

## PEMODELAN PERAWATAN DAN PERBAIKAN BERBASIS KEANDALAN PADA MESIN INDUK TIPE BOLNES/10 DNL DI KAPAL LATIH TARUNA

**Andri Yulianto**

Prodi Permesinan Kapal Poltektrans SDP Palembang

Email: andribplp@gmail.com

### Abstrak

Abstrak Kapal Cadet Training yang dioperasikan oleh Politeknik Ilmu Pelayaran Semarang sudah cukup umur, dibangun pada tahun 1984. Pada usia tersebut, beberapa kerusakan pada mesin terjadi khususnya mesin penggerak utama. Kegiatan perawatan dilakukan dengan harapan dapat mempertahankan fungsi mesin dalam kondisi normal. Penelitian diawali dengan pengambilan data dari engine log book untuk mendapatkan TTF, dengan mengamati pola kegagalan, penulis dapat menentukan critical system dan komponen untuk membuat fungsi blocks diagram-nya. Kemudian, model kegagalan komponen dianalisis dengan FMECA dan bantuan software weibull++, penulis mencoba mencari parameter distribusi peluang yang tepat. Menganalisis reliabilitas secara kuantitatif, penulis menemukan nilai reliabilitas komponen. Pemecah premium Microsoft excel digunakan untuk mengoptimalkan penentuan jadwal pemeliharaan dan perbaikan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa interval perawatan dan perbaikan optimal dengan biaya minimum dirancang setiap dua tahun untuk docking. Besarnya anggaran yang diusulkan untuk 2 tahun adalah Rp 1.193.489.636,- dibagi menjadi usulan anggaran 2 tahun, yaitu Rp 477.395.855,- pada tahun pertama atau Rp 39.782.988,- setiap bulan dan Rp. 716.093.782,- pada tahun kedua atau Rp 59.674.482,- setiap bulan.

**Kata kunci:** Keandalan Pada Mesin Induk, Bolnes/10 Dnl, Taruna

### Abstract

*Cadet Training ship which was operated by Politeknik Ilmu Pelayaran Semarang have old enough, it was built in 1984 . In that age, some damages in the machinery occur specially the main propulsion engine. Maintenance activity is done in the hope that it can maintain the machinery function under normal condition. The research is started by data taking from the engine log book to get TTF, by observing the failure pattern, the writer can determine the critical system and component to make its blocks diagram function. Then, the model of component failure is analysed with FMECA and the help of weibull++ software, the writer try to find the exact opportunity distribution parameter. Analysing the reliability*

How To Cite:	Andri Yulianto (2023) Pemodelan Perawatan dan Perbaikan Berbasis Keandalan Pada Mesin Induk Tipe Bolnes/10 Dnl Di Kapal Latih Taruna, 8 (5), <a href="http://dx.doi.org/10.36418/Syntax-Literate.v8i5.11951">Http://Dx.Doi.Org/10.36418/Syntax-Literate.v8i5.11951</a>
E-Issn:	2548-1398
Published By:	Ridwan Institute

*quantitatively, the writer finds the component reliability value. Premium solver Microsoft excel is used for optimizing the maintenance and repair schedule determination. The result of the research shows that maintenance interval and optimum repair with minimum cost is designed every two years for the docking. The amount of the budget proposed for 2 years is Rp 1.193.489.636,- divided into 2-years budget proposal, that is Rp 477.395.855,- in the first year or Rp 39.782.988,- each month and Rp. 716.093.782,- in the second year or Rp 59.674.482,-each month.*

**Keywords:** *Reliability on master machines, bolnes/10 dnl, cadets*

## **Pendahuluan**

PIP Semarang merupakan lembaga Pendidikan dan Pelatihan dibawah Kementerian Perhubungan. Pendidikan di PIP Semarang untuk program D.IV dan yang lainnya menerapkan rasio untuk teori 40% - 50% ,sedangkan 50% - 60% adalah praktek laboratorium (Munzilin, 2016). Dimana pendidikan tersebut mencakup aspek pengetahuan , keahlian dan kepribadian . Untuk melaksanakan hal tersebut maka akan dilaksanakan dengan pelatihan di laboratorium ataupun kapal latih. Mulai tanggal 28 Desember 2007 PIP Semarang melalui Badan Diklat Perhubungan mendapat hibah Kapal Survey dari Dirjen Perhubungan Laut sebagai kapal latih taruna.

Kapal Latih taruna tersebut bernama KN. Bima Sakti bejenis kapal survey tahun pembuatan 1984 dari galangan kapal MAKUM Belanda dengan panjang keseluruhan (LOA) 59,75 meter dan lebar 23 meter, DWT 1373,15 ton, memiliki mesin induk 2 unit merk / type BOLNES / 10 DNL dengan Daya masing-masing .1500 HP, memiliki 3 mesin bantu dengan merk/type mercedez benz / OM 424 dengan masing masing berdaya 303 HP (Yulianto, n.d.).

KN. Bima Sakti yang dioperasikan oleh PIP Semarang tersebut sudah cukup tua dan dalam pengoperasian akan banyak terjadi kendala – kendala secara teknis, terutama pada permesinan penggerak utama. Hal tersebut tentunya akan menghambat dalam pengoperasian kapal dan menambah besar biaya pengoperasian kapal dan memberatkan keuangan negara. Dalam hal pembiayaan KN. Bima Sakti ini dibiayai oleh negara melalui DIPA (Daftar Isian Pelaksanaan Anggaran) dari Pusat Pendidikan dan Pelatihan Perhubungan Laut (Yulianto, n.d.).

Lebih jauh lagi, kebutuhan akan metode praktis dalam menentukan jadwal perawatan optimum untuk permesinan dikapal menjadi amat mendesak dengan munculnya kecenderungan bahwa banyak perusahaan pelayaran di Indonesia dan beberapa negara berkembang lainnya membeli kapal-kapal bekas, namun memperlakukan permesinan kapal tersebut seolah-olah baru serta melakukan modifikasi yang minimum hanya untuk memenuhi ketentuan beberapa peraturan Internasional yang ada saat ini. Dengan kondisi ini maka peningkatan biaya operasional dan perawatan merupakan konsekuensi logis sebagai akibat dari hal diatas (Masroeri et al., 2000).

Penentuan jadwal perawatan optimum untuk permesinan di kapal laut (*ship machinery*) memiliki perbedaan karakteristik yang mendasar dengan perawatan untuk mesin industri di darat (*land used machinery*) (Artana & Ishida, 2002). Dalam kasus permesinan industri di darat, perawatan dapat dilakukan dengan tingkat aksibilitas dan ketersediaan suku cadang yang tinggi. Hal ini berbeda dengan permesinan di kapal karena kegagalan permesinan di kapal mungkin

terjadi saat kapal berlayar, di mana suku cadang yang dibutuhkan mungkin tidak tersedia di kapal atau dalam kasus tertentu *shore based maintenance* mutlak diperlukan. Biro Klasifikasi memang mensyaratkan beberapa suku cadang dan peralatan harus tersedia di kapal (NK,1983), Namun peraturan tersebut tidak mencakup semua jenis kegagalan komponen yang memang sulit diprediksi.

Proses penentuan jadwal perawatan permesinan adalah sebuah proses pengambilan keputusan (*decision-making process*). Proses ini bisa dipermudah dengan menggunakan metode optimasi. Proses optimasi dalam kaitannya dengan pengambilan keputusan terhadap system perawatan permesinan dapat diartikan sebagai usaha untuk menyelesaikan konflik dari beberapa variable perawatan secara demikian rupa, sehingga variabel yang dapat dikontrol (*control variable*) oleh pembuat keputusan (*decision-maker*) mendapat nilai yang terbaik (Jardine & Tsang, 2021). Salah satu control variable dalam kaitannya dengan perawatan permesinan di kapal adalah interval perawatan (*interval between maintenance*)

Dalam penelitian ini menggunakan metode sistematis dalam menentukan jadwal dan posisi perawatan yang optimum dari system pelumasan dan udara bilas dari mesin induk di kapal. Yang nantinya diharapkan dapat digunakan untuk menentukan pola perawatan dalam system yang lain di permesinan kapal. Metode yang digunakan dengan menggunakan pemrograman computer solver pada microsoft excel dengan metode *non linear programming*.

Kapal latih taruna KL. Bima Sakti yang dioperasikan oleh PIP Semarang digunakan untuk melatih taruna Pusat Pendidikan dan Pelatihan Perhubungan Laut (Pusdiklat Laut) dibawah Badan Diklat Perhubungan. Diklat perhubungan laut ini tersebar di 4 kota yaitu STIP Jakarta, BP2IP Mauk yang terletak di Jakarta, PIP Semarang yang terletak di Semarang, BP2IP Surabaya yang terletak di Surabaya, PIP Makassar dan BP2IP Barombong yang terletak di Makassar. (road map peningkatan keselamatan transportasi nasional Departemen Perhubungan tahun 2007). Untuk itu akan dibuat alur pelayaran yang tetap yang dapat melayari 4 pelabuhan yaitu Tanjung Priok Jakarta, Tanjung Emas Semarang, Tanjung Perak Surabaya dan Pelabuhan Sukarno Hatta Makassar.

Dengan melihat alur pelayaran itu maka dapat dibuat model alur pelayaran seperti pada Gambar 1 di bawah ini. Kapal akan melayari 4 pelabuhan yakni pelabuhan A, B, C dan D dan akan kembali ke pelabuhan A melalui rute yang berlawanan dengan rute seperti yang disebutkan diatas.

Dari empat pelabuhan ini jarak masing-masing pelabuhan yaitu jarak Jakarta ke Semarang 256 mil, jarak Semarang ke Surabaya 207 mil dan jarak dari Surabaya ke Makassar 476 mil. Dengan kecepatan rata-rata kapal 11 knots maka waktu tempuh dari masing-masing pelabuhan adalah dari Jakarta ke Semarang 23,27 jam, Semarang ke Surabaya 18,81 jam dan Surabaya ke Makassar 43,27 jam.

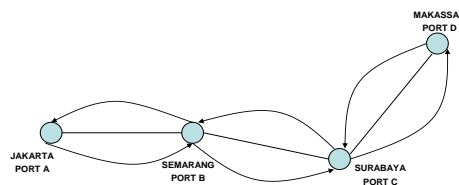
Dengan melihat alur pelayaran diatas, maka akan diasumsikan bahwa perawatan permesinan hanya bisa dilakukan di pelabuhan atau galangan kapal, sehingga penalty cost akan dikenakan untuk setiap operasi yang melebihi rentang hasil optimasi. Minimum total cost yang menjadi fungsi obyektif (objective function) dari permasalahan ini mencakup maintenance costs, operating cost, downtime costs dan penalty costs. Proses optimasi rentang perawatan komponen dilakukan sedemikian rupa sehingga indeks keandalan (*reliability index-RI*) dari

komponen tidak kurang dari 0.5, dengan pertimbangan kemungkinan kesuksesannya dan kegagalannya adalah sama.

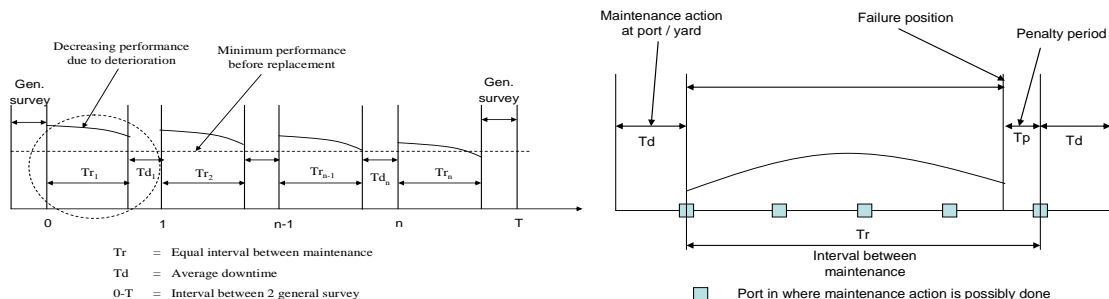
Perawatan terhadap permesinan di kapal tidak akan mengembalikan kondisi permesinan tersebut seperti halnya pada saat kondisi baru (konsep *As Good As New Again* tidak berlaku). Dengan kata lain, detorasi (keausan) terhadap waktu akan senantiasa menjadi salah satu pertimbangan dan pada waktu tertentu permesinan pada sistem tersebut harus diganti.

Untuk mewakili hal ini, maka diasumsikan bahwa setiap perawatan memiliki konsekuensi turunnya indek kehandalan dari komponen sistem pelumasan dan sistem udara bilas sebesar 0.5% dari nilai awalnya. Selain itu, karena faktor detorasi maka komponen pada sistem tersebut harus diganti jika prediksi bahwa setelah perawatan, komponen tersebut tidak mampu mencapai ketentuan minimum indek kehandalan sebesar 0.5 lihat Gambar 2.2a dan Gambar 2b

**Gambar 1**  
**Alur Pelayaran KL Bima Sakti**



**Gambar 2**  
**Model Perawatan Komponen Permesinan**



## Metodologi Penelitian

Pengolahan dan analisa data dilakukan dengan bantuan software weibull 4.0, perhitungan optimasi dengan bantuan solver microsoft excel dengan langkah langkah sebagai berikut (Tijerina & Monarrez, n.d.) :

1. Mengambil data kegagalan dan perawatan dari mesin induk kapal, data yang diperoleh berdasarkan pengamatan secara langsung operasional komponen dan dari jurnal perawatan yang ada di kamar mesin.
2. Pemodelan seluruh sistem yang bekerja di kamar mesin menjadi sebuah diagram function untuk mendiskripsikan dan memisahkan masing-masing komponen yang mendukung sistem yang akan dinilai.

3. Selanjutnya dilakukan analisa kualitatif system dengan mengidentifikasi kegagalan yang timbul dari komponen atau system dengan FMECA, berdasarkan standard dari ABS maka dapat ditentukan komponen kritis.
4. Data downtime dari masing-masing komponen dikonversikan menjadi data waktu antar kegagalan (TTF)
5. Pendugaan distribusi data kegagalan komponen atau system dengan menggunakan software Weibull 4.0 untuk melakukan pendugaan distribusi data TTF system.
6. Berdasarkan parameter-parameter distribusi yang diperoleh, didapatkan fungsi padat peluang (PDF), nilai keandalan (R) dan laju kegagalan komponen ( $\lambda$ ).
7. Langkah selanjutnya menghitung total biaya minimum yang menjadi fungsi obyektif (objective function) dari permasalahan ini mencakup maintenance costs, operating cost, downtime costs dan penalty costs. Proses optimasi rentang perawatan komponen dilakukan sedemikian rupa sehingga indek keandalan (reliability index-RI) dari komponen tidak kurang dari 0.5, dengan pertimbangan kemungkinan kesuksesan dan kegagalannya adalah sama.
8. Menentukan jadwal perawatan dan perbaikan yang tepat dengan mempertimbangkan biaya perawatan dan perbaikan total yang nantinya digunakan sebagai acuan untuk mengajukan permintaan anggaran dari DIPA (Daftar Isian Pelaksanaan Anggaran) Negara

a. **Keandalan**

Keandalan Adalah *Probabilitas dari suatu item untk dapat melaksanakan fungsi yang telah ditetapkan pada kondisi pengoperasian dan lingkungan tertentu untuk periode waktu yang telah ditentukan*. Terminologi item yang dipakai didalam definisi keandalan diatas dapat mewakili sembarang komponen, sub sistem, atau sistem yang diang sebagai satu kesatuan (Uslarahmayana, 2022).

b. **Ketersediaan**

Ketersediaan adalah *probabilitas untuk dapat menemukan suatu sistem dengan berbagai kombinasi aspek-aspek keandalannya, kemampurawatan dan dukungan perawatan untuk melakukan fungsi yang diperlukan pada suatu periode waktu tertentu*. Ketersediaan dari sebuah sistem dapat diekspresikan kedalam sebuah persamaan matematis yang menyatakan relasi antara periode dimana sistem dapat beroperasi ( $T_{OP}$ ) dengan penjumlahan antara periode waktu ini dengan waktu dimana sistem dalam keadaan tidak dapat beroperasi ( $T_{DOWN}$ ) (Sujalu et al., 2021). Persamaan dibawah ini menunjukkan hubungan antara  $T_{OP}$ ,  $T_{DOWN}$ , dan ketersediaan:

$$A = \frac{T_{op}}{T_{op} + T_{Down}}$$

c. **Failure Mode Effects and Critical Analysis (FMECA)**

*Failure Mode Effects and Critical Analysis (FMECA)* lebih menekankan pada bottom up approach, yaitu analisa yang dilakukan dengn memeriksa komponen-komponen dari tingkat rendah dan meneruskannya ke sistem yang merupakan tingkat yang lebih tinggi serta mempeertimbangkan kegagalan system sebagai hasil dari semua mode kegagalan (Borgovini et al., 1993). FMECA merupakan salah satu bentuk analisa

kegagalan,serta dampak kegagalan yang ditimbulkan oleh tiap-tiap komponen terhadap sistem. Kegiatan FMECA tersebut dituliskan dalam worksheet tersebut.

Masing –masing kolom worksheet tersebut berisi item-item sebagai berikut :

1. Kolom *component* : menunjukkan nama komponen atau unit yang dimaksud
2. Kolom *function* menjelaskan fungsi dari komponen di dalam sistem yang sedang dianalisa
3. Kolom *failure mode* mode-mode kegagalan pada tiap-tiap komponen diidentifikasi dan dicatat pada kolom ini
4. Kolom *failure mechanism* kemungkinan mekanisme kegagalan yang dapat menyebabkan terjadinya mode kegagalan.
5. Kolom *detection of failure* berbagai kemungkinan pendektasian dari berbagai mode kegagalan *direcord* pada kolom ini
6. Kolom *effect of the failure on the components* dampak yang terjadi pada komponen akibat dari mode-mode kegagalan yang ditimbulkan oleh suatu komponen
8. Kolom *severity level* penggolongan ranking dari kegagalan yang terjadi pada komponen yang diidentifikasi yang menggambarkan seberapa besar dampak yang dapat di timbulkan terhadap sistem.
9. Kolom *failure rate* laju kegagalan dari masing-masing mode kegagalan di record pada kolom ini.

**Tabel 1**  
**Saverity level**

Severity level	Discription for severity level	Definition of severity level	Aplicable to function groups for
1	Minor, Nigligible	Function is not affected, no significant operational delays nuisance	Propilsion Directional control
2	Major, marginal, moderate	Function is not affected, however failure detection/corrective measures not functional, OR function is reduced resulting in operational delays	drilling Position mooring (station keeping) and processing
3	Critical Hazardous, Significant	Function is reduced, or damage machinery, significant operational delay	import and export function
4	Catastrophic, critical	Complete loss of function	

Sumber : (Priyanta et al., 2020)

Kolom *risk reducing measure* kemungkinan-kemungkinan tindakan koreksi yang dapat dilakukan berkenaan dengan mode-mode kegagalan yang terjadi (Hollands et al., 2016). Untuk mengetahui rangking kekritisan dari *failure mode* yang berbeda yaitu dengan cara mengkombinasikan *severy level* dan *failure rate* yang disebut *Risk profile matrix* (Smail et al., 2017).

**Tabel 2**  
**Probability of failure**

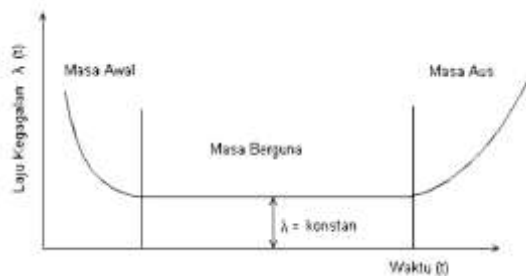
Likelihood descriptor	Discription
Improbable	Fewer than 0.01 events/year
Remote	0.01 to 0.1 events/year
Occasional	0.1 to 1 events/year
Probable	1 to 10 events/year
Frequent	10 or more events/year

Sumber : (Priyanta et al., 2020)

#### d. Kurva Laju Kegagalan

Laju kegagalan dari suatu komponen atau sistem dapat di plot pada suatu kurva dengan variabel random waktu sebagai absis dan laju kegagalan dari komponen atau sistem sebagai ordinat.

**Gambar 3**  
**Bath-up Kurve**



Kurva laju kegagalan klasik yang sering dipakai untuk menjelaskan perilaku dari komponen atau sistem adalah kurva bak mandi (*bath-up curve*). Kurva ini terdiri dari tiga buah bagian utama, yaitu masa awal (*burnin period*), masa yang berguna (*useful life period*), dan masa aus (*wear out period*). Gambar 3 menunjukkan kurva bak mandi dengan ketiga bagian utamanya (Roesch, 2012).

Bagian pertama dari kurva ini, yaitu masa awal dari suatu sistem atau komponen, ditandai dengan tingginya kegagalan pada fase awal dan berangsur-angsur turun seiring bertambahnya waktu. Bagian kedua dari kurva ini ditandai dengan laju kegagalan yang konstan dari komponen atau sistem. Sedang bagian ketiga dari kurva ini ditandai dengan naiknya laju kegagalan dari komponen atau sistem seiring dengan bertambahnya waktu.

**e. Distribusi Weibull**

Distribusi weibull banyak dipakai karena distribusi ini memiliki shape parameter sehingga distribusi tersebut mampu memodelkan berbagai data (Manuhutu, 2012). Jika time to failure suatu komponen adalah  $t$  mengikuti distribusi weibull dengan tiga parameter  $\beta$ ,  $\eta$  dan  $\gamma$  maka persamaan fungsi densitas probabilitas dapat dinyatakan sebagai berikut :

$$f(t) = \left[ \frac{(t - \gamma)}{\eta} \right]^{\beta-1} e^{-\left[ \frac{(t-\gamma)}{\eta} \right]^\beta}$$

Jika nilai  $\gamma = 0$ , maka akan diperoleh distribusi weibull dengan dua parameter.

- Parameter keandalan :

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

- Persamaan failure rate :

$$\lambda(t) = \frac{\beta}{\eta} \left[ \frac{t - \gamma}{\eta} \right]^{\beta-1}$$

- Persamaan MTTF :

$$MTTF = \gamma + \eta \left[ \Gamma \left[ \frac{1}{\beta} + 1 \right] \right]$$

Dimana [  $\Gamma$  ] menyatakan fungsi gama.

**f. Pembuatan Model Optimasi**

Model pemograman untuk mendapatkan interval waktu penggantian komponen kritis yang optimal dari masing-masing komponen sistem pelumasan dan sistem udara bilas dapat diuraikan sebagai berikut (Rikardo, 2022) :

1. Inputs

Jarak antar pelabuhan, kecepatan dinas kapal, unit down time cost, unit penalty costs, reliability reduction facktor, mean time to repair, interval perawatan menurut manual book.

2. Equitations

- Totalcost :

$$C(Tr) = Cm + Co + Cd + Cp$$

- Biaya perawatan (maintenance cost) :

$$Cm = \sum_{i=1}^m n_i \cdot \int_0^{Tr} Cum_i(t) dt$$

- Biaya operasional (operating cost) :

$$Co = \sum_{i=1}^m (n_i + 1) \cdot \int_0^{Tr} Cuo_i(t) dt$$

- Biaya downtime :



$$Cd = \sum_{i=1}^m n_i \cdot Cud_i$$

- Biaya penalty (penalty cost) :

$$Cp = \sum_{i=1}^m Tp_i \cdot Cup_i$$

- Decision variable ( $n_i$ ) :

$$n_i = \frac{T - Tr_i}{Tr + Td_i}$$

3. Constrains

- Minimum  $X2_i \leq X2_i \leq$  Maksimum  $X2_i$  ( $X2_i$  interval diantara dua perawatan)

- Minimum  $X3_i \leq X3_i \leq$  Maksimum  $X3_i$  ( $X3_i$  Indek keandalan)

4. Output (Decison variable)

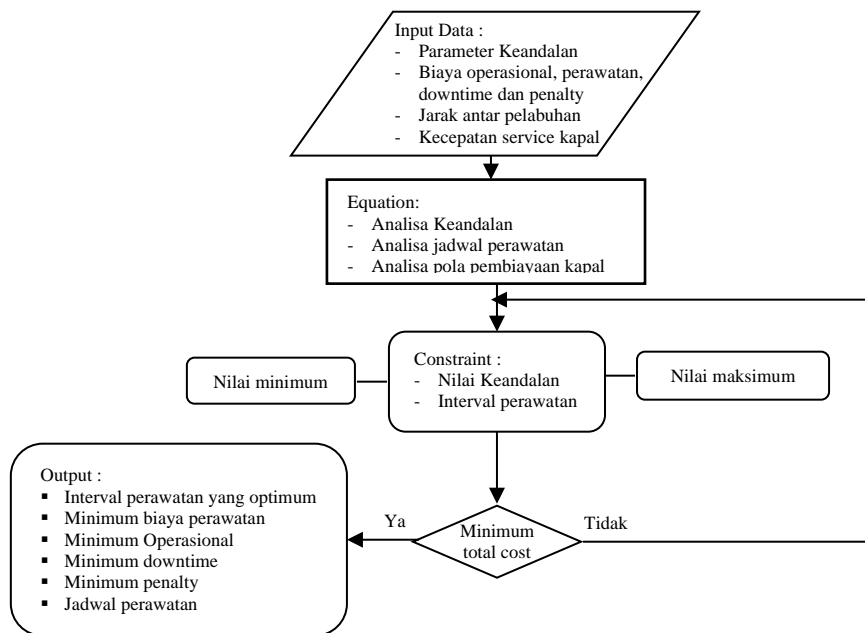
- Minimum  $X1_i \leq X1_i \leq$  Maksimum  $X1_i$  ( $X1_i$  jumlah perawatan diantara dua docking untuk komponen  $i$ )

5. Fungsi obyektif (objective function)

- Total cost :

$$C(Tr) = \sum_{i=1}^m n_i \cdot \int_0^{Tr} Cum_i(t) dt + (n_i + 1) \cdot \int_0^{Tr} Cuo_i(t) dt + n_i \cdot Cud_i + tTp_{i1} \cdot Cup_i$$

**Gambar 4**  
**Konstruksi Model Optimasi Perawatan Mesin Induk Kapal**

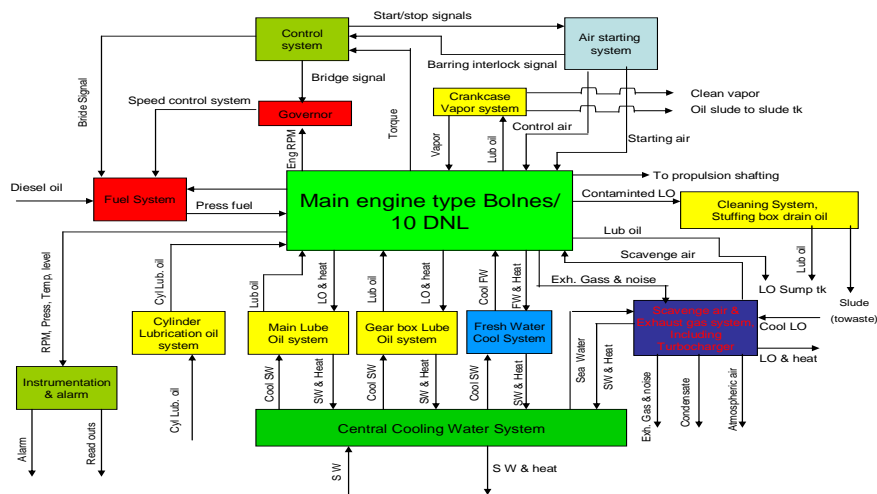


## Hasil dan Pembahasan

### a. Pemodelan dengan diagram Blok function.

Pemodelan diagram blok ini dengan menjabarkan komponen-komponen yang bekerja dalam masing-masing sistem. Komponen dalam sistem dikelompokkan berdasarkan fungsinya masing-masing. Pemodelan dalam diagram MPU tipe Bolnes 10/DNL terlihat dalam gambar 5. Dalam pemodelan ini terlihat bahwa sistem penggerak di atas kapal terbagi menjadi beberapa fungsi yaitu fungsi primer (*primary function*) dan fungsi sekunder (*secondary function*).

**Gambar 5**  
**Pemodelan Dengan Diagram Blok**



### b. Analisa Kualitatif

#### 3.2.1 FMECA (Failure Mode Effect and Critical Analysis)

Ukuran kualitatif untuk menentukan kekritisan mode kegagalan suatu komponen dapat dilakukan dengan mengkombinasikan severity ranking dengan laju kegagalan yang dibuat kedalam bentuk table yang disebut risk profile matrix. Pembacaan matrix dilakukan dari sudut kiri bawah ke sudut kanan atas (dimulai dari warna hijau pada kiri bawah dan berakhir pada warna merah kanan atas) yang menunjukkan bahwa kekritisan komponen semakin besar. Berikut ini hasil dari table risk profile matrix sesuai dengan standar ABS (*American Bureau of Shipping*).

Dengan melihat Tabel 3 *risk profile matrix sistem pelumasan* pada mesin induk maka akan terlihat kekritisan dari komponen sistem pelumasan. Komponen sistem pelumasan yang masuk ke daerah merah adalah komponen pelumasan yang kekritisannya tinggi yaitu *LO Standby pump*, *LO Atache pump*, *LO cooler*, *LO hand pump*, *LO filter (pressure)*, *Lo magnetik filter*. Sedangkan *LO Storage tank* masuk daerah medium. Sedangkan yang komponen sistem pelumasan yang masuk daerah hijau adalah komponen sistem pelumasan yang kekritisannya rendah yaitu *check valve*, *overflow relief valve*, *LO carter* dan *thermostatik valve*.

Pada Tabel 4 *risk profile matrix* sistem udara bilas pada mesin induk maka akan terlihat kekritisitas dari komponen sistem udara bilas. Komponen sistem udara bilas yang masuk ke daerah merah adalah komponen sistem udara bilas yang kekritisannya tinggi yaitu supercharge (1), flexible joint (2), air cooler (5) dan scavenge air (6). Sedangkan yang komponen sistem udara bilas yang masuk daerah hijau adalah komponen sistem udara bilas yang kekritisannya rendah yaitu exhaust gas manifold (3) dan pipa gas buang (4). Dengan melihat kekritisitas tersebut maka dapat dipisahkan untuk komponen sistem pelumasan dan udara bilas yang harus dilakukan analisa selanjutnya

**Tabel 3**  
**Risk Profile Matrix Sistem Pelumasan Mesin Induk**

severity level	Likelihood of failure				
	Improbable	Remote	Occasional	Probable	Frequent
4					
3				2,3,8	
2	4,5,7,9		6	1,10,11	
1					

**Tabel 4**  
**Risk profile matrix sistem udara bilas**

severity level	Likelihood of failure				
	Improbable	Remote	Occasional	Probable	Frequent
4					
3	3,4			1,2,5,6	
2					
1					

**c. Analisa kuantitatif**

Data waktu antar kegagalan dari setiap komponen diolah dengan software weibull 4.0, sehingga diperoleh parameter-parameter sebagai berikut :

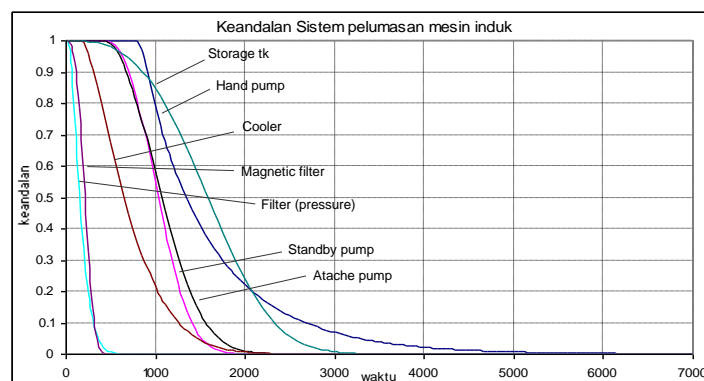
**Tabel 5**  
**Rangking distribusi data komponen sistem pelumasan mesin induk**

Komponen	Distribusi	Beta, $\beta$	Eta, $\eta$ (hrs)	Gamma, $\gamma$
LO hand pump	Weibull 3	0.925	747.016	835.76
LO Stand by pump	Weibull 3	2.4585	691.8554	431.02
LO Atache pump	Weibull 3	2.1116	768.3586	417.98
LO Filter (pressure)	Weibull 3	1.5022	162.4183	27.79
LO magnetik filter	Weibull 3	3.0615	246.5714	-4.7999
LO Cooler	Weibull 3	1.4564	603.3562	183.78
LO Storage	Weibull 2	3.0823	1780.3761	-

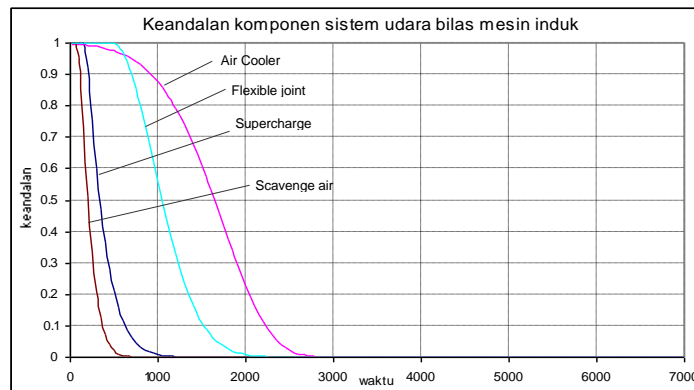
**Tabel 6**  
**Rangking distribusi data komponen sistem udara bilas mesin induk**

Komponen	Distribusi	Beta, $\beta$	Eta, $\eta$ (hrs)	Gamma, $\gamma$
Supercharger	Weibull 3	1.1968	226.078	172.42
Air Cooler	Weibull 3	6.5679	3053.6928	- 1242.3099
Scavenging air	Weibull 3	1.3711	156.0831	83.38
Flexible Joint	Weibull 3	1.9177	664.7777	496.6725

**Gambar 6**  
**Grafik Keandalan Komponen Sistem Pelumasan**



**Gambar 7**  
**Grafik Keandalan Komponen System Udara Bilas Mesin Induk**



**d. Perhitungan Jumlah waktu Perbaikan dengan Total Biaya Operasi**

**Tabel 7**  
**Rekapitulasi Biaya Untuk Tiap Model**

<b>MASUKAN</b>							
Faktor penurunan nilai keandalan		0.005					
Minimal nilai keandalan yang diinginkan		0.5					
Jarak pelabuhan A ke pelabuhan B (Jakarta - Semarang)		256	mil				
Jarak pelabuhan B ke pelabuhan C (Semarang - Surabaya)		207	mil				
Jarak pelabuhan C ke pelabuhan D (Surabaya - Makassar)		476	mil				
Kecepatan dinas rata-rata kapal		11	Knots				
Biaya down time		1,000,000	Rp				
Biaya tambahan bila terjadi keterlambatan perawatan		50,000	Rp/jam				
Mode	Interval Diantara dua docking	Total Biaya perawatan	Total Biaya operasi	Total Biaya Downtime	Total Biaya pinalti	Total Biaya Rata-rata	
	Tahun	( jam )	( Rp )	( Rp )	( Rp )	( Rp/bln )	
1	1	8640	219,683,00	57,205,875	226,000,00	142,127,27	53,751,34
			0		0	3	6
2	1.5	1296	325,221,00	83,515,750	335,000,00	171,068,18	50,822,49
			0		0	2	6
3	2	1728	424,509,00	110,067,00	445,000,00	213,913,63	49,728,73
			0	0	0	6	5
4	2.5	2160	533,007,00	136,859,62	556,000,00	273,754,54	49,987,37
			0	5	0	5	2
5	3	2592	638,545,00	163,169,50	665,000,00	330,677,27	49,927,54
			0	0	0	3	9

**Tabel 8**  
**Hasil Optimasi Untuk Model 3**

Komponen	Jumlah perawata n	Keandalan	Rentang waktu perawatan	Tempat perawata n	jumlah perawatan sebelum pergantian	jadwal waktu pergantian
LO hand pump	13	0.50588081 2	1329.23	Semarang	1	1329.23
LO Stand by pump	17	0.51515870 7	1016.47	Jakarta	3	3049.41
LO Atache pump	17	0.55430816 8	1016.47	Jakarta	11	11181.18
LO Filter (pressure)	112	0.50311034 5	154.29	Jakarta	1	154.29
LO magnetik filter	82	0.51561951 6	210.73	Semarang	3	632.20
LO Cooler	27	0.51398040 6	640.00	Surabaya	3	1920.00
LO Storage	11	0.50666847 8	1570.91	Semarang	1	1570.91
Supercharge r	52	0.51653273 1	332.31	Jakarta	3	996.92
Air Cooler	11	0.55794313 1570.91	1570.91	Semarang	12	18850.91
Scavenging air	86	0.50767602 5	200.93	Semarang	2	401.86
Flexible Joint	17	0.53585472 6	1016.47	Jakarta	7	7115.29

Dengan melihat Tabel 7 Rekapitulasi biaya tiap model, nilai biaya rata-rata tiap bulan yang paling tinggi terjadi pada model 1 yaitu dengan rentang docking tiap satu tahun sekali. Nilai rata-rata pembiayaan perbulan diperoleh Rp 53,751,346,- .

Rentang waktu yang memberikan biaya paling minimal yaitu pada model 3 yang sesuai dengan interval perawatan yang didesain tiap 2 tahun untuk docking. Nilai rata-rata pembiayaan perbulan diperoleh Rp 49,728,735,-. Hal ini tentunya nanti akan berpengaruh terhadap pengajuan anggaran perawatan mesin pada pengajuan DIPA yang diperuntukkan setiap tahun yang harus dibagi dalam dua tahun pengajuan DIPA.

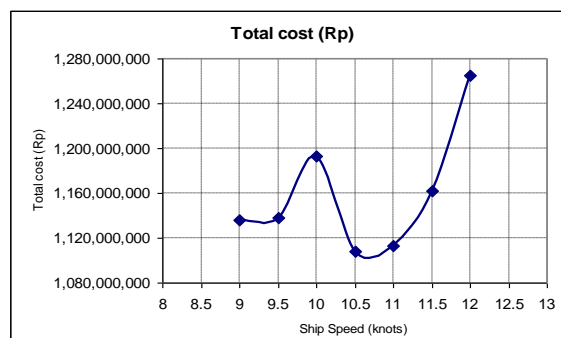
Pada Tabel 8 terlihat jumlah interval perawatan yang paling banyak terdapat pada komponen *LO Filter (pressure)*, hal ini berkaitan dengan nilai keandalan yang harus dicapai oleh komponen tersebut dalam nilai keandalan lebih dari 0.5 yang disyaratkan dalam pemodelan

optimasi. Hal ini juga berkaitan dengan interval perawatan yang paling kecil diantara komponen yang lain. Interval perawatan juga dipengaruhi dari komponen yang memiliki interval yang sama yaitu *LO Standby pump*, *LO Atache pump* dan *flexible joint* yang mempunyai interval yang sama dan perawatan yang dilakukan pada pelabuhan yang sama juga.

Pada kolom ke-7 (tujuh) pada Tabel 8 menunjukkan prediksi usia komponen setelah periode docking untuk dilakukan pergantian. Pergantian ini dilakukan dengan pertimbangan nilai keandalan komponen kurang dari yang diijinkan yaitu nilai keandalan 0.5. Hal ini juga harus mempertimbangkan model dari kegagalan komponen. Hanya komponen *LO filter (pressure)*, *LO Magnetik filter* dan *flexible joint* yang bisa diganti dengan yang baru. Ini dilakukan dengan pertimbangan bahwa pada pola kegagalannya. Untuk komponen yang lain tidak dapat dilakukan pergantian karena komponen tersebut pola kegagalannya memang tidak mengharuskan dapat diganti. Dan ini juga berhubungan dengan komponen yang lainnya yang mempengaruhi kegagalan komponen tadi. Sebagai contoh kegagalan pada komponen scavenge air yang dipengaruhi dari pembakaran mesin induk yang tidak sempurna. Dengan pembakaran yang tidak sempurna ini maka bahan bakar yang tidak terbakar akan berkumpul pada ruang scavenge air yang akan menyebabkan kotor dan bisa terbakar karena suhu dari ruang bakar yang tinggi. Tentu saja ini akan mengakibatkan komponen ini gagal dan harus dirawat lebih cepat dari biasanya.

Untuk mengetahui seberapa signifikan kecepatan kapal terhadap model 3 maka, kecepatan kapal dijadikan salah satu decision variable. Pada Gambar 9 akan divariasikan kecepatan kapal mulai dari 9 knots sampai dengan 12 knots. Kecepatan kapal 10.5 knots akan memberikan total biaya yang paling minimum. Sedangkan kecepatan 12 knots akan memberikan total biaya yang paling tinggi. Hal menunjukkan bahwa kecepatan kapal akan berpengaruh secara signifikan terhadap total biaya.

**Gambar 9**  
**Hubungan Total Biaya Dengan Kecepatan Kapal**



Untuk mengetahui sensitifitas dari unit biaya penalti terhadap model maka dilakukan variasi terhadap biaya penalti dari nilai Rp 10.000,- sampai Rp 70.000,-, dari Tabel 9 maka terlihat bahwa unit biaya penalti tidak berpengaruh secara signifikan terhadap jumlah perawatan dari dua docking untuk model ke-3. Unit biaya penalti hanya berpengaruh terhadap total biaya yang disebabkan dari variasi biaya penalti yang berpengaruh langsung terhadap total biaya penalti yang ada.

**Tabel 9**  
**Hasil Optimasi Model 3 Dengan Penalty Cost Yang Bervariasi**

Unit penalty cost Rp/hrs)	10,000	20,000	30,000	40,000	50,000	60,000
Jumlah perawatan yang dievaluasi						
LO hand pump	13	13	13	13	13	13
LO Stand by pump	17	17	17	17	17	17
LO Atache pump	17	17	17	17	17	17
LO Filter (pressure)	112	112	112	112	112	112
LO magnetik filter	82	82	82	82	82	82
LO Cooler	27	27	27	27	27	27
LO Storage	11	11	11	11	11	11
Supercharg er	52	52	52	52	52	52
Air Cooler	11	11	11	11	11	11
Scavenging air	86	86	86	86	86	86
Flexible Joint	17	17	17	17	17	17
Komponen biaya						
Maintenanc e cost	424,509,00 0	424,509,00 0	424,509,00 0	424,509,00 0	424,509,00 0	424,509,00 0
Operation cost	110,067,00 0	110,067,00 0	110,067,00 0	110,067,00 0	110,067,00 0	110,067,00 0
Downtime cost	445,000,00 0	445,000,00 0	445,000,00 0	445,000,00 0	445,000,00 0	445,000,00 0
Penalty Cost	42,782,727	85,565,455	128,348,18 2	171,130,90 9	213,913,63 6	256,696,36 4
Total cost	1,022,358, 727	1,065,141, 455	1,107,924, 182	1,150,706, 909	1,193,489, 636	1,236,272, 364
Average cost	42,598,280	44,380,894	46,163,508	47,946,121	49,728,735	51,511,348



**e. Perencanaan Biaya Perawatan dalam Pengajuan Anggaran DIPA**

Perencanaan penganggaran DIPA pada kapal latih dilakukan tiap tahun kedepan yang berjalan. Dengan melihat pola pembiayaan hasil optimasi yang paling optimal dari sistem yang dinilai dengan rentang perawatan dua docking selama dua tahun, maka pola pembiayaan ini harus dibagi menjadi dua periode. Periode yang direncanakan adalah satu tahun kedepan dan tahun kedua kedepan yang diasumsikan pada tahun 2014 dan tahun 2015 yang akan datang. Pembagian dalam pengajuan adalah 40% biaya pada tahun pertama dan 60% biaya pada tahun kedua. Ini dilakukan mengingat keadaan negara Indonesia yang selalu mengalami inflasi sehingga pada tahun kedua diperkirakan ada kenaikan dalam biaya perawatan tersebut.

Pertimbangan pengajuan anggaran ini adalah tingkat inflasi (*y-o-y*) tahun 2007 mencapai sebesar 6,59 persen, relatif sama dengan laju inflasi tahun 2006 (*y-o-y*) yang mencapai sebesar 6,60 persen. Berdasarkan komponennya, inflasi di 2007 terutama didorong oleh inflasi inti (dengan sumbangan 3,75 persen), *volatile food* (2,09 persen) dan *administered price* (0,75 persen). Inflasi inti di 2007 mencapai 6,29 persen, meningkat dibanding dengan 6,03 persen pada tahun 2006. Inflasi *administered price* mencapai 3,30 persen meningkat dibanding dengan 1,84 persen pada tahun 2006. Sementara itu, inflasi *volatile* menurun dari 15,27 persen di 2006 menjadi 11,41 persen pada tahun 2007.

Dengan melihat tingkat inflasi diatas maka pengajuan anggaran perawatan yang dalam dua tahun sebesar Rp.1.193.489.636,- dibagi menjadi dua bagian yaitu pada tahun pertama sebesar Rp 477.395.855,- atau Rp 39.782.988,- tiap bulannya. Sedangkan pada tahun kedua diajukan sebesar Rp. 716.093.782,- atau Rp 59.674.482,- tiap bulannya.

**3.5.1 Penggunaan Aplikasi RKAKL 2009 dalam Pengajuan DIPA**

Aplikasi ini digunakan oleh Satuan Kerja (Sat-Ker) di bawah Kementerian dan Lembaga negara dalam memudahkan dalam penyusunan anggaran. Aplikasi ini merupakan sistem informasi yang dapat digunakan oleh Politeknik Ilmu Pelayaran Semarang yang memiliki Rumah Tangga sendiri yang dapat menyusun anggaran pengelolaan yang nantinya akan diajukan bersama dengan seluruh satker di bawah Eselon I yaitu Badan Pengembangan SDM Perhubungan. Untuk penusunan ini dimulai dari penyusunan kertas kerja RKAKL.

**Gambar 10**  
**Tampilan Kertas Kerja RKA-KL**



NO	DESKRIPSI	JMLH	HARGA	JMLH	HARGA
1	PERAWATAN PERIKSA	1	477.395.855,00	1	477.395.855,00
2	PERAWATAN PERIKSA	1	716.093.782,00	1	716.093.782,00
TOTAL				2	1.193.489.636,00

### **Kesimpulan**

Dari pembahasan dan analisa pada penelitian ini bisa disimpulkan bahwa, rentang waktu yang memberikan biaya paling minimal yaitu pada model ke-3 yang sesuai dengan interval perawatan yang didesain tiap 2 tahun untuk docking. Lalu diketahui bahwa pengajuan pagu anggaran perawatan kapal latih dalam DIPA dengan menggunakan metode optimasi diperoleh nilai dalam dua tahun sebesar Rp.1.193.489.636,- yang terbagi dalam dalam dua tahun pengajuan anggaran yaitu pada tahun pertama sebesar Rp 477.395.855,- atau Rp 39.782.988,- tiap bulannya. Sedangkan pada tahun kedua diajukan sebesar Rp. 716.093.782,- atau Rp 59.674.482,- tiap bulannya.

## BLIBLIOGRAFI

- Artana, K. B., & Ishida, K. (2002). Spreadsheet Modeling Of Optimal Maintenance Schedule For Components In Wear-Out Phase. *Reliability Engineering & System Safety*, 77(1), 81–91.
- Borgovini, R., Pemberton, S., & Rossi, M. (1993). *Failure Mode, Effects, And Criticality Analysis (Fmeca)*. Reliability Analysis Center Griffiss Afb Ny.
- Hollands, G. J., French, D. P., Griffin, S. J., Prevost, A. T., Sutton, S., King, S., & Marteau, T. M. (2016). The Impact Of Communicating Genetic Risks Of Disease On Risk-Reducing Health Behaviour: Systematic Review With Meta-Analysis. *Bmj*, 352.
- Jardine, A. K. S., & Tsang, A. H. C. (2021). *Maintenance, Replacement, And Reliability: Theory And Applications*. Crc Press.
- Manuhutu, A. (2012). Optimalisasi Pola Perawatan Dan Perbaikan Terencana Sistem Pendingin (Cold Storage) 70 Ton Berdasarkan Analisa Keandalan. *Arika*, 6(1), 47–56.
- Masroeri, A. A., Priyanta, D., & Artana, K. B. (2000). Failure Rate Analysis Of 1000 Hp Main Engines Installed On Small General Cargo Ships: A Proof Of Wear-Out Period Of Installed Main Engines. *Proceedings Of Sixth International Syposium On Marine Engineering (Isme)*, 2.
- Munzilin, Y. K. (2016). *Perancangan Sekolah Tinggi Pelayaran Maritim Di Pantai Utara Lamongan: Tema Oceanic Ecology*. Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim.
- Priyanta, D., Siswanto, N., & Pratiwi, M. N. (2020). Implementation Of Reliability Centered Maintenance Method For The Main Engine Of Tugboat X To Select The Maintenance Task And Schedule. *International Journal Of Marine Engineering Innovation And Research*, 5(2), 102–110.
- Rikardo, E. C. (2022). *Analisis Kinerja Sistem Pendingin Air Laut Guna Mendukung Operasional Motor Induk Di Atas Kapal Mt Immanuel X*. Sekolah Tinggi Ilmu Pelayaran Jakarta.
- Roesch, W. J. (2012). Using A New Bathtub Curve To Correlate Quality And Reliability. *Microelectronics Reliability*, 52(12), 2864–2869.
- Smail, I., Hassan, R., Othman, M. R., Ahmad, A. S., & Tawfiq, N. E. (2017). Insider Risk Profile Matrix To Quantify Risk Value Of Insider Threat Prediction Framework. *Journal Of Theoretical & Applied Information Technology*, 95(20).
- Sujalu, A. P., Soegiarto, E., & Ruliana, T. (2021). *Matematika Ekonomi*. Zahir Publishing.
- Tijerina, M. B., & Monarrez, M. R. P. (N.D.). *Stress-Strength Weibull Analysis Applied To Estimate Reliability Index In Industry 4.0*.
- Uslarahmayana, U. (2022). *Sistem Perawatan Mesin Penggerak Kapal Ikan Berbasis Keandalan= Reliability-Based Fishing Boat Engine Maintenance System*. Universitas Hasanuddin.
- Yulianto, A. (N.D.). *Optimasi Pola Perawatan Dan Perbaikan Berbasis Keandalan Pada Mesin Syntax Literate*, Vol. 8, No. 5, Mei 2023

*Induk Tipe Bolnes/10 Dnl Dalam Perencanaan Pengajuan Anggaran Dipa Di Kapal Latih Taruna Pip Semarang.*

American Bureau of Shipping (Desember 2003), "Guide for Survey Based on Reliability-Centered Maintenance", Incorporated by Act of Legislature of the State of New York 1862.

Artana, Ketut B, Ishida K(2002), "Spreadsheet of optimal maintenance schedule for components in wear-out phase" Departemen of energy-mechanical engineering, Kobe University of Mercantile Marine, Higashi Nada-ku, Fukuda Minamina hi 658-0022, 5-1-1 Japan.

Artana, Ketut B (1998), "Analisa keandalan (reliability) sistem pendingin motor induk di kapal", Jurnal Teknologi Kelautan, Vol.2, No. 2 September 1998 :35 – 41.

Departemen Keuangan Republik Indonesia (2007), "Peraturan Menteri Keuangan No 81/PMK.02/2007 tentang standar biaya tahun anggaran 2008,".

Jardine A.K.S. (1973), "Maintenance, Replacement, and Reliability", Departemen of Engineering Production University of Birmingham.

Kececiogly, dimitri (1991), "Reliability engineering handbook volume II PTR prentice hall", Englewood claffs, New Jersey.

Moubray John (1997), "Reliability-centered-maintenance second edition", Industrial press inc. New York

Manual Book mesin induk type Bolnes/ 10 DNL

Masroeri, AA, Priyanta, D and Artana, KB. (2000), "Failure Rate Analysis of 1000 hp Main Engine Installed on Small General Cargo Ships: a Proof of Wear Out Period of Installed Main Engines", *Proceedings of Sixth International Symposium on Marine Engineering (ISME)*, Vol.2

Mettas, Adamantios, 2000, "Reliability Allocation and Optimazation for Complex System", Reliasoft Corporations, Tucson.

NK (1983), "Rule and Regulations of the Construction and Classification of Ships," Nippon Kaiji Kyokai, Japan

Nota keuangan dan Rancangan Undang-Undang Republik Indonesia tentang Perubahan atas Undang-Undang Nomor 45 tahun 2007 tentang Anggaran Pendapatan dan Belanja Negara tahun Anggaran 2008

Priyanta Dwi (2000),” Keandalan dan Perawatan”, Jurusan Teknik Sistem Perkapal, Fakultas  
Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya

Rasmussen, M. (1990), “Lower Maintenance Cost Through Maintenance Optimization in Design  
and Operation,” *Proceedings, ICMES*.

---

**Copyright holder:**

Andri Yulianto (2023)

**First publication right:**

Syntax Literate: Jurnal Ilmiah Indonesia

**This article is licensed under:**

