

Implementation of Reliability Centered Maintenance II (RCM II) on Gas Turbine Generator System

Implementasi Reliability Centered Maintenance II (RCM II) pada Gas Turbin Generator Sistem

Raihan Maulana Zulfikar¹⁾, Rachmat Firdaus²⁾

¹⁾Program Studi Teknik Mesin, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia

²⁾Program Studi Teknik Mesin, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia

firdausr@umsida.ac.id

Abstract. Reliability Centered Maintenance II (RCM II) is a systematic approach for optimising risk-based maintenance strategies for critical equipment. This research aims to analyse the implementation of RCM II on Gas Turbine Generators (GTG) in the oil and gas industry. The research methods involve functional analysis, Failure Mode and Effects Analysis (FMEA), and risk prioritisation using Risk Priority Number (RPN). The conceptual results show that RCM II can identify critical components and formulate preventive and predictive maintenance schedules. The implementation of RCM II is expected to optimise labour and improve the operational reliability of the GTG System. This research demonstrates that RCM II is reliable, as the application of RCM II leads to a structured improvement of each component.

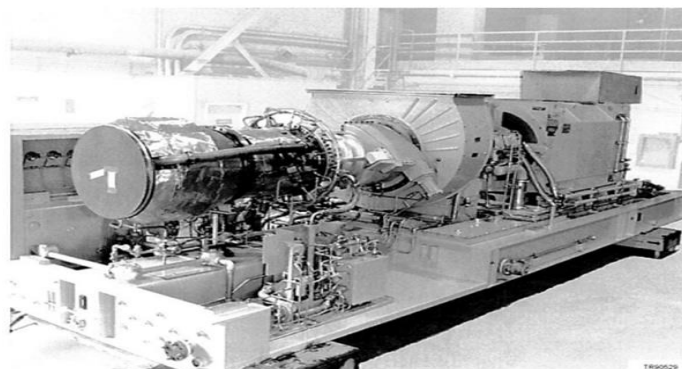
Keywords - Reliability Centered Maintenance II, Gas Turbine Generator, FMEA, Risk Priority Number.

Abstrak. Reliability Centered Maintenance II (RCM II) merupakan pendekatan sistematis untuk mengoptimalkan strategi pemeliharaan berbasis risiko pada peralatan kritis. Penelitian ini bertujuan menganalisis penerapan RCM II pada Gas Turbine Generator (GTG) di industri minyak dan gas. Metode penelitian mencakup analisis fungsi, Failure Mode and Effects Analysis (FMEA), serta menentukan prioritas risiko menggunakan Risk Priority Number (RPN). Hasil konseptual menunjukkan bahwa RCM II mampu mengidentifikasi komponen kritis serta merumuskan jadwal pemeliharaan preventif dan prediktif. Implementasi RCM II diharapkan mengoptimalkan tenaga kerja, dan meningkatkan keandalan operasional GTG System. Penelitian ini membuktikan bahwa RCM II dapat diandalkan dengan adanya RCM II perbaikan pada setiap komponen menjadi terstruktur.

Kata Kunci - Reliability Centered Maintenance II, Gas Turbine Generator, FMEA, Risk Priority Number.

I. PENDAHULUAN

Gas Turbine Generator (GTG) merupakan jantung operasional industri minyak dan gas, berperan sebagai sumber listrik utama yang mengonversi energi kimia (bahan bakar seperti gas alam) menjadi energi listrik melalui proses termodinamika. Sistem ini terdiri dari komponen-komponen kritis seperti kompresor, ruang bakar, turbin gas, dan generator (Gambar 1).[1] Kompresor bertugas memampatkan udara sebelum masuk ke ruang bakar, yang di mana campuran udara dan bahan bakar dibakar untuk menghasilkan gas panas bertekanan tinggi. Gas ini kemudian menggerakkan turbin, menghasilkan energi mekanik yang dibuat menjadi listrik oleh generator.[2]



Gambar 1. Gas Turbine Generator

Copyright © Universitas Muhammadiyah Sidoarjo. This preprint is protected by copyright held by Universitas Muhammadiyah Sidoarjo and is distributed under the Creative Commons Attribution License (CC BY). Users may share, distribute, or reproduce the work as long as the original author(s) and copyright holder are credited, and the preprint server is cited per academic standards.

Authors retain the right to publish their work in academic journals where copyright remains with them. Any use, distribution, or reproduction that does not comply with these terms is not permitted.

Peran GTG sangat vital bagi industri, karena gangguan pada sistem ini dapat menyebabkan pemadaman listrik mendadak, kerugian produksi hingga miliaran rupiah, dan risiko keselamatan akibat kebocoran gas atau ledakan. Sebagai contoh, kegagalan pada ruang bakar (combustion chamber) akibat akumulasi kerak karbon dapat mengurangi efisiensi pembakaran sementara keausan sudu turbin akibat paparan suhu ekstrem berpotensi memicu blade failure yang merusak seluruh sistem.[3]

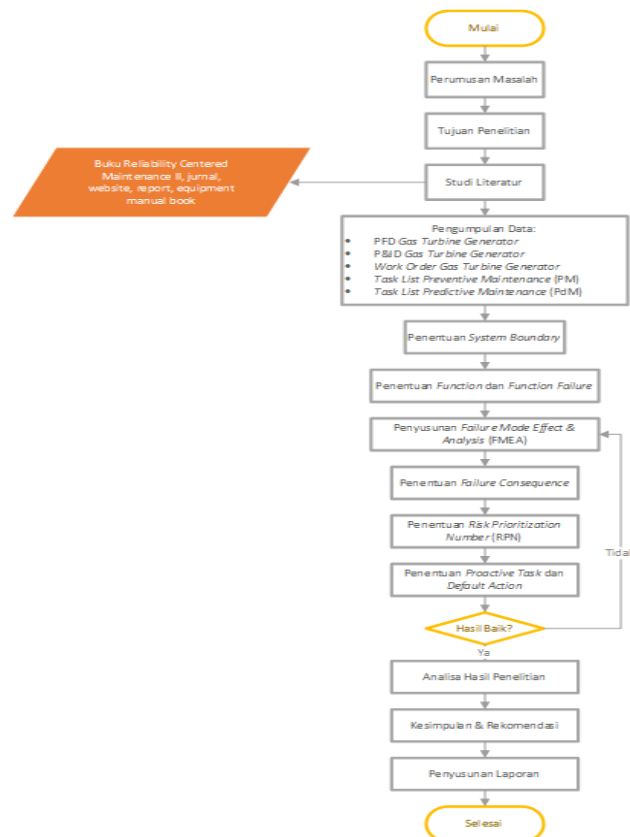
Sayangnya, strategi pemeliharaan konvensional yang bersifat reaktif (run-to-failure) dan generik masih banyak diterapkan. Pendekatan ini cenderung mengabaikan analisis risiko kegagalan spesifik, sehingga mengakibatkan over-maintenance pada komponen minor atau under-maintenance pada komponen kritis. Sebuah studi oleh Darwito (2015) pada Gas Sweetening System menunjukkan bahwa biaya pemeliharaan terbuang untuk komponen non-kritis akibat kurangnya analisis berbasis risiko.[4]

Reliability Centered Maintenance II (RCM II), yang dipopulerkan oleh John Moubray, menawarkan solusi melalui Failure Mode and Effects Analysis (FMEA), dan penentuan risiko menggunakan Risk Priority Number (RPN). Metode ini telah terbukti mengurangi downtime pada sistem energi, seperti yang diimplementasikan pada Analisis Efek Kegagalan yang terjadi pada Performa GTG Berbasis FMEA. Penelitian ini bertujuan mengadopsi RCM II untuk mengoptimalkan pemeliharaan GTG, dengan fokus pada komponen kritis dan dampaknya terhadap efisiensi biaya serta alokasi tenaga kerja.[5]

II. METODE

2.1 Diagram Alir Penelitian

Penelitian ini dilakukan berdasarkan diagram alir penelitian pada gambar dibawah ini :



Gambar 2. Diagram Alir Penelitian

2.2 Langkah Langkah di atas dapat dijabarkan sebagai berikut :

1. Penentuan *System Boundary*
2. Penentuan *Function dan Function Failure*
3. Penyusunan *Failure Mode and Effect Analysis (FMEA)*
4. Penyusunan *Failure Consequences (FMEA)*
5. Penentuan *Risk Priority Number (RPN)*

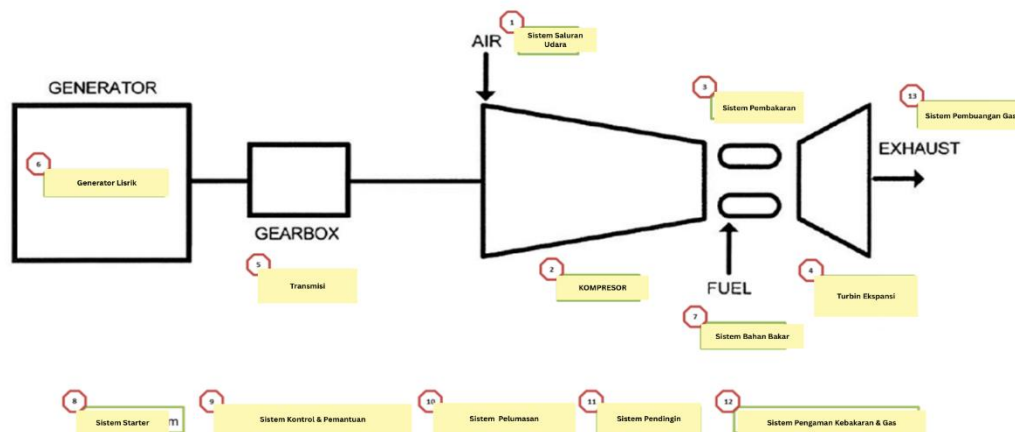
2.3 Penentuan *Proactive Task dan Default Action*

Proses ini menentukan tindakan proaktif yang dapat diterapkan untuk mencegah atau mendeteksi kegagalan sebelum terjadi. Tindakan proaktif yang dipilih berdasarkan jenis kegagalan meliputi perawatan terjadwal, perawatan bersyarat, dan tugas pencarian kegagalan. Untuk kegagalan yang tidak dapat dicegah melalui tindakan proaktif, ditetapkan default action yang memberikan langkah korektif atau mitigasi yang harus diambil jika kegagalan terjadi. Proactive Task dan Default Action diperoleh dari RCM II *Decision Diagram*, Simple FMEA dan Run to Failure Strategy.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Gambaran Umum Objek Studi

Gas Turbine Generator (GTG) yang menjadi objek dalam studi ini merupakan unit pembangkit tenaga listrik utama di fasilitas PT. XYZ. GTG terdiri dari beberapa komponen utama seperti *air inlet, compressor, combustion, power turbine, lube oil system, generator, dan lain-lain*.



Gambar 2. *System Boundary* GTG

Adapun fungsi-fungsi komponen yang ada di dalam *system boundary* GTG, sebagai berikut:

3.2 Hasil Identifikasi Fungsi dan *Functional Failure*

Berdasarkan hasil workshop RCM yang melibatkan tim lintas disiplin, diperoleh function dan functional failure sebagai berikut.

Tabel 1. *Function dan Functional Failure* GTG.

NO	KOMPONEN	FUNGSI	EFEK KEGAGALAN
1	Sistem Saluran Udara	Menyediakan udara bersih untuk proses pembakaran	Tidak mampu menyediakan udara bersih dengan tekanan/volume yang memadai
2	Kompresor	Meningkatkan tekanan udara masuk sebelum pembakaran	Tekanan udara tidak sesuai spesifikasi
3	Sistem Pembakaran	Membakar campuran udara dan bahan bakar untuk menghasilkan energi panas	Tidak terjadi proses pembakaran yang stabil
4	Turbin Ekspansi	Mengkonversi energi panas menjadi energi mekanik	Putaran turbin tidak mencapai kecepatan yang dibutuhkan

NO	KOMPONEN	FUNGSI	EFEK KEGAGALAN
5	Transmisi	Mentransfer tenaga mekanik dari turbin ke generator	Tidak mentransmisikan daya dengan efisien
6	Generator Listrik	Mengubah energi mekanik menjadi energi listrik	Tidak menghasilkan output listrik
7	Sistem Bahan Bakar	Menyalurkan bahan bakar ke ruang bakar	Tidak mampu mensuplai bahan bakar dengan tekanan/volume sesuai kebutuhan
8	Sistem Starter	Memungkinkan turbin mulai berputar untuk start-up	Gagal memutar turbin untuk inialisasi proses
9	Sistem Kontrol & Pemantauan	Mengendalikan dan memantau semua parameter sistem	Tidak mengirimkan sinyal kontrol atau menampilkan data yang akurat
10	Sistem Pelumasan	Melumasi bagian-bagian yang bergerak	Pelumasan tidak mencukupi atau tidak tersedia
11	Sistem Pendingin	Menjaga suhu sistem agar tetap dalam batas aman	Tidak mampu menurunkan suhu sistem sesuai kebutuhan
12	Sistem Pengaman Kebakaran & Gas	Mendeteksi dan mengendalikan kebakaran dan kebocoran gas	Tidak mendeteksi atau merespons kondisi abnormal
13	Sistem Pembuangan Gas	Membuang gas buang dari ruang bakar secara aman	Aliran gas buang terhambat atau tidak keluar sesuai spesifikasi

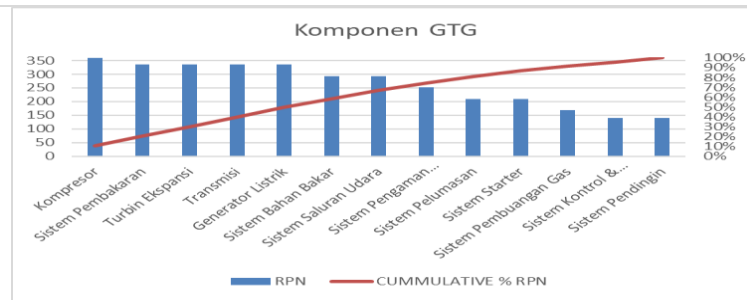
3.3 Hasil FMEA dan RPN

Dalam studi ini, didapatkan hasil evaluasi RPN, sebagai berikut:

Tabel 2. Hasil Analisa RPN Paretp *Componet-Failure Mode* GTG

KOMPONEN	MODE KEGAGALAN	SEVERITY (S)	OCCURRENCE (O)	DETECTION (D)	RPN	CUMMULATIVE RPN	CUMMULATIVE % RPN
Kompresor	Kerusakan	10	6	6	360	360	11%
Sistem Pembakaran	Kerusakan	8	6	7	336	696	20%
Turbin Ekspansi	Kerusakan	7	6	8	336	1032	30%
Transmisi	Kerusakan	7	6	8	336	1368	40%
Generator Listrik	Gagal Produksi Daya	7	6	8	336	1704	50%
Sistem Bahan Bakar	Gagal Dioperasikan	7	6	7	294	1998	59%
Sistem Pelumasan	Gagal Dioperasikan	7	6	7	294	2292	67%
Sistem Saluran Udara	Penurunan Kinerja	7	6	6	252	2544	75%
Sistem Pengaman Kebakaran & Gas	Pembacaan instrument tidak normal	7	6	5	210	2754	81%
Sistem Kontrol & Pemantauan	Pembacaan instrument tidak normal	7	6	5	210	2964	87%
Sistem Pembuangan Gas	Penurunan Kinerja	3	8	7	168	3132	92%
Sistem Starter	Gagal Dioperasikan	5	4	7	140	3272	96%
Sistem Pendingin	Penurunan Kinerja	5	4	7	140	3412	100%

Dengan hasil FMEA dan RPNnya yang ada kompresor mengalami kerusakan dengan total RPN 360 memiliki efek kegagalan tekanan udara tidak sesuai spesifikasi yang menyebabkan Peralatan berhenti beroperasi, serta bisa menyebabkan trip sistem. Dan hasil untuk sistem pembakaran mengalami kerusakan dengan total RPN 336 memiliki efek kegagalan tidak terjadi proses pembakaran yang stabil dan juga peralatan tidak bisa dinyalakan atau beroperasi saat dibutuhkan. Dari 2 komponen ini termasuk *high priority failure mode* (mode kegagalan prioritas tinggi) 0 - 20% RPN yang dimana 2 komponen ini masuk kedalam RCM II, dengan hasil grafik pareto seperti di gambar 3.



Gambar 3. Grafik RPN Pareto *Component-Failure Mode GTG*

Adapun rekomendasi dicantumkan dalam tabel berikut.

Tabel 3. Rekomendasi dari hasil analisa RPN.

KOMPONEN	MODE KEGAGALAN	TINDAK LANJUT
Kompresor	Kerusakan	RCM
Sistem Pembakaran	Kerusakan	RCM
Turbin Ekspansi	Kerusakan	SIMPLE FMEA
Transmisi	Kerusakan	SIMPLE FMEA
Generator Listrik	Gagal Produksi Daya	SIMPLE FMEA
Sistem Bahan Bakar	Gagal Dioperasikan	SIMPLE FMEA
Sistem Pelumasan	Gagal Dioperasikan	SIMPLE FMEA
Sistem Saluran Udara	Penurunan Kinerja	SIMPLE FMEA
Sistem Pengaman Kebakaran & Gas	Pembacaan instrument tidak normal	SIMPLE FMEA
Sistem Kontrol & Pemantauan	Pembacaan instrument tidak normal	SIMPLE FMEA
Sistem Pembuangan Gas	Penurunan Kinerja	SIMPLE FMEA
Sistem Starter	Gagal Dioperasikan	SIMPLE FMEA
Sistem Pendingin	Penurunan Kinerja	SIMPLE FMEA

Selanjutnya berdasarkan hasil rekomendasi dari RPN, dilakukan analisa lebih lanjut untuk penentuan strategi pemeliharaan (proactive task dan default action)

1. *High Priority Failure Mode*, dengan menggunakan *RCM II*.
2. *Medium Priority Failure Mode*, dengan *simple FMEA*.
3. *Low Priority Failure Mode*, otomatis tanpa strategi pemeliharaan atau *Run to Failure*.

3.5 Penentuan Strategi Pemeliharaan

Hasil penentuan strategi pemeliharaan berdasarkan *RCM II Decision Diagram* ini dan *Simple FMEA*, ditampilkan seperti di dalam tabel 9 dan 10 di bawah ini

Tabel 4. Hasil Penentuan Strategi Pemeliharaan *RCM II Decision Diagram*.

Referensi Informasi	Evaluasi Konsekuensi	H1			H2			H3			Tugas Default	Tugas Proaktif	Tugas yang Direkomendasikan	Standar Kinerja	Interval	Teknis	Kategori	Jam Kerja	
		S1	S2	S3	E1	E2	E3	O1	O2	O3									N1
Komponen	Mode Kegagalan	E	S	E	O	N	N1	N2	N3	H4	H5	S4							
Kompresor	Kerusakan	Y	Y				N	N	N	N	N	Y	Lakukan tugas kombinasi terjadwal	1. Analisis Gelaran	Getaran ≤ batas ISO 10816	Bulanan	PdM	Pemantauan Kondisi	2
														2. Pemeriksaan bantalan	Tidak ada kondisi abnormal	3 Tahun	Mekanik	Pengujian & inspeksi	4
														3. Analisis Oli	Oli: TAN & Viskositas sesuai	Bulanan	PdM	Pemantauan Kondisi	2
Sistem Pembakaran	Kerusakan	Y	Y				N	N	N	N	N	Y	Lakukan tugas kombinasi terjadwal	1. Inspeksi pembakaran	Api stabil dalam 5 detik	6 Bulan	Instrumen	Pengujian & inspeksi	2
														2. Pemeriksaan temokopel	Kenaikan suhu ≤ spesifikasi	Bulanan	Instrumen	Pemantauan Kondisi	2
														3. Uji delektro api	Tidak ada kondisi abnormal	6 Bulan	Instrumen	Uji Berkala	2

IV. KESIMPULAN

Implementasi Reliability-Centered Maintenance II pada sistem *Gas Turbine Generator (GTG)* terbukti efektif dan efisien dalam mengidentifikasi komponen-komponen kritis dan dapat menentukan strategi pemeliharaan yang sesuai berdasarkan tingkat risiko. Melalui analisis FMEA dan evaluasi *Risk Priority Number (RPN)*, ditemukan bahwa sebagian besar kegagalan pada sistem GTG disebabkan oleh kerusakan mekanis, pelumasan tidak memadai, dan kegagalan komponen pendukung seperti sistem kontrol dan pelindung. Komponen dengan RPN tertinggi seperti kompresor, sistem pembakaran, dikategorikan sebagai prioritas tinggi dan ditetapkan strategi pemeliharaan proaktif berdasarkan diagram keputusan RCM II. Meski komponen dengan risiko sedang menggunakan pendekatan simple FMEA dan risiko rendah diterapkan ke strategi run to failure. Implementasi RCM II bukan sekedar meningkatkan keandalan operasional sistem GTG, tetapi juga mengoptimalkan efisiensi tenaga kerjadan biaya pemeliharaan. Studi ini memberikan rekomendasi praktis bagi industri untuk mengadopsi pendekatan RCM II dalam pengelolaan aset kritis guna meningkatkan keberlangsungan dan keselamatan operasional.

UCAPAN TERIMA KASIH

Saya mengucapkan terima kasih kepada Program Studi Teknik Mesin Universita Muhammadiyah Sidoarjo yang telah memberikan ilmu dan wawasan yang bermanfaat, serta kepada orang tua dan teman-teman saya yang telah membantu saya dalam menyelesaikan penelitian ini.

REFERENSI

- [1] H. B. Tambunan *et al.*, "The challenges and opportunities of renewable energy source (RES) penetration in Indonesia: Case study of Java-Bali power system," *Energies (Basel)*, vol. 13, no. 22, Nov. 2020, doi: 10.3390/en13225903.
- [2] A. Prayoga Dhaneswara, F. Achmadi, M. Teknik Industri, F. Teknologi Industri, and I. Teknologi Adhi Tama Surabaya, "Analisa Komponen Kritis Dan Penerapan Reliability Centered Maintenance II (RCM II) (Studi Kasus: Gas Turbine Compressor (GTC) Pada Fasilitas Eksplorasi Dan Produksi Lepas Pantai PT.X)."
- [3] O. Mohamed and A. Khalil, "Progress in modeling and control of gas turbine power generation systems: A survey," May 01, 2020, MDPI AG. doi: 10.3390/en13092358.
- [4] I. Purwadi Agus Darwito, "IMPLEMENTATION OF RELIABILITY CENTERED MAINTENANCE (RCM) ON GAS PURIFICATION PROCESS (GAS SWEETENING SYSTEM)," 2015.
- [5] "PERANCANGAN SISTEM PEMELIHARAAN PADA TURBIN 103-JT MENGGUNAKAN METODE RELIABILITY CENTERED MAINTENANCE (RCM) (STUDI KASUS: PT. PETROKIMIA GRESIK UNIK AMONIA PABRIK I)."
- [6] "ANALISIS KERUSAKAN MESIN TURBIN GAS MS6001 GENERAL ELECTRIC 1 (GE 1) DENGAN MENGGUNAKAN METODE FAILURE MODE AND EFFECT."
- [7] R. Bahauddin Azmi, R. Alif Hidayatullah, and A. Hesthi Permata Ningtyas, "ANALISIS EFEK KEGAGALAN PADA PERFORMA TURBIN GAS BERBASIS FMEA (FAILURE MODE AND EFFECTS ANALYSIS)," 2024.
- [8] J. F. Pangaribuan, A. Persat, I. Budiman, and G. Aloina, "Identifikasi Penyebab Kerusakan dengan Pendekatan Failure Mode and Effect Analysis," *JIME (Journal of Industrial and Manufacture Engineering)*, vol. 4, no. 2, pp. 2549–6336, 2020, doi: 10.31289/jime.v4i2.3610.
- [9] R. Bahauddin Azmi, R. Alif Hidayatullah, and A. Hesthi Permata Ningtyas, "ANALISIS EFEK KEGAGALAN PADA PERFORMA TURBIN GAS BERBASIS FMEA (FAILURE MODE AND EFFECTS ANALYSIS)," 2024.
- [10] E. Purnomo, J. Teknik Industri, and I. Teknologi Adhi Tama Surabaya, "Manajemen Risiko Operasional untuk Meningkatkan Kinerja Departemen Injection dengan Metode Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) dan Fault Tree Analysis (FTA) (Studi Kasus : PT. XYZ)."
- [11] Olufemi Oluseun Sanyaolu, Ayodele Samuel Onawumi, Abiola Olufemi Ajayeoba, and Nathaniel Abidemi Akinrinade, "Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) of a Taurus 60 Gas Turbine Power Plant System (GTPPS), in Mowe, Nigeria," *World Journal of Advanced Engineering Technology and Sciences*, vol. 8, no. 2,

- pp. 175–182, Mar. 2023, doi: 10.30574/wjaets.2023.8.2.0082.
- [12] H. Ghasemian, “Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) of Gas Turbine Power Plant System (GTPPS).”
- [13] M. Rinoza and F. Ahmad Kurniawan, “ANALISA RPN (RISK PRIORITY NUMBER) TERHADAP KEANDALAN KOMPONEN MESIN KOMPRESOR DOUBLE SCREW MENGGUNAKAN METODE FMEA DI PABRIK SEMEN PT. XYZ,” Online, 2021.
- [14] M. Catelani, L. Ciani, D. Galar, and G. Patrizi, “Risk assessment of a wind turbine: A New FMECA-Based tool with RPN threshold estimation,” *IEEE Access*, vol. 8, pp. 20181–20190, 2020, doi: 10.1109/ACCESS.2020.2968812.
- [15] H. Dzulyadain, E. Budiasih, and F. T. Dwi Atmaji, “Proposed maintenance policy using reliability centered maintenance (RCM) method with FMECA analysis: A case study of automotive industry,” *IOP Conf Ser Mater Sci Eng*, vol. 1034, no. 1, p. 012111, Feb. 2021, doi: 10.1088/1757-899x/1034/1/012111
- [16] “Reliability-Centered-Maintenance-II”.

Conflict of Interest Statement:

The author declares that the research was conducted in the absence of any commercial or financial relationships that could be construed as a potential conflict of interest.