

## CRITICAL COMPONENT DETERMINATION ANALYSIS ON DIESEL GENERATOR CATERPILLAR TYPE 3412C WITH RELIABILITY METHOD

**Ponidi**

Program Study Teknik Mesin, Universitas Muhammadiyah Surabaya  
Email : ponidi@ft.um-surabaya.co.id,ponidi\_72@yahoo.com

### Abstract

Diesel generators are aircraft that are very important for the smooth operation of a ship. Diesel generator functions as a source of electrical voltage. So that if it is damaged, all aircraft on the ship that require electricity do not work and the ship is not likely to operate. With the passage of time, the diesel generator will certainly not escape damage, both minor damage and heavy damage. One of them is the damage that occurs in the Diesel Generator IV Caterpillar type 3412 C owned by KRI Ahmad Yani-351 in the Koarmada II area of Surabaya. With this research, an analysis of damaged diesel generator components will be carried out. The damage data is obtained from the company providing diesel generator repair services, namely PT. Tesco Indomaritim or damage journal from the ship to be analyzed by FMECA (Failure Modes Effect & Critical Analysis) method and reliability method with weibull ++ 6. After analyzing, the most critical component of the diesel generator is obtained, namely in the Piston Ring which is known as the reliability value equal to 0.578026, Probability of failure equals 5.7791E-05 and Failure rate is 9 , 9980E-05 with the weibull ++ 6 software.

**Keywords :** Time to failure(TTF), Weibull ++6, FMECA

### Pendahuluan

Pada tahun 2007, bersama dengan KRI Abdul Halim Perdanakusuma-355, selesai menjalani pergantian mesin (repowering) yang dijalaninya selama 2 tahun. Saat ini KRI Ahmad Yani kembali memperkuat Komando Armada RI Kawasan Timur (Armada II ). Pada pelaksanaan repowering tersebut, penggantian mesin tidak hanya pada mesin penggerak pokoknya saja yang menggunakan 2x mesin Cat 3616, tetapi juga dilaksanakan pemasangan baru 4 diesel generator Cat 3412 serta satu DG emergency Cat 3406 yang digunakan sebagai mesin bantu.

Tetapi seiring dengan waktu pemakaian, mesin-mesin tersebut akan mengalami penurunan performansi atau kinerja. Penurunan kinerja tersebut dikarenakan terjadi kerusakan-kerusakan pada komponen-komponennya. Sehingga perlu di analisa komponen-komponen yang mengalami kerusakan tersebut untuk mengetahui keandalan dari komponen yang sering mengalami kerusakan tersebut, guna kepentingan pemeliharaan. Pada penelitian

ini difokuskan pada mesin bantu yaitu diesel generator Caterpillar Tipe 3412 C yang mana diesel generator tersebut merupakan jantung dari sebuah kapal.

Sebagai representasi dari populasi diesel generator yang akan dilakukan penelitian adalah Diesel Generator IV KRI Ahmad Yani-351 Merk Caterpillar Type : Cat 3412.

Adapun data kerusakan komponen yang mewakili populasi sampel tersebut adalah : Inlet Valve, Exhaust Valve, Injector nozzle, Piston, Piston Ring, Conrod Bearing dan Main Bearing. Data kerusakan komponen diambil dari jurnal perbaikan kapal sehingga dapat diketahui MTBF dan kesiapan operasi dari kapal. Berkaitan dengan permasalahan tersebut, maka perlu adanya pengkajian yang mendalam guna mengetahui keandalan dari komponen kritis/vital, sehingga dapat diprioritaskan dalam perawatannya.

Pengertian Keandalan (Reliability)

Menurut Eriyanto (1998:5), sistem adalah suatu gugus dari elemen yang saling berhubungan dan terorganisasi untuk mencapai tujuan. Dasar pemikiran konsep

analisa keandalan adalah bertolak dari pemikiran layak atau tidaknya suatu sistem melakukan fungsinya. Beberapa definisi kendala sistem, diantaranya adalah sebagai berikut :

1. Lewis, EE (1991:1) mendefinisikan keandalan sistem adalah : The probability that a component, device, equipment, or sistem will perform its intended function for spefied period of time under a given set of conditions.
2. Sedangkan Govil A.K (1983:6) mendefinisikan, The rliability of sistem is called its capacity for failure free operation for definitive period of time under given operation condition, and minimum time lost for repair and preventife maintenance.

Dari dua pengertian di atas maka dapat disimpulkan bahwa keandalan sistem adalah probabilitas suatu peralatan, sistem, atau subsistem akan berfungsi dengan baik saat dibutuhkan dalam suatu misi atau tugas operasi pada waktu tertentu. Keandalan suatu sistem akan cenderung menurun seiring bertambahnya umur atau masa pakai subsistem dan komponen penyusunnya. Namun kondisi ini dapat dikembalikan/ditingkatkan dengan penggantian subsistem /komponen dengan yang baru melalui kegiatan perawatan yang baik.

**Fungsi Keandalan**

Menurut Hoyland (1994:4), fungsi keandalan merupakan fungsi yang mewakili probabilitas bahwa sebuah komponen tidak akan rusak dalam interval waktu (0,t).

Misal N component diuji keandalannya. Setelah waktu t, terdapat N<sub>s</sub> buah komponen yang bertahan hidup (survive), dan N<sub>f</sub> buah yang gagal (failed), maka peluang survive hingga waktu t adalah :

$$\hat{P}_s=R(t)=\frac{N_s(t)}{N} = \frac{N_s(t)}{N_s(t)+N_f(t)} = \frac{N-N_f(t)}{N}$$

$$=1-\frac{N_f(t)}{N} =1-F(t)$$

R(t) = reliability function

F(t) = unreliability function = fungsi distribusi

$$\hat{P}_s=R(t)=1-F(t)=1-P(T\leq t)=P(T>t)=\int_t^{\infty} f(t)dt \quad \dots (1)$$

**Model Kerusakan**

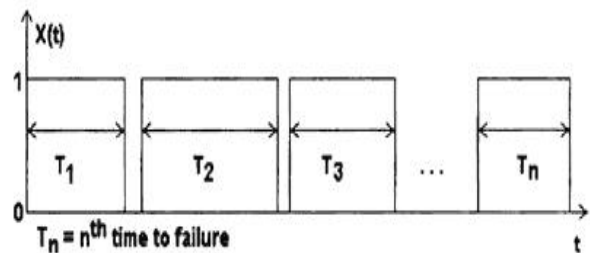
Sebuah failure mode dari suatu komponen atau sistem secara umum, secara matematis dapat diekspresikan di dalam persamaan (1). Gambar 2.1 menunjukkan hubungan antara state variable X(t) dengan waktu kerusakan TTF.

$$X(t)=\begin{cases} 1 & \text{Jika komponen berfungsi pada waktu } t \\ 0 & \text{jika komponen gagal/rusak pada waktu } t \end{cases} \quad \dots (2)$$

1 ;Jika komponen berfungsi pada waktu t  
0 ; jika komponen gagal/rusak pada waktu t

dimana:

X(t) = state variable yang mewakili kondisi failure mode pada waktu t.



Gambar 1.1. Hubungan antara state variable X (t) dengan waktu kerusakan TTF.

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

$$z(t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{d}{dt} \frac{P(t < T \leq t + \Delta t | T > t)}{\Delta t} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{F(t + \Delta t) - F(t)}{\Delta t} \times \frac{1}{R(t)}$$

**Fungsi Distribusi Kumulatif (CDF) dan Fungsi Kepadatan (PDF)**

Dengan mengasumsikan bahwa TTF terdistribusi secara kontinu dengan fungsi kepadatan  $f(t)$ , maka probabilitas kegagalan *failure mode* dalam interval waktu  $(0,t)$  dan dapat dinyatakan dengan persamaan berikut:  $F(t) = \int_0^t f(t) dt$  ..... (2)

dimana :  
 $F(t)$  = fungsi distribusi kumulatif (CDF) dari variabel acak TTF.

Fungsi *pdf* dari variabel acak  $T$  dapat ditentukan dari persamaan (2) dengan mengambil turunan dari  $F(t)$  terhadap  $t$  seperti ditunjukkan pada persamaan (3)

$$f(t) = \frac{d}{dt} F(t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{F(t + \Delta t) - F(t)}{\Delta t} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{P(t < T \leq t + \Delta t)}{\Delta t} \dots (3)$$

**Laju Kerusakan ( Failure Rate)**

Laju kerusakan (*conditional probability failure rate*) adalah probabilitas bahwa sebuah kerusakan terjadi selama waktu tertentu namun kerusakan belum terjadi sebelum waktu tersebut. Oleh karena itu laju kerusakan memberikan informasi tambahan tentang usia pakai (*survival life*) dan digunakan untuk mengilustrasikan pola kerusakan.

Probabilitas sebuah *failure mode* akan menyebabkan kegagalan dalam interval waktu  $(t + t)$ , telah diketahui bahwa *failure mode* beroperasi pada waktu  $t$ , dapat

$$P(t < T \leq t + \Delta t) = \frac{P(t < T \leq t + \Delta t)}{P(T > t)} = \frac{F(t + \Delta t) - F(t)}{R(t)}$$

ditentukan dengan persamaan berikut :

Laju kerusakan,  $z(t)$ , dari sebuah *failure mode* dapat diperoleh dengan membagi persamaan (4) dengan panjang interval waktu  $t$  dan  $t + 0$ .

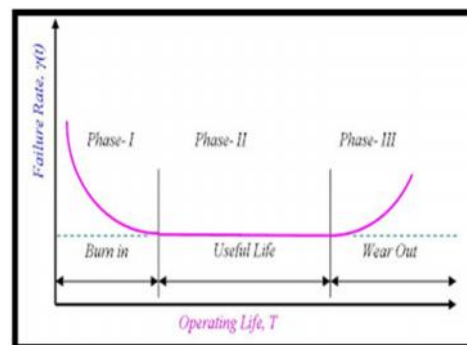
Dalam masa kerjanya, suatu komponen atau sistem mengalami berbagai

kerusakan. Kerusakan – kerusakan tersebut akan berdampak pada performa kerja dan efisiensinya.

Kerusakan-kerusakan tersebut

$$= \frac{f(t)}{R(t)} \dots (5)$$

apabila dilihat secara temporer, maka ia memiliki suatu laju tertentu yang berubah-ubah. Laju kerusakan (*failure rate*) dari suatu komponen atau sistem merupakan *dynamic object* dan mempunyai performa yang berubah terhadap waktu  $t$  (*sec, min, hour, day, week, month and year*). Keandalan komponen / mesin erat kaitannya dengan laju kerusakan tiap satuan waktu. Hubungan antara kedua hal tersebut ditunjukkan apabila pada saat  $t = 0$  dioperasikan sebuah komponen kemudian diamati banyaknya kerusakan pada komponen tersebut maka akan didapat bentuk kurva seperti pada gambar berikut:



**Gambar 1.2.** Grafik laju kerusakan (*failure rate*) terhadap waktu

*Bathtub Curve*, terbagi menjadi tiga daerah kerusakan, ketiga daerah tersebut adalah:

1. Burn – in Zone (*Early Life*)  
 Daerah ini adalah periode permulaan beroperasinya suatu komponen atau sistem yang masih baru (sehingga *reliability* -nya masih 100% ), dengan periode waktu yang pendek. Pada kurva ditunjukkan bahwa laju kerusakan yang awalnya tinggi kemudian menurun dengan bertambahnya waktu, atau diistilahkan sebagai *Decreasing Failure Rate* (DFR). Kerusakan yang terjadi umumnya disebabkan karena

proses manufacturing atau fabrikasi yang kurang sempurna

2. *Usefull Life Time Zone*

Periode ini mempunyai laju kerusakan yang paling rendah dan hampir konstan, yang disebut *Constant Failure Rate* (CFR). Kerusakan yang terjadi bersifat random dan dipengaruhi oleh kondisi lingkungan. Ini adalah periode dimana sebagian besar umur pakai komponen atau sistem berada. Dalam analisa, tingkat kehandalan sistem diasumsikan berada pada periode *Useful life time*, dimana failure rate - nya konstan terhadap waktu. Asumsi ini digunakan karena pada periode *early life time*, tidak dapat ditentukan apakah sistem tersebut sudah bekerja sesuai dengan standar yang ditentukan atau belum. Sedangkan pada periode *wear out time*, tidak dapat diprediksi kapan akan terjadi *failure*. Pada periode *useful life time*, dimana failure rate - nya adalah konstan, persamaan *reliability* yang digunakan:

$$R(t) = e^{-\lambda t}$$

Jika persamaan diatas diterapkan pada sistem atau komponen yang masih baru, maka tingkat kehandalannya diasumsikan pada keadaan 100% atau  $R_0 = 100\%$ . Sedangkan untuk komponen atau sistem yang sudah tidak baru lagi, atau sudah pernah mengalami *maintenance*, persamaannya dapat ditulis dalam bentuk :

$$R(t) = M e^{-\lambda t}$$

Dimana :

R = nilai kehandalan (%)

M = nilai kehandalan setelah dilakukan aktifitas *maintenance* (*maintainability*)(%)  
= laju kerusakan (*failure rate*)

3. *Wear Out Zone*

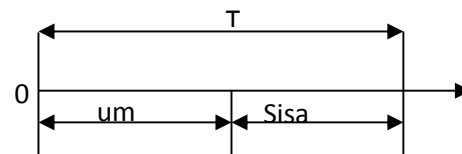
Periode ini adalah periode akhir masa pakai komponen atau sistem. Pada periode ini, laju kerusakan naik dengan cepat dengan bertambahnya waktu, yang disebut dengan

istilah *Increasing Failure Rate* (IFR). Periode ini berakhir saat *reliability* komponen atau sistem ini mendekati nol, dimana kerusakan yang terjadi sudah sangat parah dan tidak dapat diperbaiki kembali.

**Fungsi 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 :

$$MRL(t) = \frac{1}{R(t)} [MTTF - \int_0^t R(t) dt] \dots (6)$$



Gambar 1.3 Mean Residual Life Time

**Distribusi Probabilitas**

Distribusi-distribusi probabilitas dapat bervariasi untuk menyatakan distribusi yang paling sesuai terhadap data-data kerusakan. Distribusi-distribusi probabilitas yang digunakan untuk memodelkan *failure mode* dari setiap kerusakan fungsional sistem penggerak motor diesel adalah distribusi normal, eksponensial, dan weibull.

Distribusi normal dipilih berdasarkan asumsi teorema *central limit*. Distribusi eksponensial dipilih berdasarkan karakteristik-karakteristiknya yang mewakili periode *useful life*. Sedangkan distribusi Weibull dipilih berdasarkan fleksibilitas dari parameter-parameternya dalam menentukan pola kerusakan dari data-data yang ada yang mungkin terletak pada periode *useful life* ataupun periode *wear out*.

**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 :

$$f(t) = e^{-t}; t > 0, \lambda > 0 \dots\dots(7)$$

Dan fungsi didistribusi kumulatifnya adalah :

$$F(t) = 1 - e^{-t} \dots\dots\dots(8)$$

dimana :  
 $t$  = Waktu  
 $\lambda$  = Rasio kegagalan konstan (*constan failure rate*)

Fungsi keandalan dari distribusi eksponensial menjadi :

$$R(t) = 1 - F(t) = e^{-t} \dots\dots\dots(9)$$

Sedangkan fungsi laju kerusakan distribusi eksponensial (*Failure Rate*) adalah:

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)} = \lambda \dots\dots\dots(13)$$

$$MTTF = \int_0^{\infty} R(t) dt = \frac{1}{\lambda} \dots\dots\dots(10)$$

**Distribusi Weibull**

Distribusi Weibull merupakan salah satu dari distribusi yang paling banyak digunakan dibidang rekayasa keandalan. Hal ini dikarenakan distribusi tersebut memiliki kemampuan untuk memodelkan data-data yang berbeda dan banyak dengan pengaturan nilai parameter bentuk . Menurut Hoyland (1994 : 4), Distribusi Weibull dapat disajikan dalam bentuk dua/tiga parameter. Fungsi PDF dari ketiga parameter distribusi weibull dinyatakan dengan :  
 dimana :

$$f(t) = \frac{\beta}{\eta} \left( \frac{t-\gamma}{\eta} \right)^{\beta-1} e^{-\left( \frac{t-\gamma}{\eta} \right)^{\beta}} \dots\dots(11)$$

= parameter bentuk,  $\beta > 0$

= parameter skala,  $\eta > 0$

= parameter lokasi,  $\gamma < \text{waktu kerusakan pertama kali}$ .

Fungsi keandalan distribusi Weibull dapat dinyatakan dengan:

$$R(t) = e^{-\left( \frac{t-\gamma}{\eta} \right)^{\beta}} \dots\dots(12)$$

Dan laju kerusakan dapat dinyatakan dengan:

$$z(t) = \frac{\beta}{\eta} \left( \frac{t-\gamma}{\eta} \right)^{\beta-1} \dots\dots(13)$$

Jika  $\beta = 0$  maka diperoleh distribusi Weibull dengan dua parameter.

Jika  $\beta > 1$  maka pdf pada  $t =$  besar pdf sama dengan nol, begitu juga laju kerusakan sama dengan nol konsekuensinya nilai keandalannya  $R(t) = 1$ . Lihat persamaan (11) untuk pdf dan persamaan (12)  $R(t)$  serta persamaan (13) untuk  $z(t)$  semakin besar, nilai  $t$  suatu komponen, maka probabilitas komponen tersebut rusak akan semakin kecil (pers. 12).

Jika nilai  $t$  komponen A lebih besar dari pada komponen B, maka nilai keandalan komponen B lebih cepat menurun daripada komponen A.

**Distribusi Normal**

Menurut Jardine (1973), Distribusi Normal (Gaussian) berguna untuk menggambarkan pengaruh pertambahan waktu ketika dapat menspesifikasikan waktu antar kerusakan berhubungan dengan

ketidakpastian, distribusi normal mempunyai rumusan sebagai berikut :

$$f(t) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{t-\mu}{\sigma}\right)^2} \quad \text{untuk } t \quad (14)$$

dimana :

$\sigma$  = deviasi standar dari variabel acak T  
 $\mu$  = rata-rata dari variabel acak T  
 Fungsi keandalan dari distribusi normal adalah:

$$R(t) = \int_t^{\infty} \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{t-\mu}{\sigma}\right)^2} dt = 1 - \Phi\left(\frac{t-\mu}{\sigma}\right) \quad (15)$$

dimana :

$\Phi$  = fungsi CDF dari distribusi normal  
 Laju kerusakan dari distribusi normal dapat diperoleh dengan menggunakan persamaan (5).

**FMECA (Failure Modes Effects & Criticality Analysis)**

FMECA adalah suatu metode yang digunakan untuk mengukur dan menganalisa keamanan dari suatu produk atau proses. Input dari FMECA adalah rencana, diagram, probabilitas, dan frekuensi data berdasarkan data historis. Sedangkan outputnya adalah daftar *Most critical risk* dan beberapa target dari mitigasi resiko.

Dalam situasi tertentu data untuk menganalisa keandalan secara kuantitatif tidaklah cukup, sehingga dibutuhkan

alternative untuk melakukan analisa data keandalan secara kualitatif dan berdasarkan pengalaman. Analisa kualitatif yang digunakan untuk evaluasi keandalan dari suatu sistem adalah Analisa kegagalan Sistem. Salah satu metode analisa yang dapat digunakan adalah dengan *Failure Modes Effect and Criticality Analysis (FMECA)* dimana analisis ini merupakan suatu analisa kegagalan kualitatif.

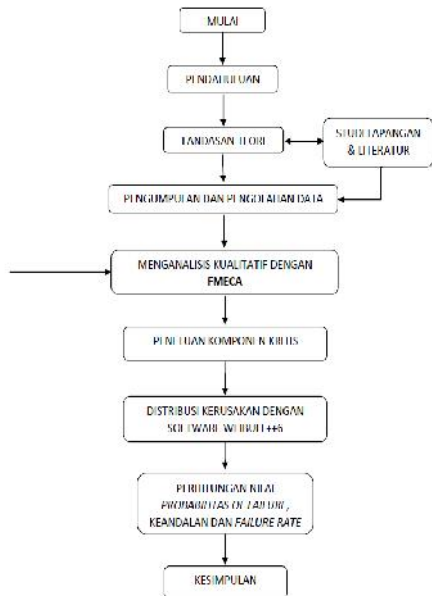
Metode ini mengidentifikasi kekritisan atau prioritas yang dikaitkan dengan dampak dari mode kegagalan yang ditimbulkan oleh sebuah komponen, dengan suatu analisa evaluasi *Failure Mode* ( Mode kegagalan ). Secara sistematis dampak dari setiap kerusakan, fungsi, personel keselamatan, performa sistem *Maintainability* dan kegiatan perawatan. Sebagai standart dalam kegiatan inspeksi pada prosedur pelaksanaan *FMECA* yaitu *Military Standart 1629A (MIL-STD-1629 A), Departement of Deffence, USA (1998)*, dimana setiap kegagalan potensial diranking dari tingkat kepentingan dan dampaknya agar dapat dilakukan tindakan preventif untuk mengurangi/mengemilnasi resiko kerusakan/ kegagalan.

*Procedure Failure Modes Effects and Criticality Analysis (FMECA)* secara garis besar dapat meliputi beberapa langkah secara sistematis dapat diuraikan sebagai berikut :

- a. Mengidentifikasi semua *Failure Mode* potensial dan penyebabnya
- b. Evaluasi dampak pada setiap failure Modes dalam mendeteksi kegagalan/kerusakan.
- c. Mengidentifikasi pengukuran korektif untuk Failure Modes
- d. Akses Frekwensi dan tingkat kepentingan dari kerusakan-kerusakan penting untuk analisa kritis, dimana dapat diaplikasikan.

**Metode Penelitian**

Pelaksanaan penelitian ini dilakukan melalui beberapa tahapan untuk mendapatkan tujuan yang diinginkan sesuai dengan tujuan yang telah ditulis pada pembahasan diawal. Gambar 3.1



menunjukkan diagram alir dalam penelitian ini.

**Gambar 3.1** Diagram Alir Metodologi Penelitian

**Hasil Penelitian Dan Pembahasan**

Tujuan utama dari penelitian ini yaitu untuk mendapatkan komponen kritis dari diesel generator Caterpillar Type 3412 C dengan mengetahui keandalan dari komponen tersebut. Sehingga nantinya dapat diprioritaskan dalam perawatannya.

**Analisa Kegagalan dengan metode FMECA dan Penentuan komponen Kritis**

Untuk menganalisa kegagalan fungsional komponen dibuat sebuah *Worksheet Failure Mode Effects and Criticallity Analysis (FMECA)*. Kerusakan yang terjadi dibagi sesuai kategori failure effect seperti tabel berikut : Tabel 4.1 Kategori *Failure Effects* Dari Komponen-Komponen *Engine Diesel Generator*

PART NUMBER	NAMA KOMPONEN	FAILURE EFFECTS	
		KATEGORI	DEFINISI
122-0322	Inlet Valve	Marginal	Sistem mengalami penurunan fungsi kerja
122-0321	Exhaust Valve	Marginal	Sistem mengalami penurunan fungsi kerja
4W-7018	Nozzle	Marginal	Sistem mengalami penurunan fungsi kerja
9Y-7212	Piston	Critical	Sistem tidak dapat berfungsi sesuai ketentuan
1W-9460	Piston Ring	Critical	Sistem tidak dapat berfungsi sesuai ketentuan
9Y-9497	Conrod Bearing	Catastrophic	Menyebabkan sistem shutdown
4W-5492	Main Bearing	Catastrophic	Menyebabkan sistem shutdown

Dari tabel 4.1 diketahui bahwa 2 komponen masuk dalam kategori critical , 2 komponen masuk kategori catastrophic dan 3 komponen masuk kategori marginal.

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

**Analisa Probabilitas of Failure  $f(t)$ , Keandalan (Reliability), dan Failure Rate Komponen**

Data pada lampiran 1 merupakan data yang akan dimasukkan sebagai input data *weibull analisis*. Data input *weibull analisis* ini adalah data yang diambil berdasarkan waktu kerusakan-kerusakan yang terjadi pada komponen utama diesel generator.

Dengan menggunakan *software weibull ++* data kerusakan yang diolah

menunjukkan bahwa komponen berdistribusi weibull dengan 2 parameter, artinya bahwa komponen yang diteliti menunjukkan laju kerusakan seiring dengan lamanya jam operasi. Dengan melihat hal tersebut dapat dikatakan bahwa komponen-komponen di atas layak untuk diperbaiki atau diganti guna meningkatkan nilai keandalannya. Dari pengujian distribusi kerusakan dengan menggunakan *Software Weibull ++*, kita dapat mengetahui nilai beta dan eta dari masing-masing komponen. Sehingga dapat ditabulasi sebagai berikut :

Tabel 4.2 Parameter Distribusi

PART NUMBER	NAMA KOMPONEN	PARAMETER DISTRIBUSI	
		$\beta$	$\eta$
122-0322	Inlet Valve	1,6435	1,3827E+4
122-0321	Exhaust Valve	1,6776	1,2650E+4
4W-7018	Nozzle	1,9890	1,4496E+4
9Y-7212	Piston	2,2390	1,7048E+4
1W-9460	Piston Ring	1,4592	1,2079E+4
9Y-9497	ConRod Bearing	2,4191	1,4257E+4
4W-5492	Main Bearing	2,4191	1,4257E+4

Untuk nilai beta dikategorikan dalam tiga kategori berdasarkan tingkat kegagalan dan tingkat laju kegagalan (*failure rate*). *Failure rate* adalah *number of failure* pada suatu *item* per unit satuan waktu (*per cycle, hours, operation, dan sebagainya*).

1. Jika nilai *beta* ( $\beta$ ) < 1,0, maka

dikategorikan *infant mortalities shape*, di mana terdapat kegagalan pada usia dini (*early age*), kemudian laju kegagalan berkurang (*failure rate decreasing*) pada usia pemakaian Diesel Generator.

2. Jika nilai *beta* ( $\beta$ ) = 1,0, maka

dikategorikan *random failure* yang disebabkan karena jika suatu part baik dalam kondisi baru atau lama mempunyai probabilitas yang sama terhadap *failure*. Dalam interval ini laju kegagalan (*failure rate*) konstan.

3. Jika nilai *beta* ( $\beta$ ) > 1,0, dikategorikan

*wear out* di mana laju kegagalan *failure rate increasing* (meningkat) dan *reliability* menurun.

Selanjutnya kita bisa hitung nilai kemungkinan akan rusak/tidak (*probabilitas of failure*)  $f(t)$ , keandalan ( $R$ ), *failure rate* , dan *MTTF* per komponen sebagai berikut :

1. Inlet Valve

a. Nilai  $F(t)$

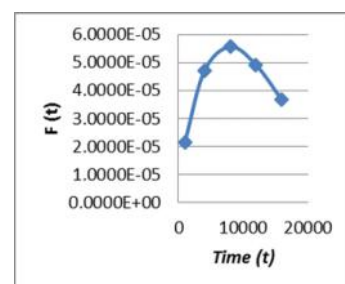
$$f(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t}{\eta}\right)^{\beta-1} \exp \left[ -\left(\frac{t}{\eta}\right)^{\beta} \right]$$

Dengan mengambil contoh untuk *time* ( $t$ ) = 8000, maka diperoleh nilai  $F(t)$

$$F(8000) = \frac{1,6435}{1,3327E+04} \left(\frac{8000}{1,3827E+04}\right)^{1,6435-1} \exp \left[ -\left(\frac{8000}{1,3827E+04}\right)^{1,6435} \right]$$

$$F(8000) = 5,5645E - 05$$

Dengan memasukkan nilai *time* ( $t$ ) = 1.000 sampai 20.000, maka diperoleh grafik hubungan antara  $f(t)$  terhadap  $t$ , sebagai berikut:



Gambar 4.1 Grafik  $f(t)$  terhadap  $t$  Inlet Valve



b. Nilai keandalan

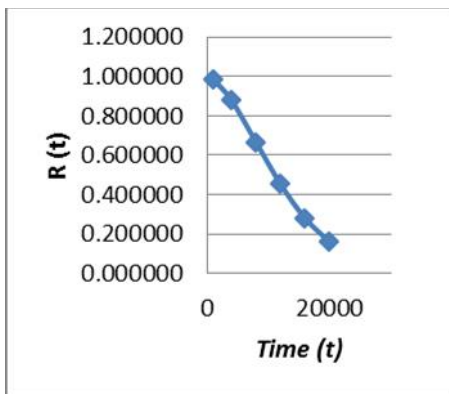
$$R(t) = \exp \left[ - \left( \frac{t}{\eta} \right)^\beta \right]$$

Dengan mengambil contoh untuk *time* (t) = 8000, maka diperoleh nilai R(t)

$$R(8000) = \exp \left[ - \left( \frac{8000}{1,3827E + 04} \right)^{1,6435} \right]$$

$$R(8000) = 0,665739$$

Dengan memasukkan nilai *time* (t) = 1.000 sampai 20.000, diperoleh grafik hubungan antara R(t) terhadap t, sebagai berikut:



**Gambar 3.2** Grafik R(t) terhadap t Inlet Valve

c. Laju kerusakan (*Failure Rate*)

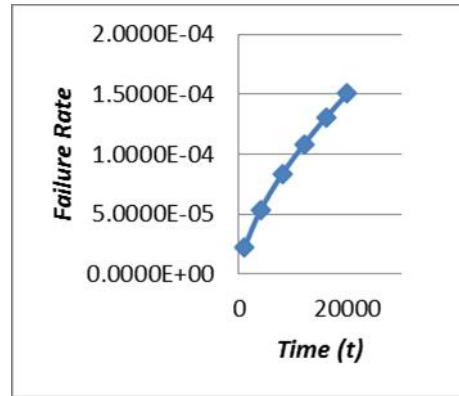
$$\lambda(t) = \frac{\beta}{\eta} \left( \frac{t}{\eta} \right)^{\beta-1}$$

Sebagai contoh untuk *time* (t) = 8000, maka nilai  $\lambda(t)$  adalah:

$$\lambda(8000) = \frac{1,6435}{1,3827 + 04} \left( \frac{8000}{1,3827E + 04} \right)^{1,6435-1}$$

$$\lambda(8000) = 8,3584E - 05$$

Dengan memasukkan nilai *time* (t) = 1.000 sampai 20.000, diperoleh grafik hubungan antara  $\lambda(t)$  terhadap t sebagai berikut:



**Gambar 3.3** Grafik  $\lambda(t)$  terhadap t Inlet Valve

d. Waktu Rata-Rata Terjadi Kerusakan

$$MTTF = \eta \Gamma$$

Dimana  $\Gamma$  merupakan fungsi gamma yang diperoleh dari tabel tabulasi fungsi gamma dengan mencari nilai n terlebih dahulu (lihat lampiran 4). Dimana  $n = (1 + 1/\lambda)$ , jadi :

$$n = \left( 1 + \left( \frac{1}{1,6435} \right) \right)$$

$$n = 1,6085$$

Dibulatkan menjadi 1,61. Pada tabel fungsi gamma di peroleh nilai :

$$\Gamma = 0,89468$$

$$\text{Jadi, } MTTF = 1,3827E+04 \times 0,89468$$

$$MTTF = 12.755$$

Dari satu sample perhitungan diatas, dengan mengambil nilai (t) = 8.000 maka dapat ditabulasi sebagai berikut :

Tabel 3.3 Nilai *Probability of Failure*, Keandalan, *Failure Rate*, dan *MTTF* Komponen

Nama komponen	Probability Of Failure	Nilai Keandalan	Failure rate	MTTF
Inlet Valve	5,5645E-05	0,665739	8,3854E-05	12.755
Exhaust Valve	6,1152E-05	0,629006	9,7220E-05	11.303
Nozzle	5,6096E-05	0,735970	7,6220E-05	12.969
Piston	4,2801E-05	0,832118	5,1436E-05	15.099
Piston Ring	5,7791E-05	0,578026	9,9980E-05	10.953
Conrod Bearing	5,8369E-05	0,781026	7,4734E-05	12.643
Main Bearing	5,8369E-05	0,781026	7,4734E-05	12.643

Dari hasil perhitungan tabel di atas, dapat diketahui bahwa nilai keandalan ( $R$ ) pada saat jam putar mencapai 8000 R(8000), adalah berbeda-beda. Ini dimungkinkan disebabkan umur desain dari komponen berbeda-beda sehingga keandalan yang dicapai pada masing-masing komponen berbeda pada saat jumlah operasi yang sama ataupun bisa karena perawatan yang kurang sempurna oleh ABK, di samping itu interval dari kerusakan yang dialami komponen mempengaruhi nilai keandalan dari komponen itu sendiri.

Dari tabulasi hasil perhitungan komponen-komponen di atas didapatkan keandalan terendah pada *Piston ring* yaitu dengan nilai 0,578026, sehingga komponen tersebut memerlukan perhatian yang khusus, mengingat fungsi dari *piston ring* adalah kritis (*critical functional*). Komponen tersebut mempunyai nilai laju kegagalan  $\lambda(t)$  dan tingkat kemungkinan terjadinya kegagalan ( $f$ ) yang tinggi, dan juga komponen tersebut dikategorikan dalam kegagalan aus. Sedangkan untuk keandalan tertinggi yaitu pada komponen *Piston* dengan nilai *reliability* yaitu 0,832118.

### Kesimpulan

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

1. Berdasarkan penafsiran nilai beta, dimana  $\beta$  untuk semua komponen

adalah  $\beta > 1$ , dimana mengindikasikan

terjadinya kegagalan aus (*wear out*). Kegagalan tipe ini mempunyai sifat meningkatkan laju kegagalan (*failure rate increasing*) dengan semakin tingginya pemakaian sistem. Hal ini dibuktikan dengan grafik *failure rate* yang semakin meningkat dengan bertambahnya waktu pemakaian.

2. Dari tujuh komponen yang dianalisa, dapat disimpulkan bahwa komponen yang memiliki nilai *reliability* tertinggi sama dengan 0,832118 dan nilai *failure rate* terendah sama dengan 5,1436E-05 yaitu pada *Piston*. Maka komponen ini dikatakan komponen paling handal.

Sedangkan komponen memiliki nilai *reliability* terendah sama dengan 0,578026 dan nilai *failure rate* tertinggi sama dengan 9,9980E-05 adalah *Piston Ring*, sehingga komponen ini adalah komponen paling kritis.

### Refrensi

- Caterpillar. (2003). Part Manual 3414 C Marine Auxiliary Generator Set 4121-Up.
- Govil, A.K. (1983). Reliability Engineering, Universitas Of Basrah Iraq, Tata McGraw Hill Publishing Company Limited.
- Hoyland.A, Rausand,M. (1994). System Reliability Theory (2ndEd), John Wiley and Son, New York.
- Jardine, A.K.S. (1973). Maintenance, Replacement, and Reliability. Sir Isac Pitman and Sons LTD,Kanada.
- Lewis, E.E. (1994). Introduction To Reliability Engineering (2ndEd). John Wiley and Son, New York.
- Ramakumar,R. (1993). Engineering Reliability:Fundamentals and Applications, Prentice Hall, Inc.,Englewood Cliffs, New Jersey.
- Space Product Assurance: Failure Modes and Critically Analysis (FMECA).<URL :<http://www.estec.esa.nl/ecss>

Nursuhud, Djati. (1988). Konversi Energi,  
Diktat Kuliah Jurusan Teknik  
Mesin FTI-ITS, Surabaya