

**OPTIMIZE MAINTENANCE PATTERN AND PLANNED REPAIR OF MAIN ENGINE
TYPE DEUTZ AG TBD 620 V 16 KRI SULTAN NUKU -873**

Ponidi

Prodi Teknik Mesin, Universitas Muhammadiyah Surabaya

ponidi_72@yahoo.com, ponidist@gmail.com

ABSTRACT

Warships of the Republic of Indonesia (KRI) is one of the prime weapons systems that has an important role in order to accomplish operation of the Indonesian Navy. One of type warship the Navy owned Koarmatim Ujung Surabaya is KRI.Sultan Nuku-873. This Warship consist of the amount of vital sistem that need maintenance of prevent system reliability and availability. One of vital sistem in Warship operation is engine system.

Government budgeting is one of reasoning that task maintenance of engine system Warship nowadays just based upon maintenance manual book, its means determine components residual life time, component replaced if failed only. Such a thing resulted higher pinalty cost is failed occur in operation. Recently, engine system in warships have failure rate that gradually increase year by year. This is especially because of high flight hours and old components. That requires a maintenance method that can improve the reliability KRI trend for increased damage to critical engine components can be reduced, one method that can be used is to create a pattern of planned maintenance and repairs on engines with a minimum cost.

From the analysis has been done on the basis of data damage to the engine components can be know failure rate distribution, the value of reliability, probability of failure and failure rate. From the four parameters were added to the data amount of the costs of replacement, it can be made system modeling and calculation optimization in order to obtain the interval of time and optimal replacement costs based on the value of Cost-Benefit Ratio for the lowest, and the risk matrix that underlies the determination whether or not to do the replacement parts.

The optimization result show that with 7 components warships through ,the optimum interval task replacement between 3124 to 5525 hours, and the minimal total replacement cost between \$ 165,00 to \$ 1250,00. The risk matrix result show that with applied this model, failed occur risk of each components , between 1-8 failed every 10^5 to 10^6 hours.

Keywords: *Interval time replacement, critical components, Reliability, Engine*

1. PENDAHULUAN

Indonesia sebagai Negara kepulauan yang memiliki luasan laut yang lebih besar dari luas daratan, memerlukan kekuatan armada laut dalam hal ini TNI-AL dan Armada kapal Perangnya untuk menjaga kedaulatan Negara kesatuan Republik Indonesia (NKRI) dari ancaman dan gangguan dari pihak-pihak tertentu dan untuk menjaga keamanan wilayah laut Republik Indonesia.

Guna mendukung kegiatan operasi tersebut di atas kapal perang yang dimiliki TNI-AL harus selalu dalam kondisi siap dan handal di setiap operasinya. Tetapi perlu diingat bahwasanya sebageian besar kapal perang yang dimiliki oleh TNI-AL adalah kapal-kapal bekas yang diimport dari negara-negara lain, misalnya : Rusia , Jerman , jepang dan Belanda .

Kondisi Armada Kapal perang mulai tahun 2000-an sudah mengalami perubahan dengan dibelinya beberapa kapal perang baru dari Belanda dan Korea diantaranya : KRI. Surabaya-591, KRI. Makassar-590, KRI. Banjarmasin-592 , KRI. Dr. Soeharso -990, KRI. Sigma (Ship

Integrated Geometrical Modularity Approach)
Class yaitu : KRI.Frans Kaisiepo-368, KRI.Sultan Iskandar Muda-367, KRI. Diponegoro-365, KRI.Hasanudin- 366 dll.

Kapal KRI. Sultan Nuku-873 didesign untuk kondisi anti kapal selam pada perairan dangkal / pantai, jumlah kapal perang sejenis korvet kelas parchim sebanyak 16 (enam belas) buah . Keenam belas buah kapal ini dibuat untuk volksmarine dan 12 (dua belas) kapal di modifikasi untuk kepentingan Angkatan Laut Uni Sovyet pada tahun 1985-1990 oleh Peenewerft Wolgast. Setelah penyatuan kembali Jerman, bekas negara Jerman Timur menjual kapal- kapal ini ke TNI-AL Indonesia pada tahun 1992 dan kemudian di modifikasi dan diperbaiki oleh PT.PAL Indonesia Disamping itu karena keterbatasan dana yang dimiliki oleh TNI AL memaksa pembelian kapal-kapal bekas merupakan suatu alternatif pilihan yang bisa dipakai guna menunjang kegiatan operasi tersebut. Kebanyakan dari kapal-kapal bekas yang telah dimiliki adalah buatan tahun 1970-an sehingga menyebabkan kebanyakan dari sistem

penggerak Mesin Diesel yang terpasang telah sangat tua dan seharusnya telah dilaksanakan penggantian terhadap sistem penggerak mesin diesel tersebut (Repowering). Dengan kondisi yang demikian maka diperlukan suatu management pola perawatan dan perbaikan yang terencana dengan baik, agar kapal setiap saat siap untuk melaksanakan operasi. Perawatan dan perbaikan motor pokok merupakan fungsi kegiatan yang penting, sebab dengan adanya perawatan dan perbaikan yang baik sangat mendukung fungsi operasi dan diharapkan mampu menekan tingkat kecelakaan kapal di laut. Dalam usaha untuk dapat menggunakan terus fasilitas /peralatan motor pokok dibutuhkan kegiatan perawatan yang meliputi kegiatan pengecekan, perawatan dan perbaikan, serta penggantian komponen yang rusak.

Berberapa manfaat yang akan didapat dengan melaksanakan perawatan secara terencana dengan baik diantaranya adalah sebagai berikut :

- a. Motor pokok akan mempunyai usia pakai (Life Time) yang panjang.
- b. Pelaksanaan operasi dapat berjalan dengan lancar karena jarang terjadi kemacetan yang diakibatkan oleh motor pokok.
- c. Dapat menekan sekecil mungkin terjadinya kerusakan yang berat atau total akibat komponen /sistem pada motor pokok
- d. Bisa menghemat biaya perawatan karena biaya yang dikeluarkan untuk perawatan relatif lebih murah.

Adapun data kerusakan komponen kritis yang mewakili populasi sampel tersebut adalah: Exhaust valve, Inlet Valve , Nozzle, F.O Pump, Piston Ring, Con Road Bearing dan Main Bearing . Data kerusakan komponen diketahui dari catatan jurnal perbaikan kapal sehingga dapat diketahui keandalan, MTBF, MTTF dan kesiapan operasi dari kapal. Berkaitan dengan permasalahan tersebut, maka perlu dilakukan pengkajian yang mendalam guna mengetahui kapan terjadinya kegagalan pada setiap komponen yang dipakai sebagai dasar untuk menentukan pola perawatan / perbaikan dengan terencana (Planned Maintenance system).

2. FUNGSI KEANDALAN

Menurut Hoyland (1994:4), fungsi keandalan merupakan fungsi yang mewakili probabilitas bahwa sebuah komponen tidak akan rusak dalam interval waktu (0,t) dan hal ini dinyatakan dengan persamaan :

$$R(t) = 1 - F(t) = P(T > t) = \int_0^{\infty} f(t) dt \tag{1}$$

2.1 Model Kerusakan

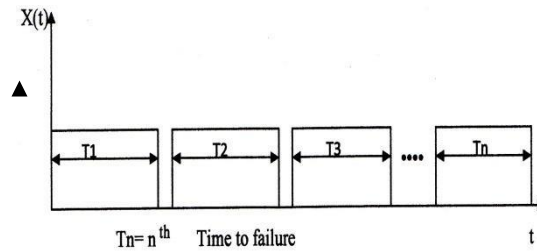
Menurut Hoyland (1994:4), Model kerusakan dari suatu komponen atau sistem secara umum dapat diekspresikan dalam persamaan (1) Gambar

yang menunjukkan hubungan antara state variabel X(t) dengan waktu kerusakan TTF .

$X(t) = \{0$ jika komponen gagal pada waktu t, dan 1 jika komponen berfungsi pada waktu t (2)

Dimana :

$X(t) =$ Hubungan antara state variabel dan waktu antar kerusakan dari sebuah komponen.



Gambar 2.1 Hubungan antara Variabel dan waktu antar kerusakan dari sebuah komponen .

Waktu kerusakan T, dari sebuah failure mode dapat mengikuti salah satu dari distribusi-distribusi seperti normal, eksponensial, weibull, ataupun distribusi lainnya. Model kerusakan juga dapat ditentukan dengan mengumpulkan data data kerusakan dari failure mode yang dianalisis.

Fungsi Distribusi Kumulatif/CDF (Cumulatif Distribution Function) dan Fungsi kepadatan/PDF (Probability Desity Function)

Dengan mengasumsikan bahwa TTF terdistribusi secara kontinu dengan probabilitas fungsi kepadatan (pdf) f(t) , maka probabilitas suatu komponen akan gagal dalam interval waktu (0,t), sehingga dapat dinyatakan dengan persamaan sebagai berikut :

$$F(t) = P(T \leq t) = \int_0^t f(t) dt$$

(3)

Dimana :

F(t) = fungsi distribusi kumulatif (*cdf*) dari variabel acak t.

Persamaan (3) dapat juga disebut sebagai fungsi dari ketidakandalan (Unreliability) dan dinyatakan dengan Q(t).

Probabilitas fungsi kepadatan (*pdf*) dari variabel acak t dapat ditentukan dari persamaan (3) dengan mengambil turunan dari F(t) terhadap t seperti ditunjukkan pada persamaan (4) sebagai berikut :

$$f(t) = \frac{d}{dt} F(t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{F(t + \Delta t) - F(t)}{\Delta t} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{P(t < T < t + \Delta t)}{\Delta t}$$

(4)

Laju Kerusakan

Menurut Abdullah Alkaff (1992:6), Laju kerusakan adalah menyatakan banyaknya kerusakan yang terjadi tiap satuan waktu, misalkan dari suatu eksperimen terhadap sejumlah komponen /

peralatan yang sejenis sejumlah $N(0)$ yang dioperasikan secara bersamaan, dicatat seberapa banyak komponen yang masih beroperasi pada saat t , misal $N(t)$. Kemudian dicatat pula banyaknya komponen yang masih beroperasi pada saat $t + \Delta t$, sehingga diperoleh :

- Banyaknya komponen yang rusak dalam interval $(t, t + \Delta t)$ adalah :

$$N(t) - N(t + \Delta t) \quad (5)$$

- Banyaknya komponen yang rusak persatuan waktu adalah:

$$\frac{N(t) - N(t + \Delta t)}{\Delta t} \quad (6)$$

- Banyaknya kerusakan relatif persatuan waktu adalah :

$$\frac{N(t) - N(t + \Delta t)}{N(t) \Delta t} \quad (7)$$

Secara grafis dapat digambarkan sebagai berikut :

Jika diambil pengamatan sesaat, yakni untuk Δt mendekati 0 (Δt)

$$\lambda(t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{N(t) - N(t + \Delta t)}{N(t) \Delta t} \quad (8)$$

$$\lambda(t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\frac{N(t)}{N(0)} - \frac{N(t + \Delta t)}{N(0)}}{\frac{N(t)}{N(0)} \Delta t} \quad (9)$$

$\frac{N(t)}{N(0)}$ = Proporsi banyaknya komponen yang masih beroperasi sampai dengan saat t
 \approx Probabilitas peralatan / komponen yang masih beroperasi pada saat t
 $R(t) \approx$ Keandalan peralatan / komponen
 Sehingga :

$$\lambda(t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{R(t) - R(t + \Delta t)}{R(t) \Delta t} \quad (10)$$

$$\lambda(t) = \frac{-1}{R(t)} \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{R(t + \Delta t) - R(t)}{\Delta t}$$

$$\lambda(t) = \frac{-R'(t)}{R(t)} = \frac{fT(t)}{R(t)}$$

Maka : $\lambda(t) = -\frac{R'(t)}{R(t)}$

(11)

$$\int_0^t \lambda(x) dx = -\int_0^t \frac{R'(x)}{R(x)} dx = -\int_0^t \frac{dR(x)}{R(x)}$$

$$= -\ln R(x) \Big|_0^t = \ln R(t) + \ln R(0) = -\ln R(t)$$

$$R(t) = \exp \int_0^t \lambda(x) dx$$

(12)

Fungsi $\lambda(t)$ diatas disebut laju kerusakan sesaat, dan lebih dikenal sebagai fungsi kerusakan (Hazard Function/ instantaneous failure) $h(t)$ dan $\int h(t) dt = H(t)$ disebut Integreted Hazard function .

Failure rate dapat juga ditulis sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \lambda(t) &= \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{R(t) - R(t + \Delta t)}{R(t) \Delta t} \\ &= \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{P(T > t) - P(T > t + \Delta t)}{P(T > t) \Delta t} \\ &= \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{P(t < T \leq t + \Delta t)}{P(T > t) \Delta t} \\ &= \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{P(T > t \text{ dan } T \leq t + \Delta t)}{P(T > t) \Delta t} \end{aligned}$$

Karena $P[B|A] = \frac{P(A \cap B)}{P[A]}$

$$= \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{P(T \leq t + \Delta t | T > t)}{\Delta t} \rightarrow 0), \text{ maka akan diperoleh laju kerusakan } \lambda(t)$$

(13)

$$\lambda(t) \Delta t \approx P(T \leq t + \Delta t | T > t)$$

= Menyatakan probabilitas komponen yang sampai saat t belum rusak, dan akan terjadi kerusakan paling lambat pada saat Δt lagi .

Funghi rata- rata sisa umur (Mean Residual Life Time / MRL Function)

Dalam penggunaan selama kurun waktu tertentu secara terus menerus dan belum mengalami kegagalan, maka ekspektasi sisa waktu rata rata masa pakainya atau Mean residual life time (MRL) function dapat dicari dengan persamaan sebagai berikut :

$$MRL(t) = \frac{1}{R(t)} [MTTF - \int_0^t R(t) dt] \quad (14)$$

Pola kerusakan (Failure Pattern)

Pemahaman bahwa mode kerusakan (Failure mode) peralatan dapat menunjukkan pola kerusakan berbeda dan memiliki implikasi penting dalam menentukan strategi perawatan yang sesuai. Menurut Hoyland (1994:14) terdapat enam pola kerusakan yang berbeda yaitu :

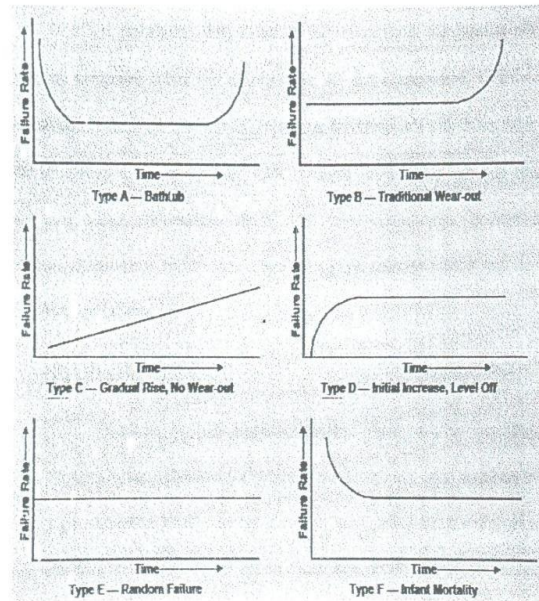
- Pola A = Bathhtub Curve
- Pola B = Traditional Wear out
- Pola C = Gradual Rise With no Distintive Wear out Zone
- Pola D = Initial Increase With Leveling off
- Pola E = Random
- Pola F = Infant Mortality

Pada kebanyakan mode kerusakan peralatan, pola kerusakan spesefik tidak diketahui dan pengetahuan detail tidak diperlukan untuk membuat

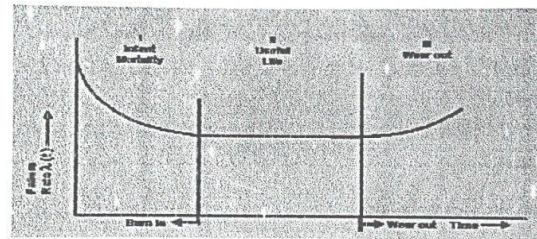
keputusan terhadap pola perawatan. Namun, informasi karakteristik karakteristik dari kerusakan tertentu diperlukan untuk membuat keputusan terhadap pola perawatan . Adapun macam macam karakteristik tersebut adalah sebagai berikut :

- a. Wear in Failure yakni didominasi oleh perangkat perangkat yang “lemah “ (weak member), misalnya kesalahan proses manufacture (Manufacture defect). Karakteristik ini dikenal juga sebagai kerusakan Burn in / infant Mortality.
- b. Random Failure yakni didominasi oleh kerusakan yang tidak dapat diprediksi/karena adanya suatu kesempatan / keadaan (Change Failure) . Karakteristik ini ditandai dengan laju kerusakan konstan dan distribusi kerusakan menunjukkan distribusi eksponensial.
- c. Wear Of Failure yakni di dominasi oleh masa akhir pakai peralatan . Karakteristik ini ditandai dengan dengan meningkatnya laju kerusakan dan distribusi kerusakan menunjukkan distribusi Weibull.

Karakteristik-karakteristik ini ditunjukkan pada Gambar 2.6 secara sederhana , ketiga karakteristik kerusakan peralatan tersebut mempresentasikan mode kerusakan peralatan sehingga dapat diperoleh gambaran dalam menentukan strategi perawatan yang sesuai. Sebagai contoh pola yang tidak memiliki daerah wear out yang jelas yakni pola C sampai F mungkin tidak memberi keuntungan jika melakukan “Rebuilding” atau penggantian (Replacing) bagian bagian peralatan . Hal tersebut dapat diakibatkan oleh meningkatnya kerusakan karena Infant Mortality(pola F) dan / kesalahan manusia (Human Error) selama pelaksanaan tugas perawatan . Jika sebuah mode kerusakan peralatan menunjukkan pola wear out, maka rebuilding atau penggantian bagian-bagian peralatan dapat merupakan sebuah strategi yang sesuai. Dengan demikian pemahaman terhadap laju kerusakan dapat membantu dalam penentuan apakah perawatan atau redesign peralatan yang diperlukan dan memberikan gambaran terhadap frekwensi tugas perawatan yang harus dilakukan . Oleh karena itu diperlukan pemahaman terhadap jenis-jenis tugas perawatan yang harus dilakukan . Oleh sebab itu, diperlukan pemahaman terhadap jenis-jenis tugas perawatan dan hubungannya terhadap karakteristik kerusakan .Untuk menentukan jenis-jenis distribusi dari karakteristik kerusakan tersebut digunakan perangkat lunak Weibull ++



Gambar. 2.5 Pola Pola Kerusakan



Gambar 2.6 Periode-Periode usia pakai peralatan **Distribusi Probabilitas**

Distribusi probabilitas yang umum digunakan untuk menganalisa pola perawatan komponen antara lain distribusi Weibull dan eksponensial . Distribusi Weibull dapat menggambarkan kondisi failure rate dari komponen baik dalam area DFR (Decreasing Failure Rate), CFR (Constan Failure rate), IFR (Increasing Failure Rate) melalui variasi nilai shape parameternya. Sedangkan distribusi eksponensial dapat memodelkan khususnya constan failure rate dari kerusakan suatu komponen.

2.6.1 Distribusi Weibull

Distribusi Weibull banyak digunakan dalam melakukan analisa keandalan, terutama untuk melakukan perhitungan umur komponen. Jenis distribusi ini juga merupakan salah satu dari distribusi yang paling banyak digunakan dalam bidang rekayasa keandalan. Hal ini dikarenakan distribusi tersebut memiliki kemampuan untuk memodelkan data-data yang berbeda dan banyak dengan pengaturan nilai parameter bentuk β .

Menurut Hoyland (1994 : 14), Distribusi Weibull dapat disajikan dalam bentuk dua / tiga parameter. Fungsi Pdf dari ketiga parameter distribusi Weibull dinyatakan dengan :

$$F(t) = \frac{\beta}{\eta} \left[\frac{t-\gamma}{\eta} \right]^{\beta-1} e^{-\left[\frac{t-\gamma}{\eta} \right]^{\beta}} \quad (15)$$

Dimana :

β = Parameter bentuk $\beta > 0$

\diamond = Parameter skala $\diamond > 0$

\diamond = Parameter lokasi $\diamond < \text{waktu kerusakan pertama kali}$

Fungsi keandalan distribusi weibull dapat dinyatakan dengan :

$$R(t) = e^{-\left[\frac{t-\gamma}{\eta} \right]^{\beta}} \quad (16)$$

Laju kerusakan dapat dinyatakan dengan :

$$\lambda(t) = \frac{\beta}{\eta} \left[\frac{t-\gamma}{\eta} \right]^{\beta-1} \quad (17)$$

Jika $\diamond = 0$ maka diperoleh distribusi weibull dengan dua parameter

Jika $\beta > 1$ maka pdf pada $t = \diamond$ besar pdf sama dengan nol, begitu juga laju kerusakan sama dengan nol konsekwesinya nilai keandalannya $R(t)=1$. Lihat persamaan (15) untuk pdf dan persamaan (16) $R(t)$ serta persamaan (17) untuk $\lambda(t)$ semakin besar, nilai \diamond suatu komponen, maka probabilitas komponen tersebut rusak akan semakin kecil (Pers.16).

Jika nilai \diamond komponen A lebih besar dari pada komponen B, maka nilai keandalan komponen B lebih cepat menurun dari pada komponen A.

2.6.2 Distribusi eksponensial

Distribusi eksponensial banyak digunakan dalam rekayasa keandalan karena distribusi ini dapat mempresentasikan fenomena distribusi waktu yang mengalami kegagalan dari suatu komponen / sistem.

Menurut Abdullah Alkaff (1992:13), fungsi kepadatan distribusi eksponensial dinyatakan dalam persamaan :

$$F(t) = \lambda e^{-\lambda t}; t > 0, \lambda > 0 \quad (18)$$

Dan fungsi distribusi kumulatifnya adalah :

$$F(t) = 1 - e^{-\lambda t} \quad (19)$$

Dimana :

t = Waktu

λ = Rasio kegagalan konstan (constan failure rate)

Fungsi keandalanya adalah :

$$R(t) = 1 - F(t) = e^{-\lambda t} \quad (20)$$

Laju kerusakan (Failure rate)

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)} = \lambda \quad (21)$$

$$MTTF = \int_1^{\infty} R(t) dt = \frac{1}{\lambda} \quad (22)$$

2.6.3 Distribusi Normal

Menurut Jardine (1973), Distribusi Normal (Gaussian) berguna untuk menggambarkan pengaruh pertambahan waktu ketika dapat mensepesifikasikan waktu antar kerusakan berhubungan dengan ketidakpastian, distribusi normal mempunyai rumusan sebagai berikut :

$$f(t) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{(t-\mu)^2}{2\sigma^2}\right] \text{ untuk } -\infty \leq t \leq \infty$$

Dimana :

σ = Deviasi standart dari variabel acak t

μ = Rata-rata dari variabel acak t

Fungsi keandalan dari distribusi normal adalah :

$$R(t) = \int_1^{\infty} \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-1/2\left[\frac{t-\mu}{\sigma}\right]^2} dt = 1 - \Phi\left[\frac{t-\mu}{\sigma}\right] \quad (24)$$

Dimana :

Φ = Fungsi CDF dari distribusi normal

Laju kerusakan dari distribusi normal dapat diperoleh dengan menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)} = \frac{\frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-1/2\left[\frac{t-\mu}{\sigma}\right]^2}}{\int_1^{\infty} \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-1/2\left[\frac{t-\mu}{\sigma}\right]^2} dt} \quad (25)$$

3. ANALISA DATA

3.1. Analisa Kegagalan dengan metode FMECA dan Penentuan Komponen Kritis

Untuk menganalisa kegagalan fungsional komponen dibuat sebuah Worksheet Failure Mode Effects and Criticality Analysis (FMECA), Lihat Lampiran 2 .

Kerusakan yang terjadi dibagi sesuai kategori failure effect seperti tabel dibawah ini :

Tabel 3.1 Kategori Failure Effects dari Komponen-Komponen Engine MPK

PART NUMBER	NAMA KOMPONEN	FAILURE EFFECTS	
		KATEGORI	DEFINISI
DZ 12300235	Exhaust Valve	Marginal	Sistem mengalami penurunan fungsi kerja
DZ 12304754	Inlet Valve	Marginal	Sistem mengalami penurunan fungsi kerja
DZ 12302711	Nozzle	Marginal	Sistem mengalami penurunan fungsi kerja
DZ 12136975	F.O Pump	Marginal	Sistem mengalami penurunan fungsi kerja
DZ 12303205	Piston Ring	Critical	Sistem tidak dapat berfungsi sesuai ketentuan
DZ 12300384	Con road Bearing	Catastrophic	Menyebabkan Sistem Shutdown
DZ 12302034	Main Bearing	Catastrophic	Menyebabkan Sistem Shutdown

Dari Tabel 3.1 diketahui bahwa 1 buah komponen yang masuk kategori Critical, yaitu :

Piston Ring , 4 buah komponen masuk kategori Marginal dan 2 buah komponen masuk kategori Catastrophic.

Untuk kategori Catastrophic dan Critical dapat dikategorikan sebagai komponen Kritis ,sedangkan untuk kategori Marginal dapat dikatakan berpotensi untuk menjadi komponen kritis karena telah terjadi penurunan fungsi kerja komponen.

Analisa Jenis Distribusi Kerusakan

Dengan menggunakan Software Weibull ++ data kerusakan yang diolah menunjukkan bahwa seluruh komponen berdistribusi Weibull dengan 2 parameter, artinya bahwa komponen yang diteliti menunjukkan peningkatan laju kerusakan seiring dengan lamanya jam operasi. Dengan melihat hal tersebut dapat dikatakan bahwa komponen-komponen diatas layak untuk diperbaiki atau diganti guna meningkatkan nilai keandalannya.Dari pengujian distribusi kerusakan dengan menggunakan Software Weibull ++ ,dapat ditabulasikan seperti tabel berikut :

Tabel 3.2 Parameter Distribusi

PART NUMBER KOMPONEN	NAMA KOMPONEN	PARAMETER DISTRIBUSI	
		β	η
DZ 12300235	Exhaust Valve	2,553482	9463,151253
DZ 12304754	Inlet Valve	3,313359	10356,833436
DZ 12302711	Nozzle	1,572193	8262,065008
DZ 12136975	f.o. Pump	4,975744	10230,83368
DZ 12303205	Piston Ring	1,299515	8498,324567
DZ 12300384	Con rod Bearing	5,116944	9830,289196
DZ 12302034	Main Bearing	3,313359	10356,83344

Analisa Nilai Keandalan, Probability of Failure dan Failure Rate sebelum Optimasi

Dari tabel 3.2 diatas maka nilai Keandalan, probability of Failure dan Failure ratesebelum dilakukan penggantian dapat diketahui dan digambarkan seperti lampiran 4 & 5 sehingga bisa ditabulasikan sebagai berikut :

Tabel 3.3 Tabel Nilai keandalan, Probability of Failure, dan Failure rate sebelum Optimasi

Nama Komponen	Waktu Penggantian	Nilai Keandalan	Probability Of Failure	Failure Rate	PDF
Exhaust Valve	4645	0,999991	0,000009	2,298057 e - 007	2,298057 e - 007
Inlet Valve	9292,128	1,00	2,102955 e - 007	6,967844 e - 007	6,967844 e - 007
Nozzle	7420,006781	0,999032	0,000968	0,000015	0,000015
f.o.Pump	9390,990592	1,00	9,981516 e - 011	4,966546 e - 012	4,966546 e - 012
Piston Ring	7849,444994	0,996895	0,003105	0,000004	0,000004
Con Rod Bearing	9037,916665	1,00	6,370138 e - 011	3,259565 e - 012	3,259565 e - 012
Main Bearing	9292,128013	1,00	2,102955 e - 007	6,9678844 e - 009	6,9678844 e - 009

Dari Tabulasi diatas dapat diketahui bahwa komponen Fo.Pump memiliki nilai keandalan tertinggi, sehingga komponen tersebut juga memiliki probability of Failure terendah, demikian juga dengan piston ring memiliki nilai keandalan terendah dan probability of failure tertinggi.

Analisa Data Hasil Proses Optimasi Dengan Program Solver

Interval Waktu Penggantian Komponen

Data-data optimasi dari proses program solver dapat dilihat pada lampiran 10. Adapun penentuan data optimasi diambil dengan pertimbangan-pertimbangan sebagai berikut :

- 1.Batas minimum yang dipersyaratkan untuk suatu komponen dioperasikan yaitu sebesar 0,99 % (Sesuai batasan dari Team Kelaikan Armatim).
- 2.Pernyataan hasil proses optimasi yang dilakukan oleh Excel solver, yakni : “Solver memperoleh sebuah penyelesaian, dimana semua batasan kondisi optimal terpenuhi” (Solver found a solution ,all constrain and optimality are satisfied).

Dari optimasi yang dilakukan diperoleh hasil interval waktu penggantian komponen sebagai berikut :

Tabel 3.4 Hasil optimasi interval waktu penggantian

Nama Komponen	Waktu Penggantian	Nilai Keandalan	Probability Of Failure	Failure Rate	PDF
Exhaust Valve	3920	0.990885246	0.099046	6.6 E -05	6.6 E -05
Inlet Valve	5300	0.991245613	0.103431	6.0 E -06	6.0 E -06
Nozzle	3124	0.990469667	0.190931	1.0 E-05	1.0 E-05
f.o.Pump	4650	0.990179965	0.018603	2.2 E-05	2.2 E-05
Piston Ring	4520	0.990285561	0.375994	2.6 E-05	2.6 E-05
Con Rod Bearing	4630	0.990178893	0.020832	2.3 E-05	2.3 E-05
Main Bearing	5525	0.991134651	0.117708	7.4 E-05	7.4 E-05

Tabel 3.4 diatas menunjukkan bahwa komponen Nozzle memiliki waktu penggantian tercepat, yaitu: 3124 jam, sedangkan komponen dengan waktu penggantian terlama yaitu : 5525 jam adalah Main bearing.

Biaya Penggantian Komponen

Biaya Penggantian Komponen hasil optimasi dapat dilihat pada tabel berikut :

Tabel 3.5 Hasil Optimasi Biaya penggantian

No	Nama Komponen	Interval Task	Biaya Penggantian sebelum kerusakan	Biaya penggantian setelah kerusakan	CBR
1	Exhaust Valve	3920	\$ 290.00	\$ 5,100	0,031973365
2	Inlet Valve	5300	\$ 165.00	\$ 5,050	0.033959774
3	Nozzle	3124	\$ 225.00	\$ 5,125	0.025819104
4	f.o. Pump	4650	\$ 190.00	\$ 5,100	0.029442953
5	Piston Ring	4520	\$ 545.00	\$ 5,150	0.085996951
6	Con Rod Bearing	4630	\$ 860.00	\$ 5,180	0.131709112
7	Main Bearing	5525	\$ 1250.0	\$ 5,225	0.238586773

Berdasarkan tabel diatas dapat diketahui bahwa biaya penggantian adalah efektif, hal ini terbukti dengan besarnya nilai CBR yang optimal, yaitu besarnya nilai CBR < 1. Dari tabel 3.5 diketahui

bahwa besarnya biaya penggantian sangat dipengaruhi besarnya harga komponen. Komponen yang memiliki biaya penggantian sebelum kerusakan termurah adalah inlet valve sebesar \$ 165, dan yang termahal adalah Main Bearing sebesar \$ 1250

Analisa Risk Matrik

Dari data failure setelah proses optimasi(Tabel 3.4) , kemudian dapat disusun tabel severity of frequency guna mengelompokkan failure rate pada masing masing komponen berdasarkan frekwensi terjadinya kerusakan seperti tabel 3.6 dibawah. Dan dari tabel tersebut dapat diketahui bahwa dengan menerapkan interval waktu penggantian yang baru ,berdasarkan frekwensi terjadinya kerusakan, maka komponen:

- Inlet Valve memiliki severity of frequency terendah,yaitu 6 kali kerusakan dalam 10^6 jam.
- Main Bearing memiliki severity of frequency tertinggi,yaitu 8 kali kerusakan dalam 10^5 jam.

Tabel 3.6 Severity Of Frequency

No	Nama Komponen	Severity Of Frequency	
		Definisi	Keterangan
1	Exhaust Valve	Occasional	Terjadi 7 kali kerusakan tiap 10^5 jam
2	Inlet Valve	Remote	Terjadi 6 kali kerusakan tiap 10^6 jam
3	Nozzle	Occasional	Terjadi 1 kali kerusakan tiap 10^5 jam
4	f.o. Pump	Occasional	Terjadi 3 kali kerusakan tiap 10^5 jam
5	Piston ring	Occasional	Terjadi 3 kali kerusakan tiap 10^5 jam
6	Con Rod Bearing	Occasional	Terjadi 3 kali kerusakan tiap 10^5 jam
7	Main Bearing	Occasional	Terjadi 8 kali kerusakan tiap 10^5 jam

Dari Tabel 3.1 dan 3.6 , dapat diketahui bahwa dengan menerapkan interval waktu penggantian yang baru, dapat disusun suatu matriks resiko berupa peringkat resiko pada masing masing komponen, seperti tabel berikut ini :

Tabel 3.7 Rating of Risk

No.	Nama Komponen	Rating Of Risk
1	Exhaust Valve	Dapat diterima
2	Inlet Valve	Dapat diterima
3	Nozzle	Dapat diterima
4	F.O Pump	Dapat diterima
5	Piston Ring	Sedang
6	Con Rod Bearing	Tinggi
7	Main Bearing	Tinggi

Dari tabel 3.7 dapat diketahui bahwa :

- ❖ Lima buah komponen memiliki resiko yang masih dapat diterima ,artinya resiko yang dapat diterima ditinjau sebagai

rancangan yang sudah matang,yaitu :

- a. Exhaust Valve
- b. Inlet Valve
- c. Nozzle
- d. f.o. Pump

- ❖ Komponen memiliki resiko sedang, artinya memerlukan tinjauan ulang terhadap dapat diterimanya resiko, yaitu : Piston Ring.

- ❖ Komponen memiliki resiko yang tinggi, artinya : memerlukan perbaikan untuk mengeliminasi bahaya atau pemeriksaan, yaitu :
 - a. Con Rod Bearing
 - b. Main Bearing.

4.KESIMPULAN

Dari analisa dan pembahasan yang telah dilakukan pada bab sebelumnya, dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Analisa terhadap mode-mode kerusakan yang terjadi pada Motor Pokok Deutz AG TBD 620 V 16 sangat penting dilakukan untuk mengetahui mode-mode kerusakan komponen kritis yang dapat menyebabkan kegagalan fungsi komponen subsistem, atau bahkan sistem. Selama ini waktu penggantian komponen Motor Pokok hanya dilakukan berdasarkan Unsheduled Replacement (penggantian yang tidak terjadwal), sehingga hal inilah yang mendasari begitu pentingnya perhitungan terhadap penentuan interval penggantian komponen kritis Motor Pokok KRI.Sultan Nuku-873.
2. Dari analisa yang telah dilaksanakan berdasarkan data-data kerusakan pada komponen penyusun engine Motor Pokok Deutz AG TBD 620 V 16, dapat diketahui distribusi kerusakanya, nilai keandalan, probability of failure, serta failure ratenya. Dari ketiga parameter tersebut ditunjang dengan data biaya penggantian selanjutnya dapat dilakukan pembuatan model dan perhitungan optimasi guna memperoleh interval waktu dan biaya penggantian optimal berdasarkan nilai Cost Benefit Ratio yang paling minimum, serta penentuan matriks resikonya yang mendasari perlu tidaknya dilakukan tindakan penggantian.
3. Dari perhitungan terhadap 7 item komponen yang dilakukan penelitian dapat disimpulkan bahwa interval waktu penggantian yang optimal berkisar antara 3124 jam sampai dengan 5525 jam, dan apabila waktu penggantian diluar range diatas akan didapat 4Cost Benefit Ratio yang tidak Optimal (CBR > 1). Komponen yang memiliki waktu penggantian tercepat adalah Nozzle dan yang terlama adalah main bearing. Sedangkan dari segi biaya, besarnya biaya penggantian sangat dipengaruhi oleh harga komponen. Komponen yang

memiliki biaya penggantian sebelum kerusakan termurah adalah inlet valve yaitu sebesar \$ 165,00 dan yang termahal adalah Main Bearing yaitu sebesar \$1250,00 .

4. Dari hasil perhitungan optimasi yang dilakukan dengan bantuan premium solver exxel, terhadap 7 item komponen dari Motor Pokok Deutz AG TBD 620 V 16 yang diteliti dapat diketahui bahwa interval waktu penggantian yang optimal berkisar antara 3124 jam sampai dengan 5525 jam dengan biaya penggantian berkisar antara \$ 165,00 sampai dengan \$ 1250,00.

5. Dari hasil penentuan risk matrik dapat disimpulkan bahwa Main Bearing merupakan komponen yang memiliki peringkat resiko kerusakan yang tertinggi jika dibandingkan dengan komponen yang lainnya . Dan dari hasil analisa risk matrik ini pula dapat dibuktikan bahwa dengan menerapkan interval waktu penggantian yang dihasilkan dari perhitungan optimasi, resiko terjadinya kerusakan masing-masing komponen, yakni berkisar antara 1-8 kerusakan tiap 10^5 sampai 10^6 jam.

Lamaloang, Marten E.H, 2008 Penentuan Pola Perawatan dan Perbaikan terencana Motor Induk Kapal Type Hansin 6LU32G

DAFTAR PUSTAKA

- Alkaf, Abdullah (1992), Teknik Keandalan Sistem, Hand Outs : Teori Keandalan, ITS, Surabaya
- Anthony M Smith (1993), Reliability Centered Maintenance , Mc. Graw Hill Inc, New York USA.
- Arismunandar , Wiranto (2002) Penggerak Mula Motor Bakar Torak, ITB, Bandung
- Artana, Ketut B (2003) Spreadsheet Modelling For Optimization of Preference Degree of Quantitative Considerations, A Research on Marine Machinery Selection Using Hybrid Method of Generalized Reduced Gradient and Decision Matrix, Chapter3, Kobe University , Japan.
- Department of Defence (1998) MIL-217, Military Handbook Electronic Reliability Design Handbook, USA.
- Djoko Kriswanto ,2009 Analisa penentuan interval waktu penggantian Komponen Kritis pada Engine Pesawat NC-212 Cassa
- Govil, A.K.(1983), Reliability Engineering, Tata Mc Graw Hill, Publ, New Delhi.
- Hoyland, Arnljot and Marvin, Rausand (1994) System Reliability Theory : Models and Statistical Methods , A Willey – Interscience Publication , USA.
- Jardine, A. K.S .(1993) Maintenance, Replacement and Reliability , Pitman Publishing, Great Britain
- Lewis E.E (1991), Introduction to Reliability Engineering, Departement Of Mechanical and Nuclear, Engineering Northwestern University, John Willeyand Sons, USA.