

METODE

Penentuan Komponen Kritis

Metode Penentuan Komponen Kritis
Penulis : Ponidi, ST.,MT.
Editor : Syariffudin
Tata Letak : Nurhidayatullah.r
Design cover : Riki Dwi Safawi



UM Surabaya Publishing

Hak Cipta Penerbit UMSurabaya Publishing
Jl Sutorejo No 59 Surabaya 60113

Telp : (031) 3811966, 3811967

Faks : (031) 3813096

Website : <http://www.p3i.um-surabaya.ac.id>

Email : p3iurabaya@gmail.com

Hak cipta dilindungi undang-undang. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh isi buku ini dalam bentuk apapun, baik secara elektronis maupun mekanis, termasuk memfotokopi, merekam, atau dengan menggunakan sistem penyimpanan lainnya, tanpa izin tertulis dari penerbit.

UNDANG- UNDANG NOMOR 28 TAHUN 2014 TENTANG HAK CIPTA

1. Setiap Orang yang dengan tanpa hak/atau tanpa ijin pencipta atau pemegang Hak Cipta melakukan pelanggaran hak ekonomi pencipta yang meliputi Penerjemah dan Pengadaptasian Ciptaan untuk Penggunaan Secara Komersial dipidana dengan pidana paling lama 1 (satu) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp 500.000.000,00
(lima ratus juta rupiah)
2. Setiap Orang yang dengan tanpa hak dan/atau tanpa ijin Pencipta atau pemegang Hak Cipta melakukan pelanggaran hak ekonomi Pencipta yang meliputi Penerbitan, Penggandaan dalam segala bentuknya, dan pendistribusian Ciptaan untuk Penggunaan Secara Komersial, dipidana dengan pidana penjara paling lama 4 (empat) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp 1.000.000.000,00 (satu miliar rupiah)
3. Setiap Orang yang memenuhi unsur sebagaimana dimaksud pada poin kedua diatas yang dilakukan dalam bentuk Pembajakan, dipidana dengan pidana penjara paling lama 10 (sepuluh) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp 4.000.000.000,00 (empat miliar rupiah)

Surabaya: UMSurabaya Publishing, 2019

Ukuran Buku : 15 X 23 cm , x. 12 mm + 88 halaman
ISBN :

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Alhamdulillah segala puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT yang senantiasa memberikan rahmat, hidayah, rizki, ilmu, dan kesehatan yang berlimpah serta kemudahan-kemudahan, serta shalawat dan salam kepada junjungan Nabi Muhammad SAW sehingga buku monograf dengan judul Metode penentuan komponen kritis dengan weibull 6 ++ dan *reliability* dapat penulis selesaikan.

Buku ini merupakan rangkuman hasil yang diperoleh selama penelitian terhadap Diesel Generator Caterpillar type 3412 C di KRI Ahmad Yani-351. Dengan metode ini nantinya bisa dipakai untuk menentukan komponen kritis dari Diesel Generator Caterpillar 3412 C sehingga bisa diketahui tingkat keandalan dari suku cadang mesin yang telah dipasang di kapal. Dengan metode ini pula bisa dilakukan jenis maintenance yang paling tepat untuk setiap mesin yang ada. 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 pada Diesel Generator 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 diesel generator dibutuhkan kegiatan perawatan yang meliputi kegiatan pengecekan, perawatan dan perbaikan, serta penggantian komponen yang rusak.

Adapun data kerusakan komponen kritis yang mewakili populasi sampel tersebut adalah: Exhaust valve, Inlet Valve , Injector nozzle, Piston, Piston Ring, Conrod 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).

Dengan adanya penelitian ini diharapkan bisa dilakukan penelitian lanjutan agar mampu dibuat suatu pola perawatan/penggantian terencana sehingga Diesel generator mempunyai nilai keandalan yang tinggi dan dapat dioperasikan secara optimal dengan biaya seefisien mungkin.

Penulis menyadari adanya kesalahan yang terjadi baik secara sengaja ataupun tidak dalam penulisan buku monograf ini. Karenanya penulis memohon maaf kepada seluruh pihak yang terkait dengan penulisan buku monograf ini.

Banyak dukungan motivasi dan bantuan yang diperoleh selama pengerjaan tugas akhir ini. Oleh karena itu, tidak lupa penulis mengucapkan terima kasih, terutama kepada:

1. Dr.dr. Sukadiono, MM. selaku Rektor Universitas Muhammadiyah Surabaya.
2. Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Surabaya
3. Ketua Jurusan Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Surabaya.
4. Kepala LPPM Universitas Muhammadiyah Surabaya
5. Rekan sejawat Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Surabaya, yang telah memberikan beberapa masukan untuk terselesaikannya buku monograf ini.
6. Seluruh karyawan dan karyawan Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Surabaya atas pelayanan yang diberikan.
7. Seluruh pejabat di lingkungan TNIAL ujung Surabaya yang telah banyak memberikan kebebasan penulis untuk melakukan pengambilan data dalam penelitian untuk menunjang penulisan buku monograf ini.
8. Serta pihak-pihak lain yang tidak bisa disebutkan satu persatu, yang telah banyak membantu dan memberikan kontribusi selama penyusunan buku monograf ini .

Dengan selesainya buku monograf ini semoga bisa bermanfaat untuk pembaca sekalian terutama yang mempunyai masalah yang sama terhadap perencanaan perawatan berkala mesin yang setype. Semoga penelitian ini masih bisa dilanjutkan sampai bisa menentukan jumlah biaya yang ditimbulkan akibat adanya perencanaan pola perawatan yang baik dan benar.

Wassalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Surabaya, februari 2019

Penulis

DAFTAR ISI

	Hal
KATA PENGANTAR	ii
DAFTAR ISI	v
DAFTAR GAMBAR	vii
DAFTAR TABEL	ix
1. PENDAHULUAN	1
1.1 Perumusan masalah	2
1.2 Batasan Masalah	3
1.3 Manfaat Penelitian	3
2. TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1 Siklus Mesin Diesel 4 Langkah.....	5
2.2 Proses Pembakaran	8
2.3 Teknikal Data Diesel Generator CAT 3412	12
2.4 Pengertian Keandalan	15
2.5 Fungsi Keandalan	16
2.6 Model Kerusakan	16
2.7 Fungsi Distribusi Kumulatif dan Fungsi Kepadatan.....	17
2.8 Laju Kerusakan	18
2.9 Fungsi Rata-Rata Sisa Umur.....	22
2.10 Distribusi Probabilitas.....	23
2.10.1 Distribusi Eksponensial	23
2.10.2 Distribusi Weibull	24
2.10.3 Distribusi Normall	26
2.11 Jenis Perawatan.....	27
2.12 FMECA	30
3. METODOLOGI PENELITIAN	32
3.1 Pendahuluan	33
3.2 Tinjauan Pustaka.....	33
3.3 Pengumpulan dan Pengolahan Data	34
3.4 Penentuan Komponen Kritis	36
3.5 Penentuan Distribusi	36

3.6 Penentuan Nilai Keandalan, <i>Probability Of Failure</i> , dan Laju Kerusakan	37
3.7 Analisa Data dan Pembahasan	37
3.8 Kesimpulan dan Saran	37
4. ANALISA DAN PEMBAHASAN	38
4.1 Analisa Kegagalan dengan Metode FMECA dan Penentuan Komponen Kritis	38
4.2 Analisa Probabilitas of Failure, Keandalan (Reliability) Dan Failure Rate Komponen	39
5. KESIMPULAN DAN SARAN	67
5.1 Kesimpulan	67
5.2 Saran	68
DAFTAR PUSTAKA	69
LAMPIRAN	

DAFTAR GAMBAR DAN TABEL

	Hal
Gambar 2.1 Langkah Hisap	5
Gambar 2.2 Langkah Kompresi.....	6
Gambar 2.3 Langkah Usaha	7
Gambar 2.4 Langkah Buang	8
Gambar 2.5 Proses Pembakaran Mesin Diesel	9
Gambar 2.6 Proses Detonasi pada Mesin Diesel.....	11
Gambar 2.7 Diesel Generator CAT 3412.....	12
Gambar 2.8 Hubungan Antara <i>State Variable X (t)</i> Dengan Waktu Kerusakan TTF	17
Gambar 2.9 Garfik Laju kerusakan terhadap waktu.....	20
Gambar 2.10 Mean Residual Life Time.....	23
Gambar 3.1 Diagram Alir Metodologi Penelitian Diesel Generator	32
Gambar 4.1 Grafik $f(t)$ terhadap t <i>Inlet Valve</i>	42
Gambar 4.2 Grafik $R(t)$ terhadap t <i>Inlet Valve</i>	43
Gambar 4.3 Grafik $\lambda(t)$ terhadap t <i>Inlet Valve</i>	44
Gambar 4.4 Grafik $f(t)$ terhadap t <i>Exhaust Valve</i>	45
Gambar 4.5 Grafik $R(t)$ terhadap t <i>Exhaust Valve</i>	46
Gambar 4.6 Grafik $\lambda(t)$ terhadap t <i>Exhaust Valve</i>	47
Gambar 4.7 Grafik $f(t)$ terhadap t <i>Nozzle</i>	49
Gambar 4.8 Grafik $R(t)$ terhadap t <i>Nozzle</i>	50
Gambar 4.9 Grafik $\lambda(t)$ terhadap t <i>Nozzle</i>	51
Gambar 4.10 Grafik $f(t)$ terhadap t <i>Piston</i>	52
Gambar 4.11 Grafik $R(t)$ terhadap t <i>Piston</i>	53
Gambar 4.12 Grafik $\lambda(t)$ terhadap t <i>Piston</i>	54
Gambar 4.13 Grafik $f(t)$ terhadap t <i>Piston Ring</i>	56
Gambar 4.14 Grafik $R(t)$ terhadap t <i>Piston Ring</i>	57
Gambar 4.15 Grafik $\lambda(t)$ terhadap t <i>Piston Ring</i>	58
Gambar 4.16 Grafik $f(t)$ terhadap t <i>ConRod Bearing</i>	59
Gambar 4.17 Grafik $R(t)$ terhadap t <i>ConRod Bearing</i>	60
Gambar 4.18 Grafik $\lambda(t)$ terhadap t <i>ConRod Bearing</i>	61

Gambar 4.19 Grafik $f(t)$ terhadap t <i>Main Bearing</i>63
Gambar 4.20 Grafik $R(t)$ terhadap t <i>Main Bearing</i>	64
Gambar 4.21 Grafik $\lambda(t)$ terhadap t <i>Main Bearing</i>	65

DAFTAR TABEL

	Hal
Tabel 3.1 Definisi kegagalan	35
Tabel 4.1 Kategori Failure effect dari komponen	38
Tabel 4.2 Parameter distribusi	40
Tabel 4.3 Nilai probabilitas, keandalan, failure rate	66

1

PENDAHULUAN

KRI Ahmad Yani-351 merupakan kapal pertama kapal perang kelas Perusak Kawal Berpeluru Kendali Kelas Ahmad Yani milik TNI AL. Menurut Jendral Ahmad Yanikapal tersebut diberi nama salah seorang pahlawan revolusi. KRI Ahmad Yani merupakan kapal fregat bekas pakai ALBelanda (*HMNLS Van Speijk F804*) yang kemudian dibeli oleh Indonesia. Kapal ini bersaudara dekat dengan Fregat Inggris Kelas HMS Leander dengan sedikit modifikasi dari desain *RN Leander* asli. Dibangun tahun 1967 oleh *Koninklijke Maatschappij de Schelde*, Vlissingen, Belanda dan mendapat peningkatan kemampuan sebelum berpindah tangan ke TNI Angkatan Laut pada tahun 1977-1980. Termasuk diantaranya adalah pemasangan sistem pertahanan rudal anti pesawat (*SAM, Surface to Air Missile*) menggantikan *Sea Cat*. Bertugas sebagai armada patroli dengan kemampuan anti kapal permukaan, anti kapal selam dan anti pesawat udara.

Pada tahun 2007, bersama dengan KRI Abdul Halim Perdanakusuma-355, selesai menjalani pergantian mesin (*repowering*) yang dijalannya selama 2 tahun. Saat ini KRI Ahmad Yani kembali memperkuat Komando Armada II RI Kawasan Timur. Pada pelaksanaan *repowering* tersebut, penggantian mesin tidak hanya pada mesin penggerak pokoknya saja yang menggunakan 2x mesin Cat 3616, 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 dianalisa 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.

1.1 Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang tersebut, permasalahan dalam penelitian ini yaitu :

1. Komponen mana saja yang termasuk resiko kritis terjadi kerusakan pada diesel generator IV KRI. Ahmad Yani-351 ?
2. Berapa nilai keandalan, *Probability of Failure* dan *Failure Rate* komponen-komponen tersebut ?

1.2 Batasan Masalah

Beberapa batasan masalah dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Data yang digunakan pada penelitian ini merupakan data sekunder yaitu jurnal dari kapal.
2. Penelitian difokuskan pada Diesel Generator IV KRI Ahmad Yani-351 Merk Caterpillar *Type* : Cat 3412 C.
3. Analisa hanya dilakukan pada komponen kritis (sering mengalami kerusakan).

1.3 Manfaat Hasil Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan harapan sebagai berikut :

1. Mengatahui komponen paling kritis pada diesel generator IV KRI Ahmad Yani-351, sehingga dapat di prioritaskan dalam perawatan.
2. Dapat dipakai acuan bagi Perusahaan maupun pejabat TNI AL dalam mengambil keputusan untuk pelaksanaan perawatan dan perbaikan Diesel Generator.
3. Membantu ABK dalam pelaksanaan perawatan setiap harinya untuk mencegah kecelakaan di kapal.
4. Operasional availibity menjadi lebih besar.

2

TINJAUAN PUSTAKA

Mesin diesel adalah sejenis mesin pembakar dalam, lebih spesifik lagi sebuah mesin pemicu 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 Rudlof Diesel, yang menerima paten pada 23 Februari 1893. Diesel menginginkan sebuah mesin untuk dapat digunakan dengan berbagai macam bahan bakar termasuk debu batu bara. Diesel 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.

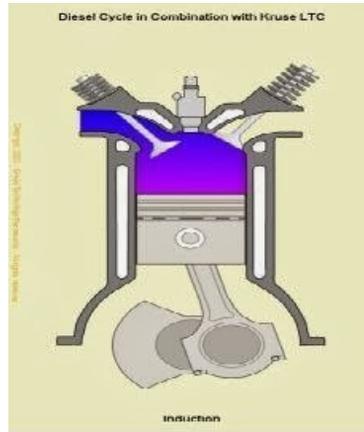
Hasil pencampuran ini menyala dan membakar dengan cepat. Ledakan tertutup ini menyebabkan gas dalam ruang pembakaran di atas mengembang, mendorong piston ke bawah dengan tenaga yang kuat dan menghasilkan tenaga dalam arah vertikal. *Rod* penghubung menyalurkan gerakan ini ke *crankshaft* yang dipaksa untuk berputar, menghantar tenaga berputar di ujung pengeluaran *crankshaft*.

2.1 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

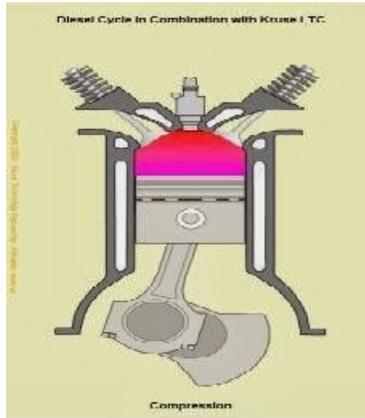
Selama langkah pertama, yakni langkah hisap, piston bergerak ke bawah (dari TMA ke TMB) sehingga membuat kevakuman di dalam silinder, kevakuman ini membuat udara terhisap dan masuk ke dalam silinder. Pada saat ini katup hisap membuka dan katup buang menutup.



Gambar 2.1 Langkah Isap

2. Langkah Kompresi

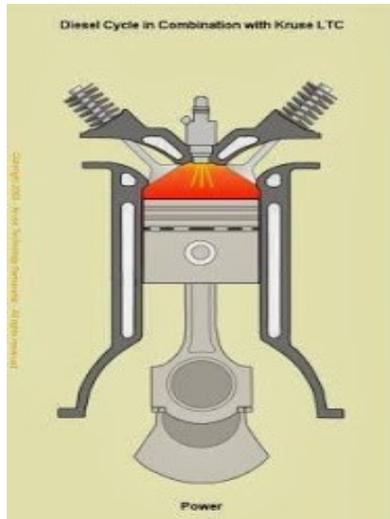
Pada langkah kedua disebut juga dengan langkah kompresi, udara yang sudah masuk ke dalam silinder akan ditekan oleh piston yang bergerak ke atas (TMA). Perbandingan kompresi pada motor diesel berkisar diantara 13 : 1 sampai 24 : 1. Akibat proses kompresi ini udara menjadi panas dan temperaturnya bisa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



Gambar 2.2 Langkah Kompresi

3. Langkah Pembakaran

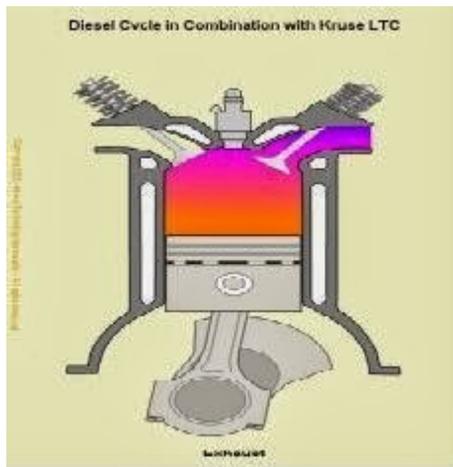
Pada akhir langkah kompresi, *injector nozzle* menyemprotkan bahan bakar dengan tekanan tinggi dalam bentuk kabut ke dalam ruang bakar dan selanjutnya bersamasama dengan udara terbakar oleh panas yang dihasilkan pada langkah kompresi tadi. Diikuti oleh pembakaran tertunda, pada awal langkah usaha akhirnya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



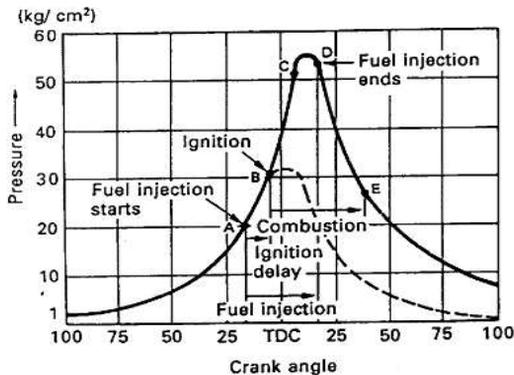
Gambar 2.4 Langkah buang

2.2 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 menyemprotkan 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.

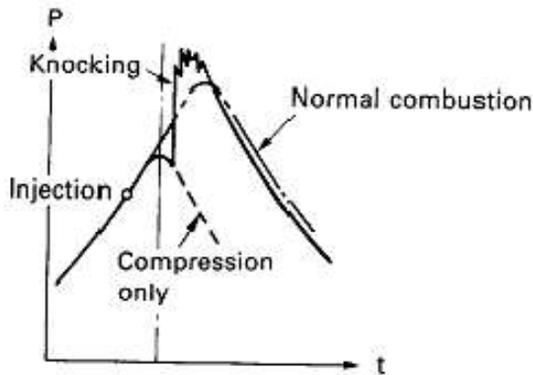
d. Pembakaran lanjutan (D - E).

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.

2.3 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.

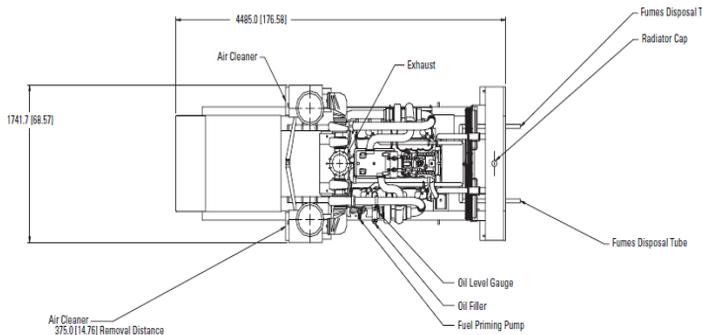
¹ABS, BV, DnV, GL, LR approved generator set packages available.

	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

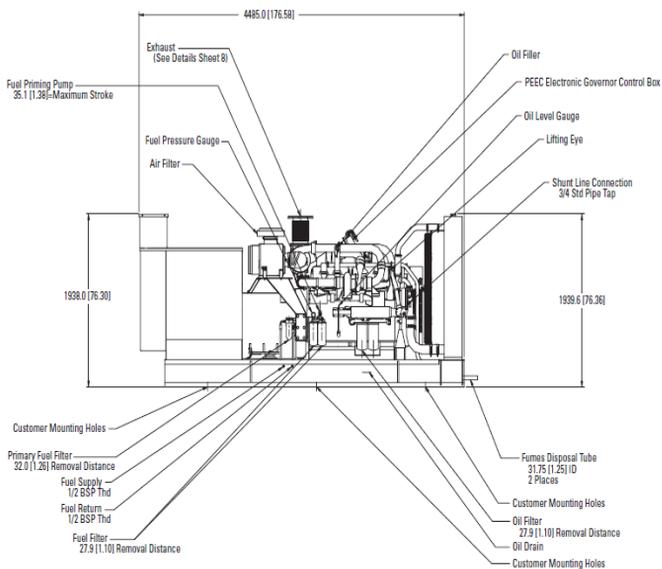
Vee 12, 4-Stroke-Cycle Diesel

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



2.4 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.

2.5 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

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

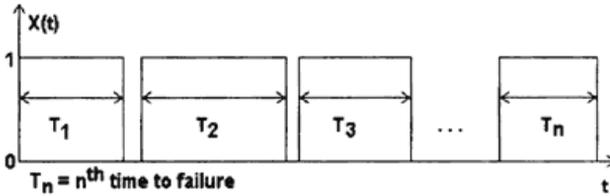
2.6 Model Kerusakan

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.

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

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

2.7 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: $F(t) = \int_0^t f(t) dt$

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

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).

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

2.8 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 :

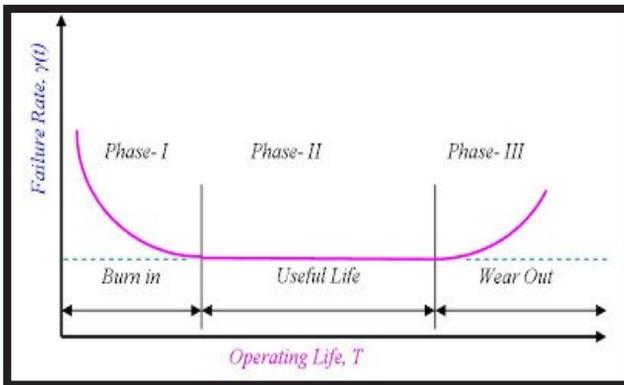
$$\begin{aligned} P(t < T \leq t + \Delta t) &= \frac{P(t < T \leq t + \Delta t)}{P(T > t)} \\ &= \frac{F(t + \Delta t) - F(t)}{R(t)} \end{aligned} \quad (5)$$

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

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

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 *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 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 keandalan 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 keandalannya 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)

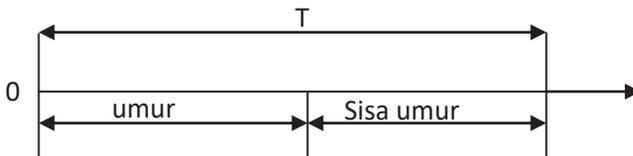
3. *Wear Out Zone*

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.

2.9 Fungsi Rata – Rata Sisa Umur (*Mean Residual Life Time (MRL Function)*)

Selama penggunaan dalam 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 :

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



Gambar 2.10 *Mean Residual Life Time*

2.10 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*.

2.10.1 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 :

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

(10)

Dan fungsi didtribusi kumulatifnya adalah :

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

(11)

dimana :

t = Waktu

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

Fungsi keandalan dari distribusi eksponensial menjadi :

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

(12)

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

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

$$MTTF = \int_1 R(t) dt = \frac{1}{\lambda} \quad (14)$$

2.10.2 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

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

pengaturan nilai parameter bentuk β .

Menurut Hoyland (1994 : 4), Distribusi Weibull dapat disajikan dalam bentuk dua/tiga parameter. Fungsi PDF⁽⁴⁵⁾ dari ketiga parameter distribusi weibull dinyatakan dengan :
dimana :

β = parameter bentuk, $\beta > 0$

η = parameter skala, $\eta > 0$

γ = parameter lokasi, $\gamma <$ 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.

2.10.3 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:

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

dimana :

Φ = fungsi CDF dari distribusi normal

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

2.11 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).

2.11.1 Prediksi Perawatan

Prediksi perawatan merupakan suatu teknik perawatan yang membantu menentukan kondisi *in-service* peralatan dan juga untuk memprediksi kapan harus dilakukan perawatan. Pelaksanaan 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.

2.12 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 diranking dari tingkat kepentingan dan dampaknya agar dapat dilakukan tindakan preventif untuk mengurangi/mengemilnasi resiko kerusakan/kegagalan.

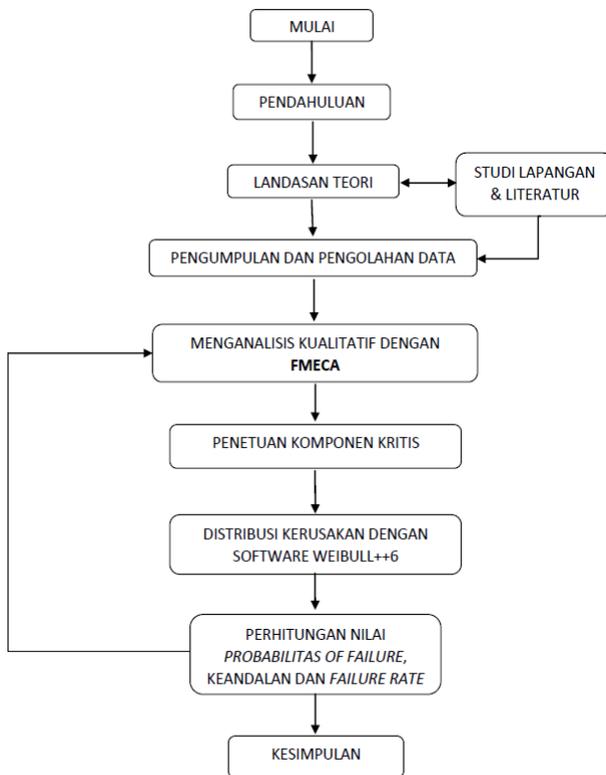
Procedure Failure Modes Effects and Criticallity Analysis (FMECA) secara garis besar dapat meliputi beberapa langkah secara sistematis dapat diuraikan sebagai berikut :

- 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.

3

METODELOGI PENELITIAN

Pelaksanaan penelitian ini dilakukan melalui beberapa tahapan untuk mendapatkan tujuan yang diinginkan sesuai dengan yang diutarakan pada Bab I. Gambar 3.1 menunjukkan diagram alir dalam penelitian tugas akhir ini.



Gambar 3.1 Diagram Alir Metodologi Penelitian

3.1 Pendahuluan

Padatahap ini berisi tentang latar belakang masalah yang diangkat, perumusan masalah yang diangkat, tujuan penelitian berdasarkan perumusan masalah, batasan masalah agar tidak menyimpang dari tujuan awal, manfaat penelitian, dan sistematika penelitian. Sehingga dapat diuraikan hasil kegiatan langkah identifikasi dan tujuan penelitian ini sesuai yang disajikan pada bab I, yang meliputi:

1. Penentuan tujuan penelitian yang sesuai dengan persoalan di KRI.
2. Penentuan pembatasan masalah untuk menghindari kompleksitas masalah yang mencakup objek penelitian.
3. Mengidentifikasi komponen kritis yang sering mengalami kerusakan, sehingga bisa dilakukan tindakan preventif terhadap komponen tersebut.

3.2 Landasan Teori

Kegiatan ini melakukan studi lapangan tentang kerusakan komponen-komponen pada Diesel Generator IV Merk Caterpillar Tipe 3412 C milik KRI Ahmad Yani-351 di perusahaan langsung, yaitu PT. Tesco Indomaritim serta langsung ke kapal dan Satuan kapal. Selain itu untuk proses pengolahan data, dan identifikasi mempelajari tentang teori keandalan, distribusi kerusakan dan analisa kegagalan serta analisa menggunakan *Failure Modes Effects and Criticallity Analysis* (FMECA) dan Weibull ++6. Sehingga diperoleh komponen-komponen kritis yang terdapat pada Diesel Generator IV KRI Ahmad Yani-351 di wilayah Koarmada II Ujung Surabaya.

3.3 Pengumpulan Dan Pengolahan Data

Pengumpulan data dalam penelitian adalah satu fase yang sangat penting dalam penyusunan laporan penelitian ini karena tahap ini merupakan langkah awal dalam membuat analisis mengenai keadaan Diesel Generator Caterpillar 3412 KRI AMY-351 dan mengambil kesimpulan. Dimana tahap pengumpulan data ini merupakan pengumpulan data untuk pengolahan data

3.3.1.1 Data Kualitatif

Mode kegagalan yang terjadi dan analisa dampak kegagalan masing-masing komponen disusun berdasarkan pencatatan kerusakan yang diperoleh dari hasil verifikasi dan jurnal laporan kerusakan dan manual book tentang trouble shooting engine, serta dilengkapi wawancara langsung dengan para anggota mesin di lapangan. Pengolahan data kegagalan fungsional yang dimaksud adalah menentukan kegagalan tiap-tiap subsistem dan komponen terhadap fungsinya.

Data-data kualitatif yang diperoleh selanjutnya dianalisa dengan metode FMECA dengan tujuan untuk mengetahui kegagalan fungsional, mode kerusakan, dan sejauh mana dampak yang ditimbulkan oleh kerusakan tersebut memengaruhi subsistem dan sistem. Prosedur FMECA adalah sebagai berikut :

- a. Mengidentifikasi semua *failure mode* potensial dan penyebabnya.
- b. Evaluasi dampak pada setiap *failure mode* dalam sistem.
- c. Mengidentifikasi metode dalam mendeteksi kerusakan/kegagalan.
- d. Mengidentifikasi pengukuran korektif untuk *failure modes*.
- e. Akses frekwensi dan tingkat kepentingan dari kerusakan-kerusakan penting untuk analisa kritis, dimana dapat diaplikasikan

Tabel 3.1 Definisi Kegagalan

JENIS KEGAGALAN	DEFINISI
Kegagalan (Failure)	Terputusnya kemampuan menjalankan fungsi dari satu item
Kegagalan Tersembunyi (Hidden Failure)	Kegagalan yang tidak dapat dideteksi, karena failure tidak menampakkan gejala fisik
Kegagalan Potensial (Potential Failure)	Kegagalan yang terjadi secara gradual dan beberapa kondisi fisik dari proses degradasi dapat dideteksi
Kegagalan Fungsional (Functional Failure)	Kegagalan dimana secara normal, item kehilangan fungsinya tanpa ada peringatan awal yang dapat dideteksi
Kegagalan Tampak (Evident Failure)	Kegagalan yang kemungkinan besar dapat dideteksi personil yang sedang melaksanakan tugasnya
Penyebab Kegagalan (Failure Cause)	Alasan dari penyebab satu item mengalami kegagalan
Mode kegagalan (Failure Mode)	Dampak dimana sebuah kegagalan dapat terlihat pada item yang gagal, Mode kegagalan menggambarkan hilangnya fungsi yang diperlukan akibat dari kegagalan
Dampak kegagalan (Failure Effect)	Konsekwensi dari sebuah mode kegagalan dari sebuah item

3.3.1.2 Data Kuantitatif

Data-data tentang kerusakan didapat dari jurnal kapal, laporan kerusakan, hasil verifikasi kerusakan dan penggantian komponen. Data-data tersebut berupa waktu kerusakan (TTF), komponen kritis, dan waktu antar kerusakan.

3.2 Penentuan Komponen Kritis

Komponen kritis ditentukan secara kualitatif dengan melihat pengaruh kerusakan yang ditimbulkan terhadap sistem. Jika sistem gagal maka komponen disebut sebagai komponen kritis, jika sistem tidak gagal maka pengaruh kerusakan komponen tersebut dikatakan potensial (Suatu saat komponen tersebut dapat menjadi komponen kritis)

3.3 Penentuan Distribusi

Data waktu antar kerusakan dari komponen kritis dari Diesel Generator selanjutnya dianalisa dengan menggunakan program weibull++6 untuk menentukan jenis dan parameter distribusi kerusakan yang sesuai, apakah eksponensial (1 dan 2 parameter), Normal, Weibull (2 dan 3 parameter), atau log normal. Distribusi yang terpilih adalah Distribusi yang memiliki Likelihood Value (LKV) terbesar dan memiliki rangking tertinggi yang dipilih oleh program Weibull ++6 tersebut.

3.4 Penentuan Nilai Keandalan, *Probability of Failure*, dan Laju Kerusakan

Selanjutnya nilai dari parameter-parameter distribusi tersebut digunakan untuk menentukan nilai keandalan, *probability of failure* dan laju Kerusakan dari tiap-tiap komponen.

3.5 Analisa Data dan pembahasan

Analisa data yang akan dilakukan bertujuan untuk menghasilkan keputusan tentang kompoen kritis yang terdapat pada Diesel Generator Caterpillar tipe 3412.

3.6 Kesimpulan dan Saran

Setelah melakukan analisis maka dapat disimpulkan dari penguraian analisis yang dilakukan, sesuai dengan tujuan penelitian. Disamping itu saran dari peneliti untuk berbagai kalangan dapat diutarakan dengan penelitian yang dilakukan.

4

ANALISA PEMBAHASAN

4. Analisa 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.

4.1 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 effectseperti 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

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.

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

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

Dengan menggunakan *software weibull++6* 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 ++6, kita dapat mengetahui nilai beta dan eta dari masing-masing komponen, lihat lampiran 3. Sehingga dapat ditabulasi sebagai berikut :

Tabel 4.2 Parameter Distribusi

PART NUMBER	NAMA KOMPONEN	PARAMETER DISTRIBUSI	
		$2 \quad \beta$	η
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* (β) < 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* (β) = 1,0, maka dikategorikan *random failure* yang disebabkan karena jika suatu spare parts baik dalam kondisi baru atau lama mempunyai probabilitas yang sama terhadap *failure*. Dalam interval ini laju kegagalan (*failure rate*) konstan.

3. Jika nilai $\beta > 1,0$, 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 $F(t)$

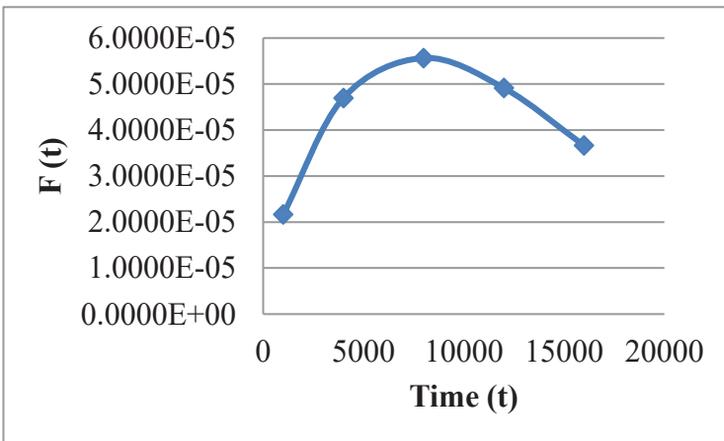
$$f(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t}{\eta}\right)^{\beta-1} \exp \left[-\left(\frac{t}{\eta}\right)^{\beta} \right]$$

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

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

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

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

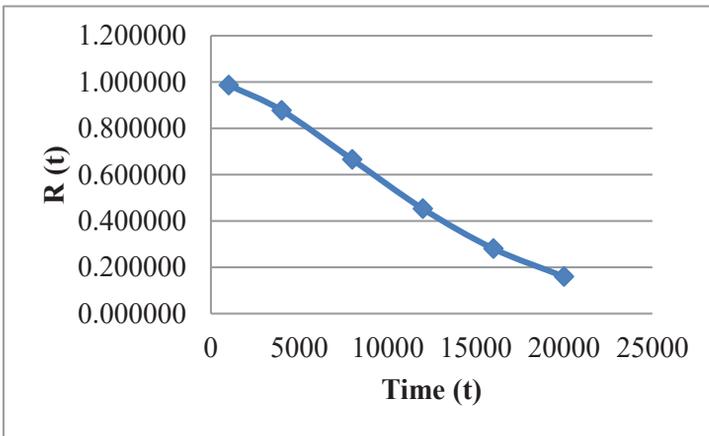
$$R(t) = \exp \left[- \left(\frac{t}{\eta} \right)^\beta \right]$$

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 4.2 Grafik $R(t)$ terhadap t Inlet Valve

c. Laju kerusakan (*Failure Rate*)

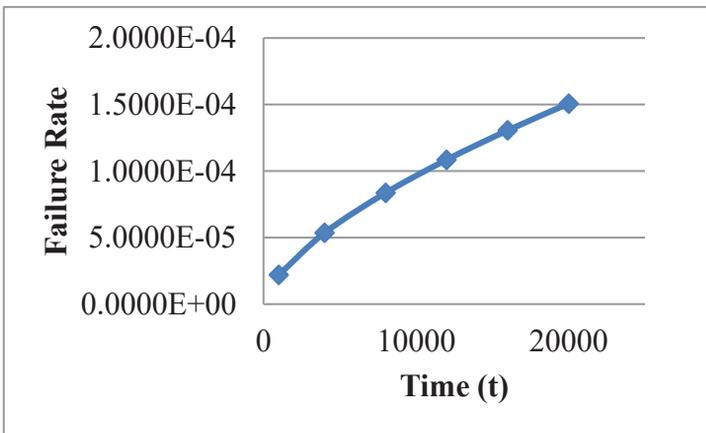
$$\lambda(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t}{\eta} \right)^{\beta-1}$$

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 4.3 Grafik $\lambda(t)$ terhadap *tInlet Valve*

d. Waktu Rata-Rata Terjadi Kerusakan

$$MTTF = \eta\Gamma$$

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

$$\Gamma = 0,89468$$

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

$$MTTF = 12.755$$

2. Exhaust Valve

a. Nilai F(t)

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

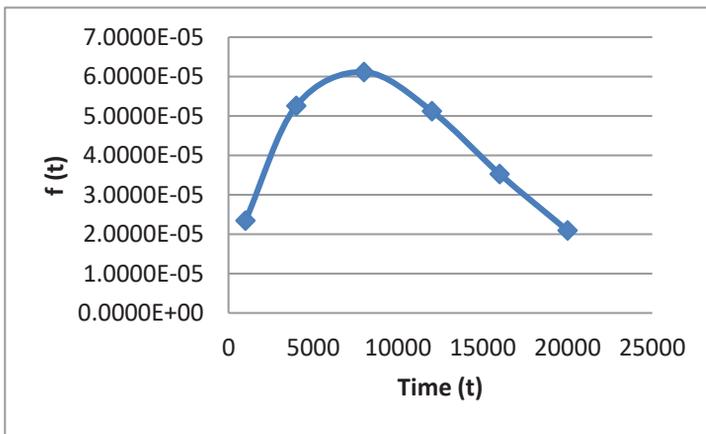
Dengan mengambil contoh untuk *time* (t) =8000, maka diperoleh nilai F(t)

F(8000)

$$= \frac{1,6776}{1,2650E + 04} \left(\frac{8000}{1,2650 + 04}\right)^{1,6776-1} \exp\left[-\left(\frac{8000}{1,2650E + 04}\right)^{1,6776}\right]$$

$$F(8000) = 6,1152E - 05$$

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



Gambar 4.4 Grafik $f(t)$ terhadap t Exhaust Valve

b. Nilai keandalan

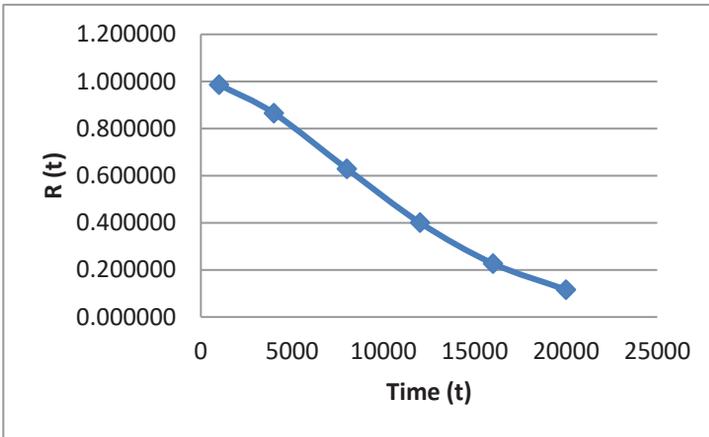
$$R(t) = \exp \left[- \left(\frac{t}{\eta} \right)^\beta \right]$$

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

$$R(8000) = \exp \left[- \left(\frac{8000}{1,2650E + 04} \right)^{1,6776} \right]$$

$$R(8000) = 0,670733$$

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



Gambar 4.5 Grafik $R(t)$ terhadap t Exhaust Valve

c. Laju kerusakan (*Failure Rate*)

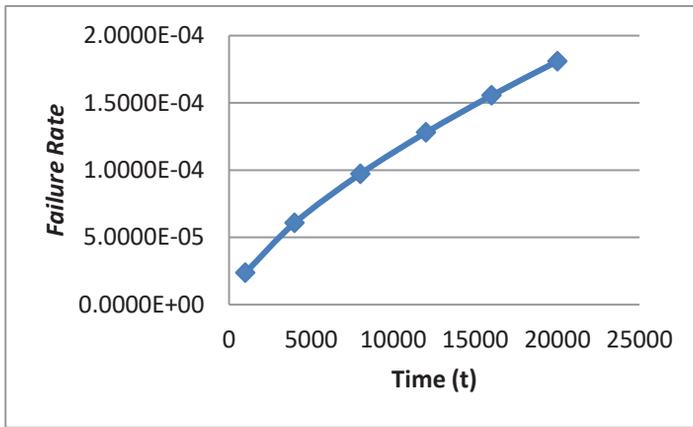
$$\lambda(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t}{\eta} \right)^{\beta-1}$$

Sebagai contoh untuk $time (t) = 7000$, maka nilai $\lambda(t)$ adalah:

$$\lambda(8000) = \frac{1,6776}{1,2650E + 04} \left(\frac{8000}{1,2650E + 04} \right)^{1,6776-1}$$

$$\lambda(8000) = 9,7220E - 05$$

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



Gambar 4.6 Grafik $\lambda(t)$ terhadap t Exhaust Valve

- d. Waktu Rata-Rata Terjadi Kerusakan

$$MTTF = \eta \Gamma$$

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

$$n = \left(1 + \left(\frac{1}{1,6776} \right) \right)$$

$$n = 1,5961$$

Dibulatkan menjadi 1,60. Pada tabel fungsi gamma di peroleh nilai :

$$\Gamma = 0,89352$$

Jadi, $MTTF = 1,2650E+04 \times 0,89352$

$$MTTF = 11.303$$

3. Nozzle

a. Nilai $F(t)$

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

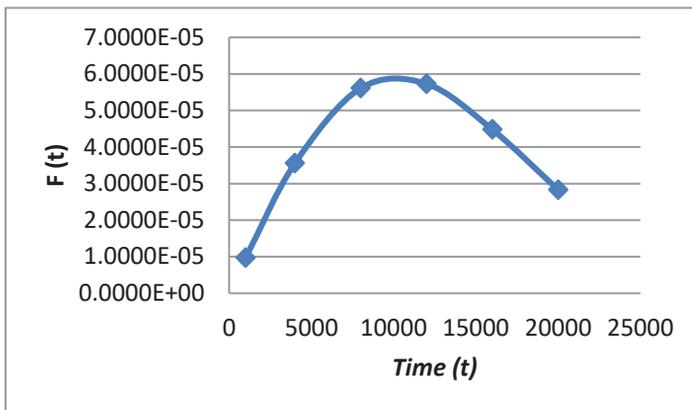
Dengan mengambil contoh untuk $time (t) = 8000$, maka diperoleh nilai $F(t)$

$F(8000)$

$$= \frac{1,9890}{1,4496E + 04} \left(\frac{8000}{1,4496E + 04}\right)^{1,9890-1} \exp\left[-\left(\frac{8000}{1,4496E + 04}\right)^{1,9890}\right]$$

$$F(8000) = 5,6096E - 05$$

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



Gambar 4.7 Grafik $f(t)$ terhadap t Nozzle

b. Nilai keandalan

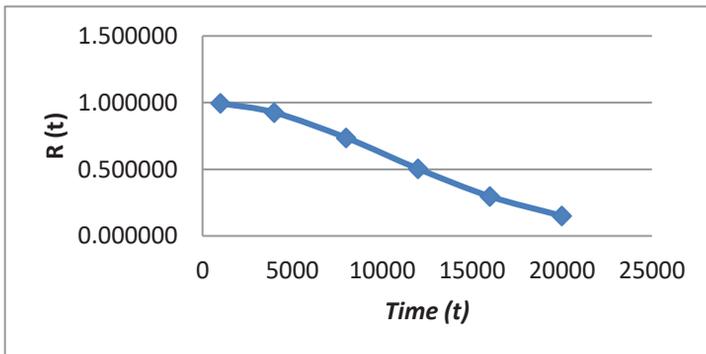
$$R(t) = \exp \left[- \left(\frac{t}{\eta} \right)^\beta \right]$$

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

$$R(8000) = \exp \left[- \left(\frac{8000}{1,4496E + 04} \right)^{1,9890} \right]$$

$$R(8000) = 0,735970$$

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



Gambar 4.8 Grafik $R(t)$ terhadap t Nozzle

c. Laju kerusakan (*Failure Rate*)

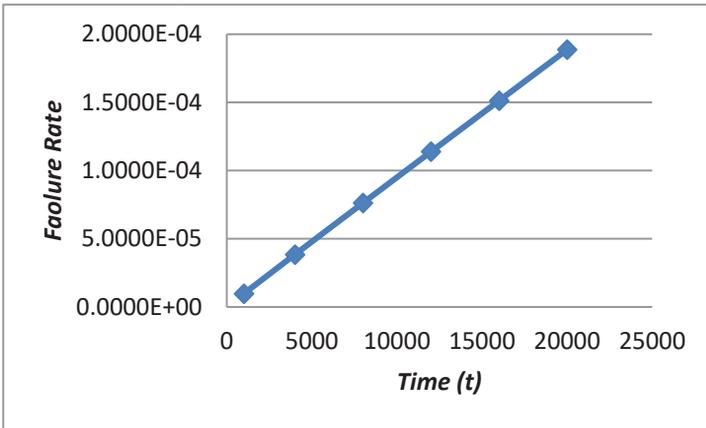
$$\lambda(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t}{\eta} \right)^{\beta-1}$$

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

$$\lambda(8000) = \frac{1,9890}{1,4496E + 04} \left(\frac{8000}{1,4496E + 04} \right)^{1,9890-1}$$

$$\lambda(8000) = 7.6220E - 05$$

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



Gambar 4.9 Grafik $\lambda(t)$ terhadap t *Nozzle*

d. Waktu Rata-Rata Terjadi Kerusakan

$$MTTF = \eta \Gamma$$

Dimana Γ merupakan fungsi gamma yang diperoleh dari tabel tabulasi fungsi gamma dengan mencari nilai

n terlebih dahulu (lihat lampiran 4). Di mana $n=(1+1/\beta)$, jadi :

$$n = \left(1 + \left(\frac{1}{1,9890} \right) \right)$$

$$n = 1,5028$$

Dibulatkan menjadi 1,50. Pada tabel fungsi gamma di peroleh nilai :

$$\Gamma = 0,88623$$

Jadi, $MTTF = 1,4496E+04 \times 0,89468$

$$MTTF = 12.969$$

4. Piston

a. Nilai $F(t)$

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

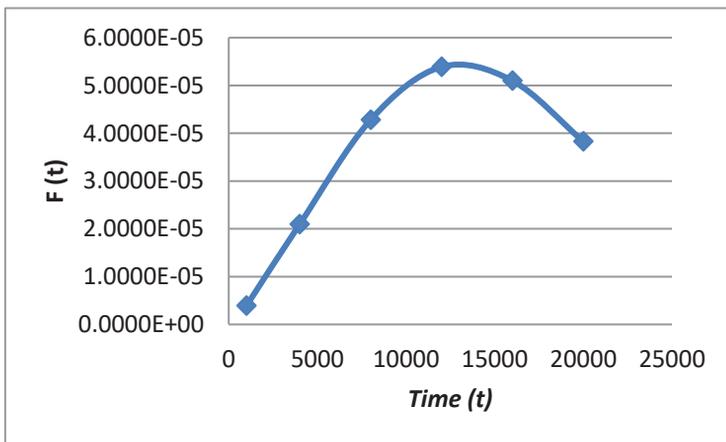
Dengan mengambil contoh untuk $time (t) = 8000$, maka diperoleh nilai $F(t)$

$F(8000)$

$$= \frac{2,2390}{1,7048E + 04} \left(\frac{8000}{1,7048E + 04}\right)^{2,2390-1} \exp\left[-\left(\frac{8000}{1,7048E + 04}\right)^{2,2390}\right]$$

$$F(8000) = 4,2801E - 05$$

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



Gambar 4.10 Grafik $f(t)$ terhadap t Piston

b. Nilai keandalan

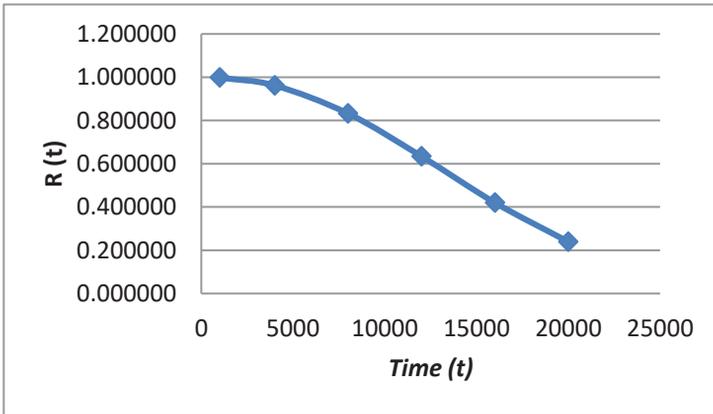
$$R(t) = \exp \left[- \left(\frac{t}{\eta} \right)^\beta \right]$$

Dengan mengambil contoh untuk *time* $(t) = 7000$, maka diperoleh nilai $R(t)$:

$$R(8000) = \exp \left[- \left(\frac{8000}{1,7048E + 04} \right)^{2,2390} \right]$$

$$R(8000) = 0,832118$$

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



Gambar 4.11 Grafik $R(t)$ terhadap t Piston

c. Laju kerusakan (*Failure Rate*)

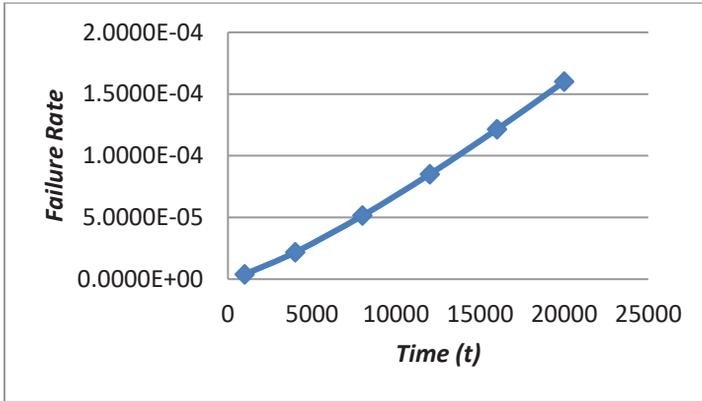
$$\lambda(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t}{\eta} \right)^{\beta-1}$$

Sebagai contoh untuk *time* $(t) = 7000$, maka nilai $\lambda(t)$ adalah:

$$\lambda(8000) = \frac{2,2390}{1,7048E + 04} \left(\frac{8000}{1,7048 + 04} \right)^{2,2390-1}$$

$$\lambda(8000) = 5,1486E - 05$$

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



Gambar 4.12 Grafik $\lambda(t)$ terhadap t Piston

d. Waktu Rata-Rata Terjadi Kerusakan

$$MTTF = \eta \Gamma$$

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

$$n = \left(1 + \left(\frac{1}{2,2390} \right) \right)$$

$$n = 1,4466$$

Dibulatkan menjadi 1,45. Pada tabel fungsi gamma di peroleh nilai :

$$\Gamma = 0,88566$$

Jadi, $MTTF = 1,7048E+04 \times 0,88566$

$$MTTF = 15.099$$

5. Piston Ring

a. Nilai $F(t)$

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

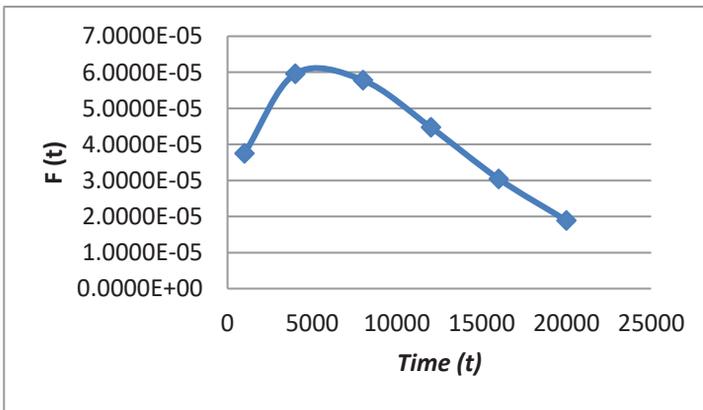
Dengan mengambil contoh untuk $time (t) = 8000$, maka diperoleh nilai $F(t)$

$F(8000)$

$$= \frac{1,4592}{1,2079E + 04} \left(\frac{8000}{1,2079E + 04}\right)^{1,4592-1} \exp\left[-\left(\frac{8000}{1,2079E + 04}\right)^{1,4592}\right]$$

$$F(8000) = 5,7791E - 05$$

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



Gambar 4.13 Grafik $f(t)$ terhadap t Piston Ring

b. Nilai keandalan

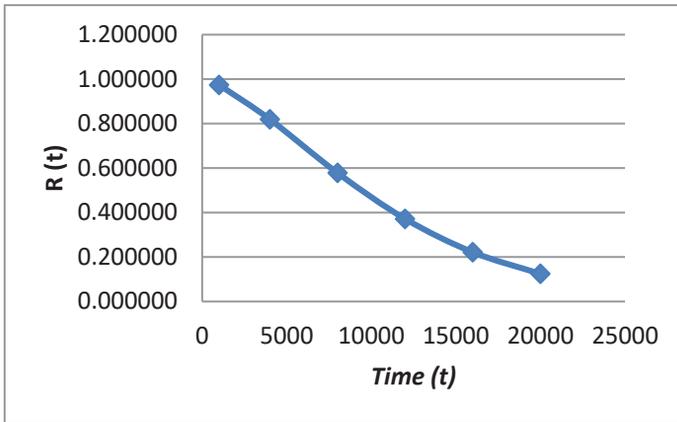
$$R(t) = \exp\left[-\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta\right]$$

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

$$R(8000) = \exp \left[- \left(\frac{8000}{1,2079E + 04} \right)^{1,4592} \right]$$

$$R(8000) = 0,578026$$

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



Gambar 4.14 Grafik $R(t)$ terhadap t Piston Ring

c. Laju kerusakan (*Failure Rate*)

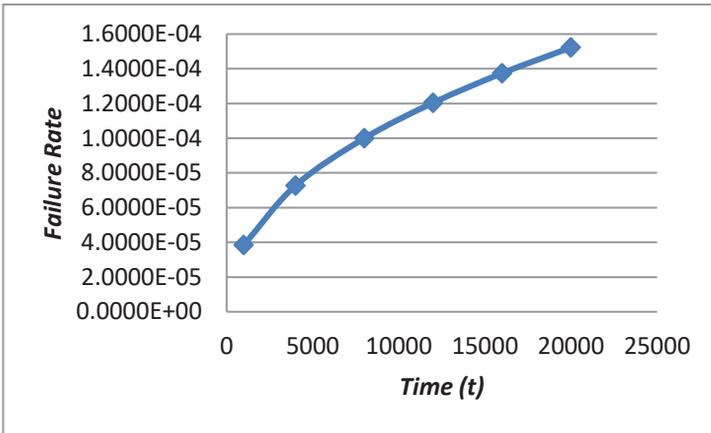
$$\lambda(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t}{\eta} \right)^{\beta-1}$$

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

$$\lambda(8000) = \frac{1,4592}{1,2079E + 04} \left(\frac{8000}{1,2079E + 04} \right)^{1,4592-1}$$

$$\lambda(8000) = 9,9980E - 05$$

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



Gambar 4.15 Grafik $\lambda(t)$ terhadap t *Piston Ring*

d. Waktu Rata-Rata Terjadi Kerusakan

$$MTTF = \eta \Gamma$$

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

$$n = \left(1 + \left(\frac{1}{1,4592} \right) \right) n = 1,6853$$

Dibulatkan menjadi 1,69. Pada tabel fungsi gamma di peroleh nilai :

$$\Gamma = 0,90679$$

Jadi, $MTTF = 1,2079E+04 \times 0,90679$

$$MTTF = 10.953$$

6. Con Rod Bearing

a. Nilai $F(t)$

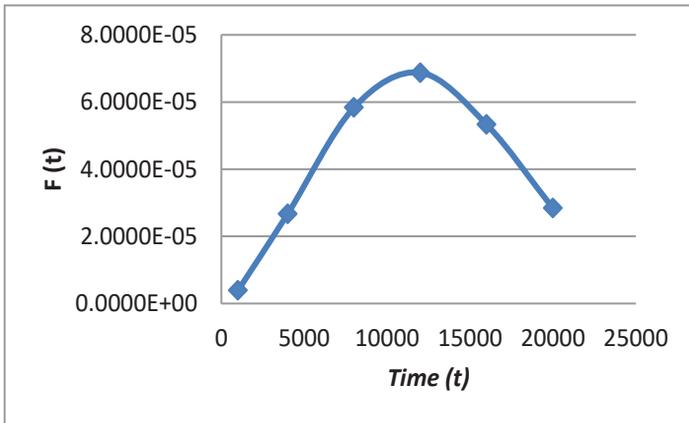
$$f(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t}{\eta}\right)^{\beta-1} \exp\left[-\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta\right]$$

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

$$F(8000) = \frac{2,4191}{1,4257E + 04} \left(\frac{8000}{1,4257E + 04}\right)^{2,4191-1} \exp\left[-\left(\frac{8000}{1,4257E + 04}\right)^{2,4191-1}\right]$$

$$F(8000) = 5,8369E - 05$$

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



Gambar 4.16 Grafik $f(t)$ terhadap t Conrod Bearing

b. Nilai keandalan

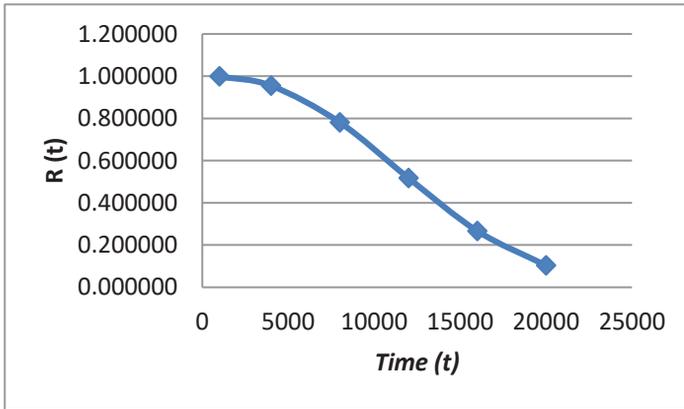
$$R(t) = \exp\left[-\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta\right]$$

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

$$R(8000) = \exp \left[- \left(\frac{8000}{1,4257E + 04} \right)^{2,4191} \right]$$

$$R(8000) = 0,781026$$

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



Gambar 4.17 Grafik $R(t)$ terhadap t Conrod Bearing

c. Laju kerusakan (*Failure Rate*)

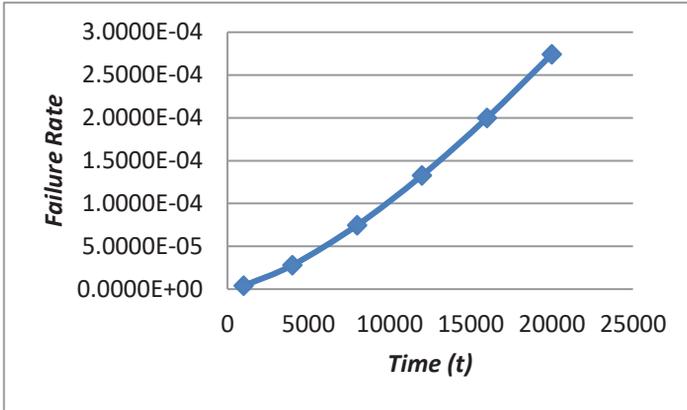
$$\lambda(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t}{\eta} \right)^{\beta-1}$$

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

$$\lambda(8000) = \frac{2,4191}{1,4257E + 04} \left(\frac{8000}{1,4257E + 04} \right)^{2,4191-1}$$

$$\lambda(8000) = 7,4734E - 05$$

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



Gambar 4.18 Grafik $\lambda(t)$ terhadap t *Conrod Bearing*
d. Waktu Rata-Rata Terjadi Kerusakan

$$MTTF = \eta \Gamma$$

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

$$n = \left(1 + \left(\frac{1}{2,4191} \right) \right)$$

$$n = 1,4134$$

Dibulatkan menjadi 1,41. Pada tabel fungsi gamma di peroleh nilai :

$$\Gamma = 0,88676$$

Jadi $MTTF = 1,4257E+04 \times 0,88676$

$$MTTF = 12.643$$

7. Main Bearing

a. Nilai $F(t)$

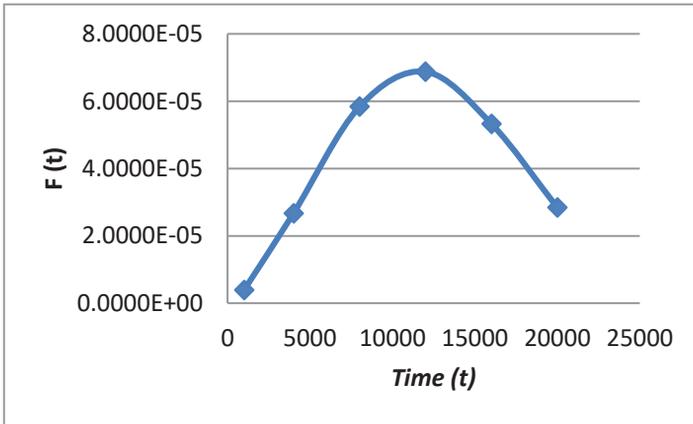
$$f(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t}{\eta}\right)^{\beta-1} \exp\left[-\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta\right]$$

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

$$F(8000) = \frac{2,4191}{1,4257E + 04} \left(\frac{8000}{1,4257E + 04}\right)^{2,4191-1} \exp\left[-\left(\frac{8000}{1,4257E + 04}\right)^{2,4191-1}\right]$$

$$F(8000) = 5,8369E - 05$$

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



Gambar 4.19 Grafik $f(t)$ terhadap t *Main Bearing*

b. Nilai keandalan

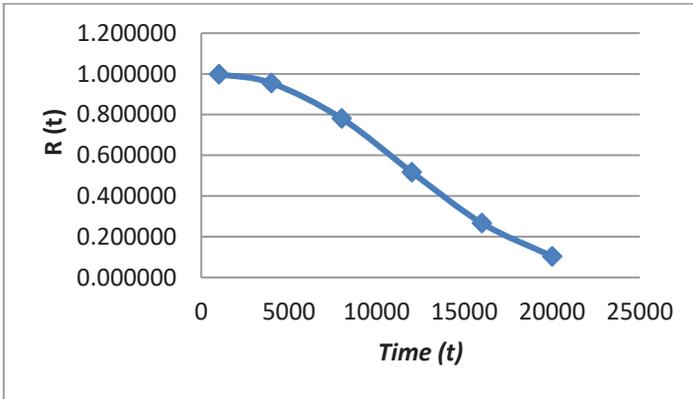
$$R(t) = \exp\left[-\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta\right]$$

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

$$R(8000) = \exp \left[- \left(\frac{8000}{1,4257E + 04} \right)^{2,4191} \right]$$

$$R(8000) = 0,781026$$

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



Gambar 4.20 Grafik $R(t)$ terhadap t *Main Bearing*

c. Laju kerusakan (*Failure Rate*)

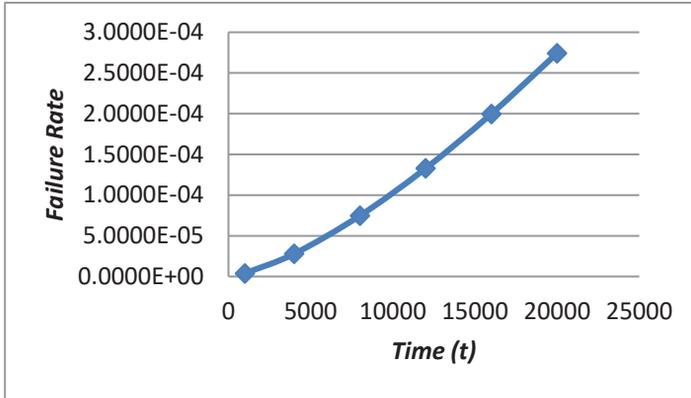
$$\lambda(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t}{\eta} \right)^{\beta-1}$$

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

$$\lambda(8000) = \frac{2,4191}{1,4257E + 04} \left(\frac{8000}{1,4257E + 04} \right)^{2,4191-1}$$

$$\lambda(8000) = 7,4734E - 05$$

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



Gambar 4.21 Grafik $\lambda(t)$ terhadap t *Main Bearing*

d. Waktu Rata-Rata Terjadi Kerusakan

$$MTTF = \eta \Gamma$$

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

$$n = \left(1 + \left(\frac{1}{2,4191} \right) \right)$$

$$n = 1,4134$$

Dibulatkan menjadi 1,41. Pada tabel fungsi gamma di peroleh nilai :

$$\Gamma = 0,88676$$

$$\text{Jadi } MTTF = 1,4257E+04 \times 0,88676$$

$$MTTF = 12.643$$

Dari uraian diatas, dengan mengambil contoh nilai $(t) = 8.000$ maka dapat ditabulasi sebagai berikut :

Tabel 4.3 Nilai *Probability of Failure*, Keandalan, *Failure Rate*, dan *MTTF* Komponen

Nama komponen	Probabilty 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 putarmencapai 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.

5

KESIMPULAN DAN SARAN

Pada bab kelima ini akan dibahas mengenai kesimpulan dari keseluruhan penelitian serta saran dari penulis untuk penelitian selanjutnya.

5.1 Kesimpulan

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

1. Berdasarkan penafsiran nilai beta, dimana β 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.
3. 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.

5.2 Saran

Setelah melakukan pengolahan data, analisis, dan pengambilan kesimpulan maka penulis akan memberikan saran yang mungkin bisa dijadikan sebagai acuan untuk melakukan peningkatan, yang mana saran yang diberikan berupa tindakan penanganan risiko yaitu sebagai berikut:

1. Memaksimalkan kegiatan maintenance terhadap Diesel Generator, sehingga kerusakan dapat diminimalisir.
2. Selalu dibuat standardisasi tindakan penanganan masalah.
3. Memperhatikan dengan khusus pada saat perawatan mesin terhadap komponen yang paling kritis, yaitu *piston ring*.
4. Perlu dibuatkan suatu pola perawatan yang tidak hanya terpaku pada jam putar sesuai dengan setandarisasi pabrikan.

DAFTAR PUSTAKA

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.*Maintenace, 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

Lampiran 1

DATA KERUSAKAN KOMPONEN DIESEL GENERATOR IV KRI AMY-351

NO	NAMA KOMPONEN	TANGGAL PENGGANTIAN	Kumulatif Operasi (Jam Putar)	TBF (Jam Putar)
1	Inlet Valve	12 Mei 2007	0	0
2	Inlet Valve	4 Agustus 2008	5770	5770
3	Inlet Valve	05 Nopember 2011	10620	4850
4	Inlet Valve	29-Sep-14	18685	8065
5	Exhaust Valve	12 Mei 2007	0	0
6	Exhaust Valve	4 Agustus 2008	5770	5770
7	Exhaust Valve	2 Februari 2010	8272	2502
8	Exhaust Valve	29 Septeber 2014	18685	10413
9	Injector Nozzle	12 Mei 2007	0	0
10	Injector Nozzle	4 Agustus 2008	5770	5770
11	Injector Nozzle	05 Nopember 2011	10620	4850
12	Injector Nozzle	6 Juni 2012	14750	4130
13	Injector Nozzle	29-Sep-14	18685	8065
14	Piston	12 Mei 2007	0	0
15	Piston	05 Nopember 2011	10620	10620
16	Piston	29-Sep-14	18685	8065
17	Ring Piston	12 Mei 2007	0	0
18	Ring Piston	13 Desember 2007	3500	3500
19	Ring Piston	2 Februari 2010	8272	4772
20	Ring Piston	05 Nopember 2011	10620	7120
21	Ring Piston	29-Sep-14	18685	8065
22	ConRod Bearing	12 Mei 2007	0	0
23	ConRod Bearing	2 Februari 2010	8272	8272
24	ConRod Bearing	05 Nopember 2011	10620	2348
25	ConRod Bearing	29-Sep-14	18685	8065
26	Main Bearing	12 Mei 2007	0	0
27	Main Bearing	05 Nopember 2011	8272	8272
28	Main Bearing	05 Nopember 2011	10620	10620
29	Main Bearing	29-Sep-14	18685	8065

Lampiran 2

FMECA INF.
WORKSHEET

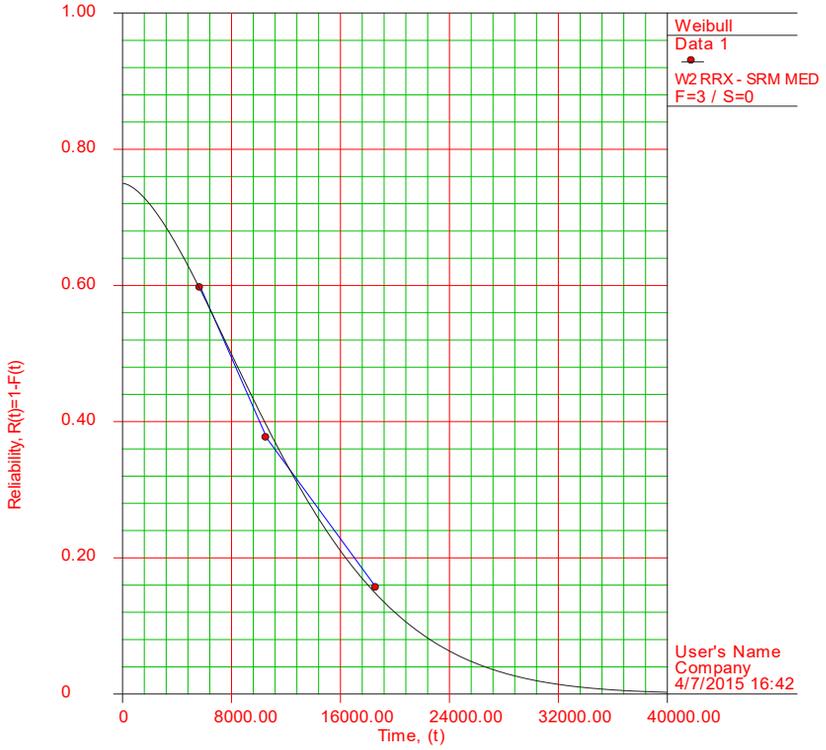
DIESEL GENERATOR CATERPILLAR 3412 C

Part Number	Component	Function	Function Failure	Failure Mode	Failure effect		Severity Of Squence
					Sub Sistem	Sistem	
122-0322	Inlet Valve	Saluran masuk udara ke ruang bakar	Proses kompresi tidak sempurna dan tekanan kompresi rendah	Terjadi kerak pada daun valve	Terjadi kebocoran pada saat kompresi	Mengalami penurunan fungsi kerja	MARGINAL
122-0321	Exhaust Valve	Saluran gas Buang	Proses kompresi tidak sempurna dan tekanan kompresi rendah	Terjadi kerak pada daun valve	Terjadi kebocoran pada saat kompresi	Mengalami penurunan fungsi kerja	MARGINAL
4W-7018	Injector Nozzle	Menyemprotkan bahan bakar ke ruang bakar	Proses pembakaran tidak sempurna	Terjadi keausan pada lubang nozzle	Pengabutan bahan bakar tidak sempurna	Mengalami penurunan fungsi kerja	MARGINAL
9Y-7212	Piston	Urutuk mengkompresi bahan bakar/ Tempat ring piston	Kompresi rendah	Terjadi keausan di piston groove	Terjadi kebocoran pada saat kompresi	Sistem tidak berfungsi sesuai dengan ketentuan	CRITICAL
1W-9460	Ring Piston	Mencegah kebocoran campuran udara dan bb di antara piston dan silinder liner	Tekanan kompresi rendah	Terjadi keausan, macet, dan patah	Terjadi kebocoran pada saat kompresi	Sistem tidak berfungsi sesuai dengan ketentuan	CRITICAL
9Y-9497	Conrod Bearing	Mencegah gesekan langsung antar conrod dan poros engkol	Terjadi keausan, goresan dan vibrasi tinggi	Cacat, goresan dan clearance besar	Clearance terlalu besar, tekanan oli turun	Menyebabkan sistem shutdown	CATASHTROPIC
4W-5492	Main Bearing	Mencegah gesekan langsung antar poros engkol dan crankcase (silinder block)	Terjadi keausan, goresan dan vibrasi tinggi	Cacat, goresan dan clearance besar	Clearance terlalu besar, tekanan oli turun	Menyebabkan sistem shutdown	CATASHTROPIC

Lampiran 3 (Inlet Valve)

ReliaSoft's Weibull++ 6.0 - www.Weibull.com

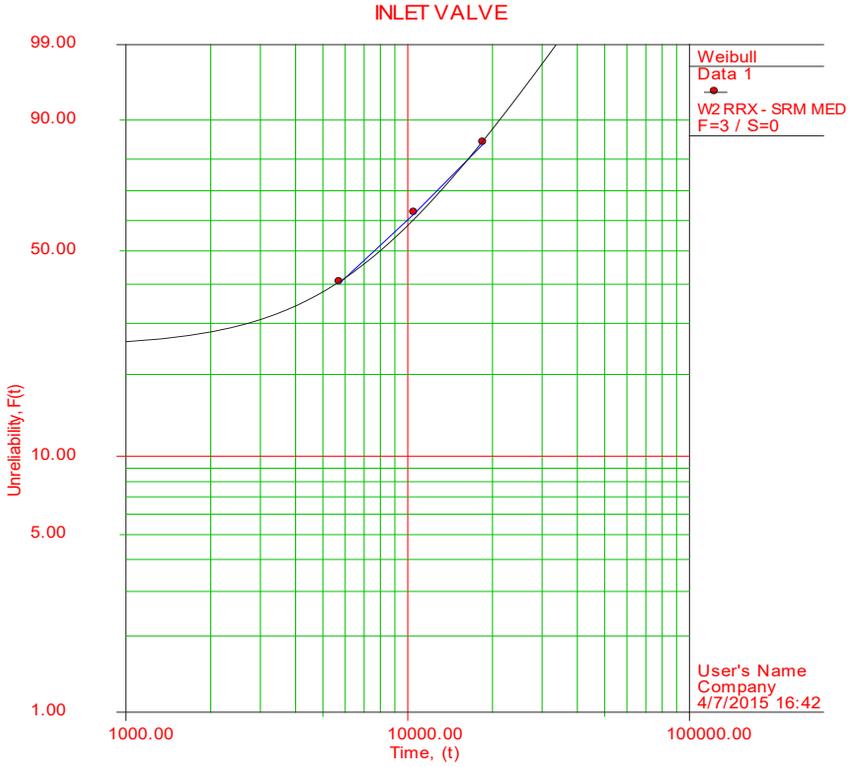
INLET VALVE



$\beta=1.6435$, $\eta=1.3827E+4$, $\rho=0.9982$, $Z=0.7500$

Lampiran 3 (Inlet Valve)

ReliaSoft's Weibull++ 6.0 - www.Weibull.com

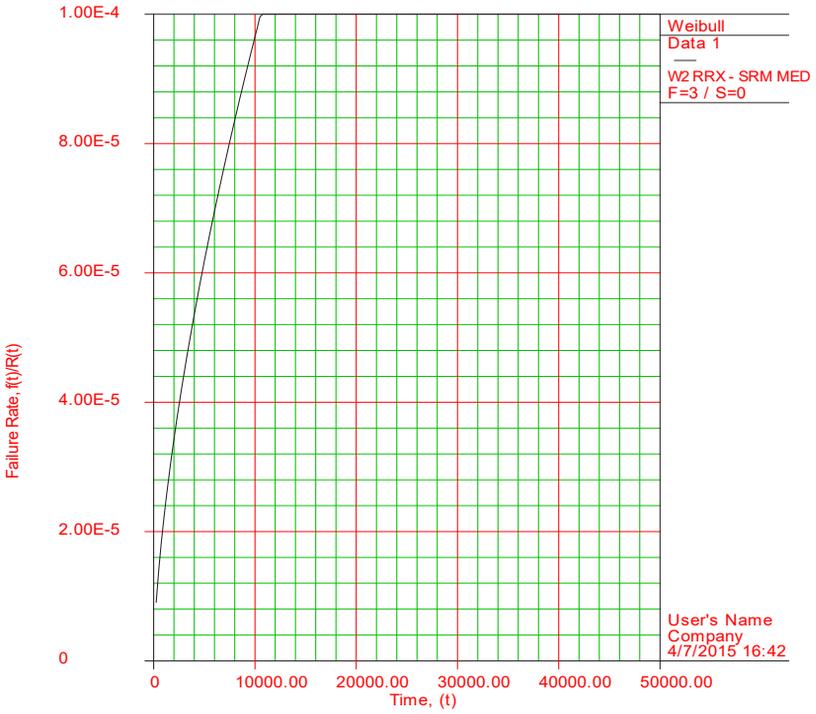


$\beta=1.6435, \eta=1.3827E+4, \rho=0.9982, Z=0.7500$

Lampiran 3 (Inlet Valve)

ReliaSoft's Weibull++ 6.0 - www.Weibull.com

INLET VALVE

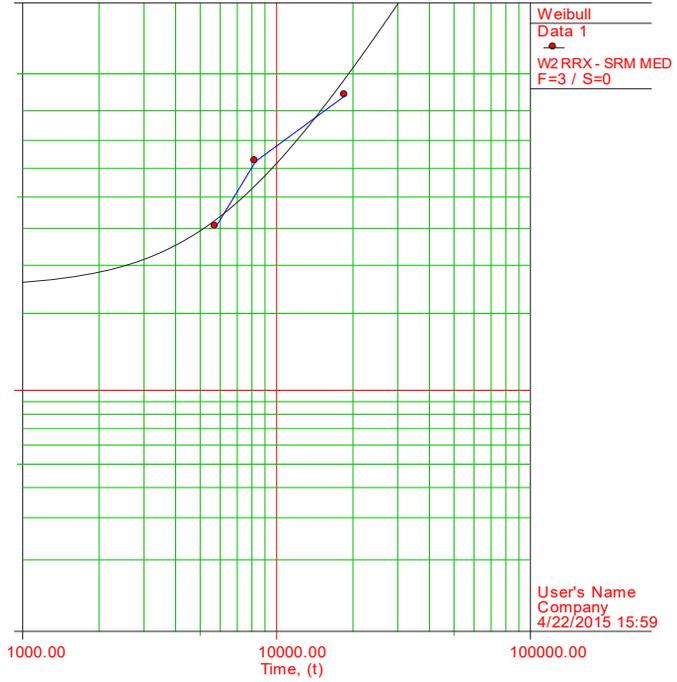


$\beta=1.6435$, $\eta=1.3827E+4$, $\rho=0.9982$, $Z=0.7500$

n 3 (Exhaust Valve)

ull++ 6.0 - www.Weibull.com

EXHAUST VALVE

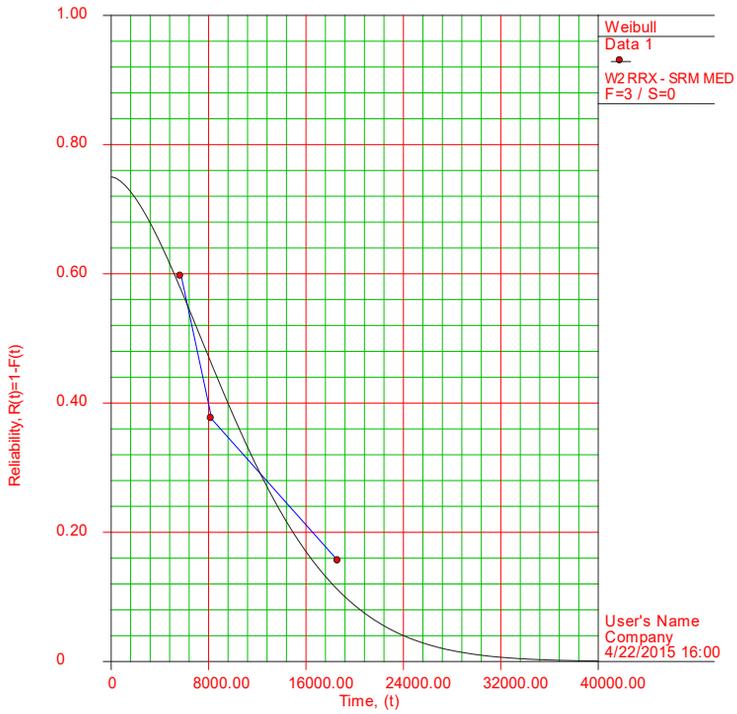


=1.2650E+4, $\rho=0.9546$, $Z=0.7500$

Lampiran 3 (Exhaust Valve)

ReliaSoft's Weibull++ 6.0 - www.Weibull.com

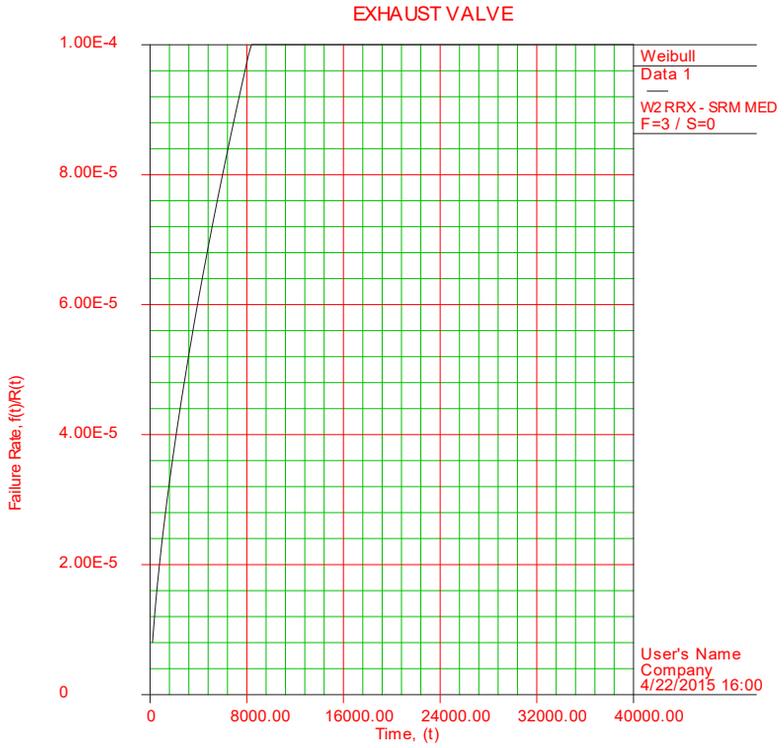
EXHAUST VALVE



$\beta=1.6776, \eta=1.2650E+4, \rho=0.9546, Z=0.7500$

Lampiran 3 (Exhaust Valve)

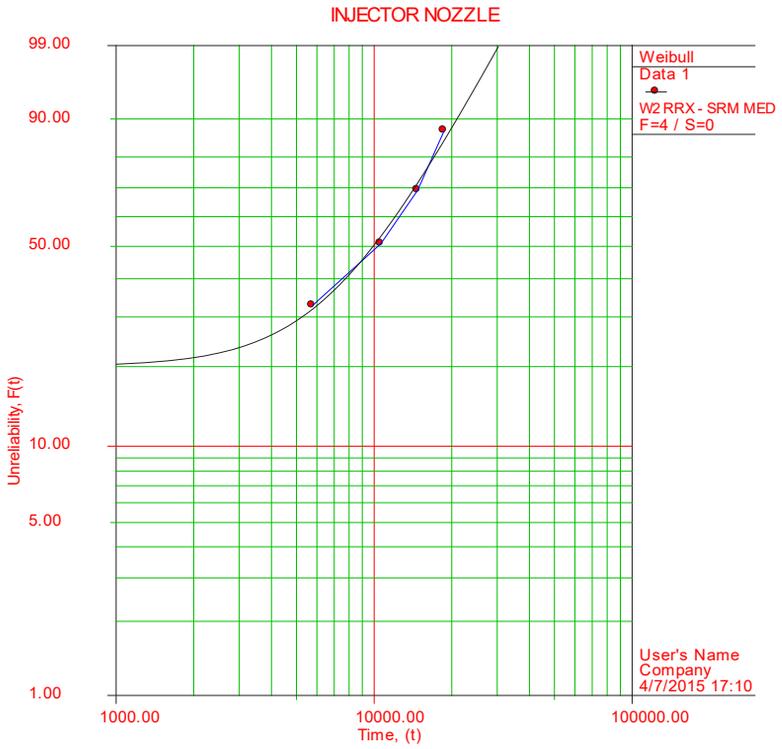
ReliaSoft's Weibull++ 6.0 - www.Weibull.com



$\beta=1.6776$, $\eta=1.2650E+4$, $\rho=0.9546$, $Z=0.7500$

Lampiran 3 (Injector Nozzle)

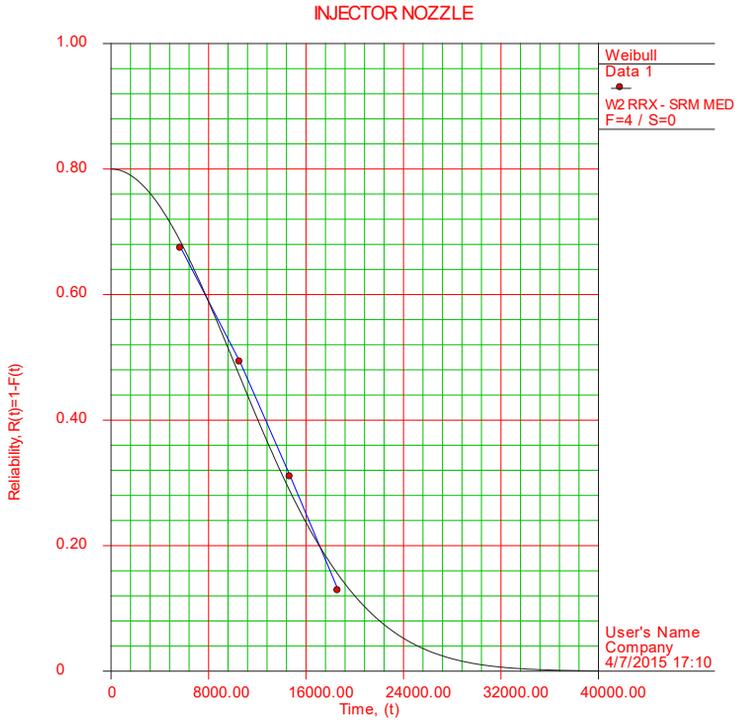
ReliaSoft's Weibull++ 6.0 - www.Weibull.com



$\beta=1.9890$, $\eta=1.4496E+4$, $\rho=0.9945$, $Z=0.8000$

Lampiran 3 (Injector Nozzle)

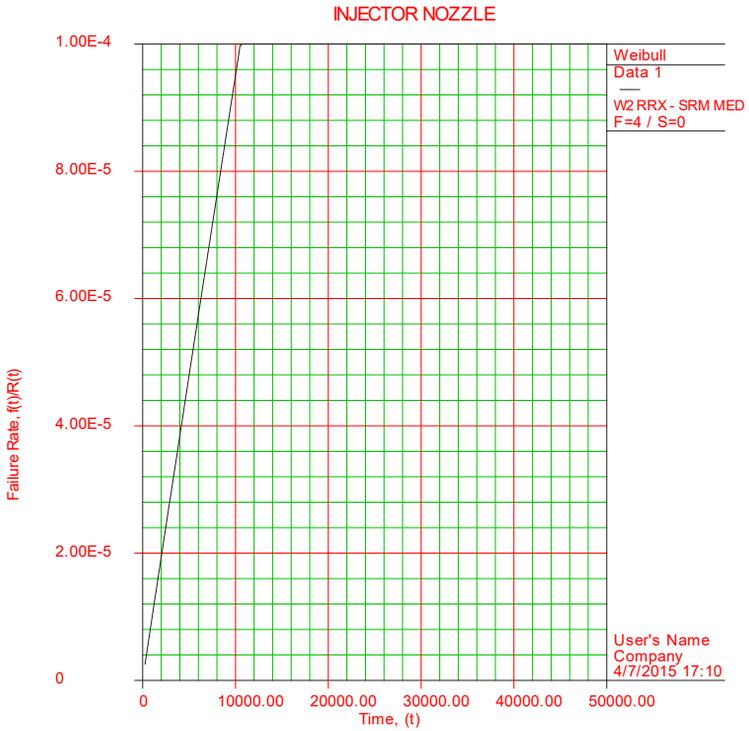
ReliaSoft's Weibull++ 6.0 - www.Weibull.com



$\beta=1.9890, \eta=1.4496E+4, \rho=0.9945, Z=0.8000$

Lampiran 3 (Injector Nozzle)

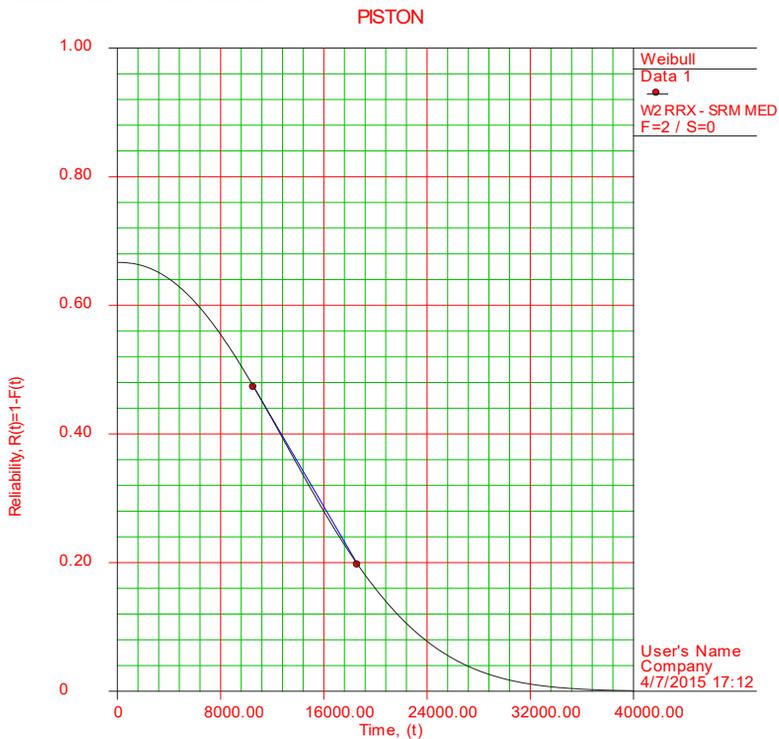
ReliaSoft's Weibull++ 6.0 - www.Weibull.com



$\beta=1.9890$, $\eta=1.4496E+4$, $\rho=0.9945$, $Z=0.8000$

Lampiran 3 (Piston)

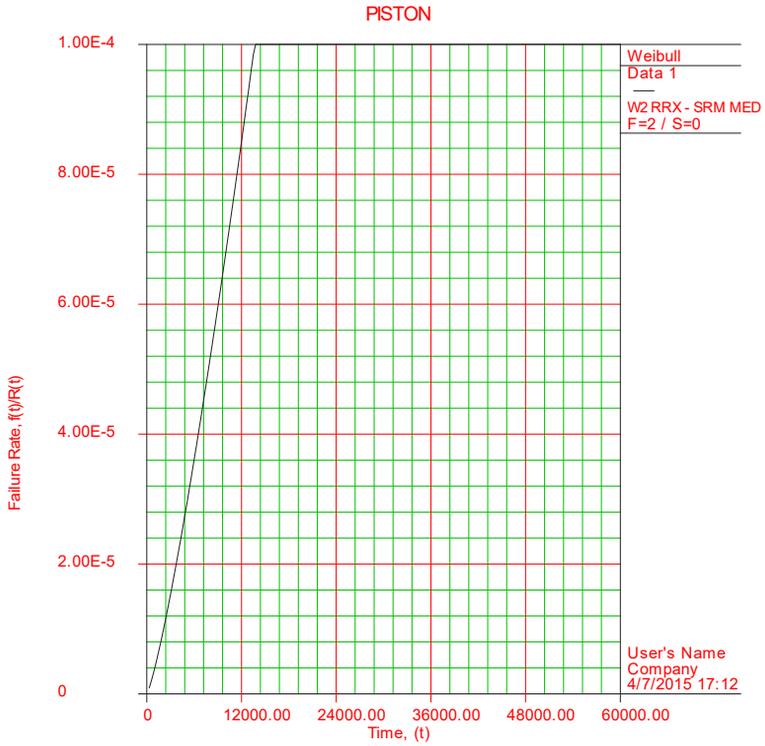
ReliaSoft's Weibull++ 6.0 - www.Weibull.com



$\beta=2.2390, \eta=1.7048E+4, \rho=1.0000, Z=0.6667$

Lampiran 3 (Piston)

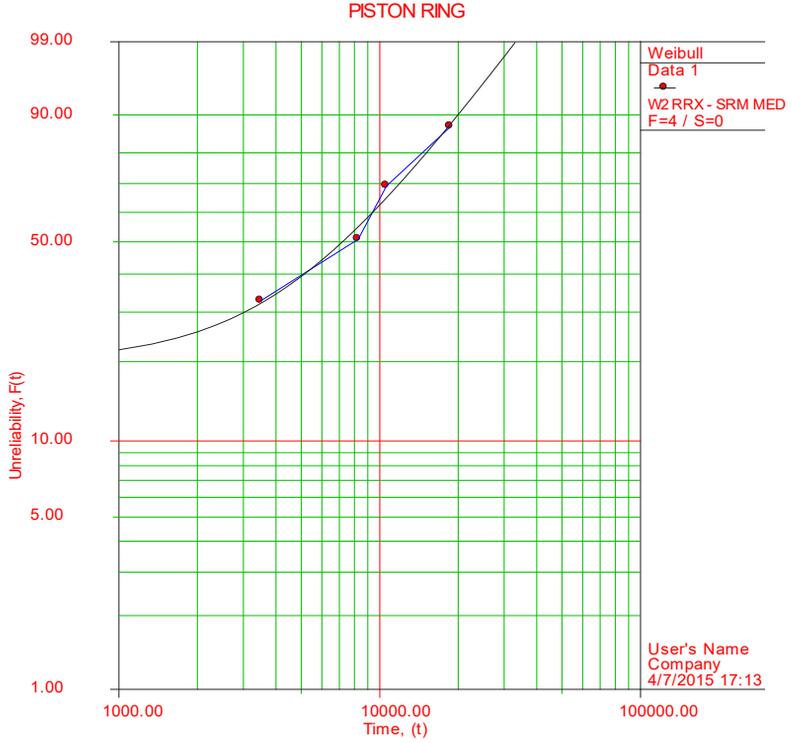
ReliaSoft's Weibull++ 6.0 - www.Weibull.com



$\hat{\beta}=2.2390, \eta=1.7048E+4, \rho=1.0000, Z=0.6667$

Lampiran 3 (Ring Piston)

ReliaSoft's Weibull++ 6.0 - www.Weibull.com

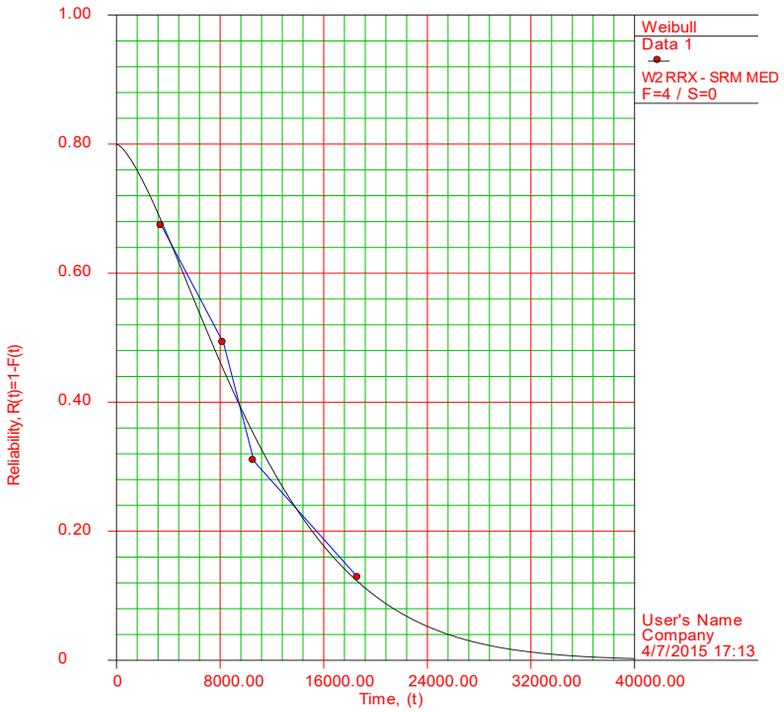


$\beta=1.4592, \eta=1.2079E+4, \rho=0.9918, Z=0.8000$

Lampiran 3 (Ring Piston)

ReliaSoft's Weibull++ 6.0 - www.Weibull.com

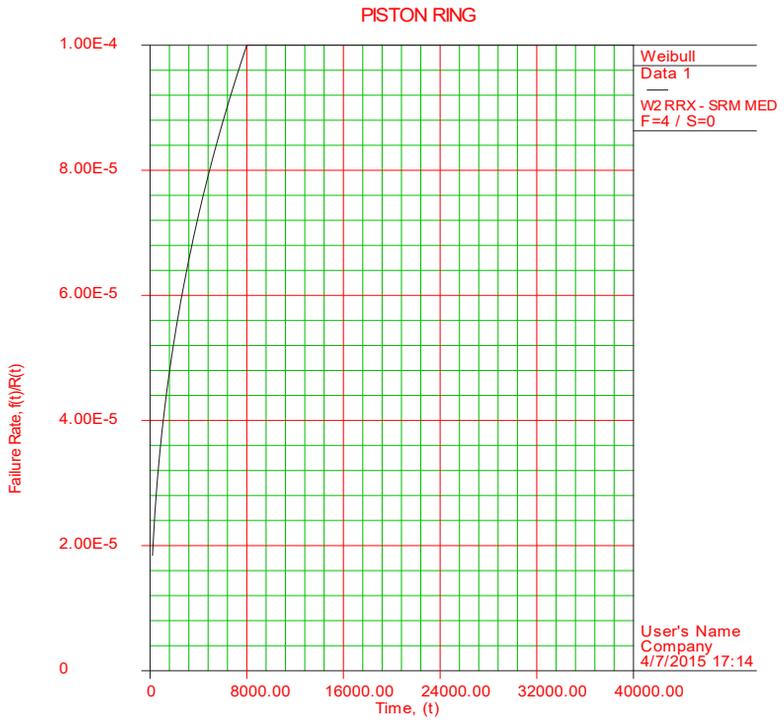
PISTON RING



$\beta=1.4592, \eta=1.2079E+4, \rho=0.9918, Z=0.8000$

Lampiran 3 (Ring Piston)

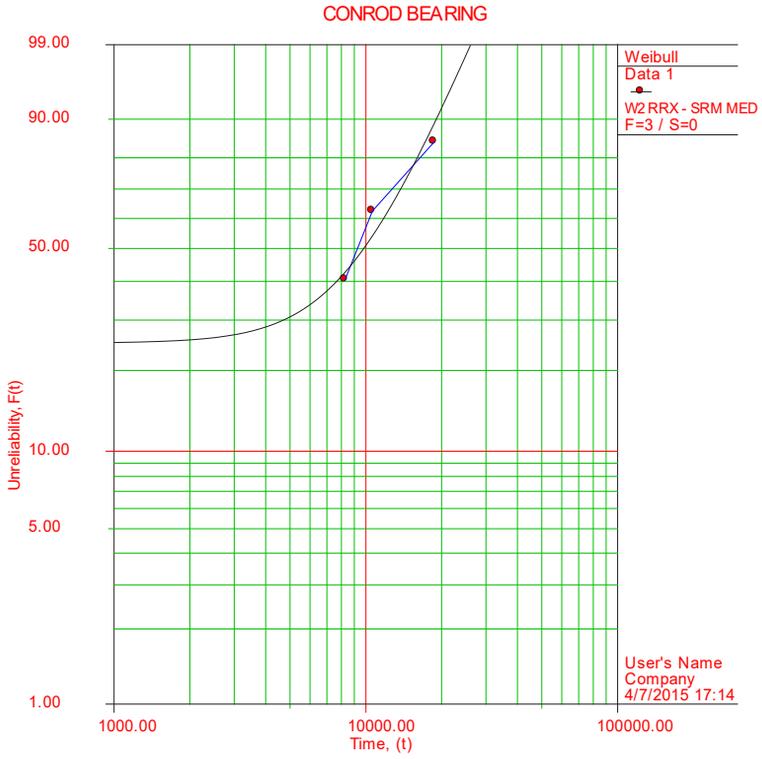
ReliaSoft's Weibull++ 6.0 - www.Weibull.com



$\beta=1.4592$, $\eta=1.2079E+4$, $\rho=0.9918$, $Z=0.8000$

Lampiran 3 (Conrod Bearing)

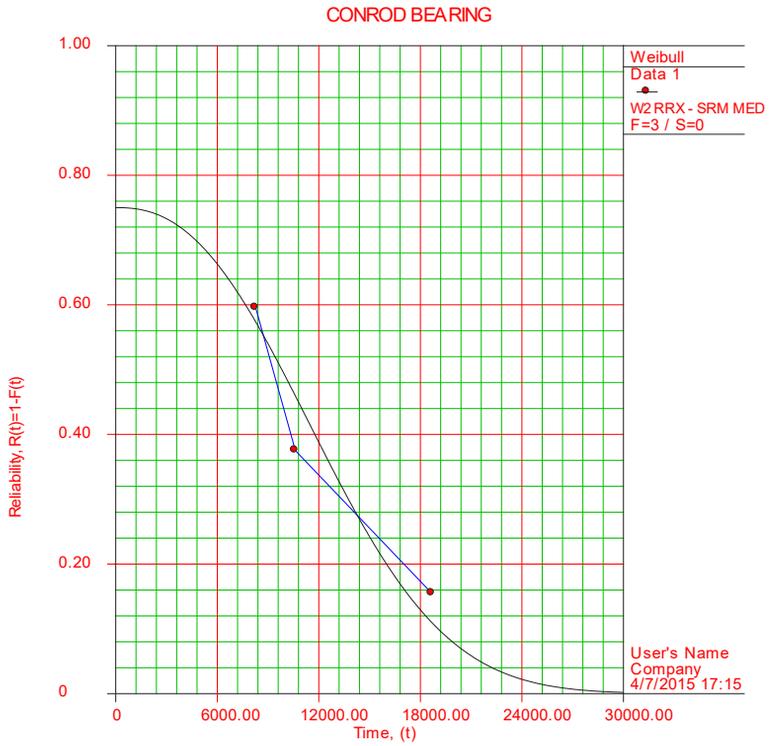
ReliaSoft's Weibull++ 6.0 - www.Weibull.com



$\beta=2.4191, \eta=1.4257E+4, \rho=0.9547, Z=0.7500$

Lampiran 3 (Conrod Bearing)

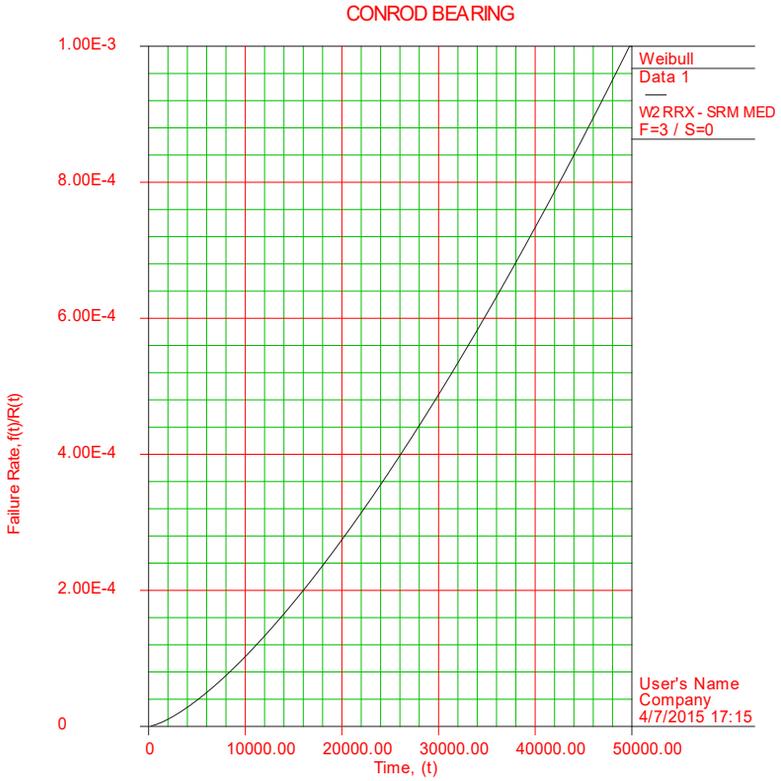
ReliaSoft's Weibull++ 6.0 - www.Weibull.com



$\beta=2.4191, \eta=1.4257E+4, \rho=0.9547, Z=0.7500$

Lampiran 3 (Conrod Bearing)

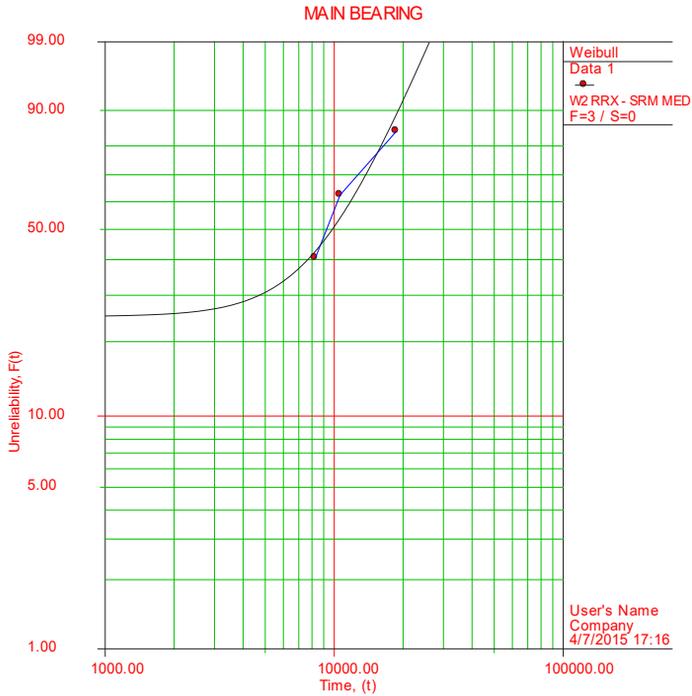
ReliaSoft's Weibull++ 6.0 - www.Weibull.com



$\beta=2.4191$, $\eta=1.4257E+4$, $\rho=0.9547$, $Z=0.7500$

Lampiran 3 (Main Bearing)

ReliaSoft's Weibull++ 6.0 - www.Weibull.com

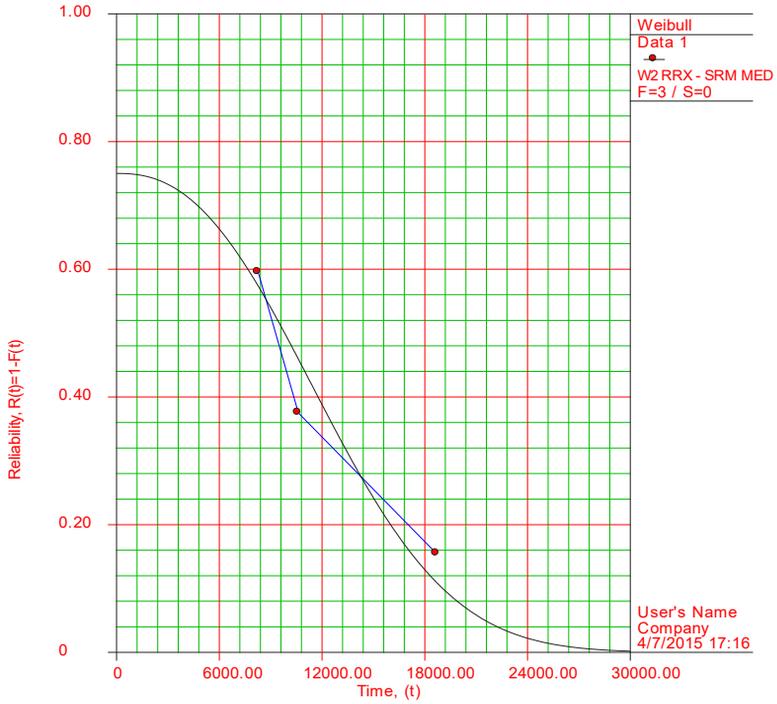


$\beta=2.4191, \eta=1.4257E+4, \rho=0.9547, Z=0.7500$

Lampiran 3 (Main Bearing)

ReliaSoft's Weibull++ 6.0 - www.Weibull.com

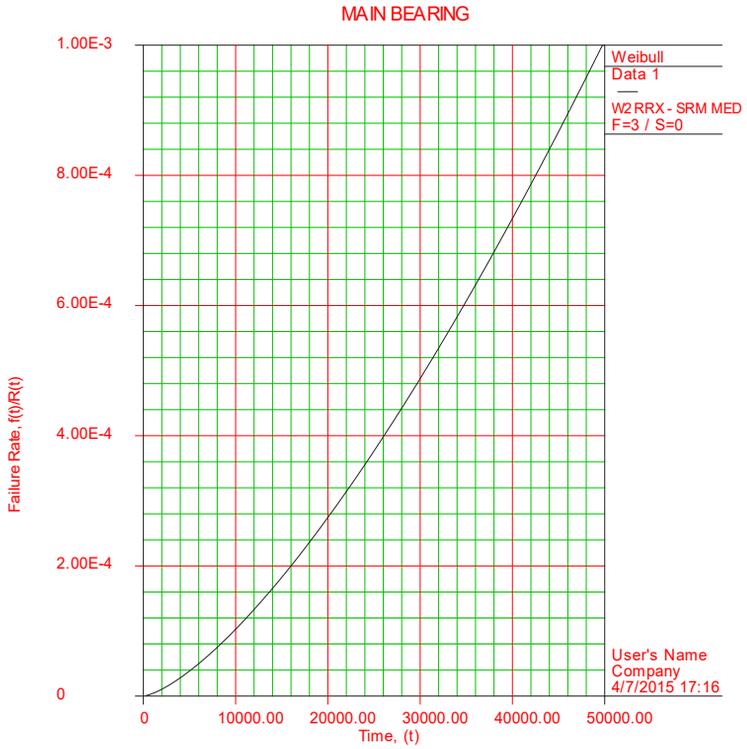
MAIN BEARING



$\beta=2.4191$, $\eta=1.4257E+4$, $\rho=0.9547$, $Z=0.7500$

Lampiran 3 (Main Bearing)

ReliaSoft's Weibull++ 6.0 - www.Weibull.com



$\beta=2.4191$, $\eta=1.4257E+4$, $\rho=0.9547$, $Z=0.7500$

Table A.9
Gamma Function

n	Γ	n	Γ	n	Γ	n	Γ
1.01	0.99433	1.51	0.88659	2.01	1.00427	2.51	1.33875
1.02	0.98884	1.52	0.88704	2.02	1.00862	2.52	1.34830
1.03	0.98355	1.53	0.88757	2.03	1.01306	2.53	1.35798
1.04	0.97844	1.54	0.88818	2.04	1.01758	2.54	1.36779
1.05	0.97350	1.55	0.88887	2.05	1.02218	2.55	1.37775
1.06	0.96874	1.56	0.88964	2.06	1.02687	2.56	1.38784
1.07	0.96415	1.57	0.89049	2.07	1.03164	2.57	1.39807
1.08	0.95973	1.58	0.89142	2.08	1.03650	2.58	1.40844
1.09	0.95546	1.59	0.89243	2.09	1.04145	2.59	1.41896
1.10	0.95135	1.60	0.89352	2.10	1.04649	2.60	1.42962
1.11	0.94740	1.61	0.89468	2.11	1.05161	2.61	1.44044
1.12	0.94359	1.62	0.89592	2.12	1.05682	2.62	1.45140
1.13	0.93993	1.63	0.89724	2.13	1.06212	2.63	1.46251
1.14	0.93642	1.64	0.89864	2.14	1.06751	2.64	1.47377
1.15	0.93304	1.65	0.90012	2.15	1.07300	2.65	1.48519
1.16	0.92980	1.66	0.90167	2.16	1.07857	2.66	1.49677
1.17	0.92670	1.67	0.90330	2.17	1.08424	2.67	1.50851
1.18	0.92373	1.68	0.90500	2.18	1.09000	2.68	1.52040
1.19	0.92089	1.69	0.90678	2.19	1.09585	2.69	1.53246
1.20	0.91817	1.70	0.90864	2.20	1.10180	2.70	1.54469
1.21	0.91558	1.71	0.91057	2.21	1.10785	2.71	1.55708
1.22	0.91311	1.72	0.91258	2.22	1.11399	2.72	1.56964
1.23	0.91075	1.73	0.91467	2.23	1.12023	2.73	1.58237
1.24	0.90852	1.74	0.91683	2.24	1.12657	2.74	1.59528
1.25	0.90640	1.75	0.91906	2.25	1.13300	2.75	1.60836
1.26	0.90440	1.76	0.92137	2.26	1.13954	2.76	1.62162
1.27	0.90250	1.77	0.92376	2.27	1.14618	2.77	1.63506
1.28	0.90072	1.78	0.92623	2.28	1.15292	2.78	1.64868
1.29	0.89904	1.79	0.92877	2.29	1.15976	2.79	1.66249
1.30	0.89747	1.80	0.93138	2.30	1.16671	2.80	1.67649
1.31	0.89600	1.81	0.93408	2.31	1.17377	2.81	1.69068
1.32	0.89464	1.82	0.93685	2.32	1.18093	2.82	1.70506
1.33	0.89338	1.83	0.93969	2.33	1.18819	2.83	1.71963
1.34	0.89223	1.84	0.94261	2.34	1.19557	2.84	1.73441
1.35	0.89115	1.85	0.94561	2.35	1.20305	2.85	1.74938

1.36	0.89018	1.86	0.94869	2.36	1.21065	2.86	1.76456
1.37	0.88931	1.87	0.95184	2.37	1.21836	2.87	1.77994
1.38	0.88854	1.88	0.95507	2.38	1.22618	2.88	1.79553
1.39	0.88785	1.89	0.95838	2.39	1.23412	2.89	1.81134
1.40	0.88726	1.90	0.96177	2.40	1.24217	2.90	1.82736
1.41	0.88676	1.91	0.96523	2.41	1.25034	2.91	1.84359
1.42	0.88636	1.92	0.96877	2.42	1.25863	2.92	1.86005
1.43	0.88604	1.93	0.97240	2.43	1.26703	2.93	1.87673
1.44	0.88581	1.94	0.97610	2.44	1.27556	2.94	1.89363
1.45	0.88566	1.95	0.97988	2.45	1.28421	2.95	1.91077
1.46	0.88560	1.96	0.98374	2.46	1.29298	2.96	1.92814
1.47	0.88563	1.97	0.98768	2.47	1.30188	2.97	1.94574
1.48	0.88575	1.98	0.99171	2.48	1.31091	2.98	1.96358
1.49	0.88595	1.99	0.99581	2.49	1.32006	2.99	1.98167
1.50	0.88623	2.00	1	2.50	1.32934	3.00	2

*An Introduction to reliability and maintainability
Engineering "The McGraw Hill, University of
Dayton".*

Lampiran 5

PERHITUNGAN t = 1000-20000 INLET VALVE			
Time (t)	Reliability (R)	F (t)	Failure rate
1000	0.986747	2.1637E-05	2.1927E-05
4000	0.877897	4.6973E-05	5.3507E-05
8000	0.665739	5.564E-05	8.3584E-05
12000	0.452837	4.9134E-05	1.0850E-04
16000	0.280519	3.6627E-05	1.3057E-04
20000	1.597E-01	2.4077E-05	1.5073E-04

PERHITUNGAN t = 1000-20000 Ring Piston			
Time (t)	Reliability (R)	F (t)	Failure rate
1000	0.973975	3.7477E-05	3.8478E-05
4000	0.819259	5.9580E-05	7.2725E-05
8000	0.578026	5.7791E-05	9.9980E-05
12000	0.371402	4.4732E-05	1.2044E-04
16000	0.221544	3.0451E-05	1.3745E-04
20000	0.124034	1.8888E-05	1.5228E-04

PERHITUNGAN t = 1000-20000 exhaust valve			
Time (t)	Reliability (R)	F (t)	Failure rate
1000	0.985938	2.3425E-05	2.3759E-05
4000	0.865086	5.2582E-05	6.0782E-05
8000	0.629006	6.1152E-05	9.7220E-05
12000	0.400393	5.1234E-05	1.2796E-04
16000	0.226938	3.5289E-05	1.5550E-04
20000	1.157E-01	2.0934E-05	1.8088E-04

PERHITUNGAN t = 1000-20000 Con rod Bearing			
Time (t)	Reliability (R)	F (t)	Failure rate
1000	0.998386	3.9016E-06	3.9079E-06
4000	0.954842	2.6684E-05	2.7947E-05
8000	0.781026	5.8369E-05	7.4734E-05
12000	0.517327	6.8735E-05	1.3286E-04
16000	0.266646	5.3290E-05	1.9985E-04
20000	0.103536	2.8401E-05	2.7431E-04

PERHITUNGAN t = 1000-20000 Injector Nozzle			
Time (t)	Reliability (R)	F (t)	Failure rate
1000	0.995111	9.7003E-06	9.7479E-06
4000	0.925679	3.5548E-05	3.8402E-05
8000	0.735970	5.6096E-05	7.6220E-05
12000	0.503233	5.7278E-05	1.1382E-04
16000	0.296133	4.4799E-05	1.5128E-04
20000	0.150045	2.8304E-05	1.8864E-04

PERHITUNGAN t = 1000-20000 Con rod Bearing			
Time (t)	Reliability (R)	F (t)	Failure rate
1000	0.998386	3.9016E-06	3.9079E-06
4000	0.954842	2.6684E-05	2.7947E-05
8000	0.781026	5.8369E-05	7.4734E-05
12000	0.517327	6.8735E-05	1.3286E-04
16000	0.266646	5.3290E-05	1.9985E-04
20000	0.103536	2.8401E-05	2.7431E-04

PERHITUNGAN t = 1000-20000 Piston			
Time (t)	Reliability (R)	F (t)	Failure rate
1000	0.998255	3.9046E-06	3.9114E-06
4000	0.961817	2.0960E-05	2.1792E-05
8000	0.832118	4.2801E-05	5.1436E-05
12000	0.634077	5.3899E-05	8.5005E-05
16000	0.419968	5.0987E-05	1.2141E-04
20000	0.239346	3.8312E-05	1.6007E-04