

# OPTIMASI DOWNTIME PEGAS KATUP MOTOR PEMBAKARAN DALAM

Mohammad Galbi  
Fakultas Teknik UPN "Veteran" Jakarta  
Program Studi Teknik Mesin

---

## Abstract

The main role of the 4S Diesel Engine valve springs are to guarantee the open and closed valve position without loss of engine compression . Therefore, the spring should be able to maintain the style required by the valve in accordance with the needs of its operations . However , during the spring operations will decrease style , whether caused by cyclic loading when opening and closing the valve as well as an initial load to close the valve . This will make the initial load spring that will suffer constant stress causes a decrease in force continuously, and are increasing with rising spring temperatures as relaxation phenomena . When the spring force reduction operations over the threshold , then the spring will be malfunctioning . Before this happens , the spring must be replaced or restored . Meanwhile , with the new reimbursement by failing to cause unplanned downtime . Thus , to balance the needs of utilities and prevention failure (downtime) required a preventive replacement predictions , and therefore the rate of decline in the spring force is directly related to the characteristics of every spring , so to determine the rate of decline in the valve spring force necessary to test the characteristics of fatigue and relaxation test . Such testing is to determine the valve spring maintenance models that can optimize time -based operations as well as the reliability and minimize downtime prevention of unplanned failures affecting downtime . Based on numerical examples , where tables decreased reliability of resilience that takes place very fast decline (deterioration) right at the minimum total downtime after reaching operating hours 6200 hours and by itself will increase the failure rate after the operating hours . Failure probability of 65.5 hours or an average time of failure that may occur is at 5964 operating hours . The calculations show that at 6200 hours operation has a probability of failure of 1.1 % before reaching the operating hours of 6200 hours or the failure of a population of 19.92 hours (3% ) is far below the standard of 10 % . Thus , policy downtime at 6200 operating hours downtime is optimal policy for the operation of diesel engine service .

**Keywords :** Failure , cyclic , downtime , reliability , breakdown

---

## PENDAHULUAN

Pegas katup pada Motor pembakaran dalam (ICE, Internal Combustion Engine) 4 langkah merupakan salah satu komponen penting pada sistem pegas katup motor (*engine valve spring system*). Peran penting tersebut berhubungan langsung dengan buka-tutup katup secara regular selama proses kerja motor untuk menjamin masuknya udara segar pada katup masuk dan mengeluarkan emisi hasil pembakaran pada katup buang (*Diesel engine*) atau mengatur masuknya bahan bakar pada katup masuk dan mengeluarkan emisi hasil pembakaran pada katup buang (*Petrol engine*) yang harus berlangsung sesegera mungkin. Selama proses buka-tutup tersebut, pegas harus mampu menjamin kedudukan katup terbuka dan tertutup tanpa kehilangan kompresi mesin, dapat mengatasi variasi beban inersia akibat frekuensi naik turun katup dan mampu berfungsi dengan baik

pada temperatur operasi. Untuk itu, pegas ini harus cukup kuat dan memiliki umur lelah yang panjang serta tahan panas.

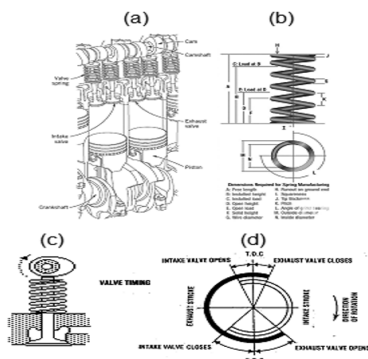
Suatu pegas tekan yang bekerja pada tegangan awal dengan atau tanpa kenaikan temperatur, maka lama kelamaan akan mengalami penurunan gaya balik akibat perubahan regangan elastis menjadi regangan plastis, fenomena ini disebut tegangan relaksasi. selanjutnya disingkat relaksasi. Penurunan gaya balik pegas akibat relaksasi ini akan terus berlangsung selama pegas mengalami tegangan awal (*difleksi konstan*) sehingga suatu saat gaya balik pegas tersebut akan melewati batas gaya balik yang diharapkan untuk menutup katup. Untuk kepentingan pemeliharaan dimana konsekuensi logis akibat "kegagalan fungsi", maka suatu komponen harus diganti. Oleh sebab itu diperlukan metode *preventive replacement* (penggantian untuk pencegahan kegagalan/cegah

ganti kerusakan pegas katup) pada interval waktu tertentu. Persoalan yang muncul adalah menentukan keseimbangan antara kebutuhan operasi, keandalan dan pencegahan kegagalan untuk menghindari terhentinya operasi yang tidak direncanakan (*unplanned downtime*). Dengan demikian, diperlukan penerapan model pemeliharaan yang lebih mengedepankan optimasi penggunaan peralatan ketimbang biaya yang mesti dikeluarkan, yaitu kebijakan yang difokuskan pada meminimalkan total *downtime* persatuan waktu. Untuk itu, keandalan dapat menjadi dasar penentuan *downtime* (penyetelan atau penggantian pegas katup).

Melihat kenyataan ini, maka pada interval penurunan gaya pegas ketika mencapai batas ambang, maka pada periode tersebut merupakan periode yang semestinya dilakukan penggantian yaitu periode dimana pegas mulai mengalami penurunan keandalan, yaitu sebagai kompromi antara kebutuhan operasi dan pemeliharaan untuk menghindari dari kegagalan beserta implikasinya.

## OPERASI PEGAS PADA MOTOR PEMBAKARAN DALAM

Diagram skematik motor diesel ditunjukkan oleh gambar 1.a memperlihatkan pegas yang dimaksud. Fungsi pegas ini adalah memungkinkan katup masuk dan katup keluar terbuka dan tertutup selama motor beroperasi. Rotasi *Camshaft* (gambar 1.c) menyebabkan katup terbuka dan pegas ditekan sehingga beban pada pegas meningkat. Energi yang terimban dalam pegas kemudian menghasilkan gaya balik sehingga katup tertutup ketika *camshaft* terus berputar (gambar 1.d). Proses ini terjadi untuk masing-masing katup (katup masuk dan katup keluar) untuk setiap siklus motor dan terus terjadi selama operasi dan *lifetime* motor yang terjadi berjuta-juta kali. Selanjutnya selama operasi normal motor, temperatur pegas sekitar 80-100°C (175-212°F)



**Gambar. 1** Penampang engine termasuk katup, pegas katup dan mekanisme kerja katup dan pegas.

Berdasarkan pada Gambar 1.b. Pegas memiliki panjang total  $L_F$  atau  $L_0$  dengan diameter kawat  $D_w$  dan memiliki  $n$  koil (hanya  $n-2$  yang aktif) dengan diameter nominal  $D_m$ . Selanjutnya ketika dipasang dan ketika katup benar-benar tertutup, maka panjang pegas menjadi  $L_c = L_f - d$  ( $d$  = difleksi tekan).

Jika angkatan Cam adalah  $L_r$  dan cam membuka katup secara penuh, maka pegas mengalami total difleksi maksimum yang sama dengan jumlah angkatan katup dan difleksi tekan yaitu:  $L_c + d_{maks}$ .

## DISFUNGSI PEGAS KATUP

“Kegagalan fungsi” pegas katup merupakan kegagalan dimana pegas katup tidak lagi dapat memenuhi fungsinya untuk memberikan gaya yang cukup untuk menutup katup secara benar pada kedudukan katup tanpa kebocoran akibat tekanan dalam yang dihasilkan oleh pembakaran bahan bakar didalam silinder. Gaya yang dibutuhkan untuk menutup katup pada setiap mesin berbeda-beda sehingga membutuhkan gaya yang berbeda-beda pula sesuai dengan tekanan maksimum yang terjadi didalam ruang bakar silinder. Sedangkan ketika katup terbuka pegas katup juga harus memiliki gaya yang cukup untuk kembali menutup katup secara cepat agar mesin dapat bekerja secara optimal. Selain itu untuk menghindari gesekan yang terjadi antara katup dan pengarah (*guide*), maka pegas katup diharapkan menghasilkan gaya aksial murni.

Berdasarkan sejumlah fakta menunjukkan bahwa kegagalan lelah terjadi pada permukaan berupa retak disekitar diameter dalam pegas dimana tegangan maksimum terjadi. Jika tegangan meningkat akibat kualitas pembuatan yang rendah atau akibat korosi, maka kegagalan akan terjadi jauh dibawah tegangan yang sebelumnya dianggap aman yang akan menurunkan umur lelah pegas. Bilangan bulat jumlah koil menghasilkan gaya non aksial yang rendah dari pada  $x + 1/2$  coils. (Hayes, 2006) Jumlah koil aktif sebaiknya antara 3 dan 15. (Shigley, Mischke, & Budynas, 1963/2004)

Indeks pegas  $C$  (rasio diameter rata-rata pegas dengan diameter kawat) sebaiknya antara 5 dan 8. Indeks pegas yang terlalu kecil akan melemahkan permukaan bagian dalam pegas yang akan menyebabkan pegas patah dini. Faktor koreksi Wahl,  $K_w$ , adalah berbanding terbalik dengan indeks pegas sementara  $C$  yang terlalu besar membuat pegas sulit mempertahankan jarak

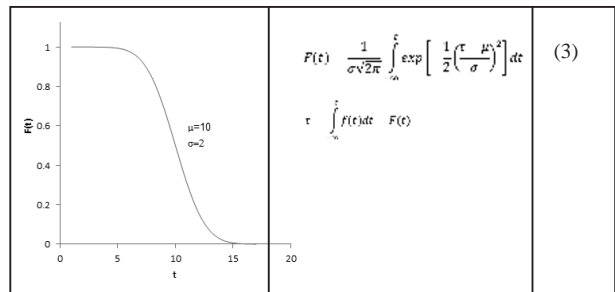
bagi/spasi koil secara konsisten. Inkonsistensi jarak bagi akan menyebabkan variasi panjang bebas dan diameter pegas sehingga diikuti oleh perubahan *spring rate* dan beban. (Society of Automotive Engineers, 1997, hal. 34) (DeFord, 2006) (L. Zubek, personal communication, April 17, 2008) ujung pegas adalah *Squared and ground ends*.

### RELIABILITAS

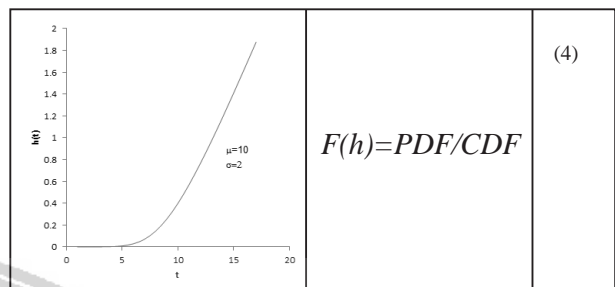
Reabilitas adalah suatu ukuran kemungkinan lamanya suatu komponen atau sistem berfungsi sesuai dengan yang diharapkan. Secara umum, ukuran reliabilitas ada dua yaitu *Mean Time Between Failure* (MTBF), yaitu total waktu operasi per jumlah kegagalan dan *Failure rate* atau Laju kegagalan, yaitu total waktu operasi per jumlah kegagalan. Singkatnya, reliabilitas merupakan kemampuan suatu komponen yang secara konsisten bekerja sesuai dengan spesifikasinya. Jadi suatu komponen dikatakan reliabel bilamana komponen tersebut bebas dari kegagalan

### Fungsi Normal

Fungsi komplemen terhadap fungsi distribusi kumulatif adalah fungsi reliabilitas, juga dikenal dengan fungsi umur (*survival function*). Fungsi tersebut ditentukan dari probabilitas peralatan akan tetap mampu menjalankan fungsinya sedikitnya dalam beberapa waktu tertentu *t*, maka reliabilitasnya adalah:  $R(t) = \int_t^{\infty} f(t) dt = 1 - F(t)$  dimana  $R(t)$  cenderung menuju harga nol. Untuk fungsi reliabilitas berupa fungsi normal seperti pada gambar 2. berikut:



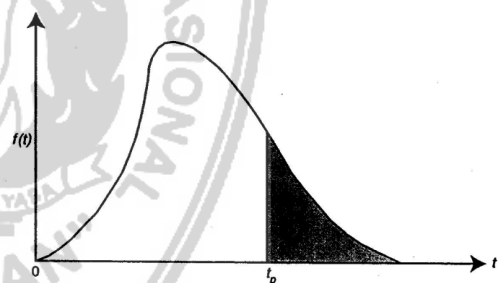
Gambar 2. Fungsi Distribusi kumulatif - Normal



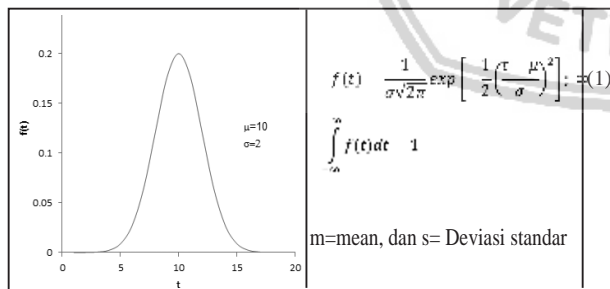
Gambar 2. Fungsi Laju kegagalan- Normal

### DISTRIBUSI KEGAGALAN

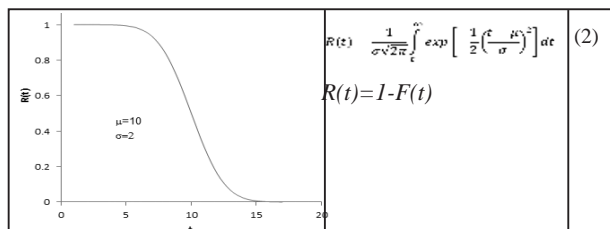
Suatu komponen yang dirancang, dibuat dan dioperasikan sesuai standar termasuk pegas katup, maka sebaran/distribusi kegagalan yang terjadi cenderung akan mengikuti distribusi normal.



Gambar 3. Distribusi kegagalan komponen.



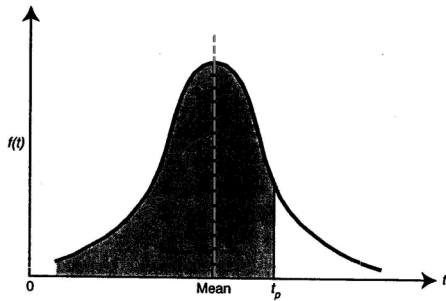
Gambar 2. Fungsi Probabilitas kepadatan-Normal (distribusi kegagalan pegas) /PDF



Gambar 2. Fungsi Reliabilitas-Normal/CDF

Berdasarkan gambar 3. Jika  $f(t)$  adalah fungsi distribusi kegagalan, kemudian probabilitas siklus pencegahan kegagalan adalah sama dengan probabilitas kegagalan sesudah waktu  $t_p$  (luas yang diarsir) disingkat  $R(t_p)$  yang merupakan fungsi reliabilitas dan probabilitas siklus kegagalan adalah suatu probabilitas kegagalan yang terjadi sebelum waktu  $t$  yaitu luas daerah dibawah kurva yang tidak diarsir, karena luas daerah dibawah kurva adalah 1, maka luas daerah yang dimaksud adalah  $[1 - (R(t_p))]$ , maka rentang siklus yang diharapkan adalah rentang siklus pencegahan dikalikan dengan probabilitasnya ditambah dengan rentang siklus yang diharapkan dikalikan dengan probabilitasnya atau sama dengan  $t_p \times R(t_p) + (\text{rentang waktu siklus})$

gagal yang diharapkan)  $x[1-R(tp)]$ . Oleh karena itu, maka untuk menentukan rentang waktu siklus gagal didasarkan pada gambar 3.



Gambar 4. Distribusi kegagalan komponen (arsiran).

Distribusi waktu kegagalan rata-rata (mean) lengkap adalah :

$$\int_{-\infty}^{\infty} t f(t) dt \quad (5)$$

yaitu tepat pada puncak kurva. Namun demikian, jika cegah gagal dengan penggantian terjadi pada waktu  $t_p$ , maka waktu rata-rata kegagalan adalah rata-rata bagian yang diarsir  $M(t_p)$  yaitu:

$$M(t_p) = \frac{\int_{-\infty}^{\infty} t f(t) dt}{1 - R(t_p)} \quad (6)$$

Oleh karer  $M(t_p)$  ig siklus yang diharapkan adalah  $tp \times R(tp) + M(tp) \times [1 - R(tp)]$

### OPTIMASI DOWNTIME

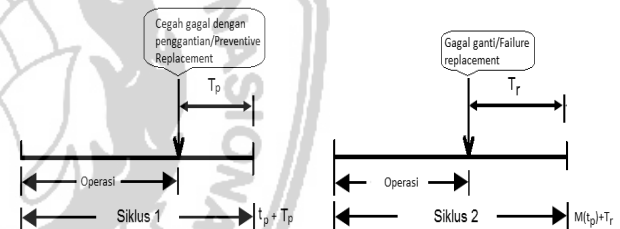
**Substansi:** Suatu komponen seperti pegas katup akan mengalami relaksasi yang pada batas tertentu akan berdampak pada “kegagalan fungsi” katup guna memberikan gaya yang cukup untuk menutup katup tanpa kebocoran walaupun pegas itu sendiri tidak akan mengalami kegagalan lelah. Penurunan tegangan pegas tersebut merupakan penurunan reliabilitas dan dalam waktu tertentu harus diperiksa dan dilakukan penyesuaian (misalnya penambahan *shim*) sebagai penyesuaian terhadap gaya yang diperlukan) atau diganti dengan yang baru bila telah melampaui batas ambang parameter yang ditentukan. Pencegahan atau penggantian terhadap kegagalan akan berdampak pada durasi waktu penghentian operasi motor ICE (lebih cepat atau lebih lama). Sehingga persoalan disini adalah menentukan downtime yang terbaik untuk memaksimalkan operasi dengan penekanan pada pegas yang masih memenuhi fungsinya (tetap dalam kondisi realibel). Oleh karena itu, maka tujuan yang ingin dicapai adalah menentukan umur

optimal  $t_p$  sebagai waktu cegah gagal sambil meminimalkan total down time persatuan waktu.

Konstruksi Modl:

1.  $f(t)$  - Fungsi densitas, waktu mencapai kegagalan (pendekatan distribusi normal).
2.  $T_p$  - Waktu yang diperlukan ketika *downtime* pada pencegahan kegagalan.
3.  $T_r$  - Waktu yang diperlukan ketika *downtime* pada penggantian pegas.
4.  $t_p$  - Rentang umur operasi optimal sebelum gagal fungsi
5.  $R(t_p)$  - Probabilitas siklus pencegahan terhadap kegagalan.
6.  $[1-R(t_p)]$  - Probabilitas siklus gagal.
7.  $M(t_p)$  - Waktu kegagalan rata-rata ketika cegah ganti terjadi pada umur komponen  $t_p$ .
8.  $D(t_p)$  - (Total waktu yang diharapkan persiklus)/rentang siklus yang diharapkan.

★ Pada gambar 5 berikut diilustrasikan dua kemungkinan siklus operasi pegas.



Gambar 5. Dua kemungkinan siklus operasi untuk menentukan umur optimal

Berdasarkan pada dua kemungkinan siklus operasi yang ditunjukan oleh gambar 4, maka: Total downtime/siklus=Downtime akibat siklus cegah x probabilitas siklus cegah+downtime akibat siklus gagal x probabilitas siklus gagal= $T_p R(tp) + T_f [(1-R(tp))]$  dan Rentang siklus yang diharapkan= $(tp+T_p)R(tp)+[M(tp)+T_f][1-R(tp)]$ , sehingga hubungan antara umur ganti dan total down time adalah (Andrew K, 2006, hal. 57,59-61) :

$$D(t_p) = \frac{T_p R(t_p) + T_f [1 - R(t_p)]}{(t_p + T_p) R(t_p) + [M(t_p) + T_f] [1 - R(t_p)]} \quad (7)$$

Atau untuk interval konstan dapat disederhanakan

menjadi

$$D(t_p) = \frac{T_p R(t_p) - T_f [1 - R(t_p)]}{(t_p - T_p) R(t_p) + [\int_{-\infty}^{t_p} t f(t) dt + T_f [1 - R(t_p)]]}$$

Selanjutnya:

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

$$= -\sigma \int \left(\frac{t_p - \mu}{\sigma}\right) + \int \left(\frac{t_p - \mu}{\sigma}\right)$$

(9)

**CONTOH NUMERIK:**

**Tabel 1.** Data kegagalan operasi historis dalam jam:

7800	6700	7100	7300	6800	7500
6900	8000	8600	8800	8100	9000
7700	6600	7300	7500	7900	8500
7100	9000	8800	9000	8500	8200
7900	7500	8600	7800	6900	7400
7300	7800	9000	6700	8000	7300
Mean, _ (Jam)			STD, _ (Jam)		
7777.78			688.73		

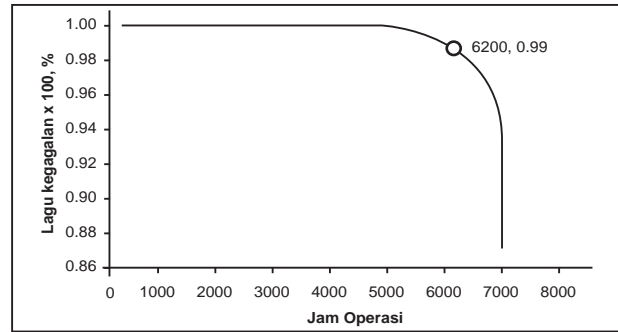
Asumsi :

Waktu cegas gagal,  $T_p= 12$ Jam

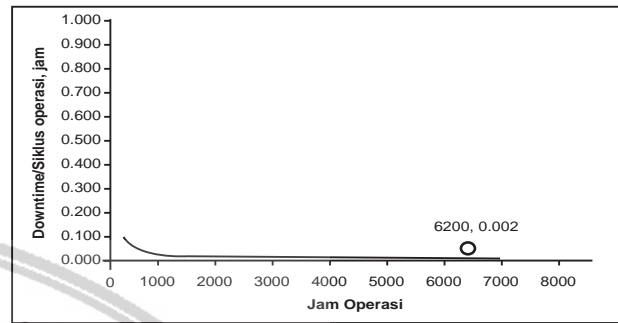
Waktu ganti gagal,  $T_f= 24$  jam

**Tabel 2.** Penurunan gaya pegas

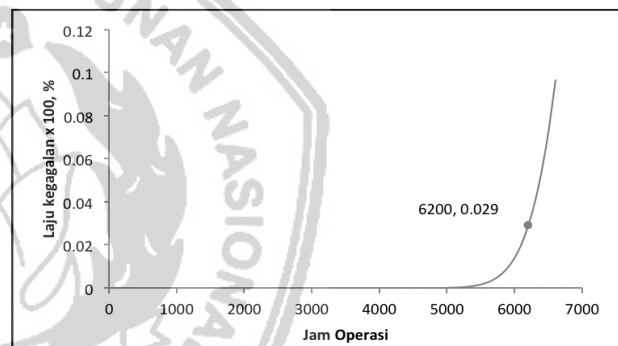
Operasi tp (Jam)	Z	Unreliabel 1-R(tp), %	Reliabilitas R(tp), %	Ordinat, _ (z) %	Ordinat, _ (z) Jam	MTTF t.f(t)dt	Downtime, D(tp) Jam
100	-11.15	0.000	1.00	0.00	0.00	0.0000	0.107
200	-11.00	0.000	1.00	0.00	0.00	0.0000	0.057
300	-10.86	0.000	1.00	0.00	0.00	0.0000	0.038
1000	-9.84	0.000	1.00	0.00	0.00	0.0000	0.012
2000	-8.39	0.000	1.00	0.00	0.00	0.0000	0.006
3000	-6.94	0.000	1.00	0.00	0.00	0.0000	0.004
4000	-5.49	0.000	1.00	0.00	0.00	0.0001	0.003
5000	-4.03	0.000	1.00	0.00	0.08	0.1333	0.002
6000	-2.58	0.005	1.00	0.01	9.82	28.4634	0.002
6100	-2.44	0.007	0.99	0.02	14.14	43.6086	0.002
6200	-2.29	0.011	0.99	0.03	19.92	65.5225	0.002
6300	-2.15	0.016	0.98	0.04	27.49	96.5618	0.002
6400	-2.00	0.023	0.98	0.05	37.15	139.5998	0.002
6500	-1.86	0.032	0.97	0.07	49.15	198.0179	0.002
6600	-1.71	0.044	0.96	0.09	63.67	275.6422	0.002
6700	-1.56	0.059	0.94	0.12	80.76	376.6159	0.002
6800	-1.42	0.078	0.92	0.15	100.30	505.1981	0.002
6900	-1.27	0.101	0.90	0.18	121.97	665.4930	0.002
7000	-1.13	0.129	0.87	0.21	145.22	861.1189	0.002



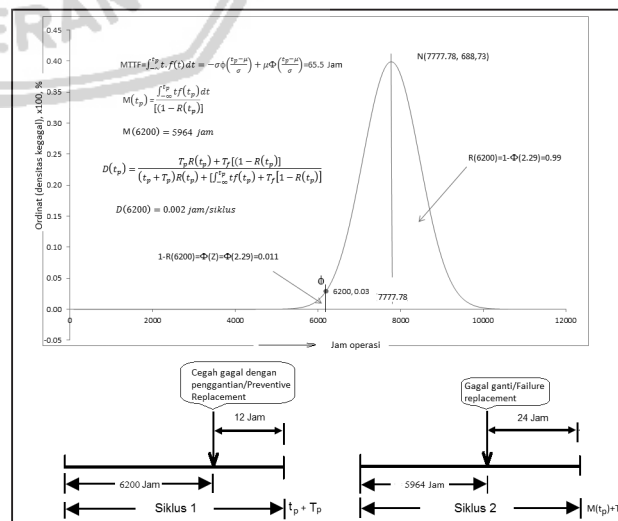
**Gambar 5.a.** Jam operasi vs Reliabilitas



**Gambar 5.b.** Jam operasi vs Downtime



**Gambar 5.** Jam operasi vs laju kegagalan



**Gambar 5.** Pergerakan Jam operasi menuju kegagalan dan siklus alternatif "cegah gagal dan ganti gagal"

## SIMPULAN

Berdasarkan contoh numerik, dimana tabel penurunan gaya pegas. dan diperjelas pada gambar 5.a. terlihat bahwa Penurunan reliabilitas berlangsung sangat cepat (deteriorasi) tepat pada total downtime minimum yaitu setelah jam operasi mencapai 6200 jam dan dengan sendirinya laju kegagalan (*failure rate*) juga akan meningkat setelah jam operasi tersebut (gambar 5.c). Selanjutnya, pergerakan jam operasi hingga kemungkinan gagal seperti terlihat pada gambar 5.d, dimana probabilitas kegagalan sebelum  $tp$  sebesar 65.5 jam atau rata-rata waktu kegagalan yang mungkin terjadi adalah pada operasi 5964 jam. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa pada jam operasi 6200 jam memiliki probabilitas kegagalan sekitar 1.1% sebelum mencapai jam operasi 6200 jam atau pada populasi kegagalan sebesar 19.92 jam (3%) jauh dibawah standar 10%. Dengan demikian, kebijakan *downtime* pada jam operasi 6200 jam merupakan kebijakan *downtime* optimal untuk operasi pelayanan motor diesel.

## DAFTAR PUSTAKA

Andrew K.S. Jardine, Albert H.C. Tsang, Maintenance, Replacement, and Reliability, Theory and Applications, Taylor & Francis Group, Boca Raton London New York, 2005.

Beuter, H. (2002). Handbook of Spring Design [Brochure]. Oak Brook, IL: Spring Manufacturers Institute, Inc. Handbook (10th ed., Vol. 4, pp. 203-206). Metals Park, OH: ASM International

Deutschman, A. (1975). Machine Design Theory and Practice. New York: Macmillan Publishing Co., Inc.

John Bird, BSc. (2003). Engineering Mathematics Fourth Edition(Hons) CMath, FIMA, CEng, MIEE, FCollP, FIIE.

Mott, R. (1999). Machine Elements in Mechanical Design (3rd ed.). Upper Saddle River, NJ: Pearson Education.

Sebastian, D. (2000). Compression, Extension, Garter and Torsion Springs [Brochure]. Oak Brook, IL: Spring Manufacturers Institute Inc.

Wahl, A. M. (1996). Mechanical Springs (2nd ed.).

Oak Brook, IL: Spring Manufacturers Institute, Inc. (Original work pu