

Penerapan Metode *Failure Mode And Effect Analysis (FMEA)* Untuk Menilai Risiko Kegagalan Komponen *Mainsubstation*

Salsabillah Fatimah Aulia Zulfikar¹, Rachmad Tri Soelstijono¹ dan Galih Anindita¹

^{1,2,3}Program Studi Teknik Keselamatan dan Kesehatan Kerja, Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Surabaya 60111

*E-mail: sfatimah18@student.ppns.ac.id

Abstrak

Sistem distribusi listrik memiliki peran krusial dalam menjaga kelancaran proses produksi di industri manufaktur, terutama untuk menjamin keandalan dan keselamatan suplai energi ke peralatan produksi. *Mainsubstation* merupakan salah satu komponen inti yang terdiri dari berbagai perangkat seperti grounding disconnect switch, circuit breaker, dan transformer. Gangguan pada peralatan ini, seperti sinyal palsu pada relay proteksi, kesalahan pengoperasian manual, dan kerusakan mekanis akibat kurangnya pemeliharaan, dapat menyebabkan berhentinya proses produksi dan kerugian signifikan. Penelitian ini bertujuan menganalisis potensi kegagalan peralatan *Mainsubstation* menggunakan metode Failure Mode and Effect Analysis (FMEA). Analisis dilakukan dengan mengidentifikasi mode kegagalan, menilai tingkat keparahan (Severity), kemungkinan kejadian (Occurrence), dan kemampuan deteksi (Detection) untuk memperoleh nilai Risk Priority Number (RPN). Hasil penelitian menunjukkan bahwa grounding disconnect switch memiliki nilai RPN tertinggi sebesar 140, yang menandakan risiko tertinggi terhadap keandalan sistem distribusi listrik. Kontribusi utama penelitian ini adalah memberikan rekomendasi pemeliharaan preventif berupa inspeksi berkala, pelapisan ulang, dan peningkatan kualitas instalasi untuk mengurangi potensi gangguan. Temuan ini diharapkan menjadi acuan bagi industri dalam menyusun strategi pemeliharaan yang lebih efektif.

Kata Kunci: FMEA, *Mainsubstation*, Sistem Distribusi Listrik, Risk Priority Number, Pemeliharaan Preventif

Abstract

The electrical distribution system plays a vital role in ensuring the continuity of production processes in the manufacturing industry, particularly in maintaining the reliability and safety of power supply to production equipment. One of the crucial parts of this system is the Mainsubstation, which consists of various components such as grounding disconnect switches, circuit breakers, transformers, and others. Common issues include false signals in protection relays, manual operation errors, and mechanical failures due to inadequate maintenance. This study aims to analyze the potential failures of Mainsubstation equipment using the Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) method. Each failure mode is evaluated based on Severity, Occurrence, and Detection levels to calculate the Risk Priority Number (RPN), which is used to prioritize corrective actions on critical components. The results indicate that the component with the highest RPN value is the grounding disconnect switch, with a score of 140, indicating a significant risk to the reliability of the electrical distribution system. Maintenance recommendations are focused on periodic inspections, recoating, and improving installation quality. Through the implementation of FMEA, companies can design more effective preventive maintenance strategies to minimize the risk of failure in the electrical distribution system.

Keywords: FMEA, *Mainsubstation*, Electrical Distribution System, Risk Priority Number, Preventive Maintenance

1. PENDAHULUAN

Industri manufaktur semen merupakan sektor strategis yang menyediakan bahan baku penting bagi pembangunan infrastruktur dan properti. Proses produksi di industri ini bergantung pada ketersediaan energi listrik yang stabil dan andal untuk mengoperasikan mesin-mesin produksi secara terus-menerus. Gangguan pada suplai listrik dapat menghentikan proses produksi, menimbulkan kerugian finansial, dan berdampak pada keterlambatan

proyek

konstruksi.

Mainsubstation berperan sebagai pusat distribusi listrik yang menerima pasokan tegangan tinggi dari PLN dan mendistribusikannya ke seluruh bagian pabrik. Keandalan setiap komponennya, seperti disconnecting switch, grounding disconnect switch, circuit breaker, dan transformer, sangat menentukan kelancaran operasi. Namun, studi terdahulu umumnya hanya berfokus pada aspek teknis operasi tanpa mengkaji secara sistematis prioritas risiko kegagalan setiap komponen menggunakan metode kuantitatif seperti FMEA.

Analisis FMEA diperlukan untuk mengidentifikasi mode kegagalan yang berpotensi mengganggu distribusi listrik dan menentukan prioritas penanganannya. Dengan pendekatan ini, perusahaan dapat merancang strategi pemeliharaan preventif berbasis data yang lebih tepat sasaran.

Sistem distribusi listrik merupakan komponen vital dalam industri manufaktur yang mendukung kelancaran operasional berbagai mesin dan peralatan produksi. Tanpa adanya pasokan listrik yang stabil dan andal, proses produksi bisa terganggu, yang berpotensi menyebabkan kerugian finansial dan waktu yang terbuang. Karena itu peralatan listrik harus selalu dalam kondisi baik. Main substation adalah gardu induk yang menyuplai kebutuhan listrik untuk plant. Gardu ini menerima pasokan listrik 150kV dari PLN dan mendistribusikannya ke berbagai bagian pabrik. Terdapat beberapa komponen penting seperti DS dan Ground DS, Circuit breaker transformer, current transformer, voltage transformer, transformator dan neutral ground resistor (Annisa & Mardiansah, 2023)

2. METODE

Penelitian ini menggunakan metode FMEA untuk menganalisis potensi kegagalan peralatan Mainsubstation. Tahapan pelaksanaan FMEA meliputi:

1. Identifikasi mode kegagalan melalui pemeriksaan fisik, wawancara teknisi, dan studi dokumentasi pemeliharaan.
2. Penilaian parameter S, O, dan D berdasarkan skala baku, dengan mempertimbangkan tingkat keparahan dampak, frekuensi kejadian, dan kemampuan deteksi kegagalan.
3. Perhitungan RPN menggunakan persamaan: $RPN = S \times O \times D$
4. Penentuan prioritas risiko dan penyusunan rekomendasi pemeliharaan.

Proses expert judgement melibatkan tiga teknisi senior dengan pengalaman di atas 10 tahun dalam operasi dan pemeliharaan sistem kelistrikan pabrik. Data kegagalan historis diperoleh dari log pemeliharaan perusahaan selama tiga tahun terakhir, dilengkapi dengan hasil observasi langsung di lapangan.

Analisis Failure Mode and Effect Analysis (FMEA). Analisis FMEA terdapat beberapa tahap yaitu, menetapkan mode kegagalan dari proses peralatan mainsubstation. Tahap ini dilakukan menentukan titik-titik kegagalan yang menyebabkan terjadinya kegagalan. Setelah itu, dilakukan evaluasi dengan perhitungan nilai Risk Priority Number (RPN). Di mana RPN adalah hasil perkalian dari Severity (S), Occurrence (O), Detection (D). Severity adalah tingkat keparahan akibat dari proses yang gagal pada proses produksi dan aktivitas yang ada, Occurrence adalah penentuan nilai gangguan yang bisa menyebabkan kegagalan produksi, Detection adalah kemampuan mendeteksi kegagalan proses yang bisa diketahui sebelum terjadinya kegagalan tersebut (Rahman, 2021).

Penilaian FMEA ditentukan dari perhitungan frekuensi terjadinya kegagalan berdasarkan data historis kegagalan perusahaan (Nurjanah et al., 2023). Untuk melakukan penentuan titik kegagalan dapat dilakukan dengan penentuan nilai RPN dengan cara perkalian antara nilai severity, occurrence, dan detection dimana nilai tersebut hasil dari identifikasi dari setelah melakukan diskusi dengan expert judgement. Perhitungan dari RPN sebagai berikut.

$$RPN = S \times O \times D$$

Nilai RPN yang muncul menunjukkan tingkat kepentingan terhadap perhatian yang diberikan untuk area/komponen yang terdapat dalam sistem (Suherman & Cahyana, 2019). Tabel 1, Tabel 2 dan Tabel 3 secara berurutan menunjukkan kriteria dari tingkat severity, occurrence dan detection. Terdapat 10 tingkat severity yang terdapat pada Tabel 1. Severity terbesar dideskripsikan dengan "Risiko tanpa peringatan" sedangkan yang paling rendah dideskripsikan dengan "tidak ada". Kriteria occurrence juga memiliki 10 tingkatan. Kriteria "sangat tinggi" dideskripsikan sebagai yang paling tinggi dari occurrence sedangkan "sangat rendah" menjadi kriteria yang paling rendah. Jumlah tingkatan sebanyak 10 juga digunakan untuk kategori detection. Kriteria atau tingkatan paling tidak mungkin terdeteksi dideskripsikan dengan "absolute uncertainty" yang bernilai 10, sedangkan tingkatan yang hampir pasti bisa terdeteksi dideskripsikan dengan "hampir pasti" dengan nilai 1.

Tabel 1. Kategori tingkat keparahan (severity)

Tingkat Keparahahan	Keterangan	Skor
Berbahaya tanpa peringatan	Tingkat keparahan sangat tinggi: memengaruhi operator, pabrik atau personel pemeliharaan; keselamatan dan/atau dampak yang tidak sesuai dengan peraturan pemerintah	10
Berbahaya dengan peringatan	Tingkat keparahan tinggi: memengaruhi operator, pabrik atau personel pemeliharaan; keselamatan dan/atau dampak yang tidak sesuai dengan peraturan pemerintah	9
Waktu henti yang sangat tinggi atau komponen yang rusak	Waktu henti lebih dari 8 jam	8
Waktu henti yang tinggi atau suku cadang yang rusak	Waktu henti lebih dari 4 – 7 jam	7
Waktu henti sedang atau komponen rusak	Waktu henti lebih dari 1 – 3 jam	6
Waktu henti rendah atau suku cadang rusak	Waktu henti 30 menit hingga 1 jam	5
Sangat rendah	Waktu henti 30 menit dan tidak ada komponen yang rusak	4
Efek Kecil	Variabilitas parameter proses melampaui batas control atas/bawah; penyesuaian atau control proses perlu dilakukan. Tidak ada komponen yang rusak	3
Efek yang Sangat kecil	Variabilitas parameter proses dalam batas control atas/bawah; penyesuaian atau control proses perlu dilakukan. Tidak ada komponen yang rusak	2
Tidak berpengaruh	Variabilitas parameter proses dalam batas control atas/bawah; penyesuaian atau control proses tidak diperlukan atau dapat dilakukan diantara shift atau selama kunjungan perawatan normal. Tidak ada komponen yang rusak	1

(Bahir Degu & Moorthy, 2014)

Tabel 2. Kategori tingkat keseringan (occurance)

Occurance	Deskripsi	Skor
Sangat tinggi: Kegagalan hampir tidak dapat dihindari	Lebih dari satu kejadian per hari atau kemungkinan lebih dari 1 kejadian pada setiap 2 kejadian	10
	Satu kejadian setiap tiga sampai empat hari atau kemungkinannya 1 dari 3	9
Tinggi: Kegagalan berulang	Satu kejadian per minggu atau kemungkinannya 1 berbanding 8	8
	Satu kejadian per bulan atau kemungkinannya 1 banding 20	7
Sedang: Kegagalan sesekali	Satu kejadian setiap tiga bulan atau kemungkinannya 1 banding 80	6
	Satu kejadian setiap enam bulan hingga satu tahun atau kemungkinannya 1 banding 400	5
	Satu kejadian per tahun atau kemungkinannya 1 banding 2.000	4
Rendah: Kegagalan relative sedikit	Satu kejadian setiap satu atau dua tahun atau kemungkinannya 1 banding 15.000	3
	Satu kejadian setiap tiga sampai lima tahun atau kemungkinannya 1 banding 150.000	2
Tidak ada: Kegagalan tidak mungkin terjadi	Satu kejadian dalam lebih dari lima tahun atau probabilitas 1 dalam >150.000	1

(Spring, 2004)

Tabel 3. Kategori pendeteksian kegagalan (detection)

<i>Detection</i>	<i>Deskripsi</i>	<i>Ranking</i>
Hampir pasti	Potensi penyebab dan kegagalan akan selalu terdeteksi	10
Sangat tinggi	Sangat tinggi kemungkinan untuk dideteksi	9
Tinggi	Kemungkinan besar untuk dideteksi	8
Menengah ke atas	Kemungkinan cukup tinggi untuk dideteksi	7
Sedang	Kemungkinan sedang untuk dideteksi	6
Rendah	Kemungkinan kecil untuk dideteksi	5
Sangat rendah	Sangat kecil kemungkinannya untuk dideteksi	4
Kecil	Kemungkinan kecil untuk dideteksi	3
Sangat kecil	Sangat kecil kemungkinannya untuk dideteksi	2
Tidak pasti	Tidak terdeteksi	1

(Faqih et al., 2021)

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Mode kegagalan komponen dari peralatan mainsubstation disajikan pada Tabel 4. Terdapat 10 mode kegagalan yang akan dianalisis. Mode kegagalan komponen tersebut telah dihitung nilai RPN – nya berdasarkan perkalian SOD yang telah dihasilkan melalui expert judgement.

Tabel 4. Tabel FMEA komponen peralatan Mainsubstation

No	Komponen	Failure Mode	Effect	Cause	S	O	D	RPN	Current Control
1	<i>Grounding Disconnect Switch</i>	Korosi ringan pada terminal	Ground tidak optimal	Kelembaban dan usia	7	4	5	140	Inspeksi visual tahunan
2	<i>Circuit Breaker</i>	Mekanisme tersendat debu	CB gagal trip	Debu menumpuk	8	3	5	120	Pembersihan tahunan
3	<i>Circuit Breaker</i>	Debu menumpuk pada isolator	Gangguan isolasi	Kurang pembersihan	7	4	4	112	Pembersihan isolator periodik
4	<i>Current Transformer</i>	Kabel longgar pada terminal CT	Sinyal proteksi tidak akurat	Pemasangan kurang baik	7	4	4	112	Inspeksi sambungan & uji isolasi
5	<i>Voltage Transformer</i>	Sensor suhu tidak akurat	Proteksi thermal tidak aktif	Sensor rusak	6	3	5	90	Kalibrasi sensor suhu
6	<i>Disconnecting Switch</i>	Baut penghubung longgar	Kontak tidak stabil	Keausan	6	4	4	96	Pengencangan tiap inspeksi
7	<i>Disconnecting Switch</i>	Terminal koneksi kendur	Kontak listrik tidak stabil	Pemasangan kurang baik	6	4	4	96	Inspeksi koneksi tiap shutdown
8	<i>Disconnecting Switch</i>	Gangguan mekanisme pengunci	Gagal buka / tutup	Karatan	7	3	4	84	Pengujian buka/tutup tiap shutdown
9	<i>Circuit Breaker</i>	Terminal koneksi kendur	Arus tidak mengalir sempurna	Getaran	7	3	4	84	Uji sambungan tahan arus
10	<i>Voltage Transformer</i>	Pelindung kabel rusak /	Isolasi terganggu	Penuaan	6	3	4	72	Pemeriksaan fisik isolasi

		terkelupas							
--	--	------------	--	--	--	--	--	--	--

Berdasarkan hasil perhitungan, grounding disconnect switch memperoleh nilai RPN tertinggi sebesar 140. Nilai ini dipengaruhi oleh kombinasi tingkat keparahan yang tinggi ($S = 7$), frekuensi kejadian sedang ($O = 4$), dan kemampuan deteksi yang masih terbatas ($D = 5$). Korosi pada terminal menjadi penyebab utama, yang dipicu oleh kelembapan lingkungan dan usia komponen.

Tingginya RPN pada komponen ini menunjukkan bahwa kegagalannya dapat menyebabkan gangguan serius pada keandalan sistem distribusi listrik, termasuk potensi terputusnya aliran listrik ke seluruh pabrik. Hal ini menegaskan pentingnya program inspeksi berkala, pelapisan ulang komponen, serta peningkatan kualitas instalasi untuk mencegah kerusakan dini.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan dari hasil penelitian pada peralatan *Mainsubstation* dengan menggunakan metode FMEA, maka dapat diambil kesimpulan bahwa nilai RPN (*Risk Priority Number*) tertinggi pada komponen peralatan *mainsubstation* terdapat pada komponen *Ground Disconnecting Switch* yaitu sebesar 140. Saran untuk penelitian selanjutnya yaitu, pengguna metode FMEA dapat lebih mendalami lagi dengan menggabungkan metode lain seperti metode *Layer Protection Analysis* (LOPA), *Bowtie*, dan metode lain yang bertujuan untuk identifikasi bahaya. Pengguna metode FMEA dapat menentukan identifikasi menggunakan sumber yang terbaru.

5. UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terimakasih penulis ditujukan kepada pembimbing on the job training yang telah bersedia menjadi *expert judgement* dan perusahaan tempat OJT yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan penelitian ini.

6. DAFTAR NOTASI

Risk Priority Number (RPN) = Nomor prioritas mode kegagalan hasil perkalian dari severity, occurrence, detection.
Severity (S) = Nilai tingkatkeparahan dari akibat yang ditimbulkan.

Occurrence (O) = Seberapa sering kemungkinan penyebab kegagalan terjadi.

Detection (D) = Seberapajauh penyebab kegagalan dapat terjadi (Anis & Luthfan, 2024).

DAFTAR PUSTAKA

- Anis, M., & Luthfan, H. A. (2024). *Evaluation of OHS practices based on work accident risk analysis using HIRA , FTA , and WISE methods (Case study : plastic recycling business X)*. 15005.
- Annisa, S. C., & Mardiansah, A. (2023). *Analisis Permasalahan Disconnecting Switch Pada Unit Induk Transmisi Jawa Barat*. 10(2).
- Bahir Degu, Y. M., & Moorthy, R. S. (2014). *Open Access Implementation of Machinery Failure Mode and Effect Analysis in*. 01, 57–63.
- Faqih, M., Arini, N. R., Elvian, H., & Prasetya, G. (2021). *The Development of A Reliability Evaluation Application for Power Plant Steam Turbine Vibrations to Predict Its Failure*. 9(2), 268–282.
- Nurjanah, D. A., Kusminah, I. L., Rachmat, A. N., & Nabella, N. (2023). *Analisis Penentuan Komponen Kritis Small Excavator Menggunakan Metode FMEA dan Diagram Pareto*. 1(1), 7–15.
- Rahman, A. (2021). *Penggunaan metode fmeca* (. 31(1), 110–119.
- Rislamy, A. F., Mahbubah, N. A., & Widyaningrum, D. (2020). *ANALISIS RISIKO KERUSAKAN PADA ALAT BERAT GRAB DENGAN METODE FAILURE MODE AND EFFECT ANALYSIS (Study Kasus: PT SIAM MASPION TERMINAL GRESIK)*. *PROFISIENSI: Jurnal Program Studi Teknik Industri*, 8(1), 36–43. <https://doi.org/10.33373/profis.v8i1.2553>
- Spring, S. (2004). *Failure Mode and Effects Analysis (FMEA) An Advisor 's Guide*. 20910(June).
- Suherman, A., & Cahyana, B. J. (2019). *Pengendalian Kualitas Dengan Metode Failure Mode Effect And Analysis (FMEA) Dan Pendekatan Kaizen untuk Mengurangi Jumlah Kecacatan dan Penyebabnya*. 1–9.