

**PENENTUAN JADWAL PERAWATAN KOMPONEN KRITIS PADA MESIN MTU
12V2000G65 DI PLTD TERSEBAR PT PLN (PERSERO) AREA TUAL
(Studi Kasus : PLTD Wonreli)**

J. M. Tupan

Program Studi Teknik Industri, Fakultas Teknik Universitas Pattimura, Ambon

B. J. Camerling

Program Studi Teknik Industri, Fakultas Teknik Universitas Pattimura, Ambon

Maknun Amin

PLN Wilayah Maluku dan Maluku Utara, Ambon

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk menentukan jadwal perawatan komponen kritis pada mesin MTU 12V2000G65 pada PLTD Wonreli. Tahapan penelitian ini dimulai dengan menentukan mesin kritis dengan Metode Critical Analysis. Setelah itu dilanjutkan dengan menentukan komponen kritis menggunakan Diagram Pareto. Kemudian menentukan probability density function dan reabilitas dari komponen-komponen kritis. Setelah itu, menentukan interval perawatan komponen-komponen kritis menggunakan kriteria minimasi downtime. Berdasarkan hasil pengolahan data yang telah dilakukan, ditemukan bahwa mesin kritis adalah MTU Group Fuel System Low Pressure. Komponen Fuel Delivery Pump menjadi komponen kritis dari mesin MTU 12V2000G65. Tindakan perawatan yang perlu dilakukan perusahaan dalam mengatasi gangguan pada komponen kritis adalah dengan melakukan pemeriksaan pada setiap komponen kritis. Interval penggantian pencegahan bagi komponen Fuel Delivery Pump adalah 1009 Jam. Sedangkan interval pemeriksaan dari tiap komponen relatif sama yaitu 182.5 Jam, dan frekuensi optimal pemeriksaan tiap komponen adalah 3 kali/ bulan.

Kata Kunci : *Komponen Kritis, Interval Perawatan, reliabilitas, availability, penjadwalan*

ABSTRACT

This study is aimed to determine the maintenance schedule for critical components of the 12V2000G65 MTU machines in the Wonreli PLTD. It begins by determining the critical machines with the Critical Analysis Method followed by determining the critical components with the Pareto Diagram, the probability density function and the reliability of critical components, and the maintenance intervals for critical components using the downtime minimization criteria. Based on the study's results, we find that the critical engine is the MTU Group Fuel System Low Pressure and critical components of the 12V2000G65 MTU engine are the Fuel Delivery Pump Components. As maintenance actions, the company has needed to check each of the critical components to overcome the disturbance on critical components. The preventative replacement interval for the Fuel Delivery Pump component is 1009 Hours while the inspection interval is relatively the same, namely 182.5 hours, and the optimal inspection frequency for each component is 3 times/month.

Keywords: *Critical Components, Maintenance Intervals, Reliability, Availability, Scheduling*

PENDAHULUAN

PT PLN (Persero) Area Tual yang melayani kebutuhan ketenagalistrikan pada 16 (enam belas) sistem kelistrikan meliputi Kabupaten Maluku Tenggara, Maluku Tenggara Barat dan Maluku Barat Daya dituntut agar dapat melayani pasokan secara kontinyu aman handal dan ramah lingkungan. Sistem kelistrikan pada kepulauan ini sebagian besar disuplai menggunakan pembangkit listrik tenaga diesel (PLTD). Pasokan listrik ke sistem ini akan tetap stabil apabila PLTD tetap beroperasi dan salah satu faktor penting agar tetap beroperasi adalah keandalan mesin itu sendiri.

Pada PLTD tersebar PT PLN (Persero) Area Tual terdiri dari beberapa merek dan type mesin diesel. Salah satu merek dan type yang mempunyai populasi terbesar adalah MTU 12V2000 G65 yang merupakan mesin utama pada sistem kelistrikan pulau terluar. Proses produksi pada PLTD bersifat *continuous process*, apabila salah satu komponen atau peralatan mengalami kerusakan /kegagalan akan menyebabkan terhentinya keseluruhan fungsi.

Kerusakan mesin/ peralatan secara tiba-tiba merupakan permasalahan besar yang sering ditemui di PLTD tersebar PT PLN (Persero) Area Tual yang mengakibatkan seringnya terjadi penghentian operasi

(*downtime*), dan mengakibatkan proses produksi harus berhenti untuk melakukan perbaikan. Setiap kerusakan pada mesin memang tidak dapat diketahui secara pasti kapan terjadinya. Oleh sebab itu, diperlukan suatu tindakan perawatan mesin/ peralatan untuk dapat mencegah terjadinya kerusakan. Strategi yang tepat untuk menjaga mesin agar dapat beroperasi adalah dengan cara menentukan interval waktu perawatan peralatan yang optimal dengan tujuan minimasi *downtime* yang nantinya akan dibuat dalam bentuk jadwal perawatan. Untuk itu *preventive maintenance* digunakan untuk merancang jadwal komponen kritis sangat diperlukan untuk menghindari hal-hal yang tidak diinginkan. Sehingga dari kejadian ini berdampak pada terhentinya pasokan kelistrikan dan terjadinya pemadaman bergilir. Tentunya ini berpengaruh terhadap citra perusahaan dan tingkat kepuasan pelayanan PLN.

Solusi untuk mengatasi masalah diatas adalah menjalankan *sparepart management*. Langkah pertamanya adalah dengan membuat analisa *critical sparepart list*. Analisa ini akan berhubungan erat dengan analisa *critical equipment*. Analisa *critical sparepart list* adalah analisa yang dilakukan pada suku cadang mesin untuk menetapkan prioritas suku cadang yang perlu di-stok dan mana yang tidak perlu. Diharapkan dengan skripsi ini memberi banyak manfaat dari melakukan analisa *critical sparepart* diantaranya adalah untuk mengalokasikan biaya *maintenance* secara lebih tepat dan efisien, untuk menurunkan unplanned downtime mesin yang berdampak besar, untuk membuat program *preventive maintenance* dapat berjalan lebih baik, meningkatkan kinerja pembangkit dari sisi *availability* dan *performance maintenance*.

Untuk mendukung analisa pada permasalahan tersebut maka digunakanlah metode analisa ABC untuk menentukan *critical part* yang paling penting dan perlu dipersiapkan untuk mengatasi gangguan yang kemungkinan besar terjadi. Analisa ABC tersebut didukung dengan menggunakan teori *reliability* sehingga dengan lebih mudah menginventarisasi *critical part* sesuai dengan tingkat kepentingannya. Oleh karena itu penulis mengambil judul skripsi “Penentuan Jadwal Perawatan Komponen Kritis Pada Mesin MTU 12V2000G65 DI PLTD Tersebar PT PLN (Persero) Area Tual (Studi Kasus : PLTD Wonreli)”.

Tujuan dari penelitian ini adalah menentukan komponen kritis mesin MTU 12V2000G65 pada PLTD Tersebar PT PLN (Persero) Area Tual, mengevaluasi tindakan perawatan yang dilakukan terhadap komponen kritis mesin MTU 12V2000G65 pada PLTD Tersebar PT PLN (Persero) Area Tual dan menentukan interval waktu perawatan komponen kritis mesin MTU 12V2000G65 yang optimal dengan tujuan minimasi *downtime*.

LANDASAN TEORI

Pengertian Perawatan

Perawatan merupakan suatu fungsi yang sama pentingnya dengan produksi pada suatu perusahaan atau pabrik. Hal ini karena peralatan atau fasilitas yang kita gunakan memerlukan pemeliharaan atau perawatan agar peralatan atau fasilitas dapat digunakan terus agar kegiatan produksi dapat berjalan lancar. Berikut adalah pengertian pemeliharaan dari beberapa sumber :

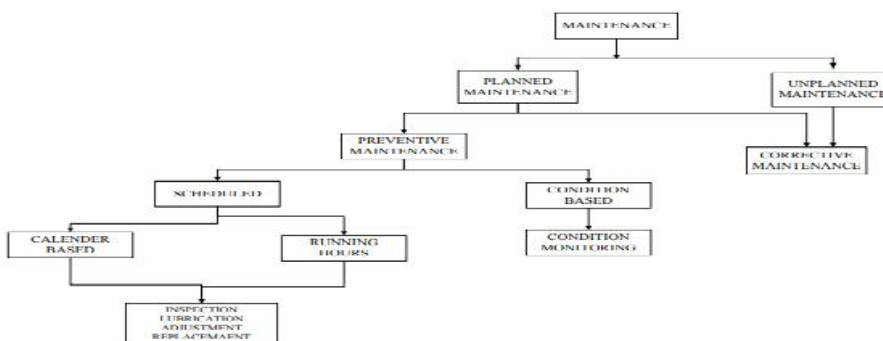
1. Menurut Dhillon (2002) pemeliharaan merupakan semua tindakan yang dilakukan untuk mempertahankan atau mengembalikan item atau peralatan ke keadaan tertentu.
2. Menurut Assauri (2008) perawatan merupakan kegiatan yang dilakukan untuk memelihara dan menjaga peralatan atau fasilitas dan mengadakan perbaikan atau penggantian sehingga dapat memperoleh suatu kegiatan proses produksi yang memuaskan dan sesuai dengan yang direncanakan.
3. Menurut Ngadiyono (2010) kegiatan pemeliharaan meliputi *maintenance*, *repair* dan *overhaul*. Jadi pemeliharaan dapat didefinisikan sebagai semua tindakan yang bertujuan untuk mempertahankan atau memulihkan komponen atau mesin ke keadaan ideal sehingga dapat menjalankan fungsinya sesuai dengan kebutuhan perusahaan.
4. Menurut Ginting (2009) pemeliharaan adalah suatu kegiatan yang dilakukan untuk menjamin kelangsungan fungsional mesin atau sistem produksi supaya beroperasi secara maksimal.

Tujuan utama pemeliharaan dapat diidentifikasi sebagai berikut (Sodikin, 2008) :

1. Memperpanjang umur dari mesin atau fasilitas.
2. Menjamin ketersediaan peralatan yang digunakan untuk kegiatan produksi atau jasa agar dapat digunakan secara optimal.
3. Menjamin kesiapan operasional keseluruhan peralatan agar dapat digunakan dalam keadaan darurat setiap dibutuhkan, misalnya seperti unit yang digunakan sebagai cadangan.
4. Menjamin keselamatan kerja operator yang menggunakan peralatan tersebut.

Kegiatan perawatan yang dapat dilakukan oleh perusahaan atau pabrik dapat dibedakan menjadi beberapa macam, yaitu :

1. Corrective Maintenance Perawatan yang dilakukan setelah terjadinya kerusakan atau kelainan pada fasilitas atau peralatan sehingga tidak dapat berfungsi dengan baik. Tindakan perawatan yang dilakukan biasanya berupa perbaikan atau reparasi.
2. Preventive Maintenance Pemeliharaan pencegahan adalah kegiatan pemeliharaan atau perawatan yang dilakukan untuk mencegah timbulnya kerusakan-kerusakan yang tidak terduga dan menentukan kondisi atau keadaan yang menyebabkan fasilitas produksi mengalami kerusakan pada waktu yang digunakan dalam proses produksi. Maintenance yang dilakukan perusahaan dapat dibedakan atas dua kegiatan, yaitu:
 - a. *Routine Maintenance* adalah kegiatan pemeliharaan dan perawatan yang dilakukan secara rutin, misalnya melakukan pembersihan fasilitas/ peralatan, pemberian minyak pelumas dan melakukan pengecekan oli yang dilakukan setiap hari.
 - b. *Periodic Maintenance* adalah kegiatan digunakan dapat berdasarkan jam kerja mesin atau fasilitas.



Jenis-Jenis Perawatan (Priyanta, 2000)

Penentuan Komponen Kritis

Komponen kritis adalah kondisi suatu komponen yang berpotensi mengalami kerusakan yang berpengaruh pada keandalan operasional unit sistem. Penilaian komponen kritis dapat dilakukan dengan menggunakan pendekatan critical analysis dengan menggunakan empat kriteria yaitu :

1. Frekuensi kerusakan tinggi Frekuensi kerusakan yang tinggi pada suatu komponen jika tidak segera dilakukan tindakan perbaikan dapat merambat ke komponen utama yang berpotensi menimbulkan unit tidak dapat beroperasi (breakdown).
2. Dampak kerusakan pada sistem Apabila terjadi kerusakan pada komponen akan menyebabkan sistem tidak berfungsi maksimal atau gagal melaksanakan fungsinya.
3. Pembongkaran dan pemasangannya sulit Penggantian terhadap komponen yang rusak harus dilakukan pembongkaran, komponen diperbaiki atau diganti yang baru, lalu dilakukan pemasangan kembali. Faktor yang mempengaruhi kriteria ini antara lain :
 - Posisi komponen
 - Alat yang digunakan untuk pembongkaran
 - Waktu yang diperlukan
 - Mekanik yang berpengalaman
 - Biaya jasa
4. Harga komponen mahal Harga komponen disebut mahal apabila harga komponen tersebut di atas harga rata-rata seluruh komponen yang ada pada satu mesin.

Analisis ABC

Analisis ABC atau dikenal dengan klasifikasi Pareto merupakan salah satu metode yang digunakan untuk memecahkan masalah penentuan titik optimum, baik jumlah pemesanan maupun order point, serta berguna dalam menentukan barang-barang yang harus diprioritaskan. Analisis ABC sangat berguna dalam memfokuskan perhatian manajemen terhadap penentuan jenis barang yang paling penting dalam sebagian besar investasi. Analisis ABC didasarkan pada sebuah konsep yang dikenal dengan nama Hukum Pareto (*Ley de Pareto*), dari nama ekonom dan sosiolog Italia, Vilfredo Pareto (1848-1923). Hukum Pareto menyatakan bahwa sebuah grup selalu memiliki persentase terkecil (20%) yang bernilai atau memiliki dampak terbesar (80%). Pada tahun 1940-an, Ford Dickie dari General Electric mengembangkan konsep Pareto ini untuk menciptakan konsep ABC dalam klasifikasi barang persediaan.

Berdasarkan hukum Pareto, analisis ABC dapat menggolongkan barang berdasarkan peringkat nilai dari nilai tertinggi hingga terendah, dan kemudian dibagi menjadi kelas-kelas besar terprioritas; biasanya kelas dinamai A, B, C, dan seterusnya secara berurutan dari peringkat nilai tertinggi hingga terendah, oleh

karena itu analisis ini dinamakan “Analisis ABC”. Umumnya kelas A memiliki jumlah jenis barang yang sedikit, namun memiliki nilai yang sangat tinggi.

Dalam hal ini, saya akan menggunakan tiga kelas, yaitu: A, B, dan C, di mana besaran masing-masing kelas ditentukan sebagai berikut (Sutarman, 2003, p. 144–145) :

1. Kelas A, merupakan barang-barang dalam jumlah unit berkisar 15-20% dari total seluruh barang, tetapi merepresentasikan 75-80% dari total nilai uang.
2. Kelas B, merupakan barang-barang dalam jumlah unit berkisar 20-25% dari total seluruh barang, tetapi merepresentasikan 10-15% dari total nilai uang.
3. Kelas C, merupakan barang-barang dalam jumlah unit berkisar 60-65% dari total seluruh barang, tetapi merepresentasikan 5-10% dari total nilai uang.

Adapun langkah-langkah atau prosedur klasifikasi barang dalam analisis ABC adalah sebagai berikut:

1. Menentukan jumlah unit untuk setiap tipe barang.
2. Menentukan harga per unit untuk setiap tipe barang.
3. Mengalikan harga per unit dengan jumlah unit untuk menentukan total nilai uang dari masing-masing tipe barang.
4. Menyusun urutan tipe barang menurut besarnya total nilai uang, dengan urutan pertama tipe barang dengan total nilai uang paling besar.
5. Menghitung persentase kumulatif barang dari banyaknya tipe barang.
6. Menghitung persentase kumulatif nilai uang barang dari total nilai uang.
7. Membentuk kelas-kelas berdasarkan persentase barang dan persentase nilai uang barang.
8. Menggambar kurva analisis ABC (bagan Pareto) atau menunjuk tingkat kepentingan masalah.

Distribusi Kerusakan

Distribusi kerusakan adalah informasi mengenai umur pakai suatu peralatan. Distribusi yang digunakan pada penelitian ini adalah distribusi yang menggunakan variabel acak yang kontinu (waktu, jarak, temperatur). Adapun distribusi kerusakan yang umum digunakan sebagai model distribusi keandalan yaitu :

1. Distribusi Weibull
2. Distribusi Normal
3. Distribusi Lognormal
4. Distribusi Eksponensial

Identifikasi Distribusi Kerusakan

1. Index of Fit (r)
 Dengan metode Least Square Curve Fitting, dicari nilai index of fit (r) atau koefisien korelasi. Distribusi yang digunakan dalam metode LSCF adalah distribusi Weibull, distribusi eksponensial, distribusi normal, dan distribusi lognormal. Dalam menentukan distribusi yang digunakan, dapat dilihat dari nilai index of fit (r) terbesar. Distribusi dengan nilai r terbesar selanjutnya akan dipilih untuk diuji dengan menggunakan Goodness of Fit Test.
2. Kebaikan Suai (Goodness of Fit Test)
 Setelah perhitungan index of fit dilakukan, tahap selanjutnya adalah perhitungan goodness of fit test untuk nilai index of fit yang terbesar. Uji ini dilakukan dengan membandingkan antara hipotesa nol (H_0) yang menyatakan bahwa data kerusakan mengikuti distribusi pilihan dan hipotesis alternatif (H_1) yang menyatakan bahwa data kerusakan tidak mengikuti distribusi pilihan (Ebeling, 1997). Tujuan dilakukannya uji kebaikan suai yaitu untuk mengetahui validitas dari suatu asumsi distribusi yang diperoleh sebelumnya. Pengujian goodness of fit yang dilakukan ada tiga macam, tergantung dengan distribusi masing-masing antara lain Mann’s Test untuk distribusi Weibull, Barlett’s Test untuk distribusi Eksponensial, dan Kolmogorov- Smirnov Test untuk distribusi Normal dan Lognormal.

Model Penentuan Interval Waktu Penggantian Pencegahan Optimal

Model penentuan interval waktu penggantian pencegahan berdasarkan kriteria minimasi waktu downtime yang digunakan dengan menentukan waktu yang paling optimal dalam melakukan penggantian sehingga total downtime per unit waktu dapat diminimasi. Penggantian ini dilakukan untuk menghindari terhentinya mesin akibat kerusakan pada komponen. Model ini digunakan untuk mengetahui interval waktu penggantian pencegahan yang optimal sehingga dapat meminimasi total downtime.

Selain itu, tujuan menentukan selang waktu penggantian komponen yang optimal adalah untuk meminimumkan total ekspektasi penggantian per satuan waktu. Ada dua model dalam menentukan interval waktu penggantian pencegahan yaitu block replacement dan age replacement.

1. Block Replacement

Dalam metode block replacement, jika pada suatu selang waktu tp tidak terdapat kerusakan, maka tindakan penggantian dilakukan sesuai dengan interval tp . Jika sistem rusak sebelum jangka waktu tp , maka dilakukan penggantian perbaikan dan penggantian pencegahan selanjutnya akan tetap dilakukan pada waktu tp dan mengabaikan waktu penggantian perbaikan sebelumnya.

2. Age Replacement

Metode penentuan interval waktu penggantian pencegahan berdasarkan kriteria minimasi downtime yang digunakan adalah Age Replacement. Dalam penggunaan model ini perlu diketahui konstruksi modelnya yaitu :

T_f = downtime yang dibutuhkan untuk melakukan penggantian kerusakan.

T_p = downtime yang dibutuhkan untuk melakukan penggantian pencegahan.

$f(t)$ = fungsi kepadatan probabilitas waktu kerusakan.

Pada metode *age replacement*, tindakan penggantian dilakukan pada saat pengoperasian sudah mencapai umur yang ditetapkan yaitu sebesar tp . Jika pada selang waktu tp tidak terdapat kerusakan, maka akan tetap dilakukan penggantian sebagai tindakan pencegahan. Jika sistem mengalami kerusakan pada selang waktu tp , maka dilakukan tindakan penggantian perbaikan dan penggantian berikutnya akan dilakukan berdasarkan perhitungan tp terhitung mulai dari waktu penggantian perbaikan tersebut. Metode *Age Replacement* ini dapat digambarkan sebagai berikut:

Model Penentuan Interval Waktu Penggantian Pemeriksaan Optimal

Selain tindakan penggantian pencegahan, juga perlu dilakukan tindakan pemeriksaan secara teratur agar dapat meminimasi downtime mesin akibat kerusakan yang terjadi secara tiba-tiba (Jardine, 1993). Tujuan dilakukannya pemeriksaan yaitu untuk memperpanjang umur pemakaian komponen atau mesin.

Konsep Availability (Ketersediaan)

Availability adalah probabilitas komponen atau sistem dapat beroperasi sesuai dengan fungsinya pada saat kondisi operasi setelah dilakukan tindakan penggantian dan pemeliharaan pencegahan.

$$A(n) = 1 - D(n) \quad (1)$$

Nilai availability total meliputi penggantian pencegahan dan pemeriksaan dengan arti nilai availability merupakan peluang waktu yang tersedia untuk komponen dapat beroperasi dengan baik.

Ketersediaan (availability) adalah probabilitas suatu komponen atau sistem menunjukkan kemampuan yang diharapkan pada suatu waktu tertentu ketika dioperasikan dalam kondisi operasional tertentu. Ketersediaan juga dapat dinyatakan sebagai persentase waktu operasional sebuah komponen atau sistem dapat beroperasi dengan baik selama interval waktu tertentu. Besarnya probabilitas availability dapat menunjukkan besarnya kemampuan komponen untuk melakukan fungsinya setelah memperoleh perawatan. Semakin tinggi nilai dari availability berarti menunjukkan semakin baiknya kemampuan dari suatu komponen, apabila nilai availability semakin mendekati satu maka semakin tinggi kemampuan dari mesin tersebut untuk menjalankan fungsi-fungsinya.

Ketersediaan adalah probabilitas komponen berada dalam kondisi tidak mengalami kerusakan meskipun sebelumnya komponen tersebut telah mengalami kerusakan dan diperbaiki kembali pada kondisi operasi normalnya.

METODE PENELITIAN

Variabel

Yang termasuk dalam indikator variabel keputusan dalam penelitian adalah sebagai berikut :

- a. Mean Time To Failure
- b. Mean Time To Repair

Variabel keputusan merupakan suatu indikator untuk mencapai variabel tujuan. Yang mana variabel tujuan adalah untuk menentukan interval waktu perawatan.

Metode Analisa Data

Metode analisa data yang digunakan dalam penelitian ini adalah Analisa ABC dan Teori Keandalan/*Reliability*.

Pada penelitian ini menggunakan beberapa metode yang mendukung, diantaranya adalah sebagai berikut:

1. Analisa ABC

Analisis ABC digunakan untuk memecahkan masalah dengan penentuan titik optimum, baik jumlah pemesanan maupun order point, serta berguna dalam menentukan barang-barang yang harus diprioritaskan. Prioritasnya ditentukan dengan menganalisa keandalan dari part kritis pada mesin MTU 12V 2000 G65.

2. Teori kehandalan/ Reliability

Digunakan untuk mengetahui kehandalan dari part kritis pada mesin MTU 12V2000 G65 yang digunakan sebagai dasar untuk menentukan prioritas part yang harus tersedia.

Tahapan Penelitian

enelitian ini dilaksanakan melalui beberapa tahap, yaitu :

1. Studi Pendahuluan

Studi pendahuluan diperlukan guna meneliti lebih lanjut apa yang akan menjadi permasalahan dalam penelitian. Studi pendahuluan terdiri dari studi literature dan pengamatan langsung di lapangan.

2. Perumusan Masalah dan Tujuan Penelitian

Hasil studi pendahuluan dianalisis untuk menentukan masalah utama yang dipilih sebagai masalah penelitian. Selanjutnya, ditetapkan tujuan penelitian untuk mengarahkan semua aktivitas dalam kegiatan penelitian, termasuk pengumpulan data dan analisis.

3. Studi Pustaka

Kegiatan ini dilakukan untuk menelusuri konsep-konsep teoritis yang relevan dengan masalah penelitian dan sekaligus untuk mengetahui data, metode pengumpulan data dan metode analisis yang tepat dalam menyelesaikan permasalahan penelitian tersebut.

4. Pengumpulan Data

Pada tahap ini dilakukan dengan pengambilan data lapangan berupa *history* terjadinya gangguan pada mesin MTU 12V 2000 G65 serta melakukan studi literature mengenai data yang diperoleh.

5. Analisa Data

Data yang telah dikumpulkan selanjutnya diolah dan diinterpretasikan untuk menjawab tujuan penelitian. Pada tahap ini digunakan Analisa ABC dan teori tentang *reliability*.

6. Kesimpulan dan Saran

Hasil pengolahan dan analisis data kemudian disimpulkan dengan memperhatikan tujuan penelitian. Disamping itu, juga diberikan saran yang berkaitan dengan penggunaan/penerapan hasil penelitian.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Penentuan Mesin Kritis

PT. PLN (Persero) Area Tual memiliki banyak jenis mesin pembangkit listrik diesel, namun mesin MTU 12V2000G65 yang memiliki populasi terbesar. Mesin MTU 12V2000G65 ini juga merupakan mesin yang dijadikan mesin utama dalam memproduksi energi listrik di beberapa unit PLTD PT PLN (Persero) Area Tual.

Populasi Mesin Diesel MTU Pada PT. PLN Area Tual

LOKASI	MEREK	TYPE	NOMOR SERI	TAHUN	DAYA
WONRELI	MTU	10V1600G20F	16601001058	2010	250
WONRELI (Ex Dobo)	MTU	12V1600G20F	16701003349	2010	500
TOTAL				2	750
SAUMLAKI	MTU	12V2000G62	539100565	2003	500
LARAT (Ex Jerol)	MTU	12V2000G65	535.300.850	2015	500
LETWURUNG	MTU	12V2000G65	535.300.805	2015	500
TEPA	MTU	12V2000G65	535.300.823	2015	500
WONRELI	MTU	12V2000G65	535.300.821	2015	500
WONRELI	MTU	12V2000G65	535.300.852	2015	500
MOA	MTU	12V2000G65	535.300.833	2015	500
MOA	MTU	12V2000G65	535.300.835	2015	500
ILWAKI	MTU	12V2000G65	535.300.824	2015	500
ILWAKI	MTU	12V2000G65	535.300.844	2015	500
TUTUKEMBUNG	MTU	12V2000G65	535.300.836	2015	500
TUTUKEMBUNG	MTU	12V2000G65	535.300.839	2015	500
TUTUKEMBUNG	MTU	12V2000G65	535.300.843	2015	500
TUTUKEMBUNG	MTU	12V2000G65	535.300.851	2015	500
LARAT	MTU	12V2000G65	535.300.841	2015	500
SAUMLAKI	MTU	18V2000G63	535102553	2004	700
TOTAL				16	8,200
SAUMLAKI	MTU	16V4000G23	527110371	2015	1,280
SAUMLAKI	MTU	16V4000G23	527110377	2015	1,280
SAUMLAKI	MTU	16V4000G23	527110384	2015	1,280
TOTAL				3	3,840
TOTAL SELURUHNYA					12,790

Rekap Data Kerusakan MTU 12V200G65 Pada PT. PLN Area Tual

No	Tanggal	Nama Pembangkit	MTU Group Sistem	Jenis Har*	Uraian Pekerjaan (Meliputi Detail Pekerjaan, Material, Data - Data)	Lama Peleaksama	Unit	Keterangan
1	16-Sep-17	PLTD Ilwaki	080 - Fuel System Low Pressure	Korektif	Pengantian Bearing Delivery Pump *Pencengahan Kerusakan	60	2	Fuel Delivery Pump
2	16-Sep-17	PLTD Ilwaki	080 - Fuel System Low Pressure	Korektif	Pengantian Screw Driver Delivery Pump *Pencengahan Kerusakan	60	2	Fuel Delivery Pump
3	15 Juli 2017	PLTD Ilwaki	080 - Fuel System Low Pressure	Korektif	Pengantian Delivery Pump 1 set (Bearing + Screw Driver) *Rusak	10.800	1	Fuel Delivery Pump
4	03 Maret 2017	PLTD Larat	080 - Fuel System Low Pressure	Korektif	Pengantian Delivery Pump 1 set (Bearing + Screw Driver) *Rusak	60	8	Fuel Delivery Pump
5	05 Mei 2017	PLTD Larat	080 - Fuel System Low Pressure	Korektif	Pengantian Delivery Pump 1 set (Bearing + Screw Driver) *Rusak	10.080	8	Fuel Delivery Pump
6	12 Juni 2017	PLTD Larat	080 - Fuel System Low Pressure	Korektif	Pengantian Delivery Pump 1 set (Bearing + Screw Driver) *Rusak	10.080	8	Fuel Delivery Pump
7	9 Oktober 2017	PLTD Larat	080 - Fuel System Low Pressure	Korektif	Pengantian Bearing Delivery Pump *Pencengahan Kerusakan	60	8	Fuel Delivery Pump
8	9 Oktober 2017	PLTD Larat	080 - Fuel System Low Pressure	Korektif	Pengantian Screw Driver Delivery Pump *Pencengahan Kerusakan	60	8	Fuel Delivery Pump
9	5-Sep-17	PLTD Leturung	080 - Fuel System Low Pressure	Korektif	Pengantian Delivery Pump 1 set (Bearing + Screw Driver) *Rusak	10.080	8	Fuel Delivery Pump
10	13 Oktober 2017	PLTD Leturung	080 - Fuel System Low Pressure	Korektif	Pengantian Bearing Delivery Pump *Pencengahan Kerusakan	60	8	Fuel Delivery Pump
11	13 Oktober 2017	PLTD Leturung	080 - Fuel System Low Pressure	Korektif	Pengantian Screw Driver Delivery Pump *Pencengahan Kerusakan	60	8	Fuel Delivery Pump
12	15 Januari 2017	PLTD Leturung	080 - Fuel System Low Pressure	Korektif	Pengantian Delivery Pump 1 set (Bearing + Screw Driver) *Rusak	7300	8	Fuel Delivery Pump
13	8-Sep-17	PLTD Mea	080 - Fuel System Low Pressure	Korektif	Pengantian Bearing Delivery Pump *Pencengahan Kerusakan	60	4 & 5	Fuel Delivery Pump
14	8-Sep-17	PLTD Mea	080 - Fuel System Low Pressure	Korektif	Pengantian Screw Driver Delivery Pump *Pencengahan Kerusakan	60	4 & 5	Fuel Delivery Pump
15	3-Nov-17	PLTD Mea	080 - Fuel System Low Pressure	Korektif	Pengantian Bearing Delivery Pump *Pencengahan Kerusakan	60	4 & 5	Fuel Delivery Pump
16	3-Nov-17	PLTD Mea	080 - Fuel System Low Pressure	Korektif	Pengantian Screw Driver Delivery Pump *Pencengahan Kerusakan	60	4 & 5	Fuel Delivery Pump
17	15 Mei 2017	PLTD Mea	080 - Fuel System Low Pressure	Korektif	Pengantian Delivery Pump 1 set (Bearing + Screw Driver) *Rusak	4.320	4	Fuel Delivery Pump
18	19 Mei 2017	PLTD Mea	080 - Fuel System Low Pressure	Korektif	Pengantian Delivery Pump 1 set (Bearing + Screw Driver) *Rusak	7.200	5	Fuel Delivery Pump
19	6-Sep-17	PLTD Saumlaki	080 - Fuel System Low Pressure	Korektif	Pengantian Delivery Pump 1 set (Bearing + Screw Driver) *Rusak	60	4	Fuel Delivery Pump
20	3-Nov-17	PLTD Saumlaki	080 - Fuel System Low Pressure	Korektif	Pengantian Bearing Delivery Pump *Pencengahan Kerusakan	60	4	Fuel Delivery Pump
21	13 Oktober 2017	PLTD Tepa	080 - Fuel System Low Pressure	Korektif	Pengantian Bearing Delivery Pump *Pencengahan Kerusakan	60	8	Fuel Delivery Pump
22	13 Oktober 2017	PLTD Tepa	080 - Fuel System Low Pressure	Korektif	Pengantian Screw Driver Delivery Pump *Pencengahan Kerusakan	60	8	Fuel Delivery Pump
23	19 Februari 2017	PLTD Tepa	080 - Fuel System Low Pressure	Korektif	Pengantian Delivery Pump 1 set (Bearing + Screw Driver) *Rusak	7.300	8	Fuel Delivery Pump
24	9 Juli 2017	PLTD Tepa	080 - Fuel System Low Pressure	Korektif	Pengantian Delivery Pump 1 set (Bearing + Screw Driver) *Rusak	10.080	8	Fuel Delivery Pump
25	21-Apr-17	PLTD Tukembung	080 - Fuel System Low Pressure	Korektif	Pengantian Delivery Pump 1 set (Bearing + Screw Driver) *Rusak	60	4	Fuel Delivery Pump
26	2-Sep-17	PLTD Tukembung	080 - Fuel System Low Pressure	Korektif	Pengantian Delivery Pump 1 set (Bearing + Screw Driver) *Rusak	10.080	4	Fuel Delivery Pump
27	5 Oktober 2017	PLTD Tukembung	080 - Fuel System Low Pressure	Korektif	Pengantian Bearing Delivery Pump *Pencengahan Kerusakan	60	4	Fuel Delivery Pump
28	8-Sep-17	PLTD Wonrei	080 - Fuel System Low Pressure	Korektif	Pengantian Bearing Delivery Pump *Pencengahan Kerusakan	60	4	Fuel Delivery Pump
29	8-Sep-17	PLTD Wonrei	080 - Fuel System Low Pressure	Korektif	Pengantian Screw Driver Delivery Pump *Pencengahan Kerusakan	60	4	Fuel Delivery Pump
30	3-Nov-17	PLTD Wonrei	080 - Fuel System Low Pressure	Korektif	Pengantian Bearing Delivery Pump *Pencengahan Kerusakan	60	4	Fuel Delivery Pump
31	3-Nov-17	PLTD Wonrei	080 - Fuel System Low Pressure	Korektif	Pengantian Screw Driver Delivery Pump *Pencengahan Kerusakan	60	4	Fuel Delivery Pump
32	15 Juli 2017	PLTD Wonrei	080 - Fuel System Low Pressure	Korektif	Pengantian Delivery Pump 1 set (Bearing + Screw Driver) *Rusak	4.320	4	Fuel Delivery Pump
33	16 Desember 2017	PLTD Wonrei	080 - Fuel System Low Pressure	Korektif	Pengantian Delivery Pump 1 set (Bearing + Screw Driver) *Rusak	4.320	4	Fuel Delivery Pump

No	Tanggal	Nama Pembangkit	MTU Group Sistem	Jenis Har*	Uraian Pekerjaan (Meliputi Detail Pekerjaan, Material, Data - Data)	Lama Peleaksama	Unit	Keterangan
1	29 Mei 2017	PLTD Ilwaki	500 - Monitoring, Control and Regulating Devices	Korektif	Pengantian ADEC Akibat Error (Electric System)	360	2	ECU
2	21 Maret 2017	PLTD Mea	500 - Monitoring, Control and Regulating Devices	Korektif	Pengantian ADEC Akibat Error (Electric System)	360	5	ECU
3	13 Februari 2017	PLTD Wonrei	500 - Monitoring, Control and Regulating Devices	Korektif	Pengantian SAM Akibat Error (Electric System)	360	4	ECU
4	23 Januari 2017	PLTD Larat	500 - Monitoring, Control and Regulating Devices	Korektif	Pengantian Deepsea yang Blank (Electric System)	240	8	ECU
5	3 Maret 2017	PLTD Tepa	500 - Monitoring, Control and Regulating Devices	Korektif	Pengantian Sensor RPM	60	8	Speed Sensor
6	13 Agustus 2017	PLTD Tukembung	500 - Monitoring, Control and Regulating Devices	Korektif	Pengantian Sensor Level Air Radiator (Electric System)	60	1	Lever Radiator Sensor

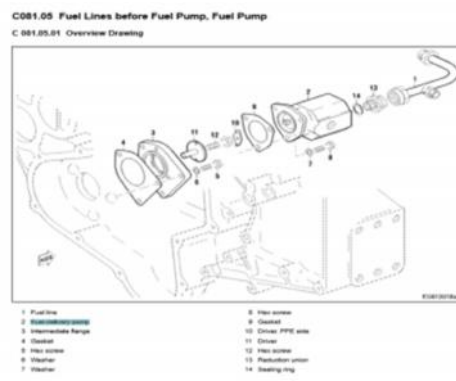
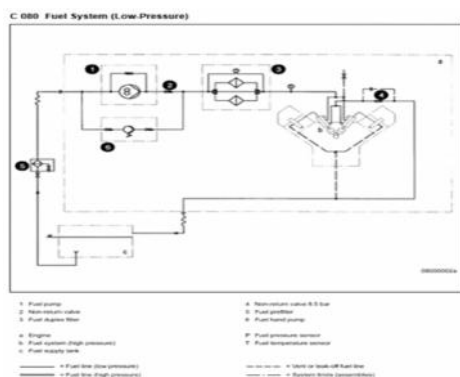
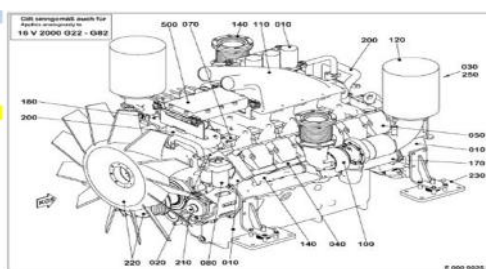
No	Tanggal	Nama Pembangkit	MTU Group Sistem	Jenis Har*	Uraian Pekerjaan (Meliputi Detail Pekerjaan, Material, Data - Data)	Lama Peleaksama	Unit	Keterangan
1	18 Februari 2017	PLTD Mea	200 - Cooling System	Korektif	Pengantian Fan Radiator Akibat Parah (Coolant System)	360	4	Fan Radiator
2	27 Maret 2017	PLTD Ilwaki	200 - Cooling System	Korektif	Pengantian Water Pump Akibat Bocor (Coolant System)	150	1	Coolant Pump
3	6 Maret 2017	PLTD Saumlaki	200 - Cooling System	Korektif	Pengantian Water Pump Akibat Seal Bocor (Coolant System)	150	1	Coolant Pump
4	11 Agustus 2017	PLTD Ilwaki	200 - Cooling System	Korektif	Pengantian Rubber Hose Akibat Bocor (Coolant System)	60	2	Rubber Hose
5	13-Apr-17	PLTD Tepa	200 - Cooling System	Korektif	Pengantian Rubber Hose Water Pump (Coolant System)	60	8	Rubber Hose

Data Breakdown MTU Group System

No	MTU Group System	Frekuensi Breakdown	Frekuensi Breakdown (%)	Frekuensi Kumulatif	Kategori
080	Fuel System Low Pressure	33.00	60.00	60.00	A
500	Monitoring, Control and Regulating Devices	6.00	10.91	70.91	A
200	Cooling System	5.00	9.09	80.00	A
040	Cylinder Head	4.00	7.27	87.27	B
070	Fuel System High Pressure	3.00	5.45	92.73	B
180	Lube Oil System	2.00	3.64	96.36	B
140	Exhaust System	1.00	1.82	98.18	B
170	Starting System	1.00	1.82	100.00	C
010	Crankcase and Externally Mounted Component	0.00	0.00	100.00	C
020	Gear Train	0.00	0.00	100.00	C
030	Running Gear	0.00	0.00	100.00	C
050	Valve Gear	0.00	0.00	100.00	C
100	Exhaust Turbocharger	0.00	0.00	100.00	C
110	Intercooler	0.00	0.00	100.00	C
120	Air Intake/Air Supply	0.00	0.00	100.00	C
210	Power Supply	0.00	0.00	100.00	C
230	Mounting	0.00	0.00	100.00	C
250	PTO Systems, Driving End and Free End	0.00	0.00	100.00	C
Total		55	100.00		

Dari pembahasan sebelumnya diketahui bahwa Group System MTU kritis yang akan dibahas lebih lanjut adalah Fuel System Low Pressure. Komponen Pada Fuel System Low Pressure Berfungsi sebagai penyuplai bahan bakar dari tangki harian menuju ke pompa injeksi.

Group	Description
010	Crankcase and Externally Mounted Component
020	Gear Train
030	Running Gear
040	Cylinder Head
050	Valve Gear
070	Fuel System (High Pressure)
080	Fuel System (Low Pressure)
100	Exhaust Turbocharger
110	Intercooler
120	Air Intake/Air Supply
140	Exhaust System
170	Starting System
180	Lube Oil System
200	Cooling System
210	Power Supply
230	Mounting
250	PTO Systems, Driving End and Free End
500	Monitoring, Control and Regulating Devices



MTU System Group - Fuel System Low Pressure Part

Komponen kritis merupakan komponen yang berperan sangat penting dalam kinerja suatu mesin. Komponen-komponen ini mendukung proses bekerjanya mesin. Apabila terjadi suatu kerusakan pada salah satu komponen ini, maka kinerja mesin akan berkurang, proses produksi dapat terhambat, serta berdampak pada keluaran hasil produksi.

Nilai Kekritisitas Mesin pada Fuel System Low Pressure

Fuel System Low Pressure				
No	MTU Group System	Frekuensi Breakdown	Frekuensi Breakdown (%)	Frekuensi Kumulatif
1	Fuel Delivery Pump	33.00	100.00	100.00
2	Non Return Valve	0.00	0.00	100.00
3	Fuel Duplex Filter	0.00	0.00	100.00
4	Non Return Valve 8.5 Bar	0.00	0.00	100.00
5	Fuel Pre Filter	0.00	0.00	100.00
6	Fuel Hand Pump	0.00	0.00	100.00
Total		33.00	100.00	

Perhitungan Time to Failure (TTF) dan Time to Repair (TTR) Komponen

Dalam proses perhitungan hal yang pertama kali dilakukan adalah melakukan perhitungan *Time to Failure* (TTF) dan *Time to Repair* (TTR). *Time to Failure* (TTF) atau interval waktu kerusakan merupakan selang waktu pada saat terjadi kerusakan awal yang telah diperbaiki sampai terjadi kerusakan kembali, sedangkan *Time to Repair* (TTR) (*downtime*) atau interval waktu perbaikan adalah lama perbaikan yang diperlukan agar mesin dapat beroperasi kembali. Berikut ini adalah data *downtime* (TTR) dan data interval waktu kerusakan (TTF) Fuel System Low Pressure Komponen Fuel Delivery Pump:

Data Downtime TTR Dan TTF Komponen Fuel Delivery Pump

Data Failed Fuel System Low Pressure - Fuel Delivery Fuel Pump - MTU Unit 4 - PLTD Wonoreli							
No	Tanggal	Nama Pembangkit	MTU Group Sistem	Jenis Har*	Lama Pelaksanaan (Menit)	Unit	Keterangan
1	15-Jul-17	PLTD Wonoreli	080 - Fuel System Low Pressure	Korektif	60	4	Fuel Delivery Pump
2	8-Sep-17	PLTD Wonoreli	080 - Fuel System Low Pressure	Korektif	60	4	Fuel Delivery Pump
3	3-Nov-17	PLTD Wonoreli	080 - Fuel System Low Pressure	Korektif	60	4	Fuel Delivery Pump
4	16-Dec-17	PLTD Wonoreli	080 - Fuel System Low Pressure	Korektif	60	4	Fuel Delivery Pump

MTTF - MTRR Fuel System Low Pressure - Fuel Delivery Pump - PLTD Wonoreli - Unit 4						
No	Tanggal Downtime Mulai	Tanggal Downtime Selesai	TTF Interval (menit)	TTF Interval (jam)	TTR Downtime (menit)	TTR Downtime (jam)
1	5/15/17 13:36	5/16/17 14:12	0	0	1476	24.60
2	7/15/17 15:07	7/16/17 15:34	86455	1440.92	1467	24.45
3	9/8/17 10:20	9/9/17 10:47	77446	1290.77	1467	24.45
4	11/3/17 13:09	11/4/17 13:40	79342	1322.37	1471	24.52
5	12/16/17 9:30	12/17/17 9:52	60230	1003.83	1462	24.37

Data Downtime TTR Dan TTF Komponen Fuel Delivery Pump merupakan hasil perhitungan *Time to Failure* dan *Time to Repair* komponen Fuel Delivery Pump PLTD Wonoreli Unit 4. Terdapat 5 kali kerusakan komponen pahaat bubuk periode Januari 2017 s/d Desember 2017.

Berikut merupakan contoh cara perhitungan interval waktu antar kerusakan (TTF) dan interval waktu antar perbaikan (TTR) :

1. Sebagai contoh adalah data pada tanggal 15 Mei 2017 dan 15 Juli 2017.
2. Selang waktu antar perbaikan komponen Fuel Delivery Pump pada kerusakan tanggal 15 Mei 2017 adalah 1476 menit atau 24.60 jam, yaitu dihitung dari lamanya waktu perbaikan: 13:36 hingga 14:12.
3. Selang waktu antar kerusakan untuk tanggal 15 Juli 2014 didapatkan dari selisih data waktu kerusakan pada tanggal sebelumnya yaitu pada tanggal 15 Mei 2017 sehingga didapatkan nilai TTF sebesar 86.455 menit atau 1440,92 jam.

Penentuan Distribusi Data dan Parameter Interval Waktu Antar Kerusakan dan Interval Waktu Antar Perbaikan Komponen Kritis

Pada tahap selanjutnya adalah melakukan identifikasi pola distribusi dari data interval waktu antar kerusakan dan interval waktu antar perbaikan yang telah diperoleh. Lalu menentukan parameter interval waktu antar kerusakan dan interval waktu antar perbaikan dari masing-masing komponen. Langkah awal untuk menentukan distribusi dapat dilakukan dengan membandingkan nilai index of fit untuk melihat apakah pola distribusi data kerusakan mengikuti pola distribusi tertentu. Nilai variabel index of fit yang paling besar pada perhitungan pola distribusi adalah pola distribusi kerusakan yang akan dipilih. Metode yang digunakan adalah Least-Square Curve Fitting.

1. Perhitungan Index of Fit Interval Waktu Antar Kerusakan (TTF) dan Penentuan Parameter Komponen Fuel Delivery Pump

1. Distribusi Weibull

Index of Fit TTF Komponen Fuel Delivery Pump Distribusi Weibull

Index of Fit Selang Waktu Antar Kerusakan (TTF) Untuk Distribusi Weibull							
i	t_i	$x_i = \ln(t_i)$	$F(t_i)$	y_i	$x_i \cdot y_i$	x_i^2	y_i^2
1	1003.83	6.91	0.16	-1.75	-12.12	47.77	3.07
2	1290.77	7.16	0.39	-0.72	-5.13	51.31	0.51
3	1322.37	7.19	0.61	-0.05	-0.36	51.66	0.00
4	1440.92	7.27	0.84	0.61	4.43	52.90	0.37
Σ	5057.88	28.53	2	-1.91	-13.18	203.63	3.96

Weibull=	n :	4	\bar{y} :	-0.48
	b :	6.22	\bar{x} :	7.13
	a :	-44.82	x :	1.16
	lof :	0.9588	Γ :	0.89
	MTTF:	1199.32	θ :	1353.64

2. Distribusi Eksponensial

Index of Fit TTF Komponen Fuel Delivery Pump Distribusi Eksponensial

Index of Fit Selang Waktu Antar Kerusakan (TTF) Untuk Distribusi Eksponensial							
i	t_i	$t_i = x_i$	$F(t_i)$	y_i	$x_i \cdot y_i$	x_i^2	y_i^2
1	1003.83	1003.83	0.16	0.17	173.9359295	1007681.36	0.03
2	1290.77	1290.77	0.39	0.49	630.3494744	1666078.59	0.24
3	1322.37	1322.37	0.61	0.95	1257.539347	1748653.60	0.90
4	1440.92	1440.92	0.84	1.84	2648.807548	2076240.84	3.38
Σ	5057.88	5057.88	2.00	3.45	4710.63	6498654.39	4.55

Eksponensial = n	:	4	\bar{y} :	0.86
b	:	0.003	\bar{x} :	1264.47
a	:	-3.39	λ :	0.001
lof	:	0.8613	MTTF:	1379.571569

3. Distribusi Normal

Index of Fit TTF Komponen Fuel Delivery Pump Distribusi Eksponensial

Index of Fit Selang Waktu Antar Kerusakan (TTF) Untuk Distribusi Normal							
i	t_i	$t_i = x_i$	$F(t_i)$	y_i	$x_i \cdot y_i$	x_i^2	y_i^2
1	1003.83	1003.83	0.16	-0.9982	-1002.03	1007681.36	1.00
2	1290.77	1290.77	0.39	-0.2888	-372.79	1666078.59	0.08
3	1322.37	1322.37	0.61	0.2888	381.91	1748653.60	0.08
4	1440.92	1440.92	0.84	0.9982	1438.32	2076240.84	1.00
Σ	5057.88	5057.88	2.00	0.00	445.42	6498654.39	2.16

Normal = n	:	4	\bar{y} :	0.00
b	:	0.004	\bar{x} :	1264.47
a	:	-5.46	μ :	1264.471
lof	:	0.9439	MTTF:	1264.471

4. Distribusi Lognormal

Index of Fit TTF Komponen Fuel Delivery Pump Distribusi Lognormal

Index of Fit Selang Waktu Antar Kerusakan (TTF) Untuk Distribusi Log Normal							
i	t_i	$x_i = \ln(t_i)$	$F(t_i)$	y_i	$x_i \cdot y_i$	x_i^2	y_i^2
1	1003.83	6.91	0.16	-0.9982	-6.90	47.77	1.00
2	1290.77	7.16	0.39	-0.2888	-2.07	51.31	0.08
3	1322.37	7.19	0.61	0.2888	2.08	51.66	0.08
4	1440.92	7.27	0.84	0.9982	7.26	52.90	1.00
Σ	5057.88	28.53	2.00	0.00	0.37	203.63	2.16

Log Normal = n	:	4	\bar{y} :	0.00
b	:	5.08	\bar{x} :	7.13
a	:	-36.20	s:	0.20
lof	:	0.9297	t_{med} :	1253.50199
MTTF:		1278.07		

2. Perhitungan Index of Fit Interval Waktu Antar Perbaikan (TTR) dan Penentuan Parameter Komponen Fuel Delivery Pump

Berikut ini merupakan perhitungan Index of Fit untuk selang waktu perbaikan berdasarkan empat macam, yaitu distribusi Weibull, Eksponensial, Normal, dan Lognormal.

Index of Fit TTR Distribusi Weibull Ekponensial Normal dan Lognormal

Index of Fit Selang Waktu Antar Perbaikan (TTR) Untuk Distribusi Weibull							
i	t_i	$x_i = \ln(t_i)$	$F(t_i)$	y_i	$x_i \cdot y_i$	x_i^2	y_i^2
1	24.37	3.19	0.13	-1.97	-6.30	10.20	3.90
2	24.45	3.20	0.31	-0.97	-3.11	10.22	0.95
3	24.45	3.20	0.50	-0.37	-1.17	10.22	0.13
4	24.52	3.20	0.69	0.14	0.46	10.24	0.02
5	24.60	3.20	0.87	0.71	2.29	10.26	0.51
Σ	122.38	15.99	2.50	-2.45	-7.83	51.13	5.51

Weibull= n : 5 \bar{y} : 0.49
 b : 280.04 \bar{x} : 3.20
 a : -895.99 x : 1.00
lof : 0.9600 Γ : 0.92
MTTR: 22.56 θ : 24.52

Index of Fit Selang Waktu Antar Perbaikan (TTR) Untuk Distribusi Ekspensial							
i	t_i	$t_i = x_i$	$F(t_i)$	y_i	$x_i \cdot y_i$	x_i^2	y_i^2
1	24.37	24.37	0.13	0.14	3.382981	593.73	0.02
2	24.45	24.45	0.31	0.38	9.243717	597.80	0.14
3	24.45	24.45	0.50	0.69	16.94745	597.80	0.48
4	24.52	24.52	0.69	1.16	28.33565	601.07	1.34
5	24.60	24.60	0.87	2.04	50.25962	605.16	4.17
Σ	122.38	122.38	2.50	4.41	108.17	2995.57	6.15

Ekspensial= n : 5 \bar{y} : 0.88
 b : 8.386 \bar{x} : 24.48
 a : -204.38 λ : 0.036
lof : 0.9705 MTTR: 27.69329

Index of Fit Selang Waktu Antar Perbaikan (TTR) Untuk Distribusi Normal							
i	t_i	$t_i = x_i$	$F(t_i)$	y_i	$x_i \cdot y_i$	x_i^2	y_i^2
1	24.37	24.37	0.13	-1.1281	-27.49	593.73	1.27
2	24.45	24.45	0.31	-0.4822	-11.79	597.80	0.23
3	24.45	24.45	0.50	0.0000	0.00	597.80	0.00
4	24.52	24.52	0.69	0.4822	11.82	601.07	0.23
5	24.60	24.60	0.87	1.1281	27.75	605.16	1.27
Σ	122.38	122.38	2.50	0.00	0.30	2995.57	3.01

Normal= n : 5 \bar{y} : 0.00
 b : 9.738 \bar{x} : 24.48
 a : -238.35 μ : 24.477
lof : 0.9775 MTTR: 24.477

Index of Fit Selang Waktu Antar Perbaikan (TTR) Untuk Distribusi Log Normal							
i	t_i	$x_i = \ln(t_i)$	$F(t_i)$	y_i	$x_i \cdot y_i$	x_i^2	y_i^2
1	24.37	3.19	0.13	-1.1281	-3.60	10.20	1.27
2	24.45	3.20	0.31	-0.4822	-1.54	10.22	0.23
3	24.45	3.20	0.50	0.0000	0.00	10.22	0.00
4	24.52	3.20	0.69	0.4822	1.54	10.24	0.23
5	24.60	3.20	0.87	1.128144	3.61	10.26	1.27
Σ	122.38	15.99	2.50	0.00	0.01	51.13	3.01

Log Normal= n : 5 \bar{y} : 0.00
 b : 238.47 \bar{x} : 3.20
 a : -762.55 s : 0.0042
lof : 0.9776 t_{med} : 24.4765
MTTR: 24.48

Distribusi Terpilih

Distribusi Terpilih TTR dan TTF Komponen Fuel Delivery Pump

Distribusi Terpilih TTF			
Selang Waktu Antar Kerusakan (TTF) Fuel Delivery Pump			
Distribusi	Index of Fit	Terbesar	Distribusi Terpilih
Weibull	0.9588	0.9588	Weibull
Ekspensial	0.8613		
Normal	0.9439		
Lognormal	0.9297		

Distribusi Terpilih TTR			
Selang Waktu Antar Perbaikan (TTR) Fuel Delivery Pump			
Distribusi	Index of Fit	Terbesar	Distribusi Terpilih
Weibull	0.960	0.978	Lognormal
Ekspensial	0.970		
Normal	0.977		
Lognormal	0.978		

TTF dan TTR Distribusi Terpilih Untuk Interval Waktu TTF dan TTR Komponen Kritis

Komponen	Selang Waktu Antar Kerusakan (TTF)		Selang Waktu Antar Perbaikan (TTR)	
	Index of Fit	Distribusi	Index of Fit	Distribusi
MTU 12V2000G65 PLTD Wonreli Unit 4				
Fuel Delivery Pump	0.959	Weibull	0.978	Lognormal

Pengujian Kesesuaian Distribusi

Setelah ditentukan jenis distribusi untuk data selang waktu antar kerusakan dan selang waktu antar perbaikan masing-masing komponen kritis, perlu dilakukan pengujian apakah distribusi tersebut sudah sesuai.

1. Uji Kebaikan Suai (Goodness of Fit) Untuk Distribusi Data Selang Waktu Antar Kerusakan Komponen Fuel Delifery Pump

Uji Mann’s Selang Waktu Antar Kerusakan Fuel Delivery Pump

Goodness of Fit Selang Waktu Antar Kerusakan (TTF) Untuk Distribusi Weibull						
i	t _i	Ln(t _i)	Z _i	M _i	Ln(t _{i+1})-Ln(t _i)	Ln(t _{i+1})-Ln(t _i)/ M _i
1	1003.83	6.91	-2.30	1.21	0.25	0.21
2	1290.77	7.16	-1.09	0.65	0.02	0.04
3	1322.37	7.19	-0.44	0.53	0.09	0.16
4	1440.92	7.27	0.09			
Jumlah Total					0.36	0.41

2. Uji Kebaikan Suai (Goodness of Fit) Untuk Distribusi Data Selang Waktu Antar Kerusakan Komponen Fuel Delifery Pump

Hasil Pengujian Goodness of Fit Untuk Distribusi Data

Komponen Kritis	Distribusi (TTF)	Parameter	MTTF (Jam)	Aktivitas Perawatan
Fuel Delivery Pump	Weibull	β : 6.22	1199.32	Pemeriksaan
		θ : 1353.64		

Komponen Kritis	Distribusi (TTR)	Parameter	MTTR (Jam)	Aktivitas Perawatan
Fuel Delivery Pump	Lognormal	s : 0.22	24.48	Penggantian
		t _{med} : 24.4765		

Perhitungan Interval Penggantian Pencegahan Komponen

Nilai parameter, MTTF (Mean Time to Failure), dan MTTR (Mean Time to Repair) untuk data selang waktu antar kerusakan dan perbaikan masing-masing komponen telah diperoleh. Nilai-nilai ini selanjutnya dapat digunakan dalam perhitungan interval penggantian pencegahan komponen. Metode perhitungan interval penggantian pencegahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah model age replacement, dimana tindakan penggantian komponen dilakukan pada saat pengoperasiannya mencapai umur tertentu yang sudah ditetapkan. Penggantian berdasarkan umur komponen yang optimal. Data selang waktu antar kerusakan komponen Fuel Delivery Pump berdistribusi Weibull dan data selang waktu antar perbaikannya berdistribusi Lognormal. Berikut adalah parameter yang digunakan dalam perhitungan:

$$= 6.22$$

$$= 1353.64$$

$$MTTF = 1199.32$$

Data waktu yang digunakan untuk melakukan perbaikan kerusakan komponen sama dengan waktu untuk melakukan penggantian secara preventive.

$$T_f = T_p = MTTR = 24.48$$

Rumus dalam perhitungan interval penggantian komponen adalah:

$$\text{Untuk distribusi Weibull: } R(t_p) = e^{-(t/t_p)^\beta}$$

$$F(t_p) = 1 - R(t_p)$$

$$M(t_p) = \int_0^{t_p} (1 - R(t)) dt / (1 - R(t_p))$$

$$D(t_p) = (T_p R(t_p) + T_f F(t_p)) / ((t_p + T_p) R(t_p) + (M(t_p) + T_f) F(t_p))$$

$$A(t_p) = 1 - D(t_p)$$

Keterangan :

- Tf = waktu untuk melakukan perbaikan kerusakan komponen
- Tp = waktu untuk melakukan penggantian pencegahan
- tp = panjang interval waktu antara tindakan perawatan pencegahan
- f(t) = fungsi kepadatan peluang dari waktu kerusakan komponen
- R (tp) = probabilitas terjadinya siklus pencegahan
- F (tp) = probabilitas terjadinya siklus kerusakan
- M (tp) = nilai harapan panjang siklus kerusakan
- D (tp) = total downtime per unit waktu untuk penggantian pencegahan
- A (tp)= availability

Perhitungan Interval Penggantian Pencegahan Komponen Fuel Delivery Pump

t_p	$R(t_p)$	$F(t_p) = 1 - R(t_p)$	$T_p \times R(t_p)$	$T_r \times F(t_p)$	$M(t_p)$	$D(t_p)$
1020	0.841974222	0.158025778	20.60879928	3.8679587	0.99977	0.027705927
1019	0.842855572	0.157144428	20.63037187	3.8463861	0.999773	0.027704194
1018	0.843733334	0.156266666	20.65185664	3.8249014	0.999775	0.027702632
1017	0.844607514	0.155392486	20.67325373	3.8035043	0.999777	0.027701239
1016	0.845478117	0.154521883	20.69456327	3.7821947	0.999779	0.027700014
1015	0.846345149	0.153654851	20.7157854	3.7609726	0.999781	0.027698958
1014	0.847208616	0.152791384	20.73692027	3.7398377	0.999783	0.02769807
1013	0.848068523	0.151931477	20.75796802	3.71879	0.999785	0.027697348
1012	0.848924877	0.151075123	20.77892878	3.6978292	0.999788	0.027696793
1011	0.849777683	0.150222317	20.7998027	3.6769553	0.99979	0.027696404
1010	0.850626947	0.149373053	20.82058994	3.6561681	0.999792	0.027696181
1009	0.85147268	0.148527324	20.8412906	3.6354674	0.99979	0.027696122
1008	0.852314875	0.147685125	20.86190493	3.6148531	0.999796	0.027696228
1007	0.85315355	0.14684645	20.88243298	3.594325	0.999798	0.027696498
1006	0.853988708	0.146011292	20.90287494	3.5738831	0.9998	0.027696931
1005	0.854820355	0.145179645	20.92323096	3.553527	0.999803	0.027697527
1004	0.855648497	0.144351503	20.94350119	3.5332568	0.999805	0.027698285
1003	0.85647314	0.14352686	20.96368579	3.5130722	0.999807	0.027699206
1002	0.857294292	0.142705708	20.98378492	3.4929731	0.999809	0.027700287
1001	0.858111958	0.141888042	21.00379873	3.4729593	0.999811	0.027701529

Age replacement = **1009**
 Availability = **0.972303878**

Perhitungan Interval Waktu Pemeriksaan Komponen Kritis

Hasil Perhitungan Interval Pemeriksaan

Kerja mesin Senin - Jumat =	18	Jam/hari
Total Hari Senin - Jumat (aktif) =	365	hari
1 Minggu =	7	hari
Total jam kerja mesin selama periode penelitian =	6570	Jam
	394200	Menit
Periode penelitian (Januari 2017 - Desember 2017) =	12	Bulan
Rata-rata jam kerja mesin per bulan =	547.5	Jam/bulan
Waktu rata-rata untuk melakukan pemeriksaan komponen =	1	jam

- Frekuensi kerusakan komponen = 4
- MTTR = 24.48
- Rata-rata kerusakan/bulan (k) = 0.333333
- Rata-rata perbaiki/bulan (μ) = 22.36816 jam/bulan
- Rata-rata pemeriksaan perbulan (i) = 547.5 jam/bulan
- frekuensi pemeriksaan optimal = 2.85638 =
- Interval waktu pemeriksaan optimal = 182.5 jam
- Nilai downtime / D(n) = 0.010447
- Nilai availability / A(n) = 1-D(n) = 0.989553 0.988959437

Mesin	Komponen	k	μ	i	Frek. Pemeriksaan Optimal	Intvl. Waktu Pemeriksaan Optimal (jam)	Intvl. Waktu Pemeriksaan Optimal (hari)
Fuel System Low Pressure	Fuel Delivery Pump	0.333	22.368	547.5	2.85638 = 3	182.5	10.1388889

Perhitungan Nilai Downtime dan Availability Komponen Kritis Berdasarkan Frekuensi Pemeriksaan

Hasil Perhitungan Downtime dan Availability Komponen Kritis Berdasarkan Frekuensi Pemeriksaan

Mesin	Komponen	k	μ	i	D(n)	A(n) = 1 - D(n)	Availability Penggantian Pencegahan	Availability Total
Fuel System Low Pressure	Fuel Delivery Pump	0.333	22.368	547.5	0.010446831	0.989553169	0.9723	0.9621

Perhitungan Reliability Komponen Sebelum dan Sesudah Penggantian Pencegahan

Setelah dilakukan perhitungan interval penggantian pencegahan, dapat dihitung reliabilitas/keandalan komponen tersebut. Nilai keandalan ini dapat dibandingkan dengan nilai keandalan sebelum penggantian pencegahan.

Data yang digunakan untuk perhitungan adalah data parameter komponen fuel delivery pump :
 = 6.22
 = 1353.64
 MTTF = 1199.32

Adapun perhitungan interval penggantian pencegahan untuk komponen ini adalah 1009 jam.

Nilai reliability tanpa perawatan pencegahan adalah:

$$R(t) = e^{-\left(\frac{t}{\theta}\right)^\beta} = e^{-\left(\frac{1199.32}{1353.64}\right)^{6.22}} = 0.5188$$

Nilai keandalan (reliabilitas) usulan, yaitu dengan perawatan pencegahan ialah:

$$R(t-nT) = e^{-\left(\frac{t-nT}{\theta}\right)^\beta} = e^{-\left(\frac{1199.32-1 \times 411}{1353.64}\right)^{6.22}} = 1$$

Nilai keandalan kumulatif dengan perawatan pencegahan adalah:

$$R_m(t) = e^{-n\left(\frac{T}{\theta}\right)^\beta} e^{-\left(\frac{t-nT}{\theta}\right)^\beta} = e^{-1\left(\frac{411}{1353.64}\right)^{6.22}} e^{-\left(\frac{1199.32-1 \times 411}{1353.64}\right)^{6.22}} = 0.5188$$

Maka peningkatan keandalan yang terjadi sebesar :

$$\text{Peningkatan reliabilitas} = [R(t-nT) - R(t)] \times 100\%$$

$$= (1 - 0.5188) \times 100\% = 48.116\%$$

Hasil Perhitungan Reliability Komponen Sebelum dan Sesudah Penggantian Pencegahan

Mesin	Komponen	Interval Penggantian Pencegahan (tp) (jam)	D (t _p)	A
Fuel System Low Pressure	Fuel Delivery Pump	1009	0.0277	0.9723

42.04166667

Reliability Sebelum dan Sesudah Preventive Maintenance						
Mesin	Komponen	tp = waktu penggantian pencegahan (jam)	Reliabilitas Sebelum Perawatan	Reliabilitas Sebelum Perawatan %	Reliabilitas Sesudah Perawatan	Peningkatan Reliabilitas (%)
Fuel System Low Pressure	Fuel Delivery Pump	1009	0.5188	51.88	1	48.116

42.04166667

Mesin	Komponen	Interval Pemeriksaan (jam)	Frekuensi Pemeriksaan
Fuel System Low Pressure	Fuel Delivery Pump	182.5	3

10.13888889

Usulan Jadwal Penggantian Pencegahan dan Pemeriksaan Mesin Kritis dan Komponen Kritis Tanggal Pemeriksaan Waktu Komponen

Bulan	Tanggal Pemeriksaan Komponen Mesin Fuel System Low Pressure Fuel Delivery Pump
Januari	3
Februari	14
Maret	27
April	6
Mei	15
Juni	24

3
14
28
39
9
21

Bulan	Tanggal Penggantian Pencegahan Komponen Mesin Fuel System Low Pressure Fuel Delivery Pump		
	Periksa 1	Periksa 2	Periksa 3
Januari	4	14	24
Februari	4	13	24
Maret	6	16	26
April	5	15	25
Mei	5	15	25
Mei	4	14	24

- O'Connor, Patrick. 2002. *Practical Reliability Engineering. Fourth edition*. John Wiley & Sons, LTD S. Assauri, (2008)., *Manajemen Produksi dan Operasi*, Edisi Revisi, Jakarta: Lembaga Penerbit Fakultas Ekonomi Universitas Indonesia.
- Sutarman. (2003)., *Perencanaan persediaan bahan baku dengan model backorder*. *Infomatek*, 5(3), 141–152.
- Taufik, Selly Septyani,(2015)., *Penentuan Interval Waktu Perawatan Komponen Kritis Pada Mesin Turbin di PT PLN (Persero) Sektor Pembangkit Ombilin*, *Jurnal Optimasi Sistem Industri*, Vol. 14 No. 2, Oktober 2015.