

STRATEGI PERAWATAN KOMPONEN PADA SISTEM BAHAN BAKAR TB. PACIFIC JAYA 2 DENGAN METODE *RELIABILITY CENTERED MAINTENANCE*

Fahri Alhisam Oktavian¹, Burniadi Moballa, S.T., M.Sc., Ph.D. ², Nurvita Arumsari, S.Si., M.Si.³

Program Studi D-IV Teknik Permesinan Kapal, Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Indonesia^{1*}

Program Studi D-IV Teknik Permesinan Kapal, Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Indonesia²

Program Studi D-IV Teknik Permesinan Kapal, Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Indonesia³

Email: fahrialhisam05@student.ppns.ac.id^{1*}; bmoballa@ppns.ac.id^{2*}; arum@ppns.ac.id^{3*}

Abstract - The main engine plays a crucial role on a ship, as the vessel cannot operate if the engine is not functioning, which can lead to significant financial losses for the company. To prevent or minimize the risk of failure, it is essential to maintain the main engine's support systems, particularly the fuel system. Reliability-Centered Maintenance (RCM) is a method used to select, develop, and implement alternative maintenance strategies based on operational, economic, and safety criteria. Using the RCM method, the optimal maintenance strategy for the main engine fuel system, including cost considerations, can be determined. In the RCM method, functional and functional failure analysis, failure mode and effect analysis (FMEA), and decision tree diagram analysis are conducted to establish the maintenance strategy. The maintenance strategy derived from the RCM method includes various approaches, such as on-condition tasks for components like the fuel oil pump (electric), fuel oil transfer pumps (mechanical), fuel injection pumps, nozzle injectors, gate valves, and quick-closing valves. Scheduled restoration tasks are recommended for the motor fuel oil transfer pump, while scheduled discharge tasks are suggested for ball valves, non-return valves, emergency quick-closing valves, quick-closing valves, and fuel water separators.

Keywords: Fuel Oil System, Failure Mode and Effect Analysis (FMEA), Main Engine, Maintenance, RCM (Reliability Centered Maintenance)

Nomenclature

1. PENDAHULUAN

Kapal tunda atau *tugboat* adalah jenis kapal yang dirancang untuk melakukan manuver atau pergerakan[1]. Fungsi utama *tugboat* adalah menarik atau mendorong kapal lain di laut lepas, sungai dan pelabuhan. TB. Pacific Jaya 2 adalah salah satu (*tugboat*) yang dimiliki oleh perusahaan pelayaran di Kalimantan Timur. Kapal ini berperan sebagai *towing tugboat* yang menarik kapal tongkang berukuran 300 *feet* yang memuat batu bara dari Samarinda menuju Muara Berau. Untuk menjalankan fungsinya, kapal *tugboat* menggunakan mesin diesel sebagai penggerak utama. TB. Pacific Jaya 2 dilengkapi dengan dua unit mesin utama *Mitsubishi S6R2-MPTK2* dengan tenaga 940 HP yang totalnya 1880 HP. *Main engine* ini sangat penting karena menggerakkan *propeller* sehingga kapal dapat bergerak dari satu tempat ke tempat lainnya. *Main engine* memiliki sistem penunjang untuk mendukung kinerja mesin agar dapat berfungsi dengan baik. Sistem penunjang pada *main engine* yaitu *fuel oil system*, *lubrication system*, *cooling system* dan *starting system*. [2].

Sistem bahan bakar (*fuel oil system*) merupakan bagian penting dari sistem pendukung mesin, berfungsi untuk mentransfer dan menyuplai kebutuhan bahan bakar dari *fuel oil tank storage tank* menuju *main engine*. Komponen-komponen dalam sistem bahan bakar *tugboat* mencakup *fuel oil storage tank*, *fuel oil daily tank*, *fuel oil transfer pump*, *gate valve*, *quick closing valve*, *water separator*, *fuel filter*, *fuel oil injection pump*, *nozzle injector*, dan *non return valve*. Kegagalan pada satu komponen akan berakibat pada terganggunya operasional sistem bahan bakar, yang dapat menyebabkan *main engine* tidak berfungsi dan mengakibatkan kerugian operasional bagi perusahaan.

Pengoperasian *main engine* dalam jangka waktu yang lama dapat menyebabkan kinerja *main engine* mengalami penurunan dan kegagalan operasi pada *main engine* [3]. Hal ini dapat berdampak serius seperti keterlambatan berlayar, kegagalan berlayar, atau bahkan membahayakan keselamatan manusia. Oleh karena itu, perawatan yang tepat pada *main engine* dan sistem pendukungnya sangat penting untuk mencegah atau mengurangi risiko kegagalan atau kerusakan. Sebagai upaya pencegahan ini dilakukan penentuan perawatan pada *fuel oil system*.

Reliability Centered Maintenance merupakan metode untuk memastikan setiap komponen dapat berfungsi dengan baik saat dibutuhkan. *Reliability Centered Maintenance* menggabungkan berbagai praktik pemeliharaan berbasis waktu, kondisi, dan proaktif, disesuaikan dengan tingkat kritikalitas komponen atau sistem. Penelitian ini, akan dilakukan analisis untuk menentukan strategi perawatan optimal untuk komponen pada sistem bahan bakar *main engine* menggunakan metode *Reliability Centered Maintenance*. Dalam metode RCM dilakukan identifikasi fungsi dan kegagalan fungsional, analisis *failure mode and effect analysis* (FMEA), identifikasi *failure consequence*, analisis *RCM decision diagram* yang dicatat pada *RCM worksheet*. Analisis ini dilakukan untuk menentukan strategi perawatan dengan *task maintenance* terbagi menjadi 2 jenis yaitu *proactive task (on-condition task)*, *scheduled restoration task*, dan *scheduled discard task* serta *default action (failure-finding task, redesign, dan no scheduled maintenance)*.

2. METODOLOGI PENELITIAN

2.1 Identifikasi Fungsi dan Kegagalan Fungsional

Identifikasi fungsi adalah langkah awal dalam metode RCM. Dilakukan analisis terhadap fungsi yaitu identifikasi peran suatu komponen, cara kerja dan kondisi yang diharapkan saat beroperasi. Sedangkan kegagalan fungsional menjelaskan mengenai komponen tidak dapat menjalankan fungsinya dengan memadai, kegagalan ini dapat berupa kegagalan total maupun kegagalan parsial.

2.2 Failure Mode and Effect Analysis (FMEA)

Failure mode and effect analysis (FMEA) adalah sebuah teknik sistematis yang digunakan untuk menganalisis kegagalan komponen dan sistem secara kualitatif[4]. FMEA merupakan metode untuk mengidentifikasi kegagalan, penyebab kegagalan, efek karena kegagalan dari suatu komponen atau sistem. FMEA meliputi pengidentifikasian yaitu *failure cause* merupakan penyebab terjadinya *failure mode*. Sedangkan *failure effect* adalah dampak yang ditimbulkan *failure mode*. Dalam FMEA, juga dilakukan identifikasi tingkat prioritas suatu komponen dengan perhitungan *risk priority number (RPN)*. RPN adalah hubungan antara tiga buah variabel yaitu tingkat *severity* (keparahan), tingkat *occurrence* (frekuensi kejadian), dan tingkat *detection* (deteksi kegagalan) yang menunjukkan tingkat resiko prioritas dari suatu komponen. Nilai RPN didapat dengan [5]

$$RPN = S \times O \times D \quad (1)$$

Dimana:

S = *Severity* (keparahan)

O = *Occurrence* (frekuensi kejadian)

D = *Detection* (deteksi kegagalan)

2.3 RCM Decision Diagram

Langkah *RCM decision diagram* adalah metode analisis dengan pohon keputusan untuk menentukan tindakan perawatan. Proses ini dilakukan analisis terhadap konsekuensi yang ditimbulkan pada setiap *failure mode*. *Failure consequence* dikelompokkan menjadi yaitu *hidden failure*, *safety consequence*, *environment consequence*, dan *operation consequence*.

Penentuan perawatan ini mempertimbangkan *failure consequence* dari setiap *failure mode*. Penyusunan dan penentuan tindakan yang harus dilakukan untuk menghindari kegagalan komponen. Pemilihan tindakan terbagi menjadi dua yaitu *proactive task (on condition task, scheduled restoration task, scheduled discard task)* dan *default action (failure finding task, redesign, no scheduled maintenance)*.

2.4 Worksheet Reliability Centered Maintenance

Worksheet RCM menampilkan strategi perawatan berdasarkan analisis yang sebelumnya telah dilakukan yang menampilkan setiap komponen, konsekuensi kegagalan, tindakan perawatan dari analisis *RCM decision diagram*, serta pihak yang dapat melakukan tindakan.

2.5 Kesimpulan dan Rekomendasi

Pada tahapan paling akhir ini, didapatkan hasil dari identifikasi fungsi dan kegagalan fungsional, analisis FMEA, identifikasi *risk priority number*, analisis *reliability centered maintenance* dalam menentukan strategi perawatan.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Identifikasi Fungsi dan Kegagalan Fungsional

- Fuel Oil Transfer Pump* (elektrik)
Dengan fungsi mentransfer bahan bakar dari *storage tank* menuju *daily tank*. Kegagalan fungsional yaitu Tidak dapat mentransfer bahan bakar dari *storage tank* menuju ke *daily tank*.
- Fuel oil transfer pump* (mekanik)
Mentransfer bahan bakar dari *storage tank* menuju ke *daily tank* secara mekanik dan menggantikan peran *FO transfer pump* (elektrik) apabila tidak dapat dioperasikan. Kegagalan fungsionalnya yaitu Tidak dapat memompa bahan bakar dari *storage tank* menuju ke *daily tank*.
- Fuel Injection Pump*
Mendistribusikan bahan bakar dengan tekanan tinggi ke dalam masing masing ruang bakar melalui *nozzle injector* dengan waktu yang

- tepat (*injection timing*) serta urutan pembakaran (*firing order*). Kegagalan fungsionalnya yaitu tidak dapat mendistribusikan bahan bakar bertekanan tinggi menuju ruang bakar melalui *injector nozzle* dengan tepat.
- d. *Nozzle Injector*
Menginjeksikan dan mengabutkan bahan bakar diesel dari *injection pump* ke dalam ruang bakar atau sislinder. Kegagalan fungsionalnya yaitu tidak dapat menginjeksikan dan mengabutkan bahan bakar *diesel* dari *injection pump* ke dalam ruang bakar
- e. *Gate Valve*
Membuka dan menutup aliran bahan bakar dari *storage tank* atau tanki lainnya. Kegagalan fungsionalnya yaitu Tidak dapat membuka atau menutup aliran bahan bakar dari *storage tank* atau tanki lainnya.
- f. *Ball Valve*
Menghentikan, mengatur, dan memulai aliran bahan bakar. Kegagalan fungsionalnya yaitu tidak dapat menghentikan, mengatur, dan memulai aliran
- g. *Non return valve*
Mengatur aliran bahan bakar agar mengalir ke satu arah saja. Kegagalan fungsionalnya yaitu terjadi aliran balik bahan bakar.
- h. *Quick closing valve*
Membuka dan menutup aliran serta menghentikan aliran bahan bakar secara cepat

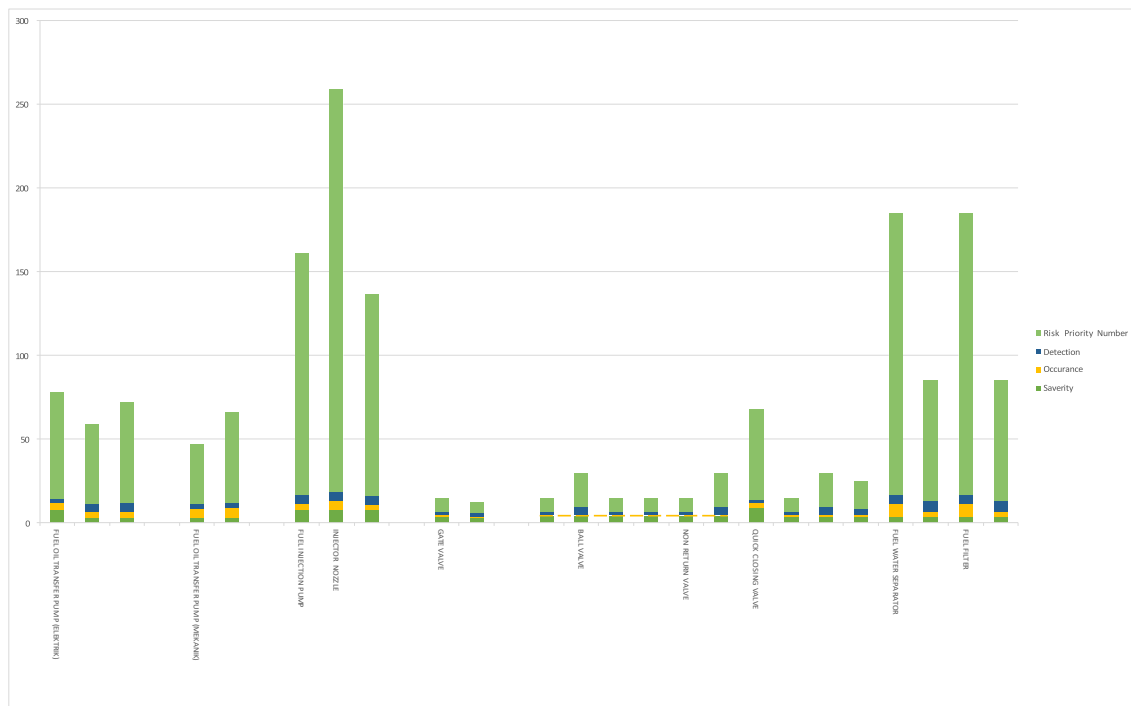
- yang dapat ditutup dari luar *engine room* saat terjadi keadaan darurat atau kebakaran di atas kapal. Kegagalan fungsionalnya yaitu tidak dapat membuka dan menutup aliran serta tidak dapat menghentikan aliran bahan bakar secara cepat pada keadaan darurat dan tidak dapat mengatur aliran bahan bakar.
- i. *Fuel Water Separator*
Memisahkan air dan partikel padat dari bahan bakar. Kegagalan fungsionalnya yaitu Tidak mampu memisahkan air dan partikel padat dari bahan bakar.
- j. *Fuel Filter*
Menyaring kotoran, partikel, dan kontaminan lainnya dari bahan bakar. Kegagalan fungsionalnya yaitu Tidak mampu menyaring kotoran, partikel, dan kontaminan lainnya dari bahan bakar.

3.2 Failure Mode And Effect Analysis (FMEA)

Analisis pemilihan tindakan perawatam komponen bahan bakar pada TB. Pacific Jaya 2 dengan *Failure mode and effect analysis* (FMEA). Langkah ini bertujuan untuk mengetahui jenis kegagalan, penyebab terjadinya kegagalan komponen, efek karena kegagalan dari komponen, serta untuk menentukan komponen kritis. Untuk mencapai tujuan ini, diperlukan penghitungan nilai RPN (*Risk Preference Number*). Nilai RPN merupakan hasil kali dari tiga faktor utama yaitu nilai *severity*, nilai *occurrence*, dan nilai *detection*.

Tabel 1 Failure mode and effect analysis (FMEA)

Failure Mode and Effect Analysis Sistem Bakar TB. Pacific Jaya 2					RPN Value			
Fungsi Sistem : Menyimpan dan menyuplai bahan bakar ke mesin.					S	O	D	RPN
No	Equipment	Failure Mode	Failure Cause	Failure Effect				
1	Nozzle Injector	1	Kegagalan pengkabutan	Kerusakan <i>tip nozzle</i>	8	5	6	240
		2	Preassure rendah	Kebocoran <i>seal</i>	8	3	5	120
				Kotor pada <i>nozzle injector</i>				
2	Fuel Filter	1	Kotor	Kualitas bahan bakar yang buruk	4	7	6	168
		2	Penyumbatan	Terlalu banyak kotoran atau partikel dan kelelahan komponen	4	3	6	72
3	Fuel Injection Pump	1	Low Output	Keausan Internal karena kegagalan pelumasan dan kualitas bahan bakar rendah	8	3	6	144
				Kegagalan kalibrasi karena kelelahan pompa				



Gambar 1 Grafik nilai risk priority number

Nilai RPN dapat diketahui komponen kritis pada sistem bahan bakar. Berdasarkan hasil FMEA yang dilampirkan, *nozzle injector* menduduki peringkat pertama komponen kritis dengan nilai RPN 240. Diikuti komponen *fuel filter* dan *fuel water separator* yang memiliki nilai RPN 168, kemudian *fuel injection pump* dengan nilai RPN 144.

3.3 Worksheet Decision Tree RCM

Decision worksheet pada metode *Reliability Centered Maintenance* (RCM) digunakan bertujuan untuk merangkum hasil dari proses RCM. Pada worksheet ini tercatat dampak kegagalan, tindakan pencegahan (*task selection*), serta pihak yang dapat melakukan Tindakan..

Dengan menggunakan analisis RCM *decision diagram*, dapat menentukan jenis kegiatan yang sesuai untuk menghilangkan atau mengurangi konsekuensi dari kegagalan komponen dan sistem. Penentuan *task selection*

menggunakan RCM *decision diagram* dicatat dalam *worksheet reliability centered maintenance* (RCM). *Worksheet RCM* terdiri dari beberapa kolom, yakni kolom *information reference* yang menjelaskan nama, fungsi dan kegagalan fungsional suatu komponen, dan kolom *consequence evaluation* yang menilai konsekuensi yang ditimbulkan akibat kegagalan fungsi setiap *failure mode*.

Pemilihan tindakan atau *task selection* dilakukan untuk menentukan jenis tindakan sehingga bisa dibuatkan sebuah perencanaan perawatan yang menyeluruh. Setiap kegagalan berpengaruh pada sistem dalam berbagai cara, dan dampaknya dapat bervariasi, seperti pada operasional, keselamatan, atau lingkungan. Kemudian kolom *proposed task* mencatat perencanaan tindakan perawatan atau pencegahan dari suatu komponen melalui *proactive task* dan *default action*. Serta kolom *can be done by* menunjukkan pihak yang diberikan wewenang untuk melaksanakan aktivitas perawatan.

Tabel 2 Worksheet RCM

Information reference					Consequence evaluation				H1	H2	H3	Default action				Pruposed task	Can be done by
									S1	S2	S3						
No	Equipment	F	FF	FM	H	S	E	O	E1 O1	E2 O2	E3 O3	H4	H5	S4			
1	Nozzle Injector	1	A	1	Y	N	N	Y	Y						On condition task	Crew kapal dan departemen armada	

Lanjutan tabel 3 *Worksheet RCM*

		1	A	1	Y	N	N	Y	Y							<i>On condition task</i>	Crew kapal dan departemen armada
2	Fuel Filter	1	A	1	N	N	N	Y	N	N	Y					<i>Scheduled discard task</i>	Crew kapal (engine dept.)
		1	B	1	N	N	N	Y	N	N	Y					<i>Scheduled discard task</i>	Crew kapal (engine dept.)
3	Water Separator	1	A	1	N	N	N	Y	N	N	Y					<i>Scheduled discard task:</i>	Crew kapal (engine dept.)
		1	B	1	N	N	N	Y	N	N	Y					<i>Scheduled discard task</i>	Crew kapal (engine dept.)
4	Fuel Oil Transfer Pump (elektrik)	1	A	1	N	N	N	Y	N	Y						<i>Scheduled restoration task</i>	Crew kapal dan departemen armada
		1	A	2	N	Y	N	Y	Y							<i>On condition task</i>	Crew kapal dan departemen armada
		1	A	3	N	N	N	Y	Y							<i>On condition task</i>	Crew kapal dan departemen armada

Worksheet RCM. Pada kolom *information reference*, *function* (F) diisi angka 1 yang menunjukkan fungsi primer peralatan, pada kolom *functional failure* (FF) diisi huruf A yang menyatakan kegagalan fungsi peralatan yang pertama, sedangkan kolom *failure mode* (FM) diisi angka 3 yang menyatakan moda kegagalan ketiga. Pada kolom *proactive task* dan *default*

action akan diisi berupa jawaban yes (Y) ataupun no (N) berdasarkan pertanyaan – pertanyaan yang terdapat pada RCM II *decision diagram* yang selanjutnya dapat diketahui tindakan perawatan yang akan dilakukan untuk tiap komponen serta pihak yang melakukan tindakan perawatan. Berikut adalah tindakan perawatan pada masing-masing komponen.

Komponen	Jenis Kerusakan	Tindakan
<i>Fuel Oil Transfer Pump (elektrik)</i>	Kegagalan elektrik	<i>Scheduled restoration task</i>
	Kebocoran	<i>On codition task</i>
	Noise	<i>On codition task</i>
<i>Fuel oil transfer pump (mekanik)</i>	Kebocoran	<i>On codition task</i>
	Noise	<i>On codition task</i>
<i>Fuel injection pump</i>	<i>Low Output</i>	<i>On codition task</i>
<i>Nozzle injector</i>	Kegagalan pengkabutan	<i>On codition task</i>
	Preassure rendah	<i>On codition task</i>
<i>Gate valve</i>	Kegagalan membuka aliran	<i>On codition task</i>
	Kebocoran	<i>On codition task</i>
	Kegagalan mengatur aliran	<i>On codition task</i>
<i>Ball valve</i>	Kebocoran internal	<i>Scheduled discard task</i>
	Kebocoran eksternal	<i>Scheduled discard task</i>
	Kegagalan membuka aliran	<i>Scheduled discard task</i>
<i>Non return valve</i>	Kebocoran eksternal	<i>Scheduled discard task</i>
	Kebocoran internal	<i>Scheduled discard task</i>
<i>Quick closing valve</i>	Kegagalan menutup aliran secara cepat	<i>Scheduled discard task</i>
	Kebocoran eksternal	<i>On codition task</i>
	Kebocoran internal	<i>On codition task</i>
	Kegagalan mengatur aliran	<i>On codition task</i>
<i>Fuel water separator</i>	Kotor	<i>Scheduled discard task</i>
	Penyumbatan	<i>Scheduled discard task</i>
<i>Fuel filter</i>	Kotor	<i>Scheduled discard task</i>
	Penyumbatan	<i>Scheduled discard task</i>

4. KESIMPULAN

Berdasarkan metode *reliability centered maintenance* pada *failure mode and effects analysis* (FMEA) didapatkan 4 komponen kritis yaitu *nozzle injector*, *fuel filter* dan *fuel water separator* serta *fuel injection pump*.

Penentuan metode perawatan dengan metode *reliability centered maintenance* menghasilkan strategi perawatan komponen sistem bahan bakar dengan Tindakan *on-condition task* pada komponen *fuel oil pump* (elektrik), *fuel oil transfer pump* (mekanik), *fuel injection pump*, *nozzle injector*, *gate valve*, dan *quick closing valve*. Perawatan *scheduled restoration task* pada motor *fuel oil transfer pump*, serta *scheduled discard task* pada *ball valve*, *non return valve*, *emergency quick closing valve*, *quick closing valve*, dan *fuel water separator*.

5. DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. U. Ryadin, W. Ohara, and A. R. Hakim, "ANALISA KUALITAS PENGELASAN FLUX CORED ARC WELDING (FCAW) PADA PABRIKASI TUGBOAT 23 M , HULL 302," *Sigma Tek.*, vol. 3, no. 1, pp. 39–49, 2020.
- [2] G. Y. S. Nusantara, "MACHINERY CONSIDERING MAINTENANCE EFFECT," 2015.
- [3] Y. E. Priharanto, M. Z. L. A, A. Nurfauci, and R. S. HS, "Penilaian Risiko pada Mesin Pendingin di Kapal Penangkap Ikan dengan Pendekatan FMEA," vol. 6, no. 1, pp. 24–32, 2017.
- [4] J. Moubray, *Reliability Centered Maintenance*. Oxford: A division of Reed Education and Professional Publishing Ltd, 1997.
- [5] British Standart, *BSI Standards Publication- Failure Modes and Effects Analysis (IEC 60812:2018)*. British Standart Institution, 2018.