

RELIABILITY BASED MAINTENANCE ANALYSIS OF THE MAIN ENGINE LUBRICATION SYSTEM OF THE KM-KELIMUTU SHIP

(Analisa Perawatan Berbasis Keandalan Sistem Pelumas Main Engine Kapal KM. Kelimutu)

Hartono Yudo^{1*}, Radityo Habil Dwi Putra Naya²

ABSTRACT

The main engine on KM. Kelimutu operates with the help of KM. Kelimutu ship system itself. The existences of a system that can be considered very critical is lubrication system of the main engine. The lubrication system for the main engine of KM. Kelimutu itself has task of the supporting the smooth operation of the main engine by distributing good lubrication and in accordance with the main engine indicators. Failure of this lubrication system will have a negative impact on the main engine, therefore the purpose of this study is to analyze the KM. Kelimutu lubrication system with the reliability method. In this study, the reliability method used to analyze the lubrication system uses qualitative analysis and quantitative analysis. Qualitative analysis using Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) and Fault Tree Analysis (FTA). Meanwhile, for quantitative analysis by conducting a Monte Carlo simulation. The results of this study indicate that the most critical component in KM. Kelimutu lubrication system is a filter with an initial Risk Priority Number (RPNi) value of 592, and if the component have 2 pieces such as a filter, transfer pump, Lo pump, and also a Lo separator have failed. The results of the simulation show Availability is 0,96 and MTTF (Mean Time to Failure) is 697,76082.

Keywords: Reliability, FMEA, FTA, Simulation, Availability

PENDAHULUAN

Kapal merupakan alat transportasi dengan nilai yang bisa dibilang ekonomis karena volume muat barang yang bisa di angkut lebih besar dan mesin penggerak yang digunakan beragam, pada saat ini khususnya di Indonesia, kebanyakan kapal menggunakan mesin diesel.

¹ Universitas Diponegoro, Semarang, Indonesia

*Corresponding author:
hartono.yudo@yahoo.com

Motor induk di kapal yang menggunakan mesin diesel sebagai motor induknya melakukan fungsinya sesuai dengan baik jika ditunjang oleh sistem pendukung yang baik (Danil Arifin et al., 2020). Kapal yang menggunakan mesin diesel mempunyai faktor pendukung untuk kelancaran beroperasinya, salah satunya adalah sistem pelumas atau *lubrication system*, kegagalan pada sistem pelumas ini akan berdampak pada bagian mesin yang saling berinteraksi dan menyebabkan menurunnya performa mesin tersebut.

Keandalan kinerja kapal perlu di perhatikan untuk mencegah terjadinya kerusakan dan kegagalan pada kapal tersebut, oleh karena itu pemilik kapal harus meningkatkan kinerja kapalnya. Hal ini bertujuan agar kapal dapat berjalan sebagaimana fungsinya dengan baik dalam pengoperasiannya pada saat berlayar. Keandalan (*Reliability*) sendiri dapat didefinisikan sebagai probabilitas bahwa suatu komponen atau sistem akan melakukan fungsi yang diinginkan pada kondisi – kondisi pengoperasian yang telah ditentukan (Yusuf, 2016)

Penggunaan analisa keandalan dalam industry perkapalan semakin meningkat dengan kebutuhan akan keamanan dan keselamatan kapal yang handal (Manalu et al., 2016)

Beberapa bagian pada design kapal yang dianalisa keandalannya adalah :

- Kontruksi kapal
- Sistem permesinan, dan
- Peralatan kapal (*equipment*)

Dari uraian diatas, pemanfaatan analisa keandalan dalam industry perkapalan semakin meningkat sehubungan dengan kebutuhan akan keamanan dan keselamatan kapal yang handal (Imanuell & Lutfi, 2019), maka dari itu dari penelitian ini adalah untuk mendapatkan nilai keandalan serta menentukan komponen yang paling kritis dengan menggunakan evaluasi keandalan, secara analisa kualitatif dan analisa kuantitatif dari sistem tersebut (Eko Sasmito H., & Untung B., 2008).

METODE

Objek Penelitian

Proses awal pengerjaan pemeriksaan sistem keandalan ini diperlukan design dari sistem tersebut. Design sistem yang dianalisa pada penelitian ini diperlukan design sistem pelumasan pada kapal. Dengan mengetahui design sistem pelumasan kapal, dapat mengetahui komponen – komponen yang berada pada sistem tersebut.

Adapun penelitian ini akan dilaksanakan pada objek kapal penumpang KM. Kelimutu milik PT. PELNI (persero). KM Kelimutu memiliki beberapa sistem yang beroperasi untuk menunjang fungsi operasional dan pelayanan pada kapalnya. Sistem pelumasan adalah salah satu sistem yang menunjang operasional kapal tersebut. Adapun penjelasan sistem pelumasan pada kapal KM. Kelimutu adalah sebagai sistem penyuplai minyak lumas ke *main engine* dari tangki penyimpanan.

(*service tank*) dengan bantuan *transfer pump* kemudian menuju *sump tank* menuju *lo separator*, dan di alirkan menuju *main engine* melalui *filter* dan *lo cooler*, setelah mendapatkan viskositas yang diinginkan pada inlet *main diesel engine*. Kemudian *lub oil* dialirkan ke *main engine*, setelah dari *main engine* dialirkan kembali ke *lub oil tank* dan begitu seterusnya.

Selain perlu adanya design sistem, diperlukan juga pengambilan data jam operasional dari kapal pengambilan data tersebut sekiranya dapat menjadikan bahan data jam operasional pada saat sistem tersebut mengalami waktu kegagalan dan perawatan.

Pengambilan data yang akan dianalisa nantinya berupa jam operasional dan serta waktu perawatan sistem pelumasan dengan tiap komponennya, adapun pembatasan data yang diambil dari bulan Mei 2017 sampai dengan bulan Mei 2020. Pengambilan data ini berdasarkan penelitian tentang keandalan sebelumnya dalam jangka waktu 12 bulan, dimana penelitian ini penulis ingin hasil dari nilai keandalannya lebih rinci dan bisa dijadikan acuan untuk pemilik kapal.

Analisa Kualitatif

Analisa kualitatif adalah analisa yang dilakukan untuk menentukan nilai keandalan berdasarkan data serta pengalaman yang ada untuk menentukan nilai keandalan berdasarkan analisa kegagalan suatu sistem berdasarkan analisa kegagalan. *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA) dan *Fault Tree Analysis* (FTA) biasa dipergunakan untuk mengevaluasi analisa kualitatif tersebut.

a. Failure Mode and Effect Analysis

Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) adalah metode sistematis untuk mengidentifikasi dan mencegah masalah produk dan proses sebelum terjadi. FMEA berfokus untuk mencegah kerusakan, meningkatkan kepuasan pelanggan. Idealnya FMEA dilakukan dalam tahap desain produk atau pengembangan proses meskipun melakukan FMEA pada produk dan proses yang ada juga dapat menghasilkan manfaat yang substansial (Raymond J. M. et al., 2017)

Metode FMEA ini akan menyajikan bentuk tabel (*FMEA Worksheet*) untuk setiap failure mode yang terdiri dari semua komponen yang berada pada sistem, yang nantinya (*output*) akan menentukan tingkat kekritisan dari komponen sistem tersebut berdasarkan nilai RPN.

Parameter untuk menentukan nilai RPN ini adalah *Severity (S)*, *Occurrence (O)*, *Detection (D)* sehingga rumus untuk menentukan nilai RPN adalah (Sellappan & Palanikumar, 2013).

$$RPN = Severity (S) \times Occurrence (O) \times Detection (D)$$

b. Fault Tree Analysis

Fault Tree Analysis berkaitan dengan identifikasi dan analisis kondisi dan faktor yang menyebabkan atau berpotensi menyebabkan ataupun berkontribusi pada terjadinya peristiwa puncak yang ditentukan (IEC, 2002). *Fault Tree Analysis* merupakan salah satu metode kualitatif selain metode FMEA, dimana metode ini akan digunakan dalam menganalisis desain sistem udara start. Adapun langkah langkah dalam penyusunan metode *Fault Tree Analysis* ini ialah:

1. *Top Event* dijabarkan terlebih dahulu yang mana *Top Event* ini adalah kondisi kegagalan daripada sebuah sistem tersebut.
2. Proses pembuatan ataupun percabangan dari *Top Event* ini bersifat *Top Down Approach* yang artinya adalah menganalisa penyebab pada *Top Event* dari sistem level yang tinggi sampai yang tidak bisa dianalisa lagi.
3. Kemudian langkah selanjutnya menentukan minimal *cut set* dari *Fault Tree* yang telah dibuat. Minimal *cut set* sendiri adalah kemungkinan-kemungkinan yang dapat terjadi pada *Fault Tree* yang menjadi sebab terjadinya *Top Event*. *Event Method to Obtain Cut Set (MOCUS)* merupakan metode yang biasa digunakan dalam menentukan minimal *cut set*.

Analisa Kuantitatif

Pengerjaan analisa kuantitatif diperlukan data data yang dibutuhkan, adapun data yang dibutuhkan adalah jam operasional kapal KM. Kelimutu, kemudian dilakukan identifikasi awal distribusi yang cocok, pengujian distribusi serta penaksiran parameter (Ebeling, 1997). Kemudian pembuatan *Reliability Block Diagram (RBD)* sistem yang selanjutnya akan dilakukan Simulasi Montecarlo.

a. Variable Random

Variable random adalah variable yang mengambil nilai numeric sesuai dengan beberapa distribusi probabilitas. Waktu (*time*) serta ruang (*space*) adalah variable random dalam melakukan

analisa, karena suatu keandalan akan terpengaruh oleh waktu atau ruang nantinya. Oleh sebab itu analisa keandalan ini akan memiliki hubungan dengan yang namanya distribusi probabilitas dengan waktu sebagai variable randomnya.

Perilaku dari *variable random* dideskripsikan dalam hukum-hukum probabilitas. Cara yang paling umum dalam mengekspresikan probabilitas dari suatu variable random adalah dengan distribusi probabilita

b. Goodnes of Fit Test

Goodness of fit test digunakan untuk melakukan pengujian sekumpulan data waktu kegagalan dan waktu reparasi suatu komponen tersebut. Metode yang digunakan untuk melakukan tersebut yaitu *Maximum Likelihood Estimation* (MLE). *Maximum likelihood* adalah sebuah metode perkiraan yang penting dalam analisis statistik. Tujuan utama dari estimasi maksimum likelihood adalah untuk menemukan parameter parameter dari distribusi tersebut. Jika ada sekumpulan data pengamatan yaitu misalnya t_1, t_2, \dots, t_n dan data tersebut merupakan random sample dari sebuah distribusi dengan Pdf $f(t; \theta_1, \theta_2, \dots, \theta_m)$ dimana parameter $(\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_m)$ tidak diketahui. Kita dapat menuliskan $(\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_m)$ dengan θ , sehingga persamaan pdf nya menjadi $f(t; \theta)$. Persamaan *Maximum Likelihood Estimation* (MLE) yaitu :

$$L(\theta) = \prod_{i=1}^n f(t_i; \theta) \tag{1}$$

c. Distribusi Probabilitas dalam Keandalan

i. Distribusi Exponensial

Distribusi eksponensial biasanya digunakan untuk mendeskripsikan laju kegagalan yang konstan dari sebuah sistem (Alwi, 2016). Adapun persamaan fungsi densitas probabilitas adalah :

$$f(t) = \lambda e^{-\lambda t} \tag{2}$$

dimana :

λ = Constant failure rate

e = 2.718281828

t = Operating time

Persamaan Reliability

$$R(t) = \int_0^{\infty} f(t) dt = e^{-\lambda t} \tag{3}$$

ii. Distribusi Weibull

Distribusi weibull banyak dipakai karena distribusi ini memiliki shape parameter sehingga distribusi mampu memodelkan berbagai data. Jika time to failure suatu komponen suatu komponen adalah t mengikuti distribusi weibull dengan tiga parameter β , η dan γ maka persamaan fungsi densitas probabilitas dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$f(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t-\gamma}{\eta} \right)^{\beta-1} \quad (4)$$

Persamaan Reliability

$$R(t) = \exp \left[- \left(\frac{t-\gamma}{\eta} \right)^\beta \right] \quad (5)$$

d. Reliability Block Diagram

Untuk mengevaluasi keandalan secara kuantitatif suatu sistem yang pertama kali harus dilakukan adalah dengan memodelkan sistem tersebut ke dalam blok diagram keandalan.

Reliability Block Diagram adalah hubungan suatu sistem yang digambarkan secara diagram yang bertujuan memberitahukan hubungan antar komponen yang ada dalam sistem tersebut.

e. Simulasi Monte Carlo

Simulasi montecarlo merupakan simulasi dimana simulasi ini bertujuan untuk mendapatkan nilai Availability dengan menggambarkan efek waktu kegagalan dan waktu perbaikan serta perbaikan komponen sampai sistem.

Simulasi Monte Carlo dapat diaplikasikan menggunakan program aplikasi *PTC Windchill*. Simulasi monte carlo yang digunakan dengan program aplikasi *PTC Windchill* ini akan memperhitungkan nilai performance sehingga dapat mencari nilai ketersediaan (*Availability*) sistem maupun komponen.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisa Kualitatif

Analisa Kualitatif keandalan sistem minyak lumas KM.Kelimutu dilakukan dengan metode FMEA (*Failure Mode Effect Analysis*) dan Metode FTA (*Fault Tree Analysis*).

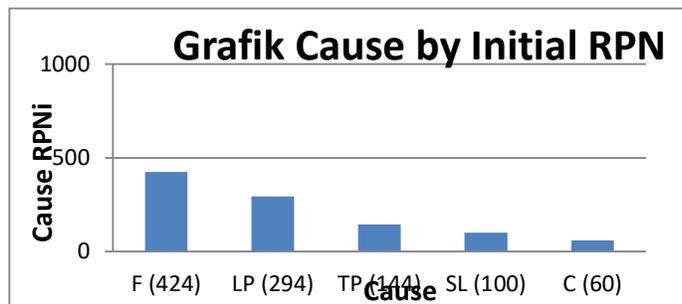
a. Failure Mode and Effect Analysis (FMEA)

Metode FMEA ini akan menyajikan bentuk tabel (FMEA Worksheet) untuk setiap failure mode yang terdiri dari semua komponen yang berada pada sistem. Menyusun FMEA dilakukan dengan mereview dari bermacam-macam komponen, subsistem dan mengidentifikasi modebkegagalan yang ada dan yang ditimbulkan, kemudian dipergunakan pada tabel FMEA Worksheet. Pada penelitian ini metode perhitungan FMEA adapun langkah pengerjaannya sebagai berikut:

- Membuat susunan sistem dengan mengidentifikasi setiap sistem melalui review tiap tiap komponen
- Memamparkan deskripsi dari setiap komponen yang ada baik itu dari fungsinya (*function*), mode kegagalan (*failure mode*), dampak dari kegagalan (*Effect*), dan sebab dari kegagalan (*Cause*) itu sendiri
- Mengklasifikasikan setiap kegagalan yang ada menurut klasifikasi (*severity*), *occurrence*, dan *Detection* komponen.
- Membuat criticality analysis.

Adapun komponen yang paling kritis di dapat dari analisa FMEA dapat diketahui *Cause Ranked by initial RPN*.

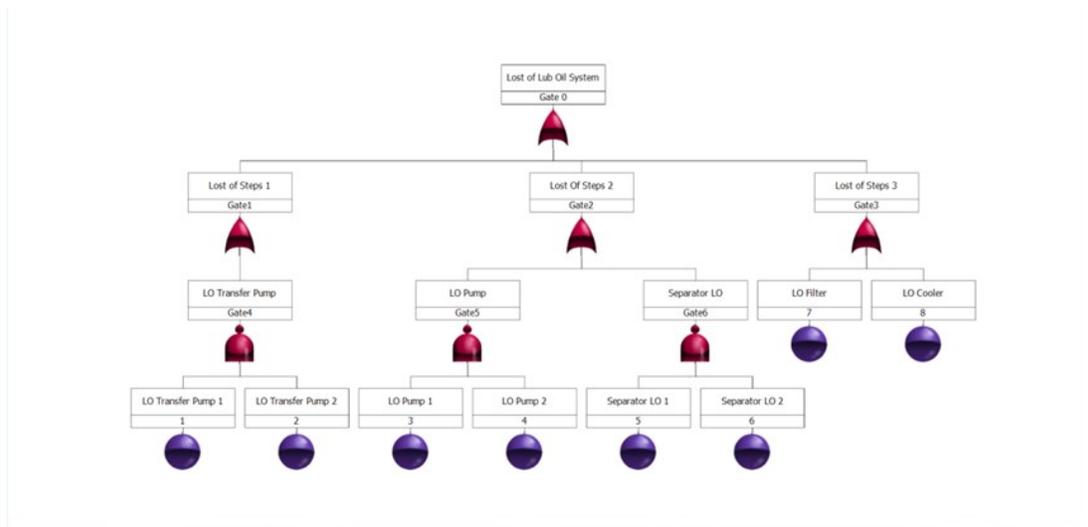
1. Filter mempunyai nilai RPNi sebesar 424
2. LO Pump mempunyai nilai RPNi sebesar 294
3. Transfer Pump mempunyai nilai RPNi sebesar 144
4. Separator LO mempunyai nilai RPNi sebesar 100
5. Cooler mempunyai nilai RPNi sebesar 60



Grafik 1. Grafik Rank Priority Number

b. Fault Tree Analysis (FTA)

Proses pengkontruksian fault tree ini bersifat *top down approach* yang artinya analisa diawali dengan mengidentifikasi sebab sebab terjadinya top event dari level tertinggi sampai pada urutan level terendah yang bisa diidentifikasi dengan menggunakan symbol seperti AND & OR. Gerbang AND menyatakan bahwa semua kejadian di bawah gerbang tersebut harus terjadi agar kejadian dibatas gerbang tersebut terjadi. Sedangkan gerbang OR menyatakan bahwa salah satu saja kejadian di bawah gerbang tersebut harus terjadi agar kejadian diatas gerbang dapat terjadi. Berikut gambar hasil FTA dari sistem pelumas KM. Kelimutu.



Gambar 1. Fault Tree Analysis Sistem Pelumas

Langkah selanjutnya setelah menentukan Fault Tree adalah menentukan Cut Set berdasarkan Fault Tree tersebut. Sebuah cut set dapat didefinisikan sebagai basic event yang bila terjadi akan mengakibatkan top event. Minimal cut set dapat ditentukan dengan metode MOCUS dan ditabelkan pada tabel 1. Tabel 1 menunjukan bahwa *minimal cut set* dari *Fault Tree System* minyak pelumas KM Kelimutu adalah : {1,2}, {3,4}, {5,6}, {7}, {8}. Sehingga sistem memiliki *minimum first oreder* {7}, {8} dan *second order* {1,2}, {3,4}, {5,6}

Keterangan :

1. *LO Transfer Pump 1*
2. *LO Transfer Pump 2 (standby)*
3. *LO Pump 1*

- 4. *LO Pump 2 (standby)*
- 5. *Separator LO 1*
- 6. *Separator LO 2 (standby)*
- 7. *Filter*
- 8. *Cooler*

Tabel 1. *Cut Set* dari *Fault Tree System*

Mechanical Failure			
Step	1	2	3
	G1	G4	1,2
	G2	G5	3,4
		G6	5,6
	G3	7	
		8	

Analisa Kuantitatif

Analisa kuantitatif keandalan pada sistem pelumas KM. Kelimutu dilakukan analisisnya dengan menganalisa data serta pengkontruksian *Reliability Block Diagram (RBD)* kemudian dilakukan simulasi dengan simulasi Montecarlo.

Penentuan distribusi untuk melakukan perhitungan nilai keandalan pada sistem pelumas ini dengan menggunakan data berdasarkan time to failure komponen sistem pelumasan. Hasil dari distribusi yang memiliki rangking pertama tiap tiap komponen dipilih berdasarkan rangking pertama pada tiap tiap komponen tersebut. Hasil dari penentuan distribusi rangking pertama adalah distribusi yang memiliki nilai yang sesuai berdasarkan time to failurennya. Distribusi tiap komponen ditunjukkan pada tabel 2.

Tabel 2. Distribusi Komponen Sistem Pelumas

KOMPONEN	DISTRIBUSI	λ	β	μ	σ	Γ	η
Tank	Lognormal	-	-	7,586	0,010	-	-
Transfer Pump 1 & 2	3P-Weibull	-	1,916	-	-	-	84,939
Separator 1 & 2	Lognormal	-	-	6,174	0,077	-	-
Filter 1 & 2	2P-Weibull	-	9,584	-	-	-	175,451
Lo Pump	Lognormal	-	-	6,222	0,078	-	-
Lo Cooler	3P-Weibull	-	1,165	-	-	-	239,251

a. Simulasi Monte Carlo

Dalam perhitungan keandalan secara kuantitatif, metode simulasi monte carlo adalah cara yang biasa digunakan. Tahapan dalam melakukan simulasi monte carlo adalah dengan memodelkan design sistem pelumas ke dalam bentuk block diagram, dalam hal ini disebut *Reliability Block Diagram* (RBD). Design sistem ini nantinya akan menunjukkan korelasi dari failure sebuah sistem ataupun subsistem yang saling membutuhkan.

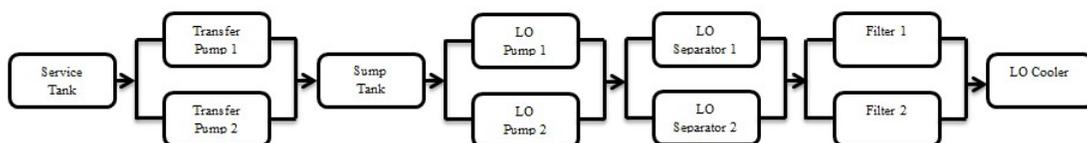
b. Pengkonstruksian *Reliability Block Diagram*

Secara garis besar sistem pelumas KM. Kelimutu adalah sistem yang bertujuan untuk menyalurkan oil lub dari service tank kepada main engine. Dalam pengkonstruksian RBD sistem pelumas ini komponen yang disusun dapat berupa seri ataupun standby.

Komponen yang disusun secara seri, komponen tersebut harus dapat menjalankan fungsinya dengan baik, dan diantara komponen tersebut jika mengalami kegagalan, maka akan menyebabkan kegagalan pada sistem pelumas. Adapun komponen yang disusun secara seri adalah service tank, sump tank dan lo cooler.

Sedangkan untuk model block diagram yang disusun secara standby adalah komponen, transfer pump, lo separator, lo pump, dan filter. Pada komponen yang disusun secara standby ini jika komponen tersebut mengalami kegagalan dapat menggantikan fungsinya. Komponen komponen yang disusun secara standby dikonstruksikan dapat melakukan *perfect switching* dalam artian ini penggantian komponen tersebut dapat dilakukan secara sempurna.

Adapun konstruksi RBD sistem pelumas ini, komponen katup, pipa dan aliran fluida dianggap normal. Konstruksi RBD sistem pelumas KM. Kelimutu dapat dilihat di Gambar 2.



Gambar 2. RBD Sistem Pelumas KM. Kelimutu

c. Proses Simulasi dan Hasil Simulasi

Tujuan dari simulasi ini adalah untuk mendapatkan *limiting state availability system*. Dengan mengisi *Simulation end Time* 5000 jam dan *Number of Simulation* 1000 kali untuk mendapatkan hasil *Availability* yang diharapkan

Setelah semua parameter sudah diisi, kemudian proses simulasi dapat dilakukan. Hasil Simulasi tiap komponen dapat dilihat pada **Tabel 3**.

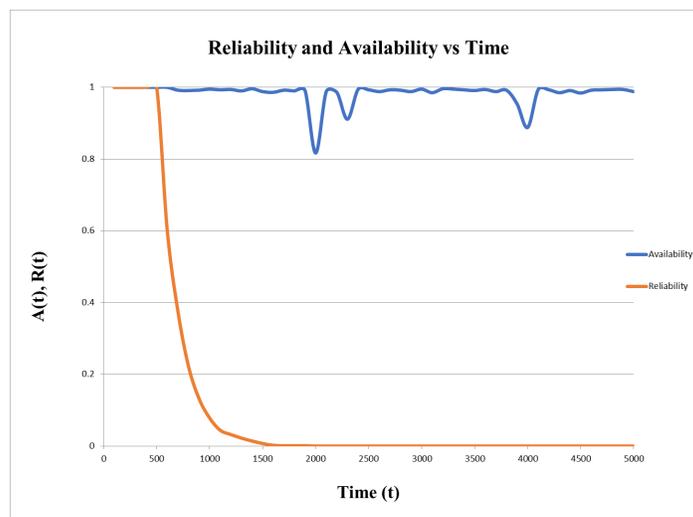
Tabel 3 menunjukkan ringkasan dari hasil simulasi sistem yang sebelumnya sudah diisi parameter parameternya. Untuk gambar 8 adalah grafik hasil simulasi yang dilakukan selama 5000 jam untuk semua komponen yang berada pada Sistem Pelumasan *Main Engine* dilihat dari nilai ketersediaan (*availability*) terhadap waktu dan nilai keandalannya (*reliability*) terhadap waktu. Sedangkan untuk gambar 9 adalah grafik hasil simulasi dari komponen yang paling kritis pada sistem pelumasan *main engine* KM. Kelimutu.

Tabel 3. Ringkasan Hasil Simulasi Tiap Komponen

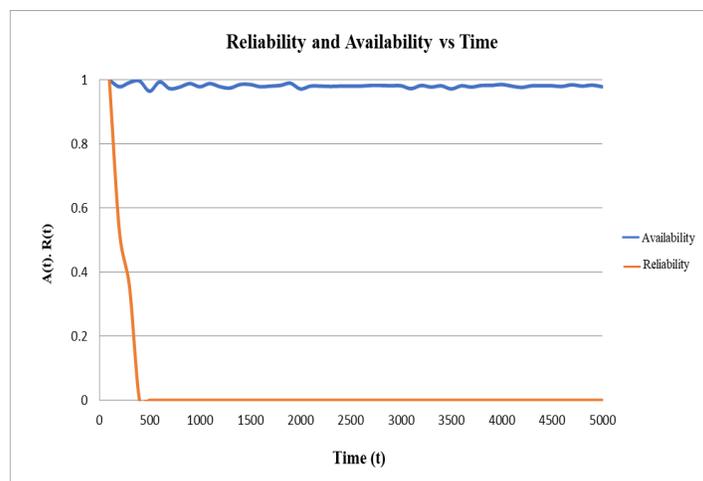
Simulation Summary				
Number of Simulation	1000			
End Time	5000			
General Summary				
Mean Availability	0.984			
Point Availability (All Events) at 5000	0.988			
Reliability (5000)	0			
MTTF	697.761			
System Summary				
Uptime	4921.440			
Total Downtime	78.561			
Block Summary				
Block Name	Mean Availability	Expected number of failure	Block Downtime	MTBF
<u>Service Tank</u>	0.996	2.000	20.000	1970.413
<u>Sump Tank</u>	0.993	2.000	19.050	1970.412
<u>Separator LO I</u>	0.996	4.881	9.7613	697.760
<u>Separator LO II Standby</u>	0.996	4.880	9.7613	697.760
<u>LO Cooler</u>	0.992	6.591	39.510	697.760
<u>LO Pump I</u>	0.996	4.444	17.772	760.870
<u>LO Pump II Standby</u>	0.996	4.443	17.772	760.870
<u>Filter I</u>	0.981	13.23	92.554	244.807
<u>Filter II Standby</u>	0.981	13.22	92.554	244.806
<u>LO Transfer Pump I</u>	0.998	0.981	5.8860	637.115
<u>LO Transfer Pump II Standby</u>	0.998	0.980	5.8855	637.115

Dari tabel ringkasan hasil simulasi tiap komponen diketahui bahwa, nilai *Point Availability* pada saat 5000 jam adalah 0.988, yang artinya adalah 98% sistem pelumasan *main engine* KM. Kelimutu ini dapat bekerja sebagaimana fungsinya dengan baik selama 5000 jam.

Kemudian untuk masing masing komponen yang memiliki nilai rata rata ketersediaan terkecil setelah dilakukannya simulasi selama interval waktu misi 5000 jam adalah *filter*, dengan rata rata ketersediannya yaitu 0.981 serta jumlah kegagalan yang terjadi yaitu 13.23 kali. Grafik yang menunjukkan *reliability and availability vs time* ditunjukkan pada gambar 2 dan 3.



Grafik 2. Grafik Ringkasan Hasil Simulasi Sistem Pelumas.



Grafik 3. Grafik Ringkasan Hasil Sistem Pelumas.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil perhitungan dan pembahasan sistem pelumasan KM. Kelimutu baik dengan analisa kualitatif maupun analisa kuantitatif dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Sistem Pelumasan *main engine* memiliki komponen yang paling kritis adalah komponen filter dengan nilai *Rank Priority Number initial* (RPNi) sebesar 424. Level kekritisan komponen ini ditinjau dari *severity* kegagalan komponen, *occurrence* dan *detection* kegagalan pada komponen. Hasil evaluasi tersebut dilakukan dengan metode *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA)
2. Hasil *Fault Tree Analysis* (FTA), sistem pelumasan tidak akan bekerja lagi jika salah satu dari subsistem atau komponen gagal bersamaan, baik itu komponen yang berada pada *first order* seperti *lo filter* dan *lo cooler* ataupun komponen yang berada dalam *second order* seperti dua komponen *separator*, dua *transfer pump*, dan *lo pump*.
3. Pada hasil simulasi dengan pengoperasian sistem pelumasan selama waktu 5000 jam dengan cara kontinyu bahwa nilai rata-rata ketersediaan 0.96 yang artinya 96% sistem pelumasan bisa melakukan sebagaimana fungsinya selama 5000 jam.
4. Nilai *Mean Time to Failure* (MTTF) pada interval waktu 5000 jam adalah 697.760829 dengan pelumas akan mengalami kegagalan pada saat sistem telah beroperasi 697.760829 jam pada *end time* 5000 jam. Maka dari itu untuk menjaga keandalan sistem maka sebelum memasuki 697.760829 jam harus dilakukan perawatan *preventif* (pencegahan) terhadap sistem.

DAFTAR PUSTAKA

- Arifin, M. D., Octaviani, F., & Novita, T. D. (2015). Analisa Kegagalan Sistem Pelumasan dan Pemilihan Metode Perawatan M/E di Kapal Menggunakan Metode FMEA dalam Rangka Menunjang Operasi Laut di Indonesia. *Jurnal Penelitian Transportasi Laut*. Retrieved from <https://ojs.balitbanghub.dephub.go.id/index.php/jurnallaut/article/view/1416>
- Yusuf, Zulkifli A. (2016). Analisa Perawatan Berbasis Resiko pada Sistem Pelumas KM. Lambelu. *Jurnal Riset Teknologi Kelautan*. Retrieved from <https://journal.unhas.ac.id/index.php/jrtk/article/view/695>
- Manalu, R., B., Budiarto, U., & Yudo, H. (2016). Analisa Perawatan Sistem Distribusi

- Minyak Lumas Berbasis Keandalan pada Kapal KM. Bukit Siguntang dengan Pendekatan RCM. *Jurnal Teknik Perkapalan*, 4(1). Retrieved from <https://ejournal3.undip.ac.id/index.php/naval/article/view/13109>
- Risna. & Lutfi, M. (2019). Analisa Perawatan Berbasis Keandalan pada Sistem Bahan Bakar Mesin Utama Kapal Motor Penyebrangan Bontoharu. *Jurnal Sains Terapan*. Retrieved from <https://jurnal.poltekba.ac.id/index.php/jst/article/view/540>
- Hadi, E. S., & Budiarto, U. (2012). Analisa Keandalan Sistem Bahan Bakar Motor Induk Pada KM. Leuser. *Kapal: Jurnal Ilmu Pengetahuan dan Teknologi Kelautan*, 5(2), 123 – 135, <https://doi.org/10.14710/kpl.v5i2.3195>
- Mikulak, J. R., McDermott, R. & Beauregard, M. (2008). *The Basics of FMEA*. Newyork: Productivity Press. <https://doi.org/10.1201/b16656>
- Sellapan, N., & Palanikumar, K. (2013). Modified Prioritization Methodology for Risk Priority Number in Failure Mode and Effects Analysis. *International Journal of Applied Science and Technology*. Retrieved from https://www.ijastnet.com/journals/Vol_3_No_4_April_2013/3.pdf
- IEC. (2002). “International Standard for FTA”. Retrieved 2 Februari 2022, from <http://cdsweb.cern.ch/record/1227824>.
- Ebeling, C. E. (1997). *Intro to Reliability and Maintainability Engineering*. Amerika Serikat: Waveland Press. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1099-1638\(199807/08\)14:4<295::AID-QRE197>3.0.CO;2-Y](https://doi.org/10.1002/(SICI)1099-1638(199807/08)14:4<295::AID-QRE197>3.0.CO;2-Y)
- Alwi, M. R. (2016). Reliability Centered Maintenance dalam Perawatan F.O. *Service Pump Sistem Bahan Bakar Kapal Ikan*. *Jurnal Riset dan Teknologi Kelautan*. Retrieved from <https://journal.unhas.ac.id/index.php/jrtk/article/view/690>