tidak mampu mendeteksi level air secara akurat memiliki RPN 68,544 sebagai salah satu nilai terendah. Terakhir, *valve (strainer)* dengan permasalahan penumpukan kotoran menghasilkan RPN 138,24 yang menunjukkan perlunya pembersihan dan inspeksi berkala. Secara keseluruhan, hasil ini menunjukkan bahwa fokus perawatan dan tindakan korektif sebaiknya diprioritaskan pada komponen dengan nilai RPN tertinggi guna meminimalkan potensi kegagalan sistem bilga secara menyeluruh.

Setelah didapatkan hasil akhir nilai RPN dari masing-masing komponen, dapat diketahui komponen yang memiliki potensi kegagalan terbesar hingga terkecil, agar memudahkan menentukan nilai tersebut dapat menggunakan rumus excel, sebagaimana diuraikan berikut ini :

Tabel 4. 15 Komponen Sistem Bilga berdasarkan kritikal tertinggi (Sumber : Penulis, 2026)

No	Jenis Komponen	Total RPN
B1	Pompa Bilga	208,32
A	Oil Water Separator	174,72
G	Valve	138,24
D	Overboard	97,104
B2	Pompa Bilga	89,28
E	Pompa Oil Water Separator	72,576
C	Sludge Tank	71,136

Berdasarkan tabel 4.15 didapatkan bahwa komponen sistem bilga telah diurutkan berdasarkan nilai RPN dari yang tertinggi hingga terendah untuk menunjukkan tingkat kekritisan masing-masing komponen. Pompa bilga (B1) memiliki nilai RPN tertinggi sebesar 208,32 sehingga menjadi prioritas utama dalam perawatan dan perbaikan. Selanjutnya, oil water separator memiliki nilai RPN 174,72 dan valve sebesar 138,24 yang juga termasuk dalam kategori risiko cukup tinggi. Komponen overboard berada pada tingkat risiko menengah dengan nilai RPN 97,104, diikuti pompa bilga (B2) sebesar 89,28. Adapun pompa oil water separator sebesar 72,576 dan sludge tank sebesar 71,136 merupakan komponen dengan nilai RPN terendah. Urutan ini menunjukkan bahwa semakin tinggi nilai RPN, maka semakin besar tingkat prioritas penanganan yang diperlukan untuk menjaga keandalan sistem bilga kapal.

Urutan tersebut dapat dijadikan sebagai referensi dalam proses pengelompokan komponen berdasarkan tingkat risiko kegagalannya, sekaligus menjadi dasar dalam penentuan Task Selection yang sesuai untuk masing-masing komponen.

4.8.2 Hasil pembahasan LTA

Berdasarkan Tabel 4.9, Tabel 4.10, Tabel 4.11, Tabel 4.12, Tabel 4.13 didapatkan berdasarkan narasumber maka didapatkan hasil rata-rata akhir menggunakan metode Modus atau nilai terbanyak yaitu :

Tabel 4. 16 Indikator Penelitian Sumber : (Azhari et al.2018)

Indikator Pennilaian	
Evident	Apakah pada kondisi normal operator dapat mengetahui adanya suatu kegagalan?
Safety	Apakah kegagalan yang terjadi dapat membahayakan keselamatan kerja?
Outage	Apakah mode kegagalan tersebut dapat menyebabkan sebagian atau seluruh sistem terhenti?

Kategori	Jenis	Deskripsi
A	Safety Problem	Memiliki konsekuensi terhadap keselamatan (safety) baik bagi personel maupun lingkungan kapal
B	Outage Problem	Kegagalan komponen yang mengakibatkan seluruh atau sebagian sistem/mesin terhenti
C	Economic Problem	Kegagalan komponen yang mengakibatkan kerugian ekonomi bagi perusahaan
D	Hidden Failure	Kegagalan yang tidak diketahui oleh operator karena terjadi secara tersembunyi dalam kondisi normal

Tabel 4.17 Hasil Kategori Komponen (Sumber : Penulis, 2026)

	No	Jenis Komponen	Kegagalan Fungsi	E		S		O		Kategori
A	1	Oil Water Separator	Valve yang sudah mengalami korosi dan karatan pada katupnya	Y	2	N	1	Y	2	B
B1	2	Pompa Bilga	Kebocoran Seal dan Bearing yang sudah tidak layak digunakan	Y	2	Y	2	Y	2	B
B2			Impeller yang Aus dan shaft yang tidak seimbang	Y	2	N	1	Y	2	B
C	3	Sludge Tank	Terminator Sensor yang telah eror	Y	2	Y	2	N	1	A
D	4	Overboard	Terjadinya kesumbatan pada pembuangan valve overboard	Y	2	N	1	Y	2	B
E	5	Pompa Oil Water Separator	Kipas Keong yang sudah mengalami korosi	Y	2	N	1	Y	2	B
F	6	Sounding	Tidak dapat mendeteksi tingkat air dengan akurat	Y	2	N	1	N	1	A
G	7	Valve	Starainer Valve yang menjadi tempat terkumpulnya kotoran	Y	2	N	1	Y	2	B

Berdasarkan hasil analisis kegagalan fungsi komponen menggunakan metode *Logic Tree Analysis* (LTA) yang ditunjukkan pada tabel 4.16 diatas, dari total 8 *failure mode* dengan 7 komponen yang dianalisis menunjukkan bahwa, sebanyak 5 komponen termasuk dalam kategori B dan 2 komponen termasuk dalam kategori A, serta tidak terdapat komponen yang masuk dalam kategori C maupun D. Komponen kategori A meliputi sistem sensor pada *sludge tank* dan sistem *sounding*, yang menunjukkan tingkat prioritas penanganan lebih tinggi karena berpotensi berdampak langsung terhadap keselamatan dan keandalan operasional kapal. Sementara itu, komponen lainnya seperti *oil water separator*, pompa bilga, *overboard valve*, pompa *oil water separator*, dan *valve* umum berada pada kategori B, yang menunjukkan bahwa kegagalan yang terjadi masih dalam tingkat risiko menengah dan belum bersifat kritis, namun tetap memerlukan tindakan perawatan yang terencana agar tidak berkembang menjadi kegagalan yang lebih serius.

Secara umum, kegagalan didominasi oleh korosi, keausan, kebocoran, dan sumbatan yang dipengaruhi oleh kondisi lingkungan kerja serta kurang optimalnya perawatan preventif. Oleh karena itu, diperlukan peningkatan strategi perawatan yang lebih terencana dan berbasis kondisi, dengan prioritas utama pada komponen kategori A guna meningkatkan keandalan dan keselamatan sistem secara menyeluruh.

4.9 Task Selection

Task Selection merupakan langkah/tahap terakhir dari analisis kualitatif. Proses ini bertujuan untuk menetapkan langkah penanganan yang tepat dan terukur terhadap setiap mode kegagalan yang teridentifikasi. Pemilihan tugas perawatan dijadikan sebagai dasar dalam menentukan kebijakan pemeliharaan yang efektif, dengan tujuan meminimalkan potensi terjadinya kegagalan sekaligus memilih jenis tindakan yang paling efisien dari segi biaya perawatan (Yonathan et al. 2021). Dengan demikian, kebijakan perawatan yang diterapkan harus disesuaikan dengan karakteristik mode kegagalan yang terjadi.

Penentuan kebijakan tersebut berkaitan langsung dengan tiga pendekatan utama dalam Reliability Centered Maintenance (RCM), yaitu Time Directed (TD), Condition Directed (CD), dan Failure Finding (FF). Time Directed (TD) merupakan tindakan pencegahan yang dilakukan secara langsung terhadap sumber potensi kerusakan berdasarkan interval waktu atau umur pakai komponen. Condition Directed (CD) berfokus pada upaya mendeteksi gejala atau indikasi awal kegagalan melalui kegiatan inspeksi atau pemantauan kondisi, yang kemudian dilanjutkan dengan perbaikan atau penggantian komponen apabila ditemukan kerusakan. Sementara itu, Failure Finding (FF) bertujuan untuk mengidentifikasi kegagalan tersembunyi yang tidak tampak secara langsung melalui pemeriksaan berkala yang juga didasarkan pada waktu atau masa pakai komponen.

Berikut adalah ringkasan pilihan tindakan yang diperoleh dari *analisis Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) dan Logic Tree Analysis (LTA)*

Tabel 4. 18 Hasil Akhir Task Selection (Sumber : Penulis, 2026)

	No	Jenis Komponen	Kegagalan Fungsi	Total RPN	Category	Task Selection
A	1	Oil Water Separator	Valve yang sudah mengalami korosi dan karatan pada katupnya	174,72	B	CD
B1	2	Pompa Bilga	Kebocoran Seal dan Bearing yang sudah tidak layak digunakan	208,32	B	TD
B2			Impeller yang Aus dan shaft yang tidak seimbang	89,28	B	TD
C	3	Sludge Tank	Terminator Sensor yang telah eror	71,136	A	CD
D	4	Overboard	Terjadinya kesumbatan pada pembuangan valve overboard	97,104	B	CD
E	5	Pompa Oil Water Separator	Kipas Keong yang sudah mengalami korosi	72,576	B	TD
F	6	Sounding	Tidak dapat mendeteksi tingkat air dengan akurat	68,544	A	CD
G	7	Valve	Starainer Valve yang menjadi tempat terkumpulnya kotoran	138,24	B	TD

Berdasarkan hasil tabel 4.18 mengenai rekapitulasi pemilihan tindakan *Reliability Centered Maintenance* (RCM) pada tabel di atas, diperoleh hasil bahwa dari total 7 komponen yang dianalisis, sebanyak 5 komponen termasuk dalam kategori B dan 2 komponen termasuk dalam kategori A. maka pemilihan tindakan untuk komponen kritis komponen sistem bilga kapal pada kapal MV. Armada Mandiri 18 adalah sebagai berikut:

- a. *Time Directed* (TD) tindakan yang bertujuan untuk melakukan pencegahan langsung terhadap sumber kerusakan peralatan, yang didasarkan pada waktu atau umur komponen. Pada pendekatan *Time Directed* (TD), ditemukan 2 komponen, yaitu pompa bilga (RPN 208,32 dan 89,28) serta pompa oil water separator (RPN 72,576). Pompa bilga ditetapkan menggunakan pendekatan *Time Directed* (TD) berdasarkan pertimbangan hasil analisis FMEA yang menunjukkan nilai RPN tertinggi dibandingkan komponen lainnya, yaitu sebesar 208,32 dan 89,28. Nilai tersebut mengindikasikan bahwa tingkat keparahan dampak kegagalan dan frekuensi terjadinya kerusakan pada komponen ini relatif tinggi, sehingga diperlukan tindakan pencegahan yang terjadwal sebelum kegagalan terjadi. Selain itu, kerusakan pada *seal*, *bearing*, *impeller* dan *shaft* umumnya berkaitan dengan umur pakai dan intensitas operasional, sehingga lebih efektif dikendalikan melalui perawatan berkala berdasarkan interval waktu atau jam kerja. Dengan penerapan *Time Directed* (TD), risiko gangguan sistem bilga akibat kegagalan pompa dapat diminimalkan melalui penggantian atau *overhaul* komponen secara terencana sebelum mencapai kondisi kritis dan Valve (RPN 138,24).
- b. *Condition Directed* (CD) Tindakan yang bertujuan untuk mendeteksi kerusakan dengan cara memeriksa alat disebut *Condition Directed* (CD). Jika dalam pemeriksaan ditemukan gejala kerusakan peralatan, maka langkah selanjutnya adalah melakukan perbaikan atau penggantian komponen. Pada pendekatan *Condition Directed* (CD), ditemukan 3 komponen, yaitu Oil Water Separator (RPN 174,72), Sludge Tank (RPN 71,136), Overboard (RPN 97,104), dan Sounding (RPN 68,544), yang menggunakan kombinasi tindakan *Condition Directed* (CD) karena berkaitan dengan fungsi proteksi dan pendeteksian level air.

Perlu dijelaskan lebih lanjut bahwa dalam penelitian ini tidak ditemukan komponen pada sistem bilga ruang mesin yang masuk ke dalam kategori *Failure Finding* (FF). Hal ini bukan merupakan suatu kekurangan atau kelalaian dalam proses analisis, melainkan mencerminkan kondisi aktual dari sistem yang diteliti. *Failure Finding* (FF) merupakan tindakan pemeliharaan yang ditujukan secara spesifik untuk mengidentifikasi kegagalan tersembunyi (*Hidden Failure*), yaitu kegagalan yang tidak dapat terdeteksi secara langsung oleh operator selama operasi normal berlangsung. Kondisi ini menyebabkan tidak ada satu pun komponen yang memenuhi kriteria untuk dikategorikan ke dalam tindakan *Failure Finding* (FF). Dengan demikian, hasil *Task Selection* pada penelitian ini hanya mencakup dua kategori tindakan, yaitu *Time Directed* (TD) dan *Condition Directed* (CD), yang sepenuhnya sesuai dengan karakteristik mode kegagalan aktual yang ditemukan pada sistem bilga kapal MV. Armada Mandiri 18.

4.10 Main Time Between Failure (MTBF)

Mean Time Between Failure (MTBF) adalah salah satu parameter penting dalam studi keandalan yang digunakan untuk menggambarkan rata-rata selang waktu operasi suatu sistem atau komponen sebelum mengalami kegagalan. Metrik ini umumnya diterapkan pada sistem yang bersifat dapat diperbaiki (repairable system), di mana setelah mengalami kerusakan, sistem dapat dikembalikan ke kondisi operasional melalui proses perbaikan.

Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh (Liu et al. 2022), MTBF diartikan sebagai waktu rata-rata antar dua kejadian kegagalan yang berurutan dalam suatu siklus operasi sistem. Dengan demikian, nilai MTBF tidak hanya merepresentasikan durasi operasi normal, tetapi juga mencerminkan tingkat keandalan suatu sistem secara keseluruhan. Semakin tinggi nilai MTBF yang didapat, maka semakin jarang kegagalan terjadi, sehingga dapat disimpulkan bahwa sistem tersebut memiliki tingkat keandalan yang lebih baik.

Selain itu, MTBF juga memiliki hubungan erat dengan laju kegagalan (*failure rate*), yang secara matematis dinyatakan sebagai kebalikan dari nilai MTBF. Hubungan ini menunjukkan bahwa semakin tinggi nilai MTBF, maka laju kegagalan sistem akan semakin kecil, sehingga performa sistem menjadi lebih optimal dalam jangka waktu operasionalnya.

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

Perhitungan MTBF dalam penelitian ini dilakukan dengan memanfaatkan data historis terkait waktu operasi dan frekuensi kegagalan dari masing-masing komponen sistem bilga kapal. Data tersebut diperoleh melalui observasi langsung di lapangan serta didukung oleh data sekunder dari catatan perawatan sebelumnya. Secara umum, MTBF dapat dihitung dengan membagi total waktu operasi sistem dengan jumlah kejadian kegagalan yang terjadi selama periode pengamatan. Pendekatan ini digunakan untuk memperoleh nilai rata-rata waktu antar kegagalan yang dapat mewakili kondisi aktual sistem. Hasil perhitungan MTBF selanjutnya dianalisis untuk mengetahui tingkat keandalan masing-masing komponen dalam sistem bilga kapal. Komponen dengan nilai MTBF yang relatif rendah menunjukkan bahwa frekuensi kegagalan yang terjadi cukup tinggi, sehingga memerlukan perhatian lebih dalam perencanaan perawatan. Sebaliknya, komponen dengan nilai MTBF yang tinggi dapat dianggap memiliki performa yang lebih stabil dan andal. Dalam konteks penelitian ini, nilai MTBF digunakan sebagai dasar dalam menentukan prioritas perawatan serta interval pemeliharaan yang optimal. Selain itu, hasil analisis MTBF juga menjadi salah satu parameter penting dalam penerapan metode *Reliability Centered Maintenance II* (RCM II), khususnya dalam mendukung pengambilan keputusan terkait strategi perawatan yang paling efektif.

4.11 Main Time To Repair (MTTR)

Mean Time To Repair (MTTR) merupakan parameter yang digunakan untuk mengukur rata-rata waktu yang dibutuhkan dalam proses perbaikan suatu sistem atau komponen setelah terjadi kegagalan. Parameter ini berkaitan erat dengan aspek *maintainability*, yaitu kemampuan suatu sistem untuk dapat diperbaiki dan dikembalikan ke kondisi operasional dalam waktu yang relatif singkat.

Mengacu pada (Liu et al. 2022), MTTR didefinisikan sebagai rata-rata durasi waktu yang diperlukan untuk melakukan perbaikan pada sistem yang mengalami kegagalan hingga dapat berfungsi kembali secara normal. Nilai MTTR memberikan gambaran mengenai efisiensi proses perbaikan serta kesiapan sumber daya yang terlibat dalam kegiatan pemeliharaan. Selain itu, MTTR juga memiliki hubungan dengan laju perbaikan (*repair rate*), yang dinyatakan sebagai kebalikan dari nilai MTTR. Semakin kecil nilai MTTR, maka laju perbaikan akan semakin besar, yang menunjukkan bahwa sistem memiliki kemampuan pemulihan yang baik setelah mengalami gangguan.

Perhitungan MTTR dalam penelitian ini dilakukan dengan menggunakan data waktu perbaikan yang dibutuhkan untuk setiap kejadian kegagalan pada komponen sistem bilga kapal. Data tersebut dikumpulkan dari hasil observasi serta dokumentasi historis perawatan yang tersedia. Secara umum, MTTR dihitung dengan membagi total waktu perbaikan dengan jumlah kejadian perbaikan yang dilakukan. Pendekatan ini memberikan gambaran rata-rata waktu yang diperlukan untuk mengembalikan sistem ke kondisi normal.

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

Hasil perhitungan MTTR kemudian dianalisis untuk mengevaluasi tingkat kemudahan perbaikan dari masing-masing komponen dalam sistem bilga kapal. Komponen dengan nilai MTTR yang tinggi menunjukkan bahwa proses perbaikan membutuhkan waktu yang relatif lama, sehingga berpotensi meningkatkan waktu henti (*downtime*) sistem. Hal ini dapat berdampak pada menurunnya efisiensi operasional kapal. Sebaliknya, komponen dengan nilai MTTR yang rendah menunjukkan bahwa proses perbaikan dapat dilakukan dengan cepat dan efisien, sehingga sistem dapat segera kembali beroperasi.

4.12 Pengumpulan data MTBF & MTTR

Analisis ini merupakan lanjutan dari tahapan pengolahan data yang telah dijelaskan pada sebelumnya, dimana data historis kegagalan komponen sistem bilga diolah untuk memperoleh parameter keandalan dan kemudahan perawatan, yaitu *Mean Time Between Failure* (MTBF) dan *Mean Time To Repair* (MTTR). Kedua parameter ini digunakan sebagai dasar dalam evaluasi performa komponen serta penentuan strategi perawatan berbasis *Reliability Centered Maintenance II* (RCM II). Mengacu pada pendekatan pada jurnal (Liu et al. 2022), Secara keseluruhan, parameter MTBF dan MTTR memiliki peran yang saling melengkapi dalam analisis keandalan sistem. MTBF digunakan untuk menilai seberapa sering kegagalan terjadi, sedangkan MTTR digunakan untuk mengukur seberapa cepat sistem dapat dipulihkan. Kombinasi kedua parameter ini menjadi dasar dalam menentukan strategi perawatan yang optimal guna meningkatkan keandalan dan efisiensi sistem bilga kapal.

Tabel 4. 19 Pengumpulan Data MTBF&MTTR (Sumber : Penulis, 2026)

No.	Jenis Komponen	Total Operasi	Total Up Time	Total Up Time2	No. Failure	Description	Total Down Time	Total Down Time 2
B1	Pompa Bilga	7500 hr	7399 hr	1500 hr - 1200 hr - 3000 hr - 1800 hr - 1200 hr	6	4 Times minor failure & 2 time Major failure	18 hr - 12 hr - 35 hr - 15 hr - 8 hr - 13 hr	101
A	Oil Water Separator	5000 hr	4970 hr	2000 hr - 1400 hr - 700 hr - 900 hr	4	4 time minor failure	8hr - 5 hr- 10 hr - 7 hr	30
G	Valve	4800 hr	4771 hr	1800 hr - 700 hr - 800 hr - 1000 hr	4	4 time minor failure	7hr - 10 hr- 5 hr - 7 hr	29
D	Overboard	7500 hr	7452 hr	3726 hr	1	1 time minor failure	48 hr	48
B2	Pompa Bilga	7500 hr	7399 hr	1500 hr - 1200 hr - 3000 hr - 1800 hr - 1200 hr	5	4 Times minor failure & 1 time Major failure	18 hr - 12 hr - 35 hr - 15 hr - 8 hr - 13 hr	101
E	Pompa Oil Water Separator	4800 hr	4705 hr	400 hr - 1500 hr - 805 hr - 1610 hr	4	2 Times minor failure & 2 time Major failure	18 hr - 24 hr - 13 hr - 40 hr	95
F	Sounding	87600 hr	87582 hr	40000 hr - 47600 hr	2	2 Times minor failure	10hr - 8 hr	18
C	Sludge Tank	43800 hr	43766 hr	14600 hr - 17000 hr - 12200 hr	3	3 Times minor failure	8hr - 8 hr - 8 hr	24

Berdasarkan hasil pengolahan data historis kegagalan dan waktu perbaikan pada masing-masing komponen sistem bilga kapal, diperoleh variasi nilai MTBF dan MTTR yang menunjukkan perbedaan tingkat keandalan dan kemudahan perbaikan antar komponen. Komponen pompa bilga (B1 dan B2) serta pompa oil water separator (E) memiliki frekuensi kegagalan yang tinggi disertai downtime yang signifikan, yang mengindikasikan nilai MTBF rendah dan MTTR relatif tinggi. Kondisi ini menunjukkan bahwa komponen tersebut tidak hanya rentan mengalami kegagalan, tetapi juga membutuhkan waktu pemulihan yang lama, sehingga berkontribusi besar terhadap penurunan keandalan sistem secara keseluruhan.

Sebaliknya, komponen seperti *sounding* (F) dan *overboard* (D) menunjukkan tingkat kegagalan yang rendah dengan durasi perbaikan yang relatif singkat, sehingga memiliki performa keandalan dan *maintainability* yang lebih baik. Namun demikian, meskipun frekuensi kegagalan rendah, komponen tetap perlu dipantau untuk mencegah kegagalan laten yang berpotensi tidak terdeteksi.

Secara keseluruhan, kombinasi analisis MTBF dan MTTR menunjukkan bahwa komponen yang memiliki frekuensi kegagalan tinggi dan waktu perbaikan lama merupakan komponen kritis yang perlu diprioritaskan dalam strategi perawatan. Oleh karena itu, dalam penerapan metode *Reliability Centered Maintenance II* (RCM II), komponen pompa bilga dan pompa *oil water separator* direkomendasikan sebagai fokus utama dalam penentuan interval perawatan dan pemilihan tindakan pemeliharaan yang lebih efektif, guna meningkatkan keandalan sistem serta meminimalkan *downtime* operasional kapal.

Dalam data pengumpulan MTBF dan MTTR sebagaimana tercantum pada Tabel 4.19, terdapat dua komponen yang menunjukkan total jam operasi jauh di atas komponen lainnya, yaitu komponen *sounding* dengan total operasi sebesar 87.600 jam dan komponen *sludge tank* dengan total operasi sebesar 43.800 jam. Tingginya akumulasi jam operasi pada kedua komponen tersebut perlu mendapat penjelasan yang memadai agar tidak menimbulkan ambiguitas dalam interpretasi data.

Berdasarkan informasi teknis yang diperoleh dari pihak galangan dan catatan historis kapal, komponen *sounding* dan *sludge tank* pada kapal MV. Armada Mandiri 18 merupakan komponen original bawaan kapal sejak pertama kali kapal dibangun dan diluncurkan. Kedua komponen ini belum pernah mengalami penggantian unit secara menyeluruh (*replacement*) selama periode perawatan dan perbaikan (*repair*) yang dilakukan di galangan. Artinya, sejak kapal beroperasi pertama kali, komponen *sounding* dan *sludge tank* masih menggunakan unit yang sama tanpa adanya pergantian komponen utama.

Kondisi inilah yang menyebabkan total akumulasi jam operasi kedua komponen tersebut sangat tinggi, karena jam operasi dihitung secara kumulatif sejak pertama kali komponen dipasang dan dioperasikan tanpa adanya reset akibat penggantian unit baru. Berbeda dengan komponen lain seperti Pompa Bilga dan Pompa OWS yang pernah menjalani *overhaul* maupun penggantian komponen utama sehingga pencatatan jam operasinya dimulai kembali dari awal setelah setiap tindakan perbaikan besar. Kondisi ini sekaligus menjelaskan mengapa nilai MTBF komponen Sounding mencapai angka tertinggi sebesar 43.791 jam, yang mengindikasikan bahwa meskipun komponen ini telah beroperasi dalam waktu yang sangat lama, frekuensi kegagalan yang terjadi tetap sangat rendah, sehingga komponen ini memiliki tingkat keandalan yang tinggi dibandingkan komponen lainnya pada sistem bilga kapal.

4.13 Pengolahan Data MTBF

Berdasarkan hasil perhitungan yang telah dilakukan dengan rumus, nilai MTBF pada setiap komponen sistem bilga menunjukkan variasi yang signifikan. Hal ini mengindikasikan bahwa tingkat keandalan (*reliability*) antar komponen tidak seragam, sehingga masing-masing komponen memiliki tingkat ketahanan operasi yang berbeda sebelum mengalami kegagalan.

Tabel 4. 20 Hasil Analisis MTBF (Sumber : Penulis, 2026)

No.	Jenis Komponen	Total Operasi	Total Up Time	Total Up Time2	No. Failure	Description	Total Down Time	Total Down Time 2	MTBF
B1	Pompa Bilga	7500 hr	7399 hr	1500 hr - 1200 hr - 3000 hr - 1800 hr - 1200 hr	6	4 Times minor failure & 1 time Major failure	18 hr - 12 hr - 35 hr - 15 hr - 8 hr - 13 hr	101	1233
A	Oil Water Separator	5000 hr	4970 hr	2000 hr - 1400 hr - 700 hr - 900 hr	4	4 time minor failure	8hr - 5 hr- 10 hr - 7 hr	30	1243
G	Valve	4800 hr	4771 hr	1800 hr - 700 hr - 800 hr - 1000 hr	4	4 time minor failure	7hr - 10 hr- 5 hr - 7 hr	29	1243
D	Overboard	7500 hr	7452 hr	3726 hr	1	1 time minor failure	48 hr	48	7452
B2	Pompa Bilga	7500 hr	7399 hr	1500 hr - 1200 hr - 3000 hr - 1800 hr - 1200 hr	5	4 Times minor failure & 1 time Major failure	18 hr - 12 hr - 35 hr - 15 hr - 8 hr - 13 hr	101	1480
E	Pompa Oil Water Separator	4800 hr	4705 hr	400 hr - 1500 hr - 805 hr - 1610 hr	4	2 Times minor failure & 2 time Major failure	18 hr - 24 hr - 13 hr - 40 hr	95	1176
F	Sounding	8760 hr	8758 hr	40000 hr - 47600 hr	2	2 Times minor failure	10hr - 8 hr	18	43791
C	Sludge Tank	4380 hr	4376 hr	14600 hr - 17000 hr - 12200 hr	3	3 Times minor failure	8hr - 8 hr - 8 hr	24	14589

Pada tabel 4.20 didapatkan hasil komponen *sounding* menunjukkan tingkat keandalan paling tinggi dengan nilai MTBF sebesar 43.791 jam, yang menandakan frekuensi kegagalan sangat rendah. Kondisi ini menunjukkan bahwa komponen tersebut mampu beroperasi dalam jangka waktu yang sangat lama tanpa mengalami gangguan, sehingga tidak menjadi prioritas utama dalam strategi perawatan. Selanjutnya, komponen *sludge tank* dan *overboard* juga memiliki tingkat keandalan yang relatif tinggi dengan nilai MTBF masing-masing sebesar 14.589 jam dan 7.452 jam. Meskipun demikian, nilai MTBF yang lebih rendah pada *Overboard* menunjukkan bahwa komponen ini lebih rentan mengalami kegagalan dibandingkan *sludge tank*, meskipun masih dalam kategori andal.

Komponen *oil water separator* dan *valve* memiliki nilai MTBF yang relatif sama, yaitu sekitar 1.243 jam. Nilai ini menunjukkan bahwa kedua komponen berada pada tingkat kegagalan sedang, sehingga memerlukan perhatian dalam perencanaan perawatan agar frekuensi kegagalan tidak meningkat. Sementara itu, komponen *pompa bilga* (B1 dan B2) memiliki nilai MTBF masing-masing sebesar 1.233 jam dan 1.480 jam. Nilai ini mengindikasikan bahwa frekuensi kegagalan relatif tinggi dibandingkan komponen lainnya. Selain itu, adanya indikasi kegagalan mayor memperkuat bahwa komponen ini merupakan salah satu komponen kritis dalam sistem. Komponen dengan tingkat keandalan terendah adalah Pompa *oil water separator*, dengan nilai MTBF sebesar 1.176 jam. Nilai ini menunjukkan bahwa komponen tersebut memiliki frekuensi kegagalan paling tinggi, sehingga menjadi prioritas utama dalam penentuan strategi perawatan untuk meningkatkan keandalan sistem secara keseluruhan.

4.14 Pengolahan Data MTTR

Hasil perhitungan MTTR menunjukkan adanya perbedaan durasi waktu perbaikan pada masing-masing komponen sistem bilga, yang mencerminkan variasi tingkat kemudahan perawatan (*maintainability*). Perbedaan ini berpengaruh langsung terhadap lamanya *downtime* yang terjadi ketika sistem mengalami kegagalan.

Tabel 4. 21 Hasil Analisis MTTR (Sumber : Penulis, 2026)

No.	Jenis Komponen	Total Operasi	Total Up Time	Total Up Time2	No. Failure	Description	Total Down Time	Total Down Time 2	MTTR
B1	Pompa Bilga	7500 hr	7399 hr	1500 hr - 1200 hr - 3000 hr - 1800 hr - 1200 hr	6	4 Times minor failure & 1 time Major failure	18 hr - 12 hr - 35 hr - 15 hr - 8 hr - 13 hr	101	17
A	Oil Water Separator	5000 hr	4970 hr	2000 hr - 1400 hr - 700 hr - 900 hr	4	4 time minor failure	8hr - 5 hr- 10 hr - 7 hr	30	8
G	Valve	4800 hr	4771 hr	1800 hr - 700 hr - 800 hr - 1000 hr	4	4 time minor failure	7hr - 10 hr- 5 hr - 7 hr	29	7

D	Overboard	7500 hr	7452 hr	3726 hr	1	1 time minor failure	48 hr	48	48
B2	Pompa Bilga	7500 hr	7399 hr	1500 hr - 1200 hr - 3000 hr - 1800 hr - 1200 hr	5	4 Times minor failure & 1 time Major failure	18 hr - 12 hr - 35 hr - 15 hr - 8 hr - 13 hr	101	20
E	Pompa Oil Water Separator	4800 hr	4705 hr	400 hr - 1500 hr - 805 hr - 1610 hr	4	2 Times minor failure & 2 time Major failure	18 hr - 24 hr - 13 hr - 40 hr	95	24
F	Sounding	8760 hr	8758 hr	40000 hr - 47600 hr	2	2 Times minor failure	10hr - 8 hr	18	9
C	Sludge Tank	4380 hr	4376 hr	14600 hr - 17000 hr - 12200 hr	3	3 Times minor failure	8hr - 8 hr - 8 hr	24	8

Merujuk pada tabel 4.21 didapatkan hasil bahwa, komponen *sounding* memiliki nilai MTTR paling rendah yaitu sebesar 9 jam, yang menunjukkan bahwa proses perbaikan dapat dilakukan dengan cepat dan efisien. Hal ini menandakan bahwa komponen tersebut memiliki tingkat *maintainability* yang sangat baik.

Komponen *oil water separator* dan *valve* juga menunjukkan kemampuan perbaikan yang cukup baik dengan nilai MTTR masing-masing sebesar 8 jam dan 7 jam. Waktu perbaikan yang relatif singkat ini mampu menekan dampak kegagalan terhadap operasional sistem.

Pada komponen *pompa bilga* (B1 dan B2), nilai MTTR masing-masing sebesar 17 jam dan 20 jam. Nilai ini menunjukkan bahwa proses perbaikan membutuhkan waktu yang cukup lama dibandingkan komponen lainnya. Kondisi ini, ditambah dengan frekuensi kegagalan yang tinggi, menjadikan komponen ini sebagai penyumbang signifikan terhadap *downtime* sistem.

Komponen *sludge tank* memiliki nilai MTTR sebesar 8 jam, yang masih tergolong efisien dalam proses perbaikan. Namun demikian, tetap diperlukan pengendalian perawatan untuk menjaga kestabilan performa.

Sementara itu, komponen *Overboard* memiliki nilai MTTR tertinggi yaitu sebesar 48 jam. Meskipun frekuensi kegagalan relatif rendah, durasi perbaikan yang sangat lama berpotensi menimbulkan dampak *downtime* yang besar. Hal ini menunjukkan adanya ketidakseimbangan antara keandalan dan kemudahan perawatan pada komponen tersebut.

Komponen *pompa oil water Separator* memiliki nilai MTTR sebesar 24 jam, yang menunjukkan bahwa proses perbaikan memerlukan waktu relatif lama. Jika dikombinasikan dengan frekuensi kegagalan yang tinggi, kondisi ini menjadikan komponen tersebut sebagai faktor utama yang mempengaruhi penurunan efisiensi operasional sistem bilga.

4.15 Biaya Aktual Perbaikan

Biaya didefinisikan sebagai pengorbanan sumber ekonomi yang diukur dalam satuan uang, yang telah terjadi atau berpotensi terjadi untuk tujuan tertentu, seperti memperoleh barang atau jasa yang bermanfaat melebihi satu periode akuntansi. Definisi ini mencakup biaya historis (sudah terjadi) dan prospektif (masa depan), yang menjadi dasar pengelompokan dalam akuntansi biaya untuk mendukung pengambilan keputusan manajemen. Dalam konteks perbaikan, biaya bukan sekadar pengeluaran, melainkan investasi yang mencegah kerusakan lebih lanjut pada aktiva tetap seperti mesin sehingga menjaga kelancaran produksi. Dalam konteks perbaikan kapal, biaya didefinisikan sebagai pengorbanan sumber daya ekonomi yang diukur dalam satuan uang untuk memulihkan kondisi kapal agar tetap *seaworthy* (layak laut), mencegah kerusakan lebih lanjut, dan menjaga kemampuan operasionalnya sesuai standar keselamatan maritim. Definisi ini mencakup biaya historis (sudah dikeluarkan untuk perbaikan saat ini) dan prospektif (perkiraan untuk docking mendatang), yang menjadi dasar pengendalian biaya di industri perkapalan agar kapal dapat beroperasi optimal tanpa *downtime* berlebih (Fauzan 2014).

4.15.1 Pengumpulan Data & pengolahan data

Tabel 4. 22 Data Biaya Perawatan

No.	Jenis Komponen	Jumlah		Task Selection
1	Oil Water Separator			Condition Directed (CD)
A	Renew Valve			
	Angle valve 10K DN350	1	/pc	
	Gate valve 10K DN350	1	/pc	
	Gate valve 10K DN350	2	/pc	
	Angle valve 16K DN 40	1	/pc	
	Globe valve 16K DN 32	2	/pc	
TOTAL	IDR 128.122.500,00			
2	Bilge Pump			Time Directed (TD)
B1	Overhaul pump and renew seal/bearing leak (owner supply material)			
	Main Bilge Pump (30 m3/h)	1	/unit	
	General Service Pump (25 m3/h)	1	/unit	
	Emergency Bilge Pump (20 m3/h)	1	/unit	
	Ballast/Bilge Pump (50 m3/h)	1	/unit	
B2	Worn impeller and balancing shaft			
1	Electric Motor Driven Centrifugal Bilge Pump	1	/unit	
	Motor power: 22 kW Voltage: 440V / 60Hz Speed: 1750 rpm <i>Notes : Overhaul motor & include balancing</i>			
2	Self-Priming Bilge Pump (Electric Motor)	1	/unit	

	Motor power: 15 kW Voltage: 440V Speed: 1750 rpm			
3	Portable Submersible Bilge Pump	1	/unit	
	Head: 20 meter Motor power: 5.5 kW Voltage: 440V atau 220V			
TOTAL	IDR 120.087.000,00			
3	Sludge Tank			Condition Directed (CD)
	Terminator sensor error			
	Cleaning and bus bar tightening check	1	/lot	
	Test and trip calibration	1	/set	
	Renew material sensor	1	/set	
	<i>Notes : Modification sensor is job to be done by maker specialist/owner arrange</i>			
TOTAL	IDR 202.950.000,00			
4	Overboard			Condition Directed (CD)
	there is a blockage in the overboard valve discharge			
	Overhaul / clean valve overboard			
	Overboard valve for Ballast Pump (Butterfly) 450	1	/unit	
	Overboard valve for Fresh Water Generator ejector pump (Butterfly) 80	1	/unit	
	Overboard valve for Fresh Water Generator unit cooler (Butterfly) 80	1	/unit	
	Overboard valve for Oily Water Separator (check globe) 40	1	/unit	
	Overboard valve for Scupper from Accommodation (P- Side) (storm) 100	2	/unit	
	<i>Notes : Valve supply by owner</i>			
TOTAL	IDR 13.194.720,00			
5	O.W.S PUMP			Time Directed (TD)
	Overhaul and servicing Pump			
	OWS Feed Pump (3 – 5 m ³ /hour)	1	/unit	
	Transfer Pump (0.5 – 2 m ³ /hour)	1	/unit	
	Overboard Discharge Pump (3 – 5 m ³ /hour)	1	/unit	
	Stripping / Eductor Pump (1 – 3 m ³ /hour)	1	/unit	
TOTAL	IDR 55.770.000,00			

6	Sounding	job to be done by maker specialist/owner arrange		Condition Directed (CD)
7	Valve			Time Directed (TD)
	renew valve			
	Butterfly valve 10K DN350	1	/pc	
	Angle valve 16K DN 40	1	/pc	
	Globe valve 16K DN 32	2	/pc	
	Globe valve 16K DN 15	5	/pc	
	Globe valve 10K DN 200	3	/pc	
TOTAL		IDR 25.641.000,00		

Tabel 4.22 memaparkan secara terperinci kebutuhan biaya perawatan sistem bilga pada kapal MV. Armada Mandiri 18, dimana masing-masing komponen memerlukan anggaran yang bervariasi bergantung pada jenis metode perawatan yang digunakan. Komponen oil water separator dikategorikan *Condition Directed* (CD) dengan total biaya perawatan sebesar IDR 128.122.500,00. Kegiatan perawatan yang dilaksanakan mencakup penggantian sejumlah katup, antara lain *angle valve* 10K DN350 sebanyak 1 pc, *gate valve* 10K DN350 sebanyak 2 pc, *angle valve* 16K DN40 sebanyak 1 pc, dan globe valve 16K DN32 sebanyak 2 pc. Penggantian komponen tersebut diganti berdasarkan pada kondisi aktual yang menunjukkan kerusakan terjadi indikasi bahwa masalah hanya terjadi pada peralatan komponen tersebut.

Selanjutnya, komponen *bilge pump* yang masuk dalam kategori *Time Directed* (TD), di mana total biaya perawatannya tercatat sebesar IDR 120.087.000,00. Lingkup pekerjaan perawatan pada kelompok B1 meliputi *overhaul* pompa serta penggantian seal dan bearing yang mengalami kebocoran, mencakup *Main Bilge Pump* (30 m³/h), *General Service Pump* (25 m³/h), *Emergency Bilge Pump* (20 m³/h), dan *Ballast/Bilge Pump* (50 m³/h), masing-masing sebanyak 1 unit. Pada kelompok B2, dilakukan perbaikan *impeller* yang aus beserta penyeimbangan poros, yang diterapkan pada *Electric Motor Driven Centrifugal Bilge Pump* bertenaga 22 kW (440V/60Hz, 1750 rpm) sebanyak 1 unit dengan catatan overhaul motor sekaligus *balancing*, *Self-Priming Bilge Pump* bertenaga 15 kW (440V, 1750 rpm) sebanyak 1 unit, serta *Portable Submersible Bilge Pump* dengan head 20 meter dan daya 5,5 kW (440V atau 220V) sebanyak 1 unit. Metode berbasis jadwal waktu ini dipilih mengingat komponen pompa memiliki laju keausan yang cukup tinggi, sehingga perawatan rutin menjadi keharusan guna mempertahankan performa operasionalnya.

Pada komponen *sludge tank* yang termasuk dalam kategori *Condition Directed* (CD) dengan total biaya IDR 202.950.000,00. Pemicu perawatan adalah adanya gangguan pada terminator sensor. Kegiatan yang dilakukan mencakup pembersihan tangki beserta pemeriksaan kekencangan bus bar sebanyak 1 lot, pengujian dan kalibrasi sistem (*test and trip*) sebanyak 1 set, serta penggantian material sensor sebanyak 1 set apabila ditemukan kerusakan. Perlu dicatat bahwa pekerjaan modifikasi sensor dilaksanakan oleh pihak maker specialist atau atas pengaturan owner, sehingga tidak termasuk dalam perhitungan biaya perawatan langsung.

Untuk komponen *overboard* yang termasuk dalam kategori *Condition Directed* (CD). Total biaya perawatan sebesar IDR 13.194.720,00 dan pengadaan barang dilakukan oleh pihak owner. Tindakan yang dilakukan meliputi *overhaul* dan pembersihan *valve* akibat adanya indikasi penyumbatan pada saluran pembuangan. Selain itu, dilakukan penggantian beberapa yaitu *overboard valve* untuk *Ballast Pump* jenis *Butterfly* 450 sebanyak 1 unit, *overboard valve* untuk *Fresh Water Generator Ejector Pump* jenis *Butterfly* 80 sebanyak 1 unit, *overboard valve* untuk *Fresh Water Generator Unit Cooler* jenis *Butterfly* 80 sebanyak 1 unit, *overboard valve* untuk *Oily Water Separator* jenis *check globe* 40 sebanyak 1 unit, serta *overboard valve* untuk *Scupper* dari *Accommodation* sisi P jenis *storm* 100 sebanyak 2 unit.. Perawatan ini bertujuan untuk memastikan sistem pembuangan dapat bekerja dengan baik tanpa hambatan.

Sementara itu, komponen OWS pump yang juga tergolong dalam kategori *Time Directed* (TD) dengan total biaya perawatan sebesar IDR 55.770.000,00. Pekerjaan yang dilaksanakan berupa *overhaul* dan servis berkala terhadap empat unit pompa, yaitu OWS *Feed Pump* (3–5 m³/jam), *Transfer Pump* (0,5–2 m³/jam), *Overboard Discharge Pump* (3–5 m³/jam), dan *Stripping/Eductor Pump* (1–3 m³/jam), masing-masing sebanyak 1 unit. Perawatan terjadwal ini bertujuan untuk menjaga efisiensi pemompaan sekaligus mengantisipasi potensi kegagalan fungsi selama operasi berlangsung. Khusus untuk komponen *sounding*, tidak terdapat rincian biaya dalam penelitian ini karena seluruh pekerjaan terkait ditangani langsung oleh pihak *maker specialist* atau atas pengaturan *owner*, sehingga tidak masuk ke dalam kalkulasi biaya perawatan langsung. Namun demikian, komponen ini tetap memerlukan perhatian melalui inspeksi dan penanganan khusus apabila terjadi gangguan.

Terakhir, pada komponen *valve* yang termasuk kategori *Condition Directed* (CD), total biaya perawatan yang tercatat sebesar IDR 102.300.000,00. Kegiatan perawatan difokuskan pada penggantian berbagai jenis katup, di antaranya *butterfly valve* 10K DN350 sebanyak 1 pc, *angle valve* 16K DN40 sebanyak 1 pc, *globe valve* 16K DN32 sebanyak 2 pc, *globe valve* 16K DN15 sebanyak 5 pc, dan *globe valve* 10K DN200 sebanyak 3 pc. Penggantian dilakukan berdasarkan temuan kerusakan pada saat inspeksi berlangsung, sehingga penggunaan anggaran menjadi lebih tepat sasaran dan efisien.

Secara keseluruhan, total biaya perawatan sistem bilga kapal sebagaimana tercantum dalam Tabel 4.22 mencapai IDR 545.765.220,00. Data tersebut mengindikasikan bahwa komponen dengan alokasi biaya tertinggi adalah *Oil Water Separator* dan *Bilge Pump*, yang memang memiliki tingkat kerumitan teknis tinggi serta memegang peranan krusial dalam sistem bilga kapal. Penerapan metode *Reliability Centered Maintenance II* (RCM II) terbukti mampu mengarahkan pelaksanaan perawatan secara lebih sistematis, baik melalui pendekatan *Condition Directed* (CD) maupun *Time Directed* (TD), sehingga efisiensi biaya perawatan dapat tercapai seiring dengan peningkatan keandalan sistem secara menyeluruh.

4.15.2 Hasil & Pembahasan

Bersumber pada tabel 4.22 hasil pengolahan data biaya perawatan sistem bilga kapal MV.Armada Mandiri 18, seluruh komponen yang telah diidentifikasi melalui metode *Reliability Centered Maintenance II* dapat dikelompokkan ke dalam dua kategori utama tindakan perawatan, yaitu *Time Directed* (TD) dimana perawatan yang dilakukan secara terjadwal berdasarkan interval waktu tertentu dengan tujuan untuk mencegah terjadinya kegagalan sebelum komponen mengalami kerusakan, sehingga kelangsungan operasional sistem bilga dapat terjaga secara konsisten dan *Condition Directed* (CD) merupakan tindakan perawatan yang dilakukan

berdasarkan kondisi aktual di lapangan, dimana intervensi perbaikan atau penggantian hanya dilakukan setelah ditemukan indikasi kegagalan fungsi. Pengelompokan ini bertujuan untuk memberikan gambaran yang lebih jelas mengenai distribusi biaya perawatan berpegang jenis pendekatannya, sebagaimana terjadi pada tabel 4.23 dibawah ini.

Tabel 4. 23 Total Biaya Perawatan

TIME DIRECTED			CONDITION DIRECTED		
No.	Jenis Komponen	BIAYA	No.	Jenis Komponen	BIAYA
1	Pompa Bilga	IDR 120.087.000,00	1.	Oil Water separator	IDR 128.122.500,00
2.	Pompa O.W.S	IDR 55.770.000,00	2.	Sludge Tank	IDR 202.950.000,00
3.	Valve	IDR 25.641.000,00	3.	Overboard	IDR 13.194.720,00
TOTAL		IDR 201.498.000,00	TOTAL		IDR 344.267.220,00
TOTAL KESELURUHAN					
IDR 545.765.220,00					

Menurut data tabel 4.23, dapat diketahui bahwa tindakan perawatan Time Directed diterapkan pada tiga komponen, yaitu Pompa Bilga dengan biaya IDR 120.087.000,00, Pompa OWS dengan biaya IDR 55.770.000,00, dan Valve dengan biaya IDR 25.641.000,00, sehingga diperoleh total biaya perawatan preventive sebesar IDR 201.498.000,00. Sementara itu, tindakan perawatan Condition Directed (CD) atau corrective maintenance diterapkan pada tiga komponen, yaitu Oil Water Separator dengan biaya IDR 128.122.500,00, Sludge Tank dengan biaya IDR 202.950.000,00, dan Overboard dengan biaya IDR 13.194.720,00, sehingga diperoleh total biaya perawatan corrective sebesar IDR 344.267.220,00.

Dengan demikian, total keseluruhan biaya perawatan sistem bilga kapal MV. Armada Mandiri 18 setelah dianalisis menggunakan metode RCM II adalah sebesar IDR 545.765.220,00. Perbandingan kedua kategori tersebut menunjukkan bahwa total biaya perawatan Condition Directed (CD) sebesar IDR 344.267.220,00 lebih tinggi dibandingkan dengan total biaya perawatan Time Directed (TD) yang hanya sebesar IDR 201.498.000,00, dengan selisih sebesar IDR 142.769.220,00. Kondisi ini mengindikasikan bahwa tindakan corrective maintenance cenderung membutuhkan anggaran yang lebih besar dibandingkan preventive maintenance. Hal ini disebabkan oleh sifat kerusakan yang tidak terduga pada pendekatan *Condition Directed* (CD), sehingga komponen yang harus diganti atau diperbaiki umumnya telah mengalami kerusakan yang lebih parah, yang pada akhirnya berdampak pada meningkatnya biaya suku cadang, tenaga kerja, maupun durasi perbaikan.

Perbedaan karakteristik kedua jenis perawatan tersebut menunjukkan bahwa meskipun *Condition Directed* lebih efisien dalam hal ketepatan tindakan berdasarkan kondisi aktual, namun dari sisi biaya cenderung lebih mahal apabila dibandingkan dengan *Time Directed*. Oleh karena itu, pemilihan strategi perawatan yang tepat perlu mempertimbangkan keseimbangan antara biaya,

tingkat keandalan, serta risiko kegagalan sistem agar operasional kapal tetap berjalan secara optimal.

Untuk memberikan gambaran yang lebih komprehensif mengenai efektivitas penerapan metode *Reliability Centered Maintenance II* (RCM II) dalam mengoptimalkan biaya perawatan, perlu dilakukan perbandingan antara biaya perawatan aktual yang dikeluarkan sebelum dilaksanakannya analisis RCM II dengan total biaya perawatan yang diperoleh setelah proses optimalisasi. Sebelum diterapkannya metode RCM II, biaya perawatan sistem bilga kapal MV. Armada Mandiri 18 yang dikeluarkan pada periode repair sebelumnya tercatat sebesar IDR 800.000.000,00 (Delapan Ratus Juta Rupiah). Biaya tersebut merupakan biaya aktual yang dikeluarkan secara nyata oleh pihak galangan berdasarkan data historis perbaikan kapal, yang menjadi acuan awal sebelum dilakukan analisis optimalisasi dalam penelitian ini.

Setelah dilakukan analisis menyeluruh menggunakan metode RCM II yang mencakup tahapan FMEA, LTA, dan *Task Selection*, diperoleh total biaya perawatan teroptimasi sebesar IDR 545.765.220,00 (Lima Ratus Empat Puluh Lima Juta Tujuh Ratus Enam Puluh Lima Ribu Dua Ratus Dua Puluh Rupiah). Perbandingan kedua nilai biaya tersebut menunjukkan bahwa penerapan metode RCM II berhasil memberikan penghematan biaya perawatan sebesar IDR 254.234.780,00, atau setara dengan efisiensi sebesar kurang lebih 30% (tiga puluh persen) dari total biaya perawatan yang semula dikeluarkan.

Penghematan yang signifikan ini dapat dicapai karena metode RCM II mampu mengklasifikasikan tindakan perawatan secara lebih tepat sasaran berdasarkan karakteristik mode kegagalan masing-masing komponen, sehingga alokasi sumber daya dan anggaran perawatan dapat difokuskan pada komponen-komponen yang benar-benar membutuhkan intervensi, baik melalui pendekatan *Time Directed* (TD) maupun *Condition Directed* (CD). Dengan demikian, pengeluaran untuk tindakan perawatan yang berlebihan atau tidak diperlukan dapat dieliminasi, sehingga efisiensi biaya keseluruhan meningkat secara signifikan tanpa mengorbankan keandalan dan keselamatan operasional sistem bilga kapal.