

Analisis Efektivitas Mesin Generator Set Menggunakan Metode Overall Equipment Effectiveness (OEE) Dan Six Big Losses

Juliansyah¹, Aryanto², Tiaradia Ihsan³

^{1,2,3} Jurusan Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Widyatama

Jl. Cikutra No.204A, Sukapada, Kec. Cibeunying Kidul, Kota Bandung 40125

Email: juliansyah@widyatama.ac.id, aryanto@widyatama.ac.id, tiaradia.ihsan@widyatama.ac.id

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan menganalisis efektivitas operasional genset Caterpillar 3516B di PT XYZ sebagai sumber listrik cadangan kritis untuk sistem cold chain farmasi menggunakan metode Overall Equipment Effectiveness (OEE) dan Six Big Losses. Penelitian dilakukan menggunakan data historis 12 bulan dari data operasional dari logbook harian, laporan perawatan, dan sistem monitoring genset. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa nilai OEE rata-rata adalah 65,80%, terdiri dari Availability Rate 99,42%, Performance Rate 66,96%, dan Quality Rate 98,82%. Meskipun Availability Rate telah melampaui standar JIPM sebesar 90%, nilai OEE masih berada di bawah standar kelas dunia minimal 85%, dengan Performance Rate menjadi faktor pembatas utama. Analisis Six Big Losses mengidentifikasi tiga kategori kerugian terbesar yang berkontribusi 77,32% dari total losses, yaitu idling and minor stoppages (31,18%), equipment failure (28,21%), dan reduced speed (17,93%). Melalui analisis akar penyebab menggunakan diagram fishbone dengan 6M framework (Man, Machine, Method, Material, Environment, Measurement), penelitian mengidentifikasi faktor-faktor multidimensional yang mempengaruhi rendahnya OEE. Hasil penelitian memberikan rekomendasi perbaikan berbasis data yang mencakup upgrade sistem monitoring, implementasi predictive maintenance, optimasi prosedur operasi, peningkatan kompetensi SDM, dan perbaikan kondisi lingkungan operasi genset untuk meningkatkan efektivitas menuju standar kelas dunia.

Kata kunci: OEE, Six Big Losses, Maintenance, Industri Farmasi, Cold Chain

ABSTRACT

This study aims to analyze the operational effectiveness of the Caterpillar 3516B generator set at PT XYZ, serving as a critical backup power source for pharmaceutical cold chain systems, using the Overall Equipment Effectiveness (OEE) and Six Big Losses methods. The research was conducted for 12 months by collecting operational data from daily logbooks, maintenance reports, and generator monitoring systems. The calculation results show that the average OEE is 65.80%, comprising an Availability Rate of 99.42%, a Performance Rate of 66.96%, and a Quality Rate of 98.82%. Although the Availability Rate has exceeded the JIPM standard by 90%, the OEE remains below the world-class standard of at least 85%, with the Performance Rate as the main limiting factor. The Six Big Losses analysis identified the three largest categories of losses, which accounted for 77.32% of total losses: idling and minor stoppages (31.18%), equipment failure (28.21%), and reduced speed (17.93%). Through root cause analysis using fishbone diagrams and 6M frameworks (Man, Machine, Method, Material, Environment, Measurement), the study identified multidimensional factors contributing to the low OEE. The results of the study provide data-based improvement recommendations that include monitoring system upgrades, predictive maintenance implementation, optimization of operational procedures, enhancement of human resource competency, and improvement of generator set operating environment conditions to increase effectiveness towards world-class standards.

Keywords: OEE, Six Big Losses, Maintenance, Pharmaceutical Industries, Cold Chain

Pendahuluan

Industri farmasi global saat ini menghadapi tantangan krusial dalam mempertahankan integritas produk, khususnya untuk obat-obatan yang sensitif terhadap suhu seperti vaksin dan biologis. Sistem cold chain merupakan tulang punggung distribusi produk farmasi yang memerlukan kontrol suhu ketat, di mana setiap penyimpangan dapat menyebabkan degradasi produk dan mengancam keselamatan pasien [1]. Stabilitas pasokan listrik menjadi faktor determinan dalam menjaga kontinuitas sistem cold chain, sehingga keandalan sumber daya listrik bukan lagi sekadar kebutuhan operasional melainkan persyaratan kritis yang menentukan kualitas produk

akhir [2]. Gangguan sistem *cold chain* akibat kegagalan pasokan listrik telah menyebabkan kerugian miliaran dolar setiap tahunnya dan mengancam efektivitas program imunisasi di berbagai negara [3].

PT XYZ sebagai Badan Usaha Milik Negara (BUMN) memegang peran strategis dalam sistem kesehatan nasional Indonesia sebagai produsen utama vaksin untuk Program Imunisasi Nasional. Perusahaan ini bertanggung jawab menyediakan lebih dari 95% kebutuhan vaksin nasional dan telah mengeksport produknya ke 152 negara di seluruh dunia, termasuk 52 negara dengan mayoritas penduduk muslim. Dengan kapasitas produksi mencapai 3,5 miliar dosis vaksin per tahun, PT XYZ mengelola fasilitas penyimpanan dan produksi yang sangat bergantung pada stabilitas suhu antara 2-8 derajat Celsius untuk vaksin konvensional, dan bahkan hingga -70 derajat Celsius untuk vaksin jenis tertentu. Ketergantungan absolut pada sistem *cold chain* ini menjadikan keandalan pasokan listrik sebagai variabel kritis yang tidak dapat ditolerir untuk mengalami kegagalan [2].

PT XYZ mengoperasikan Generator Set Caterpillar 3516B berkapasitas 2000–2250 kVA, 50 Hz, dan faktor daya 0,8 sebagai sumber listrik cadangan utama yang sangat krusial untuk menjamin kontinuitas pasokan listrik tanpa jeda pada sistem pendinginan fasilitas penyimpanan vaksin. Genset ini dirancang untuk aplikasi sesuai standar NFPA 110 dan ISO 8528-5 dengan kemampuan menerima 100% beban penuh secara instan. Namun, meskipun perawatan preventif rutin telah dilakukan, masih ditemukan berbagai masalah operasional seperti kegagalan start, downtime akibat kerusakan alternator dan sistem bahan bakar, serta fluktuasi tegangan dan frekuensi yang menurunkan keandalan. Belum adanya sistem pengukuran efektivitas kuantitatif membuat evaluasi kinerja genset bersifat subjektif dan reaktif, sehingga menyulitkan identifikasi area perbaikan serta menyebabkan peningkatan risiko kegagalan dan pemborosan biaya pemeliharaan.

Penerapan *Overall Equipment Effectiveness* (OEE) dan metode kontinyu pada berbagai sektor industri, penelitian telah menunjukkan manfaat signifikan dalam mengidentifikasi dan mengeliminasi sumber-sumber kehilangan produktivitas [4], [5], [6]. Penerapan metode OEE dan Six Big Losses telah banyak dilakukan dalam industri manufaktur dengan hasil yang konsisten. Penelitian pada mesin frame welding di perusahaan komponen elektronik menunjukkan bahwa nilai OEE rata-rata mencapai 88%, melebihi standar kelas dunia 85%, dengan faktor utama yang mempengaruhi efektivitas adalah idling and minor stoppages [7]. Studi [1] pada mesin injection di perusahaan otomotif menemukan nilai OEE 90% dengan faktor dominan berupa downtime dan produk cacat. Penelitian pada industri tekstil menunjukkan nilai OEE rata-rata 64,62% dengan kerugian utama dari idle and minor stoppages (31,89%) dan reduced speed losses (30,32%)[8].

Beberapa studi juga telah menerapkan OEE pada peralatan utilitas dan sistem pembangkit listrik dengan hasil yang bervariasi. Penelitian pada mesin pompa sentrifugal di perusahaan distribusi air menunjukkan nilai OEE 99% yang melebihi standar kelas dunia, namun analisis Six Big Losses mengidentifikasi idling minor stop losses sebagai penyebab kerugian terbesar dengan persentase 82% [9]. Studi pada gas turbine generator di perusahaan geothermal menggunakan pendekatan OEE untuk mengevaluasi efektivitas pembangkit dan menyusun strategi peningkatan kinerja [10]. Penelitiann pada mesin stripping di industri farmasi menemukan nilai OEE sebesar 75% yang berada di bawah standar global 85%, dengan downtime mesin sebagai faktor dominan [11]. Sementara itu, nilai OEE 96,55% pada mesin produksi dengan implementasi OEE Monitoring System berbasis sensor, menunjukkan bahwa teknologi monitoring real-time dapat meningkatkan efektivitas secara signifikan [12]. Penelitiann pada mesin stripping di industri farmasi menemukan nilai OEE sebesar 75% yang berada di bawah standar global 85%, dengan downtime mesin sebagai faktor dominan [11]. Sementara itu, nilai OEE 96,55% pada mesin produksi dengan implementasi OEE Monitoring System berbasis sensor, menunjukkan bahwa teknologi monitoring real-time dapat meningkatkan efektivitas secara signifikan [12]. Namun demikian, telaah literatur menunjukkan bahwa masih terbatas studi yang secara spesifik menganalisis efektivitas genset diesel sebagai sumber listrik cadangan kritis untuk sistem cold chain di industri farmasi di Indonesia dengan kombinasi metode OEE, Six Big Losses, dan diagram fishbone [13], [14]. Sebagian besar penelitian OEE pada genset dilakukan pada sektor migas atau pembangkit listrik prime power, bukan pada konteks emergency backup untuk fasilitas kesehatan atau farmasi yang memiliki karakteristik pola operasi berbeda berupa standby mode dominan dengan kebutuhan instant readiness [15]. Karakteristik unik genset backup untuk cold chain terletak pada kombinasi antara kebutuhan keandalan absolut (*zero failure tolerance*), waktu respons sangat cepat (kurang dari 10 detik), dan pola operasi intermittent yang memberikan tantangan berbeda dalam manajemen perawatan dibandingkan genset operasi kontinyu [16].

Penelitian ini bertujuan mengatasi permasalahan efektivitas genset sekaligus mengisi kesenjangan literatur dengan menerapkan metode *Overall Equipment Effectiveness* (OEE) sebagai instrumen kuantitatif untuk menilai kinerja secara komprehensif berdasarkan tiga dimensi utama: availability, performance, dan quality [17]. Keunggulan OEE terletak pada kemampuannya mengubah data operasional menjadi satu indeks sederhana namun informatif untuk mendukung komunikasi lintas departemen dan pengambilan keputusan berbasis fakta [18]. Selain itu, penelitian ini menggunakan analisis Six Big Losses untuk mengidentifikasi sumber-sumber kehilangan produktivitas seperti equipment failure, setup and adjustment, serta idling and minor stoppages [17], [19], dan didukung dengan diagram sebab-akibat Ishikawa guna menelusuri akar permasalahan berdasarkan faktor Man, Machine, Method, Material, Environment, dan Measurement [20], [21].

Berdasarkan latar belakang dan permasalahan yang telah diuraikan, penelitian ini bertujuan untuk: menghitung nilai *Overall Equipment Effectiveness* (OEE) genset Caterpillar 3516B di PT XYZ sebagai indikator kuantitatif efektivitas operasional, mengidentifikasi jenis kerugian terbesar berdasarkan analisis Six Big Losses untuk menentukan prioritas perbaikan, menganalisis akar penyebab masalah menggunakan diagram fishbone untuk merancang solusi yang tepat sasaran, dan menyusun rekomendasi perbaikan berbasis data untuk meningkatkan keandalan sistem tenaga listrik cadangan yang mendukung kontinuitas operasional fasilitas cold chain di PT XYZ. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi praktis berupa sistem pengukuran efektivitas genset yang terstandar dan rekomendasi perbaikan konkret, serta kontribusi akademis dalam memperkaya literatur penerapan OEE pada peralatan utilitas kritis di industri farmasi Indonesia.

Metode Penelitian

Penelitian ini merupakan studi kasus kuantitatif yang menganalisis efektivitas operasional genset Caterpillar 3516B sebagai sumber listrik cadangan utama di PT XYZ dengan menggunakan metrik Overall Equipment Effectiveness (OEE) dan Six Big Losses untuk penilaian kinerja berbasis data objektif [22]. Studi kasus dipilih untuk memungkinkan analisis mendalam terhadap fenomena nyata dalam konteks sistem kelistrikan terintegrasi perusahaan. Objek penelitian adalah genset diesel Caterpillar 3516B berkapasitas 2000–2250 kVA, 50 Hz, 1500 rpm, dengan sistem Electronic Unit Injector, alternator brushless PMG, dan panel kontrol otomatis EMCP4 yang memungkinkan respon otomatis melalui *Automatic Transfer Switch* (ATS) dalam waktu <10 detik saat gangguan suplai listrik. Data sekunder diperoleh dari dokumentasi operasional PT XYZ, mencakup logbook harian, laporan perawatan, data pembebanan dan kualitas output, serta spesifikasi teknis pabrikan untuk analisis performa dalam periode operasi 12 bulan, guna memastikan representasi kondisi aktual dan variasi beban musiman.

Prosedur analisis data dalam penelitian ini dilakukan melalui pendekatan sistematis yang dimulai dengan perhitungan *Availability Rate*, *Performance Rate*, dan *Quality Rate* sebagai tiga komponen utama *Overall Equipment Effectiveness* (OEE). Tahap pertama menghitung *Availability Rate* berdasarkan rasio antara waktu operasi aktual terhadap waktu operasi yang direncanakan, dengan mempertimbangkan *planned downtime* dan *unplanned downtime*. Tahap kedua mengukur *Performance Rate* melalui rasio energi aktual yang dihasilkan terhadap potensi energi maksimum berdasarkan kapasitas terpasang dan durasi operasi. *Performance Rate* untuk genset *backup* diukur melalui rasio energi listrik aktual yang dihasilkan terhadap energi teoritis maksimum yang dapat diproduksi berdasarkan kapasitas terpasang selama waktu operasi bersih (*net operating time*). Secara matematis, *Performance Rate* dihitung menggunakan persamaan:

$$\text{performance rate} = \frac{\text{Energi Aktual (kWh)}}{\text{Kapasitas Terpasang (kW)} \times \text{Durasi Operasi (Jam)}} \times 100\% \quad (1)$$

Untuk genset Caterpillar 3516B dengan kapasitas terpasang 1.600 kW (pada *power factor* 0,8), energi aktual diukur dari meter kWh yang terintegrasi dengan sistem EMCP4, sedangkan energi teoritis maksimum dihitung sebagai produk dari kapasitas terpasang dan total waktu operasi setelah dikurangi *downtime* (*available time*). Relevansi *performance rate* untuk genset dalam penelitian didasari 3 hal yaitu; Metrik ini mengukur *load factor* atau tingkat pembebanan aktual genset dibandingkan kapasitas maksimum, yang mencerminkan efisiensi operasional dalam merespons kebutuhan beban sistem *cold chain*. Genset *backup* yang beroperasi pada *load factor* rendah (<50%) menghadapi risiko *wet stacking* (akumulasi karbon akibat pembakaran tidak sempurna), keausan akselerasi pada komponen engine, dan konsumsi bahan bakar spesifik yang suboptimal. Data operasional menunjukkan genset PT. XYZ beroperasi pada *load factor* rata-rata 65,2%, mengindikasikan ruang optimasi untuk meningkatkan efisiensi tanpa melebihi *rated capacity*. *Performance Rate* menangkap *losses* operasional spesifik untuk genset *standby*, yaitu *idling time*, *minor stoppages*, dan *reduced speed losses*. Berbeda dengan mesin produksi kontinyu dimana *performance* diukur dari *cycle time produk*, genset *standby* memiliki karakteristik operasi *intermittent* dengan frekuensi start-stop tinggi yang menyebabkan *thermal stress*. Metrik ini relevan dengan *instant readiness requirement genset emergency backup* yang harus mencapai stabilitas *output* penuh dalam <10 detik sesuai standar NFPA 110 Level 1. *Performance Rate* yang rendah dapat mengindikasikan masalah pada sistem *governor* (kontrol frekuensi), AVR (*Automatic Voltage Regulator*), atau *load acceptance capability*, yang berpotensi menyebabkan *voltage dip* atau *frequency hunting* saat transisi beban mendadak kondisi yang tidak dapat ditolerir dalam aplikasi *life-critical cold chain* farmasi.

Tahap ketiga menilai *Quality Rate* dari stabilitas output listrik sesuai toleransi standar ISO 8528-5 dan IEEE 446. Nilai OEE dihitung dengan mengalikan ketiga rasio tersebut dan dibandingkan dengan standar kinerja sebesar 85% [17]. *Quality Rate* mengukur proporsi waktu dimana output listrik genset memenuhi spesifikasi teknis yang dipersyaratkan untuk aplikasi kritis cold chain, sesuai dengan standar ISO 8528-5 dan IEEE 446-1995. Secara matematis:

$$\text{Quality Rate} = \frac{\text{Operating Time} - \text{Defect Time}}{\text{Operating Time}} \times 100\% \quad (2)$$

Tabel 1. Kriteria Pass/Fail ISO 8528-5 Class G2

Parameter	Spesifikasi Nominal	Toleransi Pass	Klasifikasi Fail
Voltage (Tegangan)	13.800 V (line-to-line)	$\pm 10\%$ (12.420 - 15.180 V)	<12.420 V atau >15.180 V
Frequency (Frekuensi)	50 Hz	$\pm 5\%$ (47,5 - 52,5 Hz)	<47,5 Hz atau >52,5 Hz
Total Harmonic Distortion (THD)	<5% (IEEE 519)	$\leq 8\%$	>8%
Power Factor	0,8 lagging	0,7 - 0,9	<0,7 atau >0,9
Transient Voltage Dip	N/A	<-15% selama <1s	>-15% atau >1 detik

Sumber: ISO 8528-5 Class G2

Data quality monitoring diperoleh dari sistem EMCP4 yang melakukan sampling parameter listrik setiap 100 milliseconds dan mencatat deviasi melampaui toleransi dalam event log. Quality loss time terdiri dari dua kategori: Process Defect Time: Waktu dimana genset beroperasi namun output listrik berada di luar toleransi ISO 8528-5 Class G2, terdiri dari voltage excursion $>\pm 10\%$, frequency deviation $>\pm 5\%$ dan THD $>8\%$. Reduced Yield Time: Waktu yang diperlukan genset untuk mencapai kondisi output stabil sesuai spesifikasi setelah startup. Genset Caterpillar 3516B memerlukan rata-rata 15 detik stabilisasi voltage $\pm 2\%$ dan 22 detik frequency $\pm 1\%$ setelah energizing.

Untuk memastikan akurasi perhitungan Availability Rate, penelitian ini menerapkan klasifikasi downtime sesuai dengan framework EN 13306:2017. Total Planned Downtime = 16 jam/tahun yang terdiri dari: Preventive Maintenance Bulanan (12 jam/tahun): Inspeksi visual sistem, pengecekan oil level/coolant/fuel, battery voltage check, filter cleaning/replacement, function test tanpa beban dan Load Bank Testing Triwulanan (4 jam/tahun): Scheduled load test 50%, 75%, 100% capacity, cool down dan inspeksi post-test.

Total Unplanned Downtime = 50,56 jam/tahun yang terdiri dari: Equipment Failure (35,74 jam) diantaranya Alternator failure 21,60 jam (7 kejadian), filter clogging 20,64 jam (7 kejadian), fuel system malfunction 22,18 jam (5 kejadian), battery dead on arrival 21,95 jam (5 kejadian), cooling system leak 16,54 jam (5 kejadian), start failure 12,27 jam (4 kejadian), oil leakage 16,21 jam (4 kejadian), governor malfunction 11,13 jam (4 kejadian), ATS failure 10,95 jam (2 kejadian), control panel error 2,38 jam (1 kejadian), sensor failure 3,30 jam (1 kejadian). Setup & Adjustment (14,82 jam): AVR re-adjustment 5,12 jam, governor calibration emergency 4,23 jam, ATS parameter tuning 3,18 jam, load balancing 2,29 jam.

Selanjutnya, dilakukan identifikasi *Six Big Losses* untuk mengklasifikasikan dan mengukur enam kategori utama kehilangan efektivitas, yaitu *equipment failure*, *setup and adjustment*, *idling* and *minor stoppages*, *reduced speed*, *process defects*, dan *reduced yield*. Setiap jenis kerugian dihitung berdasarkan proporsi waktu terhadap total losses dan dianalisis menggunakan prinsip Pareto untuk menentukan prioritas utama perbaikan [23].

Tahap akhir melibatkan analisis akar penyebab menggunakan diagram *fishbone* dengan enam kategori utama penyebab *Man*, *Machine*, *Method*, *Material*, *Environment*, dan *Measurement* melalui sesi brainstorming bersama tim teknik dan pemeliharaan untuk memperoleh perspektif komprehensif. Berdasarkan hasil tersebut, disusun rekomendasi perbaikan yang bersifat implementatif dengan mempertimbangkan pilar-pilar *Total Productive Maintenance* (TPM) seperti *autonomous maintenance*, *planned maintenance*, dan *quality maintenance*, serta diprioritaskan berdasarkan rasio manfaat terhadap biaya

Hasil Dan Pembahasan

Perhitungan OEE dilakukan dengan mengintegrasikan tiga komponen utama yaitu Availability Rate, Performance Rate, dan Quality Rate. Data operasional dikumpulkan dari logbook harian, laporan perawatan, dan sistem monitoring genset yang mencakup informasi mengenai waktu operasi, downtime, pembebanan, dan kualitas output listrik.

Tabel 2. Hasil Perhitungan OEE

Bulan	Availability (%)	Performance (%)	Quality (%)	OEE (%)
Januari	99.28%	63.90%	98.20%	62.30%
Februari	99.60%	70.80%	98.58%	69.51%
Maret	99.47%	64.26%	98.08%	62.69%
April	99.51%	66.47%	99.03%	65.50%
Mei	99.29%	64.90%	99.01%	63.80%
Juni	99.33%	79.31%	99.49%	78.37%
Juli	99.21%	61.59%	99.02%	60.50%
Agustus	99.34%	73.07%	99.46%	72.19%
September	99.40%	61.92%	99.25%	61.09%
Oktober	99.34%	67.95%	99.16%	66.93%
November	99.65%	68.08%	98.44%	66.78%

Bulan	Availability (%)	Performance (%)	Quality (%)	OEE (%)
Desember	99.65%	61.29%	98.13%	59.93%
Rata-rata	99.42%	66.96%	98.82%	65.80%

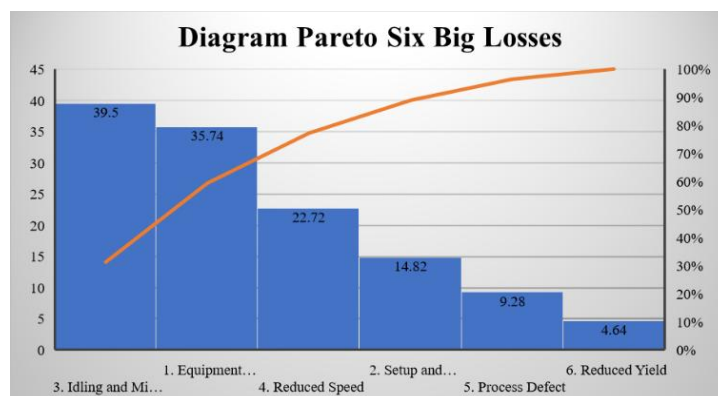
Perhitungan Overall Equipment Effectiveness (OEE) sebesar 65,80% menunjukkan risiko operasional yang signifikan bagi sistem *cold chain* PT. XYZ. Efisiensi ini berarti bahwa 34,20% waktu pengoperasian hilang, terutama karena masalah ketersediaan, kinerja, dan kualitas. Kekurangan ini sangat memprihatinkan mengingat 19,20% di bawah standar JIPM sebesar 85% sehingga meningkatkan kemungkinan kegagalan sistem cadangan.

Standar OEE 85% yang ditetapkan JIPM dikembangkan adalah untuk industri manufaktur dengan mesin produksi kontinyu, sehingga aplikasinya pada genset emergency backup memerlukan kontekstualisasi yang hati-hati. Nakajima menetapkan benchmark 85% berdasarkan studi empiris pada perusahaan-perusahaan pemenang *Distinguished Plant Prize* di Jepang yang beroperasi pada pola produksi 24/7 dengan utilitas tinggi [17]. Namun, literatur maintenance engineering menunjukkan bahwa peralatan *standby/backup* memiliki karakteristik operasi yang berbeda. Equipment dengan dominasi standby mode dan pola operasi intermittent cenderung memiliki Performance Rate struktural yang lebih rendah (60-75%) dibandingkan mesin produksi kontinyu (>85%), bukan karena inefisiensi melainkan karena profil pembebanan aktual yang tidak mencapai full capacity secara terus-menerus [13]. Wireman menyatakan bahwa untuk *emergency power systems*, target OEE realistis berkisar 70-80%, dengan prioritas pada *maximization Availability* (>98%) dan *Quality* (>99%) dibandingkan *Performance* yang secara inheren terbatas oleh pola standby [15]. Secara keseluruhan, OEE sebesar 65,80% mengkategorikan sistem genset PT. XYZ dalam risiko sedang di bawah kerangka kerja pemeliharaan berbasis risiko. Dengan ancaman kegagalan simultan, meningkatkan OEE hingga minimal 75% sangat penting untuk mengurangi risiko dan memastikan kesinambungan dalam rantai pasokan vaksin nasional.

Analisis *Six Big Losses* adalah metode untuk mengidentifikasi dan mengukur enam kategori utama kerugian efektivitas peralatan yang memengaruhi nilai *Overall Equipment Effectiveness* (OEE). Kategori ini diatur ke dalam tiga kelompok: kerugian ketersediaan (kegagalan peralatan dan penyiapan/penyesuaian), kehilangan kinerja (idling/penghentian kecil dan pengurangan kecepatan), dan kerugian kualitas (cacat proses dan pengurangan hasil).

Tabel 3. Hasil Six Big Losses

Kategori Loss	Waktu (Jam)	Persentase	Kontribusi Kumulatif	Kategori OEE
Idling & Minor Stoppages	39,50	31,18%	31,18%	Performance Loss
Equipment Failure	35,74	28,21%	59,39%	Availability Loss
Reduced Speed	22,72	17,93%	77,32%	Performance Loss
Setup & Adjustment	14,82	11,70%	89,02%	Availability Loss
Process Defects	9,28	7,32%	96,34%	Quality Loss
Reduced Yield	4,64	3,66%	100,00%	Quality Loss
Total Losses	126,70	100,00%	-	-



Gambar 1. Diagram Pareto Six Big Losses

Analisis Six Big Losses menggunakan prinsip Pareto mengidentifikasi tiga kategori kerugian utama yang menyumbang 77,32% dari total kerugian: (1) Idling dan Minor Stoppages (39,50 jam atau 31,18%), terutama karena masalah sinkronisasi tegangan-frekuensi dan sensor yang tidak dikalibrasi; (2) Kegagalan Peralatan (35,74 jam atau 28,21%), sebagian besar dari kegagalan alternator dan filter yang tersumbat; dan (3) Kecepatan Terkecil (22,72 jam atau 17,93%), didorong oleh suhu lingkungan yang tinggi dan kualitas bahan bakar yang tidak konsisten. Mengatasi kerugian ini sangat penting untuk meningkatkan *Overall Equipment Effectiveness* (OEE).

Tabel 4. Frekuensi Kerusakan

Jenis Kerusakan	Frekuensi	Total Durasi (jam)	Rata-rata Durasi (jam)
Filter Tersumbat	7	20.64	2.95

Jenis Kerusakan	Frekuensi	Total Durasi (jam)	Rata-rata Durasi (jam)
Kegagalan Alternator	7	21.60	3.09
Kerusakan Sistem Bahan Bakar	5	22.18	4.44
Kerusakan Battery	5	21.95	4.39
Overheating	5	15.08	3.02
Masalah Sistem Pendingin	5	16.54	3.31
Kegagalan Start	4	12.27	3.07
Kebocoran Oli	4	16.21	4.05
Masalah Governor	4	11.13	2.78
Masalah ATS	2	10.95	5.48
Kerusakan EMCP4 Control Panel	1	2.38	2.38
Sensor Failure	1	3.30	3.30
Total	50	174.23	3.48

Pola kesalahan menunjukkan bahwa bagian di bawah tekanan mekanis-termal yang tinggi, seperti alternator dan sistem pendingin, paling banyak mengalami kerusakan. Filter yang tersumbat lebih mudah diperbaiki (rata-rata 2,95 jam), sedangkan masalah ATS memakan waktu lebih lama (5,48 jam) karena kerumitan. Kecepatan yang berkurang (22,72 jam atau 17,93%) dihasilkan dari faktor-faktor seperti suhu lingkungan yang tinggi dan kualitas bahan bakar. Secara keseluruhan, Kerugian Kinerja menyumbang 49,11% dari kerugian, menyoroitnya sebagai kemacetan utama dalam OEE, diikuti oleh Kerugian Ketersediaan (39,91%) dan Kerugian Kualitas (10,98%). Fokus strategis harus pada pengoptimalan kinerja dan peningkatan keandalan, dengan lebih sedikit penekanan pada peningkatan kualitas karena kualitas saat ini dianggap tinggi.

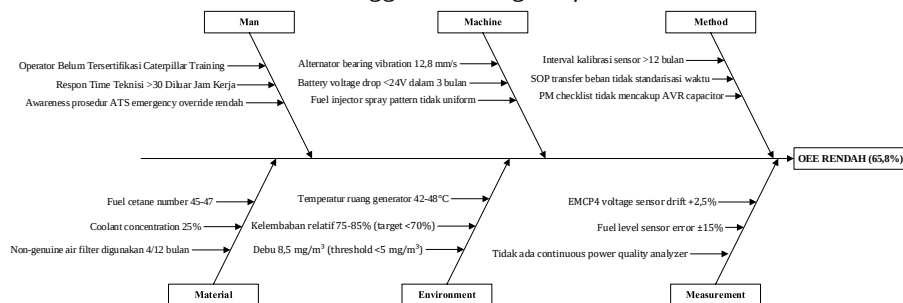
Evaluasi terhadap kinerja genset mengungkapkan bahwa hanya *Availability Rate* yang memenuhi standar JIPM sebesar 99,42%. Sebaliknya, Tingkat Kinerja, Tingkat Kualitas, dan OEE Secara Keseluruhan masing-masing gagal, masing-masing sebesar 66,96%, 98,82%, dan 65,80%, yang menunjukkan kebutuhan kritis untuk peningkatan kinerja untuk memenuhi tolok ukur JIPM.

Tabel 5. Perbandingan Hasil dan Standar JIPM

Komponen	Hasil Penelitian (%)	Standar JIPM (%)	Keterangan
Availability Rate	99.42	90.0	Memenuhi
Performance Rate	66.96	95.0	Belum Memenuhi
Quality Rate	98.82	99.9	Mendekati
OEE	65.80	85.0	Belum Memenuhi

Tingkat Kinerja memiliki kesenjangan yang signifikan sebesar -28,04 poin persentase, terutama karena faktor struktural dan operasional yang mempengaruhi kinerja, yang membutuhkan perbaikan ekstensif untuk memenuhi target OEE sebesar 95%. Tingkat Kualitas mendekati target dengan kesenjangan -1,08 poin persentase, menunjukkan bahwa perubahan kecil dapat dengan cepat meningkatkan kinerja ke standar kelas dunia. Secara keseluruhan, OEE saat ini sebesar 65,80% membutuhkan peningkatan 29,17% untuk mencapai target 85%. Meskipun ketersediaan dan kualitasnya kuat, meningkatkan tingkat kinerja sangat penting untuk perbaikan. Penting untuk dicatat bahwa standar 85% dirancang untuk mesin kontinu, sedangkan generator siaga biasanya menargetkan 70-75%, menyoroiti potensi peningkatan signifikan dalam efisiensi dan pengurangan kerugian.

Untuk memahami akar penyebab rendahnya nilai OEE dan mengidentifikasi faktor-faktor yang berkontribusi terhadap *losses* terbesar, dilakukan analisis menggunakan diagram *fishbone*.



Gambar 2. Diagram Fishbone

Analisis diagram *fishbone* mengidentifikasi enam faktor kunci yang memengaruhi rendahnya OEE generator: *Man*, *Machine*, *Method*, *Material*, *Environment*, dan *Measurement*. Dalam analisis sumber daya manusia, peralatan, metode, material, lingkungan, dan pengukuran, beberapa masalah kritis yang memengaruhi efisiensi generator dan waktu henti operasional diidentifikasi. Masalah terkait manusia termasuk kurangnya operator bersertifikat yang menyebabkan peningkatan idling, waktu respons teknisi yang lambat yang menyebabkan kegagalan peralatan yang berkepanjangan, dan pemahaman yang tidak memadai tentang prosedur

darurat. Masalah *machine*, degradasi komponen kritis, seperti getaran bantalan alternator yang berlebihan dan kinerja baterai yang buruk, dikaitkan dengan waktu henti yang signifikan. Masalah *method*, kalibrasi sensor yang tidak teratur dan kurangnya standarisasi mengintensifkan gangguan dan waktu pemulihan. Masalah *material*, termasuk bahan bakar dan cairan pendingin di bawah standar, secara langsung berkontribusi pada berkurangnya keandalan generator. Faktor lingkungan, seperti suhu dan kelembaban tinggi di ruang generator, memperburuk keausan dan penurunan, yang menyebabkan waktu henti lebih lanjut. Terakhir, ketidakakuratan pengukuran menghambat deteksi gangguan tepat waktu, mempersulit pemeliharaan dan memperdalam masalah waktu henti. Secara keseluruhan, faktor-faktor gabungan ini menunjukkan kebutuhan mendesak untuk peningkatan dalam pelatihan, pemeliharaan peralatan, standarisasi prosedural, dan kontrol lingkungan untuk meningkatkan efisiensi operasional.

Secara keseluruhan, diagram fishbone menunjukkan bahwa rendahnya nilai OEE 65,80% bukan disebabkan oleh satu faktor tunggal, melainkan akumulasi dari interaksi 18 akar masalah struktural. Akar-akar masalah tersebut berkontribusi langsung terhadap tiga kerugian dominan, idling and minor stoppages, equipment failure, dan reduced speed yang secara kumulatif menyumbang 77,32% dari total losses. Temuan ini menjadi dasar penyusunan *action plan* terstruktur yang memetakan setiap akar masalah ke intervensi spesifik dengan PIC, timeline, dan KPI terukur, sehingga peningkatan OEE dapat dicapai secara terarah dan berbasis bukti. Berikut adalah rekomendasi *action plan* untuk meningkatkan OEE.

Tabel 6. Rekomendasi Action Plan

Aksi Perbaikan	Target	PIC	Deadline	KPI Success
Prioritas 1. Performance Loss Reduction				
Upgrade ATS sync time 12-15s → <8s	-8 jam/year	Elec Maint Super	1 Bulan	Transfer <8s (95%)
Kalibrasi 18 sensor ISO17025	-12 jam/year	Instrumentation	2 Bulan	False alarm <5/mo
IoT gateway real-time monitoring	-1.5 MTTR	IT & Eng	3 Bulan	Alert <5min
Monthly load bank testing	-4 jam/year	Elec Engineer	2 Bulan	Test 100% complete
Prioritas 2. Availability Loss Reduction				
Predictive Maintenance (vibr,oil,thermal)	-8 jam/year	Reliability Eng	3 – 6 Bulan	MTBF >2000hr
Critical spare parts inventory	-1.5 MTTR	Procurement	3 Bulan	Stock 100%
Scheduled replacement on data	-5 jam/year	Maint Planner	1 Bulan	Zero fail sched
RCFA untuk breakdown >2 jam	-50% recur	Eng Manager	1 Bulan	RCFA 100%
Prioritas 3. Quality Loss Reduction				
HVAC genset room 30-35°C	-10 jam/year	Facility Mgmt	4 Bulan	T<40°C (95%)
Fuel quality test setiap refuel	-5 jam/year	QC Lab	2 Bulan	Cetane ≥48 (100%)
Prioritas 3. Quality Loss Reduction				
Caterpillar certification 6+2	-20% MTTR	HR & Training	6 – 12 Bulan	100% certified
SOP digital + troubleshoot app	-30% error	IE Department	5 Bulan	SOP comp 95%
24/7 on-call shift + incentive	<20 min resp	Operations Mgr	1 Bulan	Avg resp <20min

Simpulan

Penelitian ini berhasil mencapai tujuannya dengan menggunakan pendekatan kuantitatif berdasarkan metode *Overall Equipment Effectiveness* (OEE) dan Six Big Loss. Nilai OEE genset Caterpillar 3516B PT. XYZ rata-rata 65,80% selama 12 bulan, dengan Tingkat Ketersediaan 99,42%, Tingkat Kinerja 66,96%, dan Tingkat Kualitas 98,82%. Sementara Tingkat Ketersediaan melebihi standar JIPM, OEE secara keseluruhan kurang dari tolok ukur kelas dunia sebesar 19,20 poin persentase, menunjukkan perlunya perbaikan. Analisis Enam Kerugian Besar mengidentifikasi sumber kerugian yang signifikan, dengan idling dan penghentian kecil (39,50 jam), kegagalan peralatan (35,74 jam), dan penurunan kecepatan (22,72 jam) menyumbang 77,32% dari total kerugian, menunjukkan bahwa mengatasi ini dapat meningkatkan OEE hingga 20 poin persentase. Analisis akar penyebab mengungkapkan faktor-faktor yang berkontribusi terhadap rendahnya OEE, termasuk masalah sumber daya manusia, degradasi peralatan, pemeliharaan yang tidak konsisten, kualitas bahan bakar, kondisi lingkungan, dan sistem pemantauan yang tidak memadai.

Rekomendasi perbaikan berfokus pada peningkatan *Overall Equipment Effectiveness* (OEE) dengan memprioritaskan tiga bidang utama: Performance rate, Mitigasi Kegagalan Peralatan, dan Peningkatan Efisiensi. Prioritas 1 mencakup peningkatan Sakelar Transfer Otomatis untuk sinkronisasi beban yang lebih cepat, mengkalibrasi sensor untuk mencegah alarm palsu, memasang sistem pemantauan IoT untuk respons masalah waktu nyata, dan mengoptimalkan jadwal pengujian bank beban. Prioritas 2 melibatkan peralihan dari pemeliharaan preventif ke prediktif, mengelola suku cadang penting, menjadwalkan penggantian berdasarkan data kegagalan, dan melakukan Analisis Akar Penyebab Kegagalan untuk kerusakan. Prioritas 3 terdiri dari mengoptimalkan beban *engine*, mengontrol kondisi sekitar di ruang genset, memastikan kualitas bahan bakar melalui sistem pengujian dan manajemen, serta meningkatkan sistem pemantauan bahan bakar. Strategi untuk mencapai target OEE 75% melibatkan pendekatan *Total Productive Maintenance* terintegrasi yang terdiri dari *Planned Maintenance*, *Autonomous Maintenance*, dan *Quality Maintenance*, yang meliputi pengembangan jadwal pemeliharaan, pemberdayaan operator, dan penerapan sistem pemantauan kualitas. Dari perspektif akademis, penelitian ini memperkaya literatur penerapan OEE pada peralatan utilitas kritis di industri farmasi Indonesia, khususnya untuk genset backup dengan karakteristik operasi *standby-intermittent* yang berbeda dari mesin produksi kontinyu. Penelitian lanjutan disarankan untuk mengeksplorasi implementasi *machine learning algorithms* untuk *predictive failure* modeling dan optimasi maintenance *scheduling* berbasis *artificial intelligence*, serta *cost-benefit analysis* dari investasi teknologi monitoring terhadap *improvement OEE* dan *reduction* dalam *total cost of ownership* (TCO).

Daftar Pustaka

- [1] A. K. Singh, N. Subramanian, K. S. Pawar, and R. Bai, "Cold chain configuration design: location-allocation decision-making using coordination, value deterioration, and big data approximation," *Ann Oper Res*, vol. 270, no. 1–2, pp. 433–457, Nov. 2018, doi: 10.1007/s10479-016-2332-z.
- [2] R. H. Bishara, "Cold Chain Management: An Essential Component of the Global Pharmaceutical Supply Chain," *Am Pharm Rev*, vol. 9, no. 1, pp. 105–109, 2006.
- [3] C. M. Hanson, A. M. George, A. Sawadogo, and B. Schreiber, "Is freezing in the vaccine cold chain an ongoing issue? A literature review," *Vaccine*, vol. 35, no. 17, pp. 2127–2133, Apr. 2017, doi: 10.1016/j.vaccine.2016.09.070.
- [4] M. T. Qulub and A. Misbah, "Evaluasi Kinerja Mesin Giling Menggunakan Metode OEE dalam Upaya Pengurangan Six Big Losses di PT PG Candi Baru Sidoarjo," *JSE*, vol. 10, no. 4, pp. 15079–15085, Sep. 2025.
- [5] M. N. A. Waket and M. Jufriyanto, "Analisis Overall Equipment Effectiveness (OEE) dan Six Big Losses pada Mesin Coiling di Proses Produksi Coil Spring Plant 3A&," *Jurnal Teknologi dan Manajemen Industri Terapan*, vol. 4, no. 4, pp. 2194–2202, Dec. 2025, doi: 10.55826/jtmit.v4i4.1401.
- [6] R. D. Putera, D. A. Rahmawati, and A. R. S. P. A. Yani, "Total Productive Maintenance pada Mesin Press Paving Block: Analisis OEE, Six Big Losses, dan FMEA," *Jurnal Teknologi dan Manajemen Industri Terapan*, vol. 4, no. 3, pp. 671–685, Jul. 2025, doi: 10.55826/jtmit.v4i3.860.
- [7] P. Gupta and S. Vardhan, "Optimizing OEE, productivity and production cost for improving sales volume in an automobile industry through TPM: a case study," *Int J Prod Res*, vol. 54, no. 10, pp. 2976–2988, May 2016, doi: 10.1080/00207543.2016.1145817.
- [8] G. L. Tortorella, R. Giglio, and D. H. van Dun, "Industry 4.0 adoption as a moderator of the impact of lean production practices on operational performance improvement," *International Journal of Operations & Production Management*, vol. 39, no. 6/7/8, pp. 860–886, Dec. 2019, doi: 10.1108/IJOPM-01-2019-0005.
- [9] J. Dalzochio *et al.*, "Machine learning and reasoning for predictive maintenance in Industry 4.0: Current status and challenges," *Comput Ind*, vol. 123, p. 103298, Dec. 2020, doi: 10.1016/j.compind.2020.103298.
- [10] M. Sayuti and S. Maulinda, "Analisis Efektivitas Gas Turbine Generator dengan Metode Overall Equipment Effectiveness," *Jurnal INTECH Teknik Industri Universitas Serang Raya*, vol. 5, no. 1, pp. 7–10, Jul. 2019, doi: 10.30656/intech.v5i1.1463.
- [11] T. Ihsan, "Analisis Total Productive Maintenance (TPM) Pada Mesin Strip Menggunakan Metode Overall Equipment Effectiveness (OEE) PT XYZ," *Jurnal Ilmiah Teknik dan Manajemen Industri*, vol. 4, no. 1, pp. 209–219, Jul. 2024.
- [12] M. S. Falwaguna and T. Ihsan, "Penerapan Shiinva OEE Monitoring Systems Untuk Meningkatkan OEE di PT. Makmur Jaya Abdi," *Jurnal Ilmiah Teknik dan Manajemen Industri*, vol. 4, no. 1, pp. 220–228, Jul. 2024.
- [13] P. Muchiri and L. Pintelon, "Performance measurement using overall equipment effectiveness (OEE): literature review and practical application discussion," *Int J Prod Res*, vol. 46, no. 13, pp. 3517–3535, Jul. 2008, doi: 10.1080/00207540601142645.

- [14] R. C. Hansen, *Overall Equipment Effectiveness: A Powerful Production/maintenance Tool for Increased Profits*. New York: Industrial Press Inc, 2001.
- [15] T. Wireman, *Total Productive Maintenance*. Industrial Press Inc, 2004.
- [16] IEEE, *IEEE Std 446-1995: IEEE Recommended Practice for Emergency and Standby Power Systems for Industrial and Commercial Applications*. New York: Institute of Electrical and Electronics Engineers., 1995.
- [17] S. Nakajima, *Introduction to TPM: Total Productive Maintenance*. Cambridge: Productivity Press, 1988.
- [18] D. H. Stamatis, *The OEE Primer: Understanding Overall Equipment Effectiveness, Reliability, and Maintainability*. New York: Productivity Press, 2017. doi: 10.1201/EBK1439814062.
- [19] T. Agustiadny and E. A. Cudney, *Total Productive Maintenance*. Boca Raton: CRC Press, 2023. doi: 10.1201/9781003272168.
- [20] K. Ishikawa, *What Is Total Quality Control? The Japanese Way*. Translated by Lu, D.J. Englewood Cliffs, New Jersey: Prentice-Hall, 1985.
- [21] P. F. Wilson, L. D. Dell, and G. F. Anderson, "Root Cause Analysis: A Tool for Total Quality Management," *Journal For Healthcare Quality*, vol. 18, no. 1, p. 40, Jan. 1996, doi: 10.1111/j.1945-1474.1996.tb00823.x.
- [22] R. K. Yin, *Case Study Research and Applications: Design and Methods*, 6th Ed. SAGE Publications, 2016.
- [23] J. K. Liker and D. Meier, *Toyota Way Fieldbook*, 1st Edition. New York: McGraw-Hill Education, 2006. [Online]. Available: <https://www.accessengineeringlibrary.com/content/book/9780071448932>