

Prioritas Pemeliharaan Berbasis Risiko pada Sistem Genset 350 KVA Menggunakan Integrasi Reliability Centered Maintenance (RCM), Failure Mode and Effect Analysis (FMEA), dan Analisis Keandalan

Surasa^{1*}, Wuguh Pitono²

^{1,2}) Program Studi Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Pamulang
Jl. Surya Kencana No. 1, Pamulang, Tangerang Selatan, Banten, Indonesia
Email: dosen02627@unpam.ac.id, dosen02275@unpam.ac.id

ABSTRAK

PT. PMI Sarana Utama menggunakan dua unit generator set (genset) berkapasitas masing-masing 350 KVA sebagai sumber listrik cadangan ketika terjadi gangguan suplai listrik PLN. Berdasarkan data operasional periode September 2024 hingga Agustus 2025, sistem genset mengalami gangguan dengan total waktu operasi sebesar 5.880 menit dan downtime sebesar 395 menit yang berdampak terhadap kontinuitas operasional gedung. Penelitian ini bertujuan menentukan prioritas pemeliharaan berbasis risiko pada sistem genset menggunakan integrasi Reliability Centered Maintenance (RCM), Failure Mode and Effect Analysis (FMEA), dan analisis keandalan. Metode RCM digunakan untuk mengidentifikasi fungsi sistem, mode kegagalan, konsekuensi kegagalan, serta strategi pemeliharaan, sedangkan FMEA digunakan untuk menentukan tingkat risiko berdasarkan parameter Severity, Occurrence, dan Detection. Hasil penelitian menunjukkan bahwa Automatic Voltage Regulator (AVR) memiliki kontribusi downtime terbesar sebesar 190 menit (48%), diikuti Automatic Mains Failure (AMF) sebesar 90 menit dan ACCU sebesar 70 menit. Hasil FMEA menunjukkan bahwa failure mode AVR berupa ketidakstabilan tegangan output memiliki nilai RPN individual tertinggi sebesar 140, sedangkan failure mode lainnya pada AVR memiliki RPN 96, AMF sebesar 128, dan ACCU sebesar 27. Analisis keandalan menunjukkan nilai availability sistem genset sebesar 93,7%. Berdasarkan integrasi RCM dan FMEA, AVR ditetapkan sebagai komponen prioritas utama dengan strategi condition-directed maintenance untuk meningkatkan keandalan sistem genset.

Kata kunci: Reliability Centered Maintenance, Failure Mode and Effect Analysis, Generator Set, Risk Priority Number, Reliability Analysis, Preventive Maintenance.

ABSTRACT

PT. PMI Sarana Utama utilizes two generator sets (gensets) with a capacity of 350 KVA each as backup power sources when the main electricity supply from PLN fails. Based on operational data from September 2024 to August 2025, the genset system experienced failures with a total operating time of 5,880 minutes and downtime of 395 minutes, affecting the continuity of building operations. This study aims to determine risk-based maintenance priorities for the genset system by integrating Reliability Centered Maintenance (RCM), Failure Mode and Effect Analysis (FMEA), and reliability analysis. The RCM method was used to identify system functions, failure modes, failure consequences, and appropriate maintenance strategies, while FMEA was applied to determine failure risk levels based on Severity, Occurrence, and Detection parameters. The results showed that the Automatic Voltage Regulator (AVR) had the highest downtime contribution of 190 minutes (48%), followed by the Automatic Mains Failure (AMF) with 90 minutes and the ACCU with 70 minutes. The FMEA results indicated that the AVR failure mode related to output voltage instability had the highest individual RPN value of 140, while another AVR failure mode had an RPN value of 96, followed by AMF with an RPN value of 128 and ACCU with an RPN value of 27. Reliability analysis showed that the genset system had an availability value of 93.7%. Based on the integration of RCM and FMEA, the AVR was identified as the primary priority component with a condition-directed maintenance strategy to improve genset system reliability.

Keywords: Reliability Centered Maintenance, Failure Mode and Effect Analysis, Generator Set, Risk Priority Number, Reliability Analysis.

Pendahuluan

Perkembangan industri dan meningkatnya kebutuhan operasional perusahaan menyebabkan keandalan fasilitas pendukung menjadi faktor penting dalam menjaga keberlangsungan proses bisnis. Salah satu fasilitas yang memiliki peranan utama adalah sistem kelistrikan, karena gangguan suplai energi dapat menyebabkan penghentian aktivitas operasional, penurunan produktivitas, serta meningkatnya risiko kerugian. Oleh karena itu, diperlukan sistem kelistrikan cadangan yang mampu menjaga kontinuitas pelayanan ketika terjadi gangguan pada sumber listrik utama. Sistem pemeliharaan yang tepat

pada fasilitas energi menjadi faktor penting untuk meningkatkan availability dan reliability peralatan pendukung operasional [1], [2], [3].

Generator set (genset) merupakan salah satu sistem pembangkit listrik cadangan yang banyak digunakan pada gedung bertingkat, industri, dan fasilitas pelayanan publik. Keandalan genset sangat dipengaruhi oleh kondisi komponen penyusun, pola operasi, serta efektivitas sistem pemeliharaan yang diterapkan. Kegagalan pada komponen tertentu dapat menyebabkan sistem genset tidak mampu menjalankan fungsi utamanya sebagai sumber energi alternatif sehingga berdampak terhadap aktivitas pengguna fasilitas. Studi mengenai pemeliharaan genset menunjukkan bahwa identifikasi komponen kritis menjadi langkah penting untuk mencegah kegagalan sistem secara keseluruhan [3], [4], [5].

Sistem pemeliharaan yang tidak dilakukan berdasarkan tingkat risiko kegagalan dapat menyebabkan peningkatan downtime dan biaya operasional. Oleh karena itu, diperlukan metode pemeliharaan yang mampu menentukan prioritas komponen berdasarkan tingkat kepentingan dan dampak kegagalannya. Reliability Centered Maintenance (RCM) merupakan metode pemeliharaan berbasis risiko yang digunakan untuk menentukan strategi perawatan berdasarkan fungsi sistem, pola kegagalan, serta konsekuensi yang ditimbulkan oleh kegagalan komponen. Penerapan RCM pada berbagai peralatan industri terbukti mampu meningkatkan efektivitas pemeliharaan melalui penentuan maintenance task yang lebih tepat [2], [6], [7].

Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) merupakan metode analisis risiko yang banyak digunakan dalam sistem pemeliharaan karena mampu mengidentifikasi potensi kegagalan berdasarkan parameter severity, occurrence, dan detection. Melalui perhitungan Risk Priority Number (RPN), FMEA dapat menentukan komponen yang memiliki tingkat risiko tertinggi sehingga perusahaan dapat memprioritaskan tindakan pemeliharaan pada komponen kritis. Beberapa penelitian menunjukkan bahwa integrasi FMEA dalam sistem pemeliharaan mampu meningkatkan kemampuan perusahaan dalam mengantisipasi kegagalan peralatan [6], [8].

Beberapa penelitian terbaru menunjukkan bahwa kombinasi metode RCM dan FMEA efektif dalam meningkatkan keandalan sistem melalui identifikasi komponen kritis dan penyusunan strategi pemeliharaan berbasis risiko. Afiva et al. menunjukkan bahwa pendekatan RCM dan FMEA dapat digunakan untuk menentukan interval preventive maintenance berdasarkan tingkat risiko kegagalan, sedangkan [7] menunjukkan bahwa integrasi kedua metode tersebut mampu menentukan prioritas pemeliharaan berdasarkan nilai risiko komponen. Pendekatan kombinasi RCM-FMEA banyak digunakan karena mampu menghubungkan analisis fungsi sistem dengan tingkat risiko kegagalan komponen [9].

Pada sektor energi cadangan, penelitian mengenai penerapan Reliability Centered Maintenance pada generator set menunjukkan bahwa analisis fungsi dan mode kegagalan dapat membantu menentukan komponen yang memiliki pengaruh besar terhadap keandalan sistem. [4] menemukan bahwa pendekatan RCM dapat digunakan untuk menentukan prioritas pemeliharaan pada genset berdasarkan tingkat kritikalitas komponen. Penelitian [10] juga menunjukkan bahwa penerapan RCM pada genset mampu mengidentifikasi komponen yang berkontribusi terhadap kegagalan sistem pembangkit listrik cadangan.

PT. PMI Sarana Utama merupakan perusahaan yang memiliki fasilitas gedung dengan kebutuhan energi listrik tinggi dan menggunakan dua unit genset berkapasitas 350 KVA sebagai sumber listrik cadangan. Namun, berdasarkan data operasional selama satu tahun, mesin genset mengalami gangguan dengan total waktu operasi sebesar 5.880 menit dan downtime sebesar 395 menit. Kondisi tersebut menyebabkan terganggunya suplai listrik ketika terjadi pemadaman PLN sehingga berdampak terhadap kenyamanan, keamanan, dan aktivitas operasional pengguna gedung.

Permasalahan tersebut menunjukkan perlunya analisis terhadap faktor penyebab kegagalan dan identifikasi komponen yang memiliki tingkat risiko tertinggi. Penelitian sebelumnya telah menerapkan metode RCM dan FMEA pada berbagai peralatan industri seperti mesin produksi, pompa, kompresor, dan generator. Namun, penelitian yang secara khusus mengkaji kegagalan genset sebagai sistem kelistrikan cadangan pada fasilitas properti masih relatif terbatas sehingga diperlukan kajian lebih lanjut untuk memperoleh strategi pemeliharaan yang sesuai dengan karakteristik operasional gedung [8], [4].

Berbeda dengan penelitian sebelumnya yang umumnya menggunakan RCM dan FMEA hanya untuk mengidentifikasi komponen kritis, penelitian ini mengembangkan pendekatan *risk-based maintenance prioritization* dengan mengintegrasikan histori *downtime* aktual, *failure mode*, nilai risiko FMEA, serta reliability metrics untuk menentukan strategi pemeliharaan yang lebih terukur pada sistem genset fasilitas properti..

Dengan demikian, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis faktor penyebab kerusakan mesin genset menggunakan metode RCM dan FMEA, menentukan komponen kritis yang berpengaruh terhadap kegagalan sistem, serta memberikan rekomendasi strategi pemeliharaan untuk meningkatkan keandalan sistem listrik cadangan pada PT. PMI Sarana Utama. Pendekatan tersebut diharapkan dapat menjadi dasar pengambilan keputusan pemeliharaan berbasis risiko sehingga mampu mengurangi kemungkinan terjadinya downtime pada sistem genset.

Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode penelitian kuantitatif dengan pendekatan analisis keandalan (reliability analysis). Data yang digunakan terdiri dari data primer dan data sekunder. Data primer diperoleh melalui observasi langsung terhadap sistem operasi dan pemeliharaan mesin genset 350 KVA di PT. PMI Sarana Utama, sedangkan data sekunder diperoleh dari catatan operasional mesin, laporan maintenance, serta histori gangguan mesin.

Data operasional mesin genset yang digunakan dalam penelitian meliputi waktu operasi mesin, waktu downtime, dan persentase kegagalan selama periode September 2024 sampai Agustus 2025. Data tersebut digunakan sebagai dasar untuk mengetahui tingkat keandalan awal mesin sebelum dilakukan analisis RCM dan FMEA.

Tabel 1 Data Operasional Mesin Genset

Bulan	Waktu Kerja Mesin (Menit)	Downtime (Menit)	Persentase (%)
September 2024	480	0	0
Oktober 2024	480	0	0
November 2024	600	0	0
Desember 2024	480	30	6,25
Januari 2025	420	30	7,14
Februari 2025	540	40	7,40
Maret 2025	480	25	5,20
April 2025	480	60	12,50
Mei 2025	480	40	7,40
Juni 2025	480	60	12,50
Juli 2025	480	60	12,50
Agustus 2025	480	50	10,41
Total	5.880	395	6,7

Sumber: Data Engineering PT. PMI Sarana Utama

Metode Analisis Data

Metode analisis yang digunakan dalam penelitian ini adalah Reliability Centered Maintenance (RCM) dan Failure Mode and Effect Analysis (FMEA). Kedua metode tersebut digunakan secara berurutan untuk mengidentifikasi fungsi sistem, mengetahui mode kegagalan komponen, menentukan tingkat risiko kegagalan, serta menetapkan komponen yang menjadi prioritas utama dalam kegiatan pemeliharaan.

Reliability Centered Maintenance (RCM)

Reliability Centered Maintenance (RCM) digunakan untuk menentukan strategi pemeliharaan berdasarkan fungsi dan tingkat kritikalitas komponen mesin genset [11], [12], [13], [14]. Tahapan analisis RCM dalam penelitian ini meliputi:

- Identifikasi fungsi sistem
Tahap ini dilakukan untuk mengetahui fungsi utama mesin genset serta fungsi masing-masing komponen penyusunnya. Identifikasi dilakukan terhadap 12 komponen utama mesin genset, yaitu *Automatic Mains Failure* (AMF), **Automatic Voltage Regulator** (AVR), ACCU, Alternator, Dynamo Stator, Turbo Charge, Injector, Nozzle, Crank Shaft, Water Pump, Radiator, dan Exhaust System [15].
- Identifikasi kegagalan fungsi
Tahap ini dilakukan untuk mengetahui kemungkinan kegagalan yang terjadi pada setiap komponen serta dampak yang ditimbulkan terhadap kinerja mesin genset [16].
- Analisis konsekuensi kegagalan
Analisis dilakukan untuk mengetahui pengaruh kegagalan komponen terhadap operasional genset, baik terhadap kemampuan start mesin, kestabilan tegangan, maupun kemampuan menghasilkan energi listrik.
- Penentuan strategi pemeliharaan
Berdasarkan hasil analisis RCM, ditentukan strategi pemeliharaan yang sesuai untuk mengurangi kemungkinan terjadinya kegagalan pada komponen kritis.

Failure Mode and Effect Analysis (FMEA)

Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) digunakan untuk mengidentifikasi potensi kegagalan pada setiap komponen mesin genset serta menentukan tingkat prioritas risiko berdasarkan nilai Risk Priority Number (RPN). FMEA dilakukan dengan mengevaluasi setiap failure mode berdasarkan tiga parameter utama, yaitu Severity (S), Occurrence (O), dan Detection (D). Nilai RPN dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$RPN = S \times O \times D \quad (1)$$

Keterangan:

S = Severity (tingkat keparahan akibat kegagalan)

O = *Occurrence* (tingkat kemungkinan terjadinya kegagalan)

D = *Detection* (kemampuan mendeteksi kegagalan sebelum terjadi) Hasil Dan Pembahasan

Penilaian ketiga parameter FMEA menggunakan skala 1–10. Kriteria penilaian disusun berdasarkan tingkat dampak kegagalan, frekuensi kejadian, dan kemampuan deteksi terhadap potensi kegagalan. Semakin tinggi nilai Severity menunjukkan dampak kegagalan yang semakin besar terhadap fungsi genset, semakin tinggi nilai Occurrence menunjukkan kemungkinan kegagalan yang semakin sering terjadi, sedangkan semakin tinggi nilai Detection menunjukkan semakin sulitnya kegagalan tersebut dideteksi sebelum terjadi. Tabel kriteria penilaian FMEA ditunjukkan sebagai berikut.

Tabel 2 Kriteria Penilaian FMEA

Nilai	Severity (S)	Occurrence (O)	Detection (D)
1–2	Dampak sangat kecil dan tidak mengganggu operasi utama	Kegagalan sangat jarang terjadi	Kegagalan sangat mudah dideteksi
3–4	Dampak kecil dan masih dapat ditoleransi	Kegagalan jarang terjadi	Kegagalan dapat dideteksi melalui inspeksi rutin
5–6	Menyebabkan penurunan performa sistem	Kegagalan terjadi secara periodik	Membutuhkan pemeriksaan lebih lanjut untuk mendeteksi
7–8	Menyebabkan gangguan fungsi utama sistem	Kegagalan sering terjadi	Sulit dideteksi sebelum terjadi gangguan
9–10	Menyebabkan kehilangan fungsi utama dan menghentikan operasi	Kegagalan sangat sering terjadi	Sangat sulit atau tidak dapat dideteksi sebelum kegagalan

Pemberian nilai S, O, dan D dilakukan berdasarkan hasil observasi kondisi genset, histori gangguan, laporan pemeliharaan, serta wawancara dengan personel yang terlibat dalam kegiatan operasional dan pemeliharaan. Evaluasi dilakukan oleh tiga orang evaluator yang terdiri dari maintenance supervisor, teknisi electrical, dan engineering facility staff. Nilai akhir setiap parameter ditentukan berdasarkan hasil diskusi dan kesepakatan (consensus assessment) antar evaluator untuk mengurangi subjektivitas dalam proses penilaian.

Nilai RPN dihitung untuk setiap failure mode secara individual dengan tujuan menentukan prioritas risiko kegagalan. Dalam penelitian ini, nilai RPN tidak dijumlahkan antar beberapa failure mode pada komponen yang sama karena setiap mode kegagalan memiliki karakteristik risiko yang berbeda. Oleh karena itu, komponen kritis ditentukan berdasarkan nilai RPN tertinggi pada masing-masing failure mode, yang kemudian dikombinasikan dengan hasil analisis downtime dan evaluasi RCM sebagai dasar penyusunan strategi pemeliharaan.

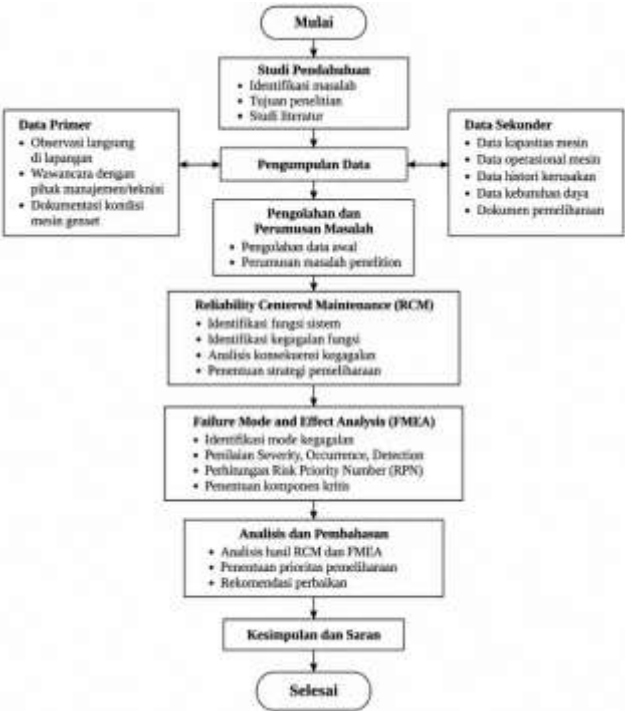
Tahapan Penelitian

Tahapan penelitian dilakukan melalui beberapa proses sebagai berikut:

1. Studi pendahuluan
Tahap awal dilakukan dengan melakukan observasi terhadap kondisi mesin genset, sistem operasi, serta permasalahan kegagalan yang terjadi pada objek penelitian.
2. Pengumpulan data
Pengumpulan data dilakukan melalui observasi lapangan, wawancara dengan teknisi Engineering, serta pengumpulan data histori operasi dan pemeliharaan mesin genset.
3. Identifikasi sistem dan komponen kritis
Tahap ini dilakukan dengan membuat struktur sistem mesin genset dan mengidentifikasi fungsi setiap komponen penyusun.
4. Analisis RCM
Analisis RCM dilakukan untuk mengetahui pola kegagalan dan menentukan strategi pemeliharaan berdasarkan fungsi serta konsekuensi kegagalan.
5. Analisis FMEA
Analisis FMEA dilakukan dengan memberikan nilai severity, occurrence, dan detection pada setiap mode kegagalan untuk memperoleh nilai Risk Priority Number (RPN).
6. Penentuan prioritas pemeliharaan
Komponen prioritas pemeliharaan ditentukan berdasarkan integrasi nilai RPN individual, kontribusi downtime, konsekuensi kegagalan, dan hasil analisis RCM.
7. Penyusunan rekomendasi
Tahap akhir dilakukan dengan memberikan rekomendasi pemeliharaan berdasarkan hasil analisis RCM dan FMEA untuk meningkatkan keandalan mesin genset.

Diagram Alir Penelitian

Diagram alir penelitian menggambarkan tahapan proses penelitian mulai dari identifikasi masalah, pengumpulan data, analisis menggunakan metode RCM dan FMEA, hingga penyusunan rekomendasi pemeliharaan.



Gambar 1 Flowchart Penelitian

Hasil dan Pembahasan

Penelitian ini dilakukan pada sistem pembangkit listrik cadangan berupa mesin generator set (genset) yang berada di PT. PMI Sarana Utama, Jakarta Selatan. Sistem kelistrikan cadangan pada perusahaan tersebut menggunakan dua unit genset dengan kapasitas masing-masing 350 KVA yang berfungsi sebagai sumber energi alternatif apabila terjadi gangguan suplai listrik dari PLN.

Berdasarkan hasil pengamatan dan data operasional selama periode September 2024 sampai Agustus 2025, mesin genset mengalami gangguan operasional dengan total waktu kerja sebesar 5.880 menit dan total downtime sebesar 395 menit. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa sistem genset belum mampu mempertahankan tingkat keandalan secara optimal karena masih terdapat kegagalan fungsi ketika terjadi perpindahan sumber energi listrik dari PLN menuju genset.

Downtime yang terjadi menyebabkan terganggunya aktivitas operasional gedung karena beberapa fasilitas yang bergantung pada suplai listrik seperti sistem pendingin udara (AC), lift, pompa air, exhaust fan, dan sistem penerangan tidak dapat beroperasi secara normal. Oleh karena itu, diperlukan analisis lebih lanjut untuk mengetahui komponen penyebab kegagalan serta menentukan prioritas pemeliharaan berdasarkan tingkat risiko kerusakan. Komponen yang dianalisis dalam penelitian ini terdiri dari 12 komponen utama yaitu:

Tabel 3 Komponen Sistem Mesin Genset

No	Komponen	Fungsi Utama
1	Automatic Mains Failure (AMF)	Mengontrol perpindahan sumber listrik dan sinkronisasi genset
2	Automatic Voltage Regulator (AVR)	Menjaga kestabilan tegangan keluaran genset
3	ACCU	Sebagai sumber energi awal untuk proses starting mesin
4	Alternator	Mengubah energi mekanik menjadi energi listrik
5	Dynamo Stator	Menghasilkan energi listrik melalui proses induksi elektromagnetik
6	Turbo Charge	Meningkatkan suplai udara untuk pembakaran mesin
7	Injector	Mengatur penyemprotan bahan bakar ke ruang bakar
8	Nozzle	Mengontrol aliran bahan bakar
9	Crank Shaft	Mengubah gerakan linier menjadi gerakan putar
10	Water Pump	Mensirkulasikan cairan pendingin mesin
11	Radiator	Menjaga kestabilan temperatur mesin
12	Exhaust System	Mengeluarkan gas panas hasil pembakaran

Berdasarkan identifikasi fungsi tersebut, setiap komponen memiliki pengaruh terhadap kinerja genset. Apabila terjadi kegagalan pada salah satu komponen utama, maka dapat menyebabkan terganggunya fungsi sistem secara keseluruhan.

Analisis Reliability Centered Maintenance (RCM)

Analisis Reliability Centered Maintenance (RCM) dilakukan untuk mengetahui hubungan antara fungsi komponen, mode kegagalan, serta dampak yang ditimbulkan terhadap sistem genset. Pendekatan RCM digunakan karena mampu menentukan strategi pemeliharaan berdasarkan tingkat kepentingan fungsi suatu komponen. Hasil identifikasi menunjukkan bahwa beberapa komponen memiliki konsekuensi kegagalan yang berbeda. Komponen AMF memiliki fungsi untuk membaca kondisi suplai listrik dan melakukan perpindahan sistem operasi, sehingga apabila terjadi kegagalan maka genset tidak dapat melakukan sinkronisasi secara otomatis[18].

Komponen Automatic Voltage Regulator (AVR) memiliki fungsi utama dalam menjaga kestabilan tegangan keluaran genset. Kegagalan AVR menyebabkan tegangan output menjadi tidak stabil sehingga dapat menimbulkan kondisi hunting bahkan menyebabkan black out pada sistem genset. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa AVR memiliki konsekuensi kegagalan yang tinggi karena berhubungan langsung dengan kemampuan genset dalam menghasilkan energi listrik dengan parameter tegangan yang sesuai standar operasi. Oleh karena itu, berdasarkan pendekatan RCM, kegagalan AVR dikategorikan sebagai kegagalan yang memerlukan tindakan condition-directed maintenance, yaitu pemeliharaan berdasarkan kondisi aktual komponen melalui pemantauan parameter operasi seperti kestabilan tegangan output, frekuensi, dan kondisi sistem regulator.

Komponen Automatic Mains Failure (AMF) memiliki fungsi untuk mengontrol perpindahan sumber listrik antara PLN dan genset serta melakukan proses sinkronisasi saat terjadi gangguan suplai utama. Kegagalan AMF menyebabkan genset tidak dapat melakukan perpindahan sumber energi secara otomatis sehingga berpotensi menyebabkan terhentinya suplai listrik ke beban gedung. Berdasarkan konsekuensi tersebut, strategi pemeliharaan yang sesuai adalah failure-finding task melalui pengujian fungsi perpindahan sumber listrik dan simulasi operasi otomatis secara berkala untuk memastikan sistem proteksi dan kontrol tetap bekerja.

Sementara itu, komponen ACCU berfungsi sebagai sumber energi awal untuk proses *starting* mesin genset. Penurunan performa ACCU menyebabkan tegangan baterai tidak mencukupi sehingga mesin gagal melakukan proses penyalaan. Berdasarkan karakteristik kegagalannya, ACCU dikategorikan sebagai komponen yang memerlukan time-directed maintenance, yaitu pemeliharaan terjadwal berupa pemeriksaan tegangan baterai, kondisi terminal, dan sistem pengisian untuk mencegah penurunan performa sebelum terjadi kegagalan.

Hasil analisis RCM tersebut menunjukkan bahwa strategi pemeliharaan tidak hanya ditentukan berdasarkan tingkat risiko kegagalan, tetapi juga berdasarkan fungsi komponen, konsekuensi kegagalan, dan karakteristik mode kegagalan. Ringkasan hasil RCM Decision Logic ditunjukkan pada Tabel berikut.

Tabel 4 RCM Decision Logic dan Strategi Pemeliharaan Sistem Genset

Komponen	Fungsi	Functional Failure	Failure Mode	Efek Kegagalan	Konsekuensi	RCM Decision Logic	Maintenance Task	Interval
AVR	Menjaga kestabilan tegangan output genset	Tidak mampu mempertahankan tegangan sesuai standar	Output tegangan tidak stabil; output frekuensi tidak standar	Tegangan genset fluktuatif, terjadi hunting	Genset gagal menyuplai energi listrik secara stabil	Condition-Directed Maintenance	Pemeriksaan tegangan output, pengujian regulator, inspeksi koneksi kabel dan sistem kontrol Simulasi perpindahan PLN-genset, pengujian fungsi kontrol dan proteksi	3 bulanan
AMF	Mengontrol perpindahan sumber PLN dan genset	Tidak mampu melakukan transfer otomatis	Gangguan sistem kontrol dan sinkronisasi	Genset tidak melakukan perpindahan sumber secara otomatis	Gangguan suplai listrik pada beban gedung	Failure-Finding Task	Pemeriksaan tegangan baterai, kondisi terminal, dan sistem charging	Bulanan
ACCU	Menyediakan energi awal untuk proses starting mesin	Tidak mampu memberikan daya starting	Tegangan drop	Mesin genset sulit atau gagal melakukan starting	Genset tidak dapat beroperasi saat dibutuhkan	Time-Directed Maintenance		3 bulan

Analisis Signifikansi Komponen Berdasarkan Downtime

Penentuan komponen signifikan dilakukan berdasarkan jumlah downtime yang terjadi pada setiap komponen selama periode pengamatan. Analisis ini bertujuan untuk mengetahui komponen yang memberikan kontribusi terbesar terhadap kegagalan sistem genset. Dari 12 komponen yang diidentifikasi melalui analisis RCM, sebanyak 11 komponen memiliki histori gangguan selama periode pengamatan sehingga digunakan dalam analisis kontribusi downtime seperti pada tabel 5 berikut.

Tabel 5 Signifikansi Komponen Mesin Genset

No	Komponen	Downtime (Menit)	Persentase (%)
1	Automatic Mains Failure (AMF)	90	23
2	Automatic Voltage Regulator (AVR)	190	48
3	ACCU	70	18
4	Alternator	10	3
5	Turbo Charge	10	3
6	Injector	0	0
7	Nozzle	0	0
8	Crank Shaft	0	0
9	Water Pump	0	0
10	Radiator	20	5
11	Exhaust System	5	1

Berdasarkan hasil analisis downtime, diketahui bahwa komponen AVR memiliki kontribusi downtime terbesar yaitu sebesar 190 menit atau 48% dari total downtime. Selanjutnya komponen AMF memiliki downtime sebesar 90 menit (23%) dan ACCU sebesar 70 menit (18%). Hasil tersebut menunjukkan bahwa AVR merupakan komponen paling dominan terhadap kegagalan operasional genset. Tingginya downtime pada AVR menunjukkan bahwa gangguan kestabilan tegangan menjadi faktor utama yang menyebabkan genset mengalami kegagalan dalam menyediakan suplai listrik cadangan.

Analisis Failure Mode and Effect Analysis (FMEA)

Analisis FMEA dilakukan untuk menentukan tingkat risiko kegagalan masing-masing komponen berdasarkan tiga parameter yaitu Severity (S), Occurrence (O), dan Detection (D). Hasil perkalian ketiga parameter tersebut menghasilkan nilai Risk Priority Number (RPN) yang digunakan sebagai dasar menentukan prioritas pemeliharaan.

Tabel 6 Hasil Analisis FMEA Komponen Kritis

Komponen	Mode Kegagalan	Severity	Occurrence	Detection	RPN
AMF	Gangguan sistem kontrol dan sinkronisasi	5	4	4	128
ACCU	Tegangan drop sehingga gagal starting	3	3	3	27
AVR	Output tegangan tidak stabil dan genset mati	7	5	4	140
AVR	Output frekuensi tidak standar menyebabkan hunting	6	4	4	96

Berdasarkan hasil perhitungan FMEA, diperoleh beberapa failure mode yang memiliki tingkat risiko signifikan pada sistem genset, yaitu kegagalan pada komponen Automatic Mains Failure (AMF), Automatic Voltage Regulator (AVR), dan ACCU. Hasil analisis menunjukkan bahwa AMF memiliki nilai RPN sebesar 128 untuk kegagalan sistem kontrol dan sinkronisasi, sedangkan ACCU memiliki nilai RPN sebesar 27 akibat penurunan tegangan yang menyebabkan kegagalan proses starting mesin.

Pada komponen AVR terdapat dua failure mode yang dianalisis. Failure mode berupa output tegangan tidak stabil memiliki nilai RPN sebesar 140, sedangkan failure mode berupa output frekuensi tidak standar memiliki nilai RPN sebesar 96. Berdasarkan prinsip FMEA, nilai RPN dievaluasi pada setiap failure mode secara individual sehingga tidak dilakukan penjumlahan nilai RPN antar failure mode dalam satu komponen. Oleh karena itu, AVR ditetapkan sebagai komponen dengan prioritas risiko tertinggi berdasarkan nilai RPN individual terbesar, yaitu 140.

Tingginya nilai RPN pada failure mode AVR berupa output tegangan tidak stabil disebabkan oleh fungsi AVR yang berperan dalam menjaga kestabilan tegangan keluaran genset. Apabila terjadi gangguan pada AVR, tegangan keluaran dapat berada di luar standar operasi sehingga menyebabkan ketidakstabilan sistem bahkan kegagalan suplai listrik cadangan.

Berdasarkan integrasi hasil analisis RCM, FMEA, dan data downtime, AVR menjadi komponen prioritas utama dalam strategi pemeliharaan. Selain memiliki nilai RPN individual tertinggi, AVR juga memberikan kontribusi downtime terbesar yaitu sebesar 190 menit atau 48% dari total downtime sistem genset. Hal tersebut menunjukkan bahwa gangguan pada sistem regulasi tegangan merupakan salah satu faktor dominan yang mempengaruhi keandalan operasi genset PT. PMI Sarana Utama.

Kondisi tersebut menunjukkan bahwa pemeliharaan genset perlu diarahkan pada komponen dengan tingkat risiko dan dampak operasional yang tinggi. AVR merupakan komponen yang kegagalannya tidak selalu dapat diamati secara visual karena gangguan lebih terlihat melalui perubahan parameter listrik seperti tegangan dan frekuensi keluaran. Oleh karena itu, diperlukan kegiatan inspeksi dan pengujian berkala terhadap parameter operasi AVR untuk mendeteksi potensi kegagalan lebih awal.

Berdasarkan pendekatan RCM, strategi pemeliharaan yang direkomendasikan adalah penerapan condition-directed maintenance pada AVR melalui pemeriksaan kestabilan tegangan output dan pengujian fungsi regulator secara berkala. Komponen AMF diarahkan pada kegiatan failure finding task melalui pengujian fungsi perpindahan sumber listrik, sedangkan ACCU dilakukan pemeliharaan terjadwal melalui pemeriksaan kondisi tegangan dan sistem pengisian. Penerapan strategi pemeliharaan berbasis risiko tersebut diharapkan mampu mengurangi kemungkinan kegagalan saat genset digunakan sebagai sumber energi listrik cadangan.

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa AVR menjadi komponen dominan karena berhubungan langsung dengan kestabilan tegangan keluaran genset. Temuan ini sejalan dengan beberapa penelitian sebelumnya yang menunjukkan bahwa sistem regulasi tegangan dan kontrol kelistrikan merupakan bagian kritis pada generator karena kegagalannya dapat menyebabkan ketidakstabilan output dan kehilangan fungsi suplai daya. Namun, berbeda dengan beberapa penelitian sebelumnya yang menentukan prioritas hanya berdasarkan RPN, penelitian ini menggabungkan nilai risiko dengan histori downtime aktual dan parameter keandalan sehingga menghasilkan prioritas pemeliharaan yang lebih kontekstual.

Analisis Keandalan Sistem Genset

Analisis keandalan dilakukan untuk mengetahui tingkat kemampuan sistem genset dalam menjalankan fungsi utamanya selama periode operasi. Analisis ini digunakan sebagai pelengkap hasil identifikasi risiko menggunakan RCM dan FMEA dengan memberikan gambaran kuantitatif mengenai performa aktual sistem berdasarkan parameter waktu operasi dan gangguan yang terjadi. Parameter keandalan yang digunakan dalam penelitian ini meliputi Mean Time Between Failure (MTBF), Mean Time To Repair (MTTR), dan Availability.

Berdasarkan data operasional periode September 2024 hingga Agustus 2025, sistem genset memiliki total waktu operasi sebesar 5.880 menit dengan total downtime sebesar 395 menit. Selama periode pengamatan terjadi 8 kejadian kegagalan, sehingga nilai MTBF dan MTTR dapat dihitung berdasarkan jumlah kejadian kegagalan tersebut. Perhitungan parameter keandalan dilakukan menggunakan persamaan berikut:

1. Mean Time Between Failure (MTBF)

MTBF menunjukkan rata-rata waktu operasi sistem sebelum mengalami kegagalan. Nilai MTBF dihitung dengan persamaan:

$$MTBF = \frac{\text{Operating Time}}{\text{Jumlah Failure}} \quad (2)$$

$$MTBF = \frac{5880}{8} = 735 \text{ Menit}$$

Berdasarkan hasil perhitungan, sistem genset memiliki nilai MTBF sebesar 735 menit, yang menunjukkan bahwa rata-rata interval waktu operasi sebelum terjadi gangguan adalah 735 menit.

2. Mean Time To Repair (MTTR)

MTTR menunjukkan rata-rata waktu yang diperlukan untuk melakukan perbaikan setelah terjadi kegagalan. Nilai MTTR dihitung menggunakan persamaan:

$$MTTR = \frac{\text{Downtime}}{\text{Jumlah Failure}} \quad (3)$$

$$MTTR = \frac{395}{8} = 49,4 \text{ Menit}$$

Hasil perhitungan menunjukkan bahwa nilai MTTR sistem genset sebesar 49,4 menit, yang menunjukkan rata-rata waktu pemulihan sistem setelah mengalami gangguan.

3. Availability

Availability menunjukkan tingkat kesiapan sistem dalam menjalankan fungsi operasinya dengan mempertimbangkan waktu operasi dan downtime. Nilai availability dihitung menggunakan persamaan:

$$\text{Availability} = \frac{\text{Operating Time}}{\text{Operating Time} + \text{Downtime}} \times 100\% \quad (4)$$

$$\text{Availability} = \frac{5880}{5880 + 395} \times 100\% = 93,7\%$$

Berdasarkan hasil analisis, sistem genset memiliki nilai availability sebesar 93,7%. Nilai tersebut menunjukkan bahwa secara umum sistem masih memiliki tingkat kesiapan operasi yang cukup baik, namun kejadian downtime tetap memberikan dampak signifikan karena genset berfungsi sebagai *emergency power system* yang harus tersedia saat terjadi gangguan suplai listrik utama.

Hasil analisis keandalan ini memperkuat hasil FMEA dan RCM bahwa komponen dengan tingkat risiko tinggi perlu menjadi prioritas pemeliharaan. Komponen AVR yang memiliki kontribusi downtime terbesar perlu mendapatkan perhatian utama melalui kegiatan pemeliharaan berbasis kondisi (*condition-directed maintenance*) untuk meningkatkan keandalan dan mengurangi kemungkinan kegagalan saat sistem genset dibutuhkan.

Simpulan

Analisis sistem genset 350 KVA di PT. PMI Sarana Utama menggunakan integrasi Reliability Centered Maintenance (RCM), Failure Mode and Effect Analysis (FMEA), dan analisis keandalan menunjukkan bahwa selama periode pengamatan terjadi gangguan operasional dengan total waktu operasi sebesar 5.880 menit dan downtime sebesar 395 menit. Identifikasi RCM menunjukkan bahwa komponen yang memiliki tingkat signifikansi tertinggi berdasarkan fungsi, konsekuensi kegagalan, dan kontribusi downtime adalah Automatic Mains Failure (AMF), Automatic Voltage Regulator (AVR), dan ACCU.

Komponen Automatic Voltage Regulator (AVR) memiliki kontribusi downtime terbesar yaitu 190 menit atau 48% dari total downtime. Hasil FMEA menunjukkan bahwa failure mode AVR berupa output tegangan tidak stabil memiliki nilai RPN individual tertinggi sebesar 140, sedangkan failure mode berupa output frekuensi tidak standar memiliki nilai RPN sebesar 96. Komponen AMF memiliki nilai RPN sebesar 128, sedangkan ACCU sebesar 27. Penentuan prioritas risiko dilakukan berdasarkan nilai RPN pada masing-masing failure mode tanpa menjumlahkan nilai RPN antar failure mode dalam satu komponen.

Analisis keandalan menghasilkan nilai availability sebesar 93,7%, MTBF sebesar 735 menit, dan MTTR sebesar 49,4 menit. Nilai tersebut menunjukkan bahwa sistem genset memiliki tingkat kesiapan operasi yang cukup baik, namun gangguan tetap memberikan dampak signifikan karena genset berfungsi sebagai sistem kelistrikan darurat (emergency power system).

Strategi pemeliharaan yang direkomendasikan melalui pendekatan RCM adalah condition-directed maintenance pada AVR melalui pemeriksaan kestabilan tegangan output dan pengujian fungsi regulator secara berkala. AMF diarahkan pada failure finding task melalui pengujian fungsi perpindahan sumber listrik, sedangkan ACCU dilakukan time-directed maintenance melalui pemeriksaan kondisi tegangan dan sistem pengisian. Strategi ini diharapkan mampu mengurangi risiko kegagalan dan meningkatkan keandalan sistem genset sebagai sumber energi listrik cadangan.

Daftar Pustaka

- [1] M. Firmansyah and A. W. Rizqi, "Analisis Perawatan Mesin dengan Metode Reliability Centered Maintenance (RCM)," *G-Tech J. Teknol. Terap.*, vol. 8, no. 4, pp. 2514–2521, 2024.
- [2] Taqwanur and Mega Bilqis Suryawantiningtyas, "G-Tech : Jurnal Teknologi Terapan," *G-Tech J. Teknol. Terap.*, vol. 6, no. 2, pp. 295–305, 2022.
- [3] F. Arifin *et al.*, "Analisis perawatan genset dengan menggunakan metode reliability centered maintenance di pt pertamina ep prabumulih analysis of genset maintenance using the reliability centered maintenance method at pt pertamina ep prabumulih," vol. 8, pp. 1569–1577, 2025.
- [4] S. W. Widdana and Lukmandono, "Pendekatan Reliability Centered Maintenance (RCM) Pada Mesin Generator Set (Genset) Cummins Silent 500 KVA Sebagai Optimasi Cadangan Daya Listrik," *J. Penelit.*, vol. 8, no. 3, pp. 202–215, 2023, [Online]. Available: <https://doi.org/10.46491/jp.v8i3.1511>
- [5] B. Nanda and V. Roni, "JURIT Jurnal Riset Ilmu Teknik Cake Breaker Conveyor Machine Maintenance System Analysis Using the Reliability-Centered Maintenance (RCM) Method Total Downtime (Hours)," pp. 151–162, 2023, doi: 10.59976/jurit.v1i3.34.
- [6] A. Dinil Haq, T. Mesra, and N. J. Marbun, "Penerapan Metode Reliability Centered Maintenance Pada High Pressure Pump," *J. ARTI*, vol. 19, no. 1, pp. 63–71, 2024.
- [7] A. S. Margana, W. S. Ayu, and E. I. Khoirunnisaa, "Analisis Sistem Perawatan Menggunakan Metode Reliability Centered Maintenance Dengan Bantuan Failure Mode Effect Analysis," *J. Mek. Terap.*, vol. 5, no. 1, pp. 16–24, 2024.
- [8] I. L. Hakim, S. Sundari, P. E. Suwarni, and B. Nudin, "Volume 10 No . 2 April 2026 Analisis Risiko Kegagalan Genset Cummins Berbasis FMEA dalam Perspektif Reliability-Centered Maintenance di CV X P-ISSN : 2776-4745," vol. 10, no. 2, 2026.
- [9] E. Analysis, F. Mode, E. Analysis, and C. Maintenance, "Analisis Risiko Kegagalan Mesin Genset Komatsu Egs380 Menggunakan Pendekatan Reliability Centered Maintenance (Rcm) Dan Failure Mode And Effect Analysis (Fmea) Pada PT XYZ," vol. 11, no. 4, pp. 2891–2898, 2026.
- [10] F. Arifin, C. D. Kusmindari, A. Anwar, and M. K. Makmuri, "Analisis Perawatan Genset Menggunakan Metode Reliability Centered Maintenance," *INTECOMS J. Inf. Technol. Comput. Sci.*, 2025.
- [11] R. P. Putra and A. E. Nurhidayat, "Manajemen Perawatan Mesin Genset Gedung Plaza Mandiri Menggunakan Metode Reliability Centered Maintenance dan Maintenance Value Stream Map," *J. Tek. Ind.*, 2022.
- [12] F. Firman, S. D. Lestari, and I. Mardiyanto, "Evaluasi Kinerja Pemeliharaan Mesin PLTD dengan Menggunakan Pendekatan Reliability Centered Maintenance," *J. Kaji. Manaj. dan Bisnis*, 2020.
- [13] A. Rahmatullah, Budiharjo, and D. Wahyudi, "Perencanaan Perawatan Mesin Serut Dengan Metode Reliability Centered Maintenance," *J. Tek. Juara Aktif Glob. Optimis*, 2022.
- [14] D. Irwansyah and A. Khairunisyah, "Analisis Kegiatan Model Reliability Centered Maintenance Dalam

- Maintenance Mesin Vertical Sterilizer,” *Sisfo J. Ilm. Sist. Inf.*, 2022.
- [15] M. Hutabarat, T. Mesra, and A. Azmi, “Penerapan Perawatan Mesin Excavator Menggunakan Metode Reliability Centered Maintenance,” *J. ARTI*, 2023.
- [16] S. Anam and G. Ramadhan, “Perawatan Genset 2000 kVA di Gedung Apartement TP Dengan Metode Reliability Centered Maintenance,” *ISMETEK*, 2022.
- [17] A. Kumar and R. Sharma, “Modified Failure Mode and Effect Analysis Approach for Maintenance Risk Assessment,” *Eng. Fail. Anal.*, 2023.
- [18] A. Pratama and S. Prayogi, “Implementasi Generator Set Pada Gedung Main Powerhouse 1 Untuk Daya Listrik Cadangan,” *Techno.Com*, 2025.