

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Diskripsi Mesin Diesel

Mesin diesel adalah sejenis mesin pembakaran dalam, lebih spesifik lagi sebuah mesin pemacu kompresi, dimana bahan bakar dinyalakan oleh suhu tinggi gas yang dikompresi, dan bukan oleh alat berenergi lain (seperti busi). Mesin ini ditemukan pada tahun 1892 oleh Rudolf Diesel, yang menerima paten pada 23 Februari 1893. Diesel menginginkan sebuah mesin untuk dapat digunakan dengan berbagai macam bahan bakar termasuk debu batu bara. Dia mempertunjukkannya pada *Exposition Universelle* (Pameran Dunia) tahun 1900 dengan menggunakan minyak kacang. Kemudian diperbaiki dan disempurnakan oleh Charles F. Kettering. Sistem kerjanya yaitu, ketika gas dikompresi, suhunya meningkat (seperti dinyatakan oleh Hukum Charles; mesin diesel menggunakan sifat ini untuk menyalakan bahan bakar. Udara disedot ke dalam silinder mesin diesel dan dikompresi oleh piston yang merapat, jauh lebih tinggi dari rasio kompresi dari mesin menggunakan busi. Pada saat piston memukul bagian paling atas, bahan bakar diesel dipompa ke ruang pembakaran dalam tekanan tinggi, melalui *nozzle atomising*, dicampur dengan udara panas yang bertekanan tinggi. Hasil pencampuran ini menyala dan membakar dengan cepat. Ledakan tertutup ini menyebabkan gas dalam ruang pembakaran di atas mengembang, mendorong piston ke bawah dengan tenaga yang kuat dan menghasilkan tenaga dalam arah vertikal. *Rod* penghubung menyalurkan gerakan ini ke *crankshaft* yang dipaksa untuk

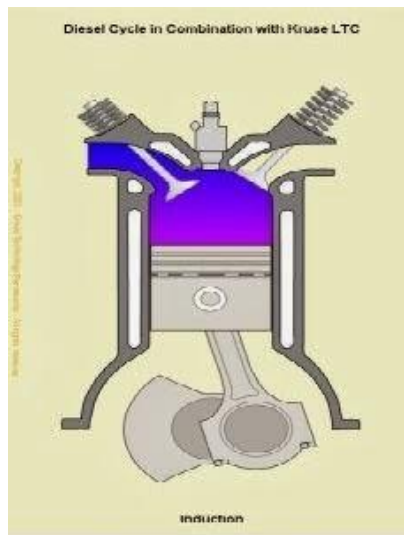
berputar, menghantar tenaga berputar di ujung pengeluaran *crankshaft*.

2.1.1 Siklus Mesin Diesel 4 Langkah

Mesin diesel 4 langkah, dalam menghasilkan satu kali kerja memerlukan empat kali langkah gerakan piston dan dua kali putaran poros engkol, berikut penjelasan langkah kerja mesin diesel 4 langkah :

1. Langkah Hisap

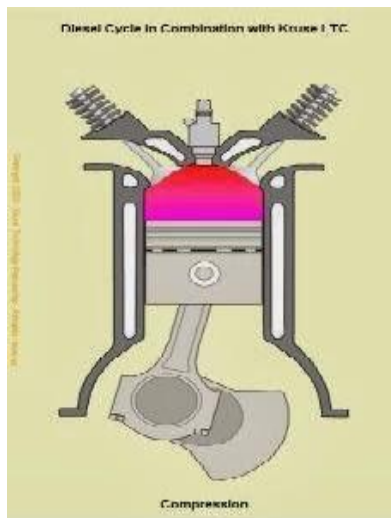
Selama langkah pertama, yakni langkah hisap, piston bergerak ke bawah (dari TMA ke TMB) sehingga membuat kevakuman di dalam silinder, kevakuman ini membuat udara terhisap dan masuk ke dalam silinder. Pada saat ini katup hisap membuka dan katup buang menutup.



Gambar 2.1 Langkah hisap

2. Langkah Kompresi

Pada langkah kedua disebut juga dengan langkah kompresi, udara yang sudah masuk ke dalam silinder akan ditekan oleh piston yang bergerak ke atas (TMA). Perbandingan kompresi pada motor diesel berkisar diantara 13 : 1 sampai 24 : 1. Akibat proses kompresi ini udara menjadi panas dan temperaturnya bisa mencapai sekitar 900 °C. Pada langkah ini kedua katup dalam posisi menutup semua.



Gambar 2.2 Langkah Kompresi

3. Langkah Pembakaran

Pada akhir langkah kompresi, *injector nozzle* menyemprotkan bahan bakar dengan tekanan tinggi dalam bentuk kabut ke dalam ruang bakar dan selanjutnya bersama sama dengan udara terbakar oleh panas yang dihasilkan pada langkah kompresi tadi. Diikuti oleh pembakaran tertunda, pada awal langkah usaha akhirnya pembentukan atom bahan bakar akan terbakar sebagai hasil pembakaran langsung dan membakar hampir seluruh bahan bakar. Mengakibatkan panas

silinder meningkat dan tekanan silinder yang bertambah besar. Tenaga yang dihasilkan oleh pembakaran diteruskan ke piston. Piston terdorong ke bawah (TMA) dan tenaga pembakaran dirubah menjadi tenaga mekanik. Pada saat ini kedua katup juga dalam posisi tertutup.



Gambar 2.3 Langkah Usaha

4. Langkah Buang

Dalam langkah ini piston akan bergerak naik ke TMA dan mendorong sisa gas buang keluar melalui katup buang yang sudah terbuka, pada akhir langkah buang udara segar masuk dan ikut mendorong sisa gas bekas keluar dan proses kerja selanjutnya akan mulai. Pada langkah ini katup buang terbuka dan katup masuk tertutup.



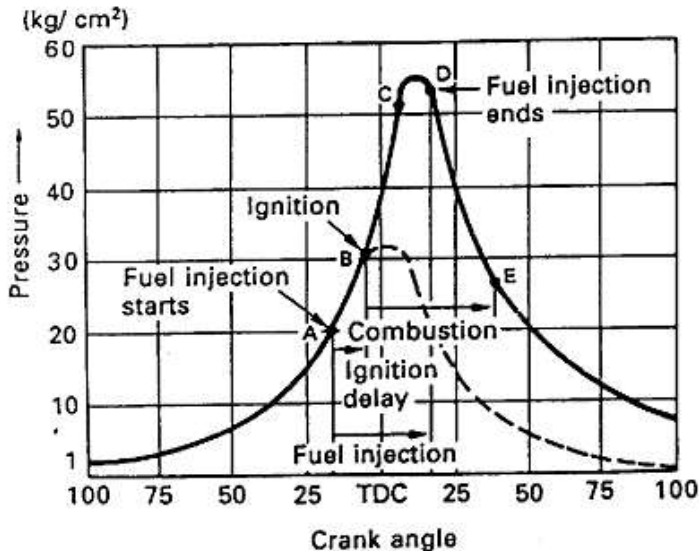
Gambar 2.4 Langkah buang

2.1.2 Proses Pembakaran

Proses pembakaran yang terjadi dalam motor diesel dapat dibagi menjadi beberapa proses diantaranya :

a. Pembakaran tertunda (A - B).

Tahap ini merupakan persiapan pembakaran. Bahan bakar disemprotkan oleh injektor berupa kabut ke udara panas dalam ruang bakar sehingga bercampur menjadi campuran yang mudah terbakar. Pada tahap ini bahan bakar belum terbakar atau dengan kata lain pembakaran belum dimulai. Pembakaran akan mulai pada titik B. Peningkatan tekanan terjadi secara konstan karena piston terus bergerak ke TMA.



Gambar 2.5 Proses pembakaran motor diesel

b. Rambatan Api (B-C).

Campuran yang mudah terbakar telah berbentuk dan merata di seluruh bagian dalam silinder. Awal pembakaran mulai terjadi di beberapa bagian dalam silinder. Pembakaran ini berlangsung sangat cepat sehingga terjadilah letupan (*explosive*). Letupan ini berakibat tekanan dalam silinder meningkat dengan cepat pula. Akhir tahap ini disebut pembakaran letupan.

c. Pembakaran langsung (C - D).

Injektor terus menyembutkan bahan bakar dan berakhir pada titik D. Karena injeksi bahan bakar terus berlangsung maka

tekanan dan suhu tinggi terus berlanjut di dalam silinder. Akibatnya, bahan bakar yang diinjeksi langsung terbakar oleh api. Pembakaran dikontrol oleh jumlah bahan bakar yang diinjeksikan sehingga tahap ini disebut juga tahap pengontrolan pembakaran.

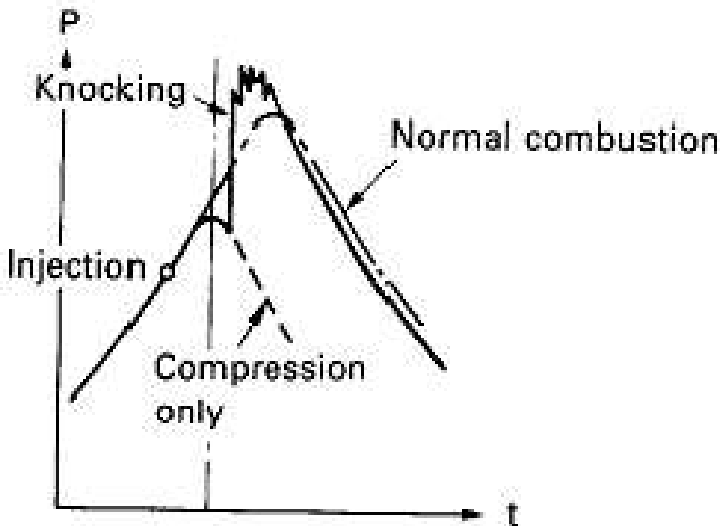
d. Pembakaran lanjutan (D - E).

Pada titik D, injeksi bahan bakar berhenti, namun bahan bakar masih ada yang belum terbakar. Pada periode ini sisa bahan bakar diharapkan akan terbakar seluruhnya. Apabila tahap ini terlalu panjang akan menyebabkan suhu gas buang meningkat dan efisiensi pembakaran berkurang.

e. Detonasi pada motor diesel (*Diesel knocking*)

Adakalanya dalam setiap proses pembakaran tertunda terjadi lebih panjang. Hal ini disebabkan terlalu banyaknya bahan bakar yang diinjeksikan pada tahapan pembakaran tertunda, sehingga terlalu banyak bahan bakar yang terbakar pada tahapan kedua yang mengakibatkan tekanan dalam silinder meningkat drastis serta menghasilkan getaran dan suara. Inilah yang disebut diesel *knock*.

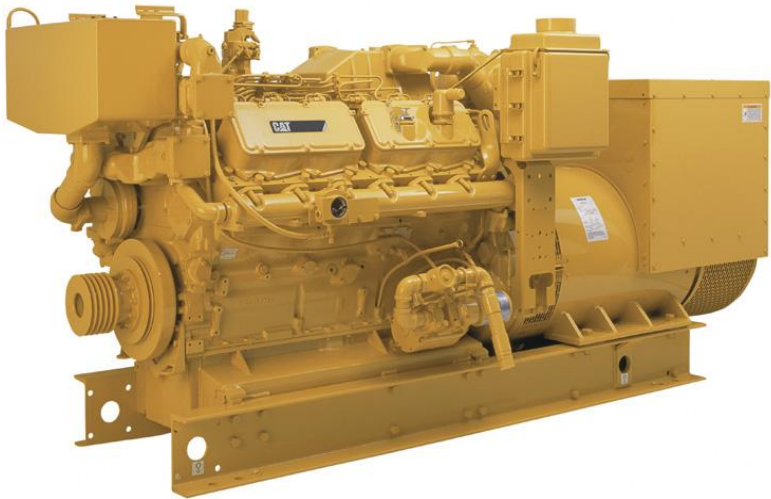
Untuk mencegah diesel *knock*/detonasi, harus dihindari terjadinya peningkatan tekanan secara mendadak dengan cara membuat campuran yang mudah terbakar pada temperatur rendah atau mengurangi jumlah bahan bakar yang diinjeksikan ketika tahapan penundaan penyalaan.



Gambar 2.6 Proses detonasi (*knocking*) pada motor diesel

Knocking/detonasi pada mesin diesel dan bensin sebenarnya terjadi dengan fenomena yang sama, yaitu disebabkan oleh peningkatan tekanan dalam ruang bakar yang sangat cepat sehingga bahan bakar/campuran terbakar terlalu cepat. Perbedaan utamanya adalah *knocking*/detonasi pada diesel terjadi pada saat awal pembakaran, sedangkan pada mesin bensin *knocking* terjadi pada saat menjelang akhir pembakaran.

2.1.3 Teknikal Data Diesel Generator Cat 3412



Package Dimensions		
Length	4485.0 mm	176.58 in
Width	1741.7 mm	68.57 in
Radiator Height	1939.6 mm	76.36 in
Control Panel Height	1938.0 mm	76.30 in
Shipping Weight	6130 kg	13,500 lb

Gambar 2.7 Diesel Generator Cat 3412

RATINGS AND FUEL CONSUMPTION

	Gen Set			U.S. g/h	l/h	EPA/ IMO	EU regs.
	ekW @ .8pf	kV•A	rpm				
60 Hertz	400R	500	1800	32.5	123.0	IMOT1	NC
60 Hertz	425	531	1800	32.5	123.0	IMOT1	NC
60 Hertz	500	625	1800	37.3	141.3	IMOT1	NC
60 Hertz	550R	688	1800	43.9	166.1	IMOT1	NC
60 Hertz	590 ¹	738	1800	43.9	166.1	IMOT1	NC
50 Hertz	350	438	1500	26.3	99.7	IMOT1	NC
50 Hertz	385R	481	1500	29.9	113.1	IMOT1	NC
50 Hertz	405	506	1500	29.9	113.1	IMOT1	NC
50 Hertz	480R	600	1500	36.1	136.8	IMOT1	NC
50 Hertz	500 ¹	625	1500	36.1	136.8	IMOT1	NC

R – Radiator cooled only.

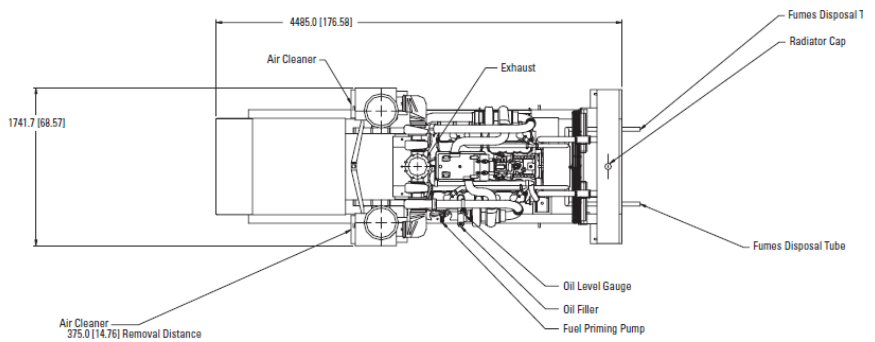
¹ABS, BV, DnV, GL, LR approved generator set packages available.

	LE	LG	H	WE
min.	71.7 in/1821 mm	130.9 in/3324 mm	61.3 in/1556 mm	49.9 in/1267 mm
max.	71.7 in/1821 mm	136.9 in/3477 mm	61.3 in/1556 mm	49.9 in/1267 mm

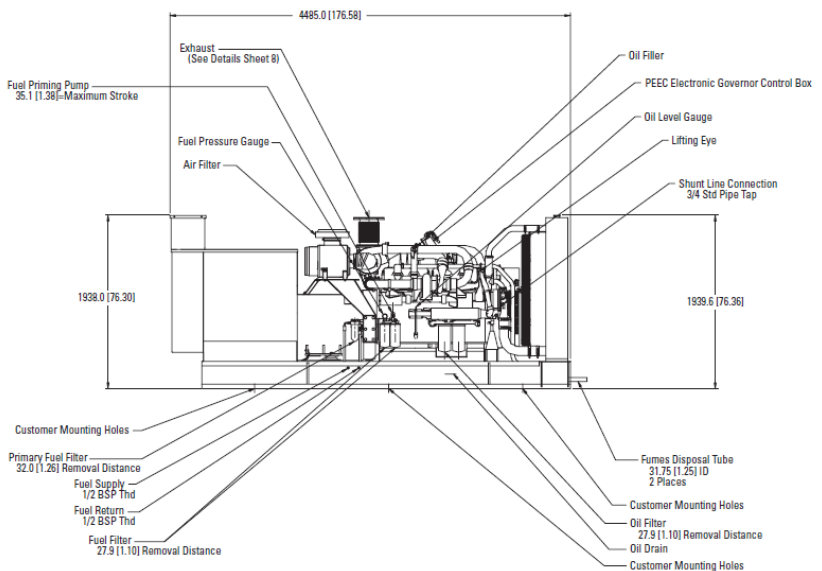
Vee 12, 4-Stroke-Cycle Diesel

Aspiration	TA	
Bore x Stroke	5.4 x 6.0 in	137 x 152 mm
Displacement	1649 cu in	27.0 liter
Rotation (from flywheel end)	Counterclockwise	
Generator set weight (approx)	9540 lb	4327 kg

STANDBY/PRIME POWER GENERATOR SET PACKAGE — TOP VIEW



STANDBY/PRIME POWER GENERATOR SET PACKAGE — SIDE VIEW



2.2 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. Keaandalan 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.

2.3 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_s buah komponen yang bertahan hidup (*survive*), dan N_f buah yang gagal (*failed*), maka peluang *survive* hingga waktu t adalah :

$$\begin{aligned}\hat{P}_s = R(t) &= \frac{N_s(t)}{N} = \frac{N_s(t)}{N_s(t) + N_f(t)} = \frac{N - N_f(t)}{N} \\ &= 1 - \frac{N_f(t)}{N} = 1 - F(t)\end{aligned}$$

$R(t)$ = *reliability function*

$F(t)$ = *unreliability function* = fungsi distribusi

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

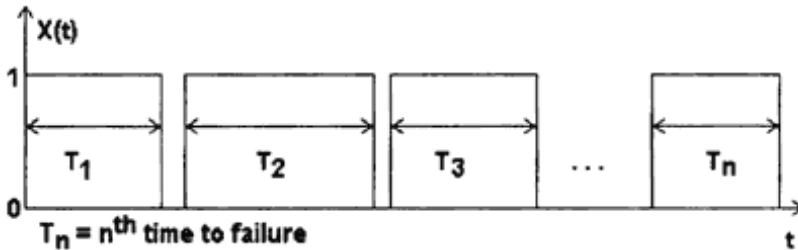
2.4 Model Kerusakan

Sebuah *failure mode* dari suatu komponen atau sistem secara umum, secara matematis dapat diekspresikan di dalam persamaan (1). Gambar 2.8 menunjukkan hubungan antara *state variable* $X(t)$ dengan waktu kerusakan TTF.

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

dimana:

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



Gambar 2. 8 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

2.5 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: $F(t) =$

$$F(t) = P(T \leq t) = \int_0^t f(t) dt \quad (3)$$

dimana :

$F(t)$ = fungsi distribusi kumulatif (CDF) dari variabel acak TTF. Fungsi *pdf* dari variabel acak T dapat ditentukan dari persamaan (3) dengan mengambil turunan dari $F(t)$ terhadap t seperti ditunjukkan pada persamaan (4).

$$\begin{aligned} f(t) &= \frac{d}{dt} F(t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{F(t + \Delta t) - F(t)}{\Delta t} \\ &= \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{P(t < T \leq t + \Delta t)}{\Delta t} \quad \dots \end{aligned} \quad (4)$$

2.6 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 $(t + \Delta t)$, telah diketahui bahwa *failure mode* beroperasi pada waktu t , dapat ditentukan dengan persamaan berikut :

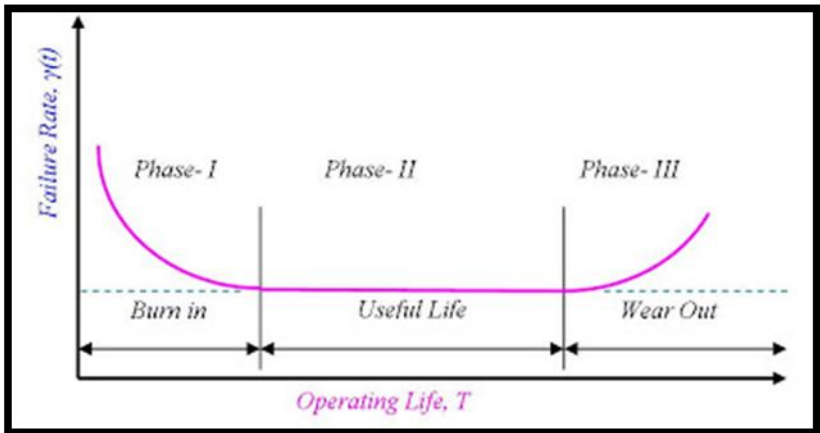
$$\begin{aligned} P(t < T \leq t + \Delta t) &= \frac{P(t < T \leq t + \Delta t)}{P(T > t)} \\ &= \frac{F(t + \Delta t) - F(t)}{R(t)} \end{aligned} \quad (5)$$

Laju kerusakan, $z(t)$, dari sebuah *failure mode* dapat diperoleh dengan membagi persamaan (5) dengan panjang interval waktu Δt dan $\Delta t \rightarrow 0$.

$$\begin{aligned}
 z(t) &= \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{P(t < T \leq t + \Delta t \mid T > t)}{\Delta t} \\
 &= \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{F(t + \Delta t) - F(t)}{\Delta t} \cdot \frac{1}{R(t)} \\
 &= \frac{f(t)}{R(t)}
 \end{aligned} \tag{6}$$

Dalam masa kerjanya, suatu komponen atau sistem mengalami berbagai kerusakan. Kerusakan – kerusakan tersebut akan berdampak pada performa kerja dan efisiensinya.

Kerusakan-kerusakan tersebut apabila dilihat secara temporer, maka ia memiliki suatu laju tertentu yang berubah-ubah. Laju kerusakan (*failure rate*) dari suatu komponen atau sistem merupakan *dinamic 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 2.9 Grafik laju kerusakan (*failure rate*) terhadap waktu

Grafik diatas, yang sering disebut sebagai *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:

$$R(t) = e^{-\lambda t} \quad (7)$$

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 :

$$R(t) = M e^{-\lambda t} \quad (8)$$

Dimana :

R = nilai kehandalan (%)

M = nilai kehandalan setelah dilakukan aktifitas maintenance(maintainability)(%)

λ = laju kerusakan (failure rate)

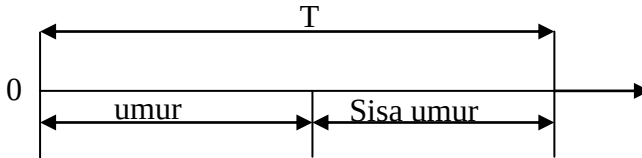
3. *Wear Out Zone*

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.

2.7 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 :

$$MRL(t) = \frac{1}{R(t)} \left[MTTF - \int_0^t R(t) dt \right] \quad (9)$$



Gambar 2.10 Mean Residual Life Time

2.8 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*.

2.8.1 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 :

$$f(t) = \lambda e^{-\lambda t}; t > 0, \lambda > 0 \quad (10)$$

Dan fungsi didtribusi kumulatifnya adalah :

$$F(t) = 1 - e^{-\lambda t} \quad (11)$$

dimana :

t = Waktu

λ = Rasio kegagalan konstan (*constan failure rate*)

Fungsi keandalan dari distribusi eksponensial menjadi :

$$R(t) = 1 - F(t) = e^{-\lambda t} \quad (12)$$

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

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

$$MTTF = \int_0^{\infty} R(t) dt = \frac{1}{\lambda} \quad (14)$$

2.8.2 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 β .

Menurut Hoyland (1994 : 4), 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, $\beta > 0$

η = parameter skala, $\eta > 0$

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

Fungsi keandalan distribusi Weibull dapat dinyatakan dengan:

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

Dan laju kerusakan dapat dinyatakan dengan:

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

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

Jika $\beta > 1$ maka pdf pada $t = \gamma$ besar pdf sama dengan nol, begitu juga laju kerusakan sama dengan nol konsekuensinya

nilai keandalannya $R(t) = 1$. Lihat persamaan (15) untuk pdf dan persamaan (16) $R(t)$ serta persamaan (17) untuk $\lambda(t)$ semakin besar, nilai η suatu komponen, maka probabilitas komponen tersebut rusak akan semakin kecil (pers. 16).

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

2.8.3 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 :

$$f(t) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{t-\mu}{\sigma}\right)^2} \quad \text{untuk } -\infty \leq t \leq \infty \quad (18)$$

dimana :

σ = deviasi standar dari variabel acak T

μ = rata-rata dari variabel acak T

Fungsi keandalan dari distribusi normal adalah:

$$\begin{aligned} R(t) &= \int_t^{\infty} \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{t-\mu}{\sigma}\right)^2} dt \\ &= 1 - \Phi\left(\frac{t-\mu}{\sigma}\right) \end{aligned} \quad (19)$$

dimana :

Φ = fungsi CDF dari distribusi normal

Laju kerusakan dari distribusi normal dapat diperoleh dengan menggunakan persamaan (6).

2.9 Jenis Perawatan

Maintenance atau perawatan dibagi menjadi beberapa jenis, diantaranya :

1. *Breakdown Maintenance*

Adalah perawatan yang dilakukan ketika sudah terjadi kerusakan pada mesin atau peralatan kerja sehingga Mesin tersebut tidak dapat beroperasi secara normal atau terhentinya operasional secara total dalam kondisi mendadak. *Breakdown Maintenance* ini harus dihindari karena akan terjadi kerugian akibat berhentinya Mesin produksi yang menyebabkan tidak tercapai Kualitas ataupun *Output* Produksi.

2. *Preventive Maintenance* atau kadang disebut juga *Preventative Maintenance*

Adalah jenis *Maintenance* yang dilakukan untuk mencegah terjadinya kerusakan pada mesin selama operasi berlangsung. Contoh *Preventive maintenance* adalah melakukan penjadwalan untuk pengecekan (*inspection*) dan pembersihan (*cleaning*) atau pergantian suku cadang secara rutin dan berkala. *Preventive Maintenance* terdiri dua jenis, yakni :

- a. *Periodic Maintenance* (Perawatan berkala)
Periodic Maintenance ini diantaranya adalah perawatan berkala yang terjadwal dalam melakukan pembersihan mesin, Inspeksi mesin, meminyaki mesin dan juga pergantian suku cadang yang terjadwal untuk mencegah terjadi kerusakan mesin secara mendadak yang dapat mengganggu kelancaran produksi. *Periodic Maintenance* biasanya dilakukan dalam harian, mingguan, bulanan ataupun tahunan.
- b. *Predictive Maintenance* (Perawatan Prediktif)
Predictive Maintenance adalah perawatan yang dilakukan untuk mengantisipasi kegagalan sebelum terjadi kerusakan total. *Predictive Maintenance* ini akan memprediksi kapan akan terjadinya kerusakan pada komponen tertentu pada mesin dengan cara melakukan analisa trend perilaku mesin/peralatan kerja. Berbeda dengan *Periodic maintenance* yang dilakukan berdasarkan waktu (*Time Based*), *Predictive Maintenance* lebih menitikberatkan pada Kondisi Mesin (*Condition Based*).

3. *Corrective Maintenance* (Perawatan Korektif)

Corrective Maintenance adalah perawatan yang dilakukan dengan cara mengidentifikasi penyebab kerusakan dan kemudian memperbaikinya sehingga Mesin atau peralatan Produksi dapat beroperasi normal kembali. *Corrective Maintenance* biasanya dilakukan pada mesin atau peralatan produksi yang sedang beroperasi secara abnormal (Mesin masih dapat beroperasi tetapi tidak optimal).

2.9.1 Prediksi Perawatan

Prediksi perawatan merupakan suatu teknik perawatan yang membantu menentukan kondisi *in-service* peralatan dan juga untuk memprediksi kapan harus dilakukan perawatan. Dikarenakan tugas-tugas perawatan yang hanya dilakukan bila diperlukan, pendekatan ini menawarkan penghematan biaya lebih dibandingkan dengan perawatan rutin atau perawatan berdasarkan waktu (*preventif* perawatan). Prediksi perawatan atau perawatan yang berbasis pada kondisi meliputi upaya untuk mengevaluasi kondisi peralatan dengan cara melakukan pemantauan kondisi peralatan secara periodik atau terus-menerus (*online*).

Tujuan akhir dari prediksi perawatan adalah untuk menentukan waktu perawatan peralatan sebelum peralatan tersebut mulai kehilangan performa optimal dan menentukan biaya perawatan yang paling efektif. Hal ini kontras dengan perawatan berbasis waktu atau jumlah operasi, dimana sebuah peralatan apakah diperlukan perawatan atau tidak. Perawatan berbasis waktu memerlukan kerja secara intensif, tidak hemat biaya, dan tidak efektif dalam mengidentifikasi masalah-masalah yang berkembang antara jadwal inspeksi. Kata “prediksi” komponen berasal dari prediksi perawatan

memiliki tujuan meramalkan kecenderungan masa depan kondisi peralatan.

Pendekatan ini menggunakan prinsip-prinsip statistik pengendalian proses untuk menentukan pada titik di masa depan kegiatan perawatan akan layak. Kebanyakan inspeksi dilakukan saat peralatan dalam servis sehingga meminimalkan gangguan terhadap operasi normal sistem. Adopsi prediksi perawatan secara substansi dapat menghasilkan penghematan biaya dan keandalan sistem yang lebih tinggi.

2.10 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 kekritisitas 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, perdonel 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 dirangking dari tingkat kepentingan dan dampaknya agar dapat dilakukan tindakan preventif untuk mengurangi/mengemiliasi resiko kerusakan/ kegagalan.

Procedure Failure Modes Effects and Criticallity 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.