

Penggunaan Metode *Fuzzy Failure Mode and Effect Analysis* Pada Hasil Inspeksi Proteksi Katodik PT PGAS Solution Area Bekasi

Keisha Dinda Syamikha, Mega Cattleya Prameswari Annissaa Islami

Program Studi Teknik Industri, Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Jawa Timur, Surabaya

*Koresponden email: keidinda.syamikha@gmail.com, mega.cattleya.ti@upnjatim.ac.id

Diterima: 23 Desember 2024

Disetujui: 27 Desember 2024

Abstract

Cathodic protection is used to prevent corrosion in gas pipeline networks, so it is necessary to conduct regular inspections to ensure its effectiveness. This research uses the Fuzzy Failure Mode and Effect Analysis (Fuzzy FMEA) method to analyse the results of cathodic protection inspections on the PT PGAS Solution Area Bekasi gas pipeline network, identify the causes of failures, and determine the control actions that can be taken based on the cause of the failure. Data obtained from cathodic protection inspection activities and expert interviews show that the most common failures are those with low potential values. FRPN calculations using the Fuzzy FMEA method show that environmental factors are critical causes of low potential failures. The main cause is an environment with a soil barrier that is too high, so control measures can be taken by adding additional anodes, lowering the soil barrier or replacing the anode with a larger one. It is hoped that the results will become a recommendation for companies to solve the problem of low potential value disturbances in cathodic protection.

Keywords: *bekasi, cathodic protection, fuzzy, failure mode and effect analysis, gas pipeline*

Abstrak

Proteksi katodik digunakan untuk mencegah terjadinya korosi pada jaringan pipa gas, sehingga perlu dilakukan inspeksi berkala untuk memastikan efektivitasnya. Penelitian ini menggunakan metode *Fuzzy Failure Mode and Effect Analysis (Fuzzy FMEA)* untuk menganalisis hasil inspeksi proteksi katodik pada jaringan pipa gas PT PGAS Solution Area Bekasi, mengidentifikasi penyebab kegagalan, serta menentukan tindakan kontrol yang dapat dilakukan berdasarkan penyebab terjadinya gangguan. Dari data yang didapatkan melalui kegiatan inspeksi proteksi katodik dan wawancara kepada ahli menunjukkan bahwa gangguan yang terjadi paling banyak merupakan gangguan nilai potensial yang rendah. Perhitungan FRPN menggunakan metode *Fuzzy FMEA* menunjukkan bahwa faktor lingkungan menjadi faktor penyebab kritis pada gangguan nilai potensial yang rendah. Penyebab utamanya adalah lingkungan dengan tahanan tanah yang terlalu tinggi sehingga kegiatan kontrol yang dapat dilakukan adalah dengan menambah anoda tambahan, menurunkan tahanan tanah, atau dengan mengganti anoda dengan ukuran yang lebih besar. Dari hasil yang didapatkan diharapkan dapat menjadi rekomendasi bagi perusahaan untuk menyelesaikan masalah gangguan nilai potensial yang rendah pada proteksi katodik.

Kata Kunci: *bekasi, fuzzy, failure mode and effect analysis, proteksi katodik, pipa gas*

1. Pendahuluan

Suatu industri yang menghasilkan produk dalam bentuk barang ataupun jasa akan selalu memastikan produk yang mereka hasilkan dalam keadaan terbaik untuk dapat digunakan oleh klien [1]. Berbagai upaya dilakukan untuk memaksimalkan kualitas produk sesuai dengan standar yang dimiliki. Proses pembuatan produk tidak selalu berjalan sesuai dengan apa yang direncanakan. Adanya gangguan atau anomali pada produk bisa menjadi salah satu contohnya. Hal ini juga dapat menghambat berjalannya bisnis suatu perusahaan. Untuk meminimalisir hambatan, perusahaan harus sangat teliti dalam melakukan pengendalian kualitas produk dengan memanfaatkan ilmu pengetahuan, teknologi, dan inovasi yang ada [2].

PT PGAS Solution menjadi salah satu perusahaan yang salah satu fokusnya adalah operator operasi dan pemeliharaan jaringan distribusi pipa milik Perusahaan Gas Negara (PGN). Sehingga jaringan pipa menjadi hal yang memiliki peran penting bagi perusahaan. Jaringan pipa yang memiliki proteksi yang baik akan membantu distribusi gas berjalan dengan baik, tetapi dengan beragamnya kondisi yang dilalui oleh jaringan pipa akan memungkinkan terjadinya masalah pada ketahanan pipa. Dibutuhkan adanya proteksi bagi pipa agar gas dapat terdistribusi dengan baik. Pipa yang tidak terproteksi dengan baik dapat menimbulkan potensi untuk pipa terkena korosi yang dapat mengikis ketebalan pipa hal ini dapat berbahaya karena dapat mengurangi kekuatan pipa menahan tekanan operasi yang juga dapat berakibat pada

kebocoran yang dapat berakibat buruk bagi lingkungan. Selain dilakukan *coating* sebagai proteksi awal bagi pipa, PT PGAS Solution juga menggunakan proteksi katodik sebagai proteksi tambahan untuk benar-benar memastikan jaringan pipa terlindungi dengan baik.

Salah satu jaringan pipa dengan proteksi katodik yang menjadi tanggung jawab PT PGAS Solution dalam pengelolaan dan pemeliharaan adalah jaringan pipa gas Area Bekasi. Dalam kegiatan inspeksi dan pemeliharaan proteksi katodik ditemukan beberapa gangguan kerja pada proteksi katodik. Diperlukan tindakan pengendalian kualitas oleh perusahaan untuk mengembalikan atau memperbaiki gangguan pada proteksi katodik. Penggunaan *Fuzzy FMEA (failure mode effect and criticality analysis)* alat untuk melakukan identifikasi dan analisa pada mode kegagalan potensial dari suatu sistem [3]. Dampak dari kegagalan tersebut adalah apa yang harus dilakukan untuk menghindari kegagalan atau mengurangi dampak kegagalan pada proteksi katodik. Dengan dilakukannya penelitian ini, diharapkan dapat membantu perusahaan dalam mengevaluasi dan mengidentifikasi masalah yang mungkin terjadi.

Sebelum masuk kedalam pembahasan, diperlukan pengetahuan mengenai proteksi katodik terlebih dahulu. Proteksi katodik merupakan metode yang sering digunakan untuk mencegah korosi pada struktur baja yang terendam di lingkungan laut atau tanah. Teknik ini bekerja dengan menghubungkan struktur baja yang ingin dilindungi ke logam lain yang memiliki tingkat keelektronegatifan lebih rendah, atau dengan mengalirkan arus listrik menggunakan anoda eksternal. Dengan demikian, potensial struktur tersebut akan berkurang hingga berada di bawah batas proteksi, yaitu -850 mV sesuai dengan standar NACE (*The National Association of Corrosion Engineer*) RP-01-69 [4].

2. Metode Penelitian

Penelitian ini dilakukan di PT PGAS Solution Area Bekasi melalui program magang yang berlangsung dari awal September 2024 hingga akhir Desember 2024. Kegiatan ini bertujuan untuk menganalisis dan mengatasi gangguan pada sistem proteksi katodik jaringan pipa gas di wilayah Bekasi. Berdasarkan data historis hasil inspeksi, ditemukan adanya beberapa anomali yang mengganggu kinerja proteksi katodik. Lima gangguan utama yang menjadi fokus penelitian ini adalah rendahnya nilai anoda, rendahnya nilai potensial, hilangnya proteksi katodik, tiang pendek, dan hilangnya tutup. Gangguan-gangguan ini tidak hanya berdampak pada efisiensi sistem, tetapi juga berisiko membahayakan keberlangsungan operasional jaringan pipa. Oleh karena itu, penelitian ini difokuskan untuk mencari solusi berupa tindakan kontrol terhadap gangguan kritis yang terjadi. Proses penelitian dilakukan dengan menganalisis data historis dan inspeksi langsung di lapangan. Selain itu, beberapa metode pengolahan data digunakan untuk mendukung hasil analisis. Metode-metode tersebut mencakup pendekatan kuantitatif dan kualitatif yang dirancang sesuai dengan jenis gangguan yang ditemukan. Oleh karena itu dilakukan penelitian ini untuk mencari solusi tindakan kontrol yang dapat dilakukan pada gangguan kritis yang terjadi. Pada proses penelitian, digunakan beberapa metode dalam pengolahan data. Metode-metode tersebut adalah sebagai berikut.

Diagram Pareto

Diagram pareto digunakan dalam penentuan prioritas suatu kategori kejadian. Dari suatu data, dapat dilihat nilai yang merupakan nilai yang paling dominan. Penelitian ini dilakukan dengan melihat hasil nilai kumulatifnya [5]. Diagram Pareto adalah metode analisis yang digunakan untuk mengidentifikasi serta menentukan urutan prioritas masalah atau penyebab utama dalam suatu proses dan dikatakan bahwa terdapat sekitar 80% akibat berasal dari 20% penyebab [6]. Diagram ini menyajikan data dalam bentuk grafik batang yang menggambarkan tingkat kejadian atau dampak dari berbagai masalah, yang memungkinkan pihak terkait untuk fokus pada masalah yang paling signifikan [7]. Selain itu, diagram Pareto juga dimanfaatkan di berbagai sektor, seperti pengelolaan risiko dan sektor pendidikan. Contohnya, dalam analisis risiko, alat ini berfungsi untuk menemukan faktor-faktor risiko utama yang harus mendapat perhatian khusus [8]. Secara keseluruhan, diagram Pareto merupakan alat yang efektif untuk analisis data dan pengambilan keputusan yang berbasis bukti, memungkinkan organisasi untuk mengalokasikan sumber daya secara efisien dalam upaya perbaikan berkelanjutan.

Fishbone Diagram

Fishbone diagram adalah alat yang strategis dalam melakukan peningkatan kualitas. Selain dengan *fishbone* diagram, alat ini juga biasa dikenal dengan sebutan diagram sebab-akibat. *Fishbone* diagram digunakan sebagai penggunaan pendekatan yang memiliki basis bagan untuk memasukkan segala kemungkinan dari suatu kejadian [9]. *Fishbone* diagram digunakan sebagai alat analisis untuk mengidentifikasi akar penyebab masalah dalam proses produksi atau operasional. Dengan memetakan

faktor-faktor yang berkontribusi terhadap masalah, perusahaan dapat merancang solusi yang lebih efektif dan efisien untuk meningkatkan kualitas dan produktivitas [10]. Sehingga bisa dikatakan bahwa *fishbone* diagram adalah alat yang sangat berguna dalam teknik industri untuk menganalisis dan memecahkan masalah dengan pendekatan sistematis, memastikan bahwa semua faktor yang berkontribusi terhadap masalah dipertimbangkan dalam proses perbaikan.

Failure Mode and Effect Analysis

FMEA diartikan sebagai suatu alat penilaian yang tersusun dan memiliki struktur dalam melakukan identifikasi penyebab yang terdapat pada suatu kualitas produk dan layanan yang dapat menjadi masalah atau gangguan. FMEA mencakup penyebab masalah dari suatu kualitas produk hingga tindakan penanganannya [11]. *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA) merupakan pendekatan terstruktur yang bertujuan untuk menemukan dan mengevaluasi kemungkinan terjadinya kegagalan dalam suatu proses atau produk, serta dampaknya terhadap performa dan mutu. Tujuan utama dari metode ini adalah untuk meminimalkan potensi risiko kegagalan dengan mengidentifikasi penyebab yang mungkin terjadi dan menentukan langkah-langkah pencegahan yang tepat [12].

Logika Fuzzy

Pada penelitian ini logika *Fuzzy* digunakan pada metode FMEA dengan tujuan untuk menghasilkan luaran yang lebih akurat jika dibandingkan dengan penggunaan metode FMEA secara konvensional tanpa adanya logika *Fuzzy*. Metode ini adalah pengembangan dari metode *Failure Mode and Effect Analysis* yang beradaptasi pada ketidakpastian karena informasi yang didapatkan masih sangat luas [13]. Pada FMEA konvensional, perhitungan risiko dilakukan dengan mengalikan tiga elemen utama: tingkat keparahan (*Severity*), kemungkinan terjadinya (*Occurrence*), dan kemampuan untuk mendeteksi (*Detection*) [14]. Namun, pendekatan ini sering kali tidak dapat menangani ketidakpastian yang melekat dalam penilaian risiko. *Fuzzy FMEA* menawarkan solusi dengan memanfaatkan logika fuzzy untuk mengevaluasi ketiga elemen tersebut, sehingga memungkinkan penilaian risiko yang lebih tepat dan sesuai dengan kenyataan [15].

3. Hasil dan Pembahasan

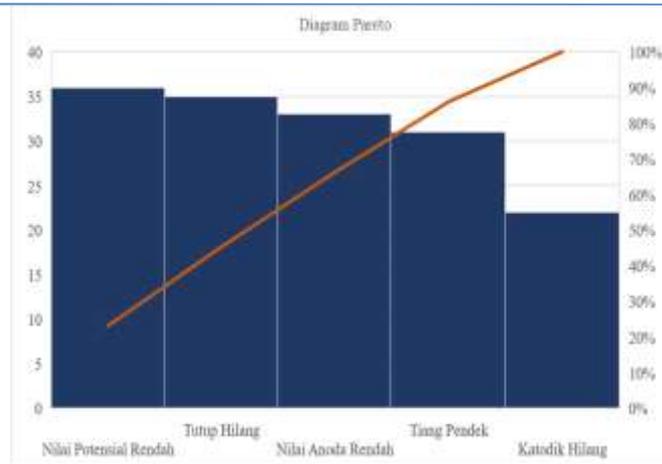
Penentuan Gangguan Kritis

Tahap awal penelitian ini dimulai dengan menentukan gangguan kritis menggunakan diagram Pareto berdasarkan data hasil inspeksi proteksi katodik yang diperoleh dari perusahaan. Metode ini membantu mengidentifikasi gangguan utama yang memerlukan perhatian lebih lanjut. Data yang digunakan dalam analisis tersebut merupakan hasil inspeksi sistem proteksi katodik yang telah dikumpulkan oleh PT PGAS Solution. Langkah ini bertujuan untuk memprioritaskan masalah yang paling berdampak pada kinerja jaringan pipa gas. Berikut adalah data yang diperoleh dari perusahaan sebagai dasar penelitian ini.

Tabel 1. Data Inspeksi Katodik PT PGAS Solution

Jenis Gangguan	Jumlah	Persentase	Kumulatif
Nilai Anoda Rendah	33	21%	21%
Nilai Potensial Rendah	36	23%	44%
Katodik Hilang	22	14%	58%
Tiang Pendek	31	20%	78%
Tutup Hilang	35	22%	100%
Jumlah Total	157	100%	100%

Diagram Pareto yang dibuat berdasarkan data di atas menunjukkan distribusi gangguan kritis pada sistem proteksi katodik. Diagram ini digunakan untuk mengidentifikasi masalah-masalah utama yang mempengaruhi kinerja sistem. Dengan menggunakan diagram Pareto, dapat diprioritaskan gangguan yang perlu segera ditangani. Berikut adalah diagram pareto sesuai dengan data diatas:

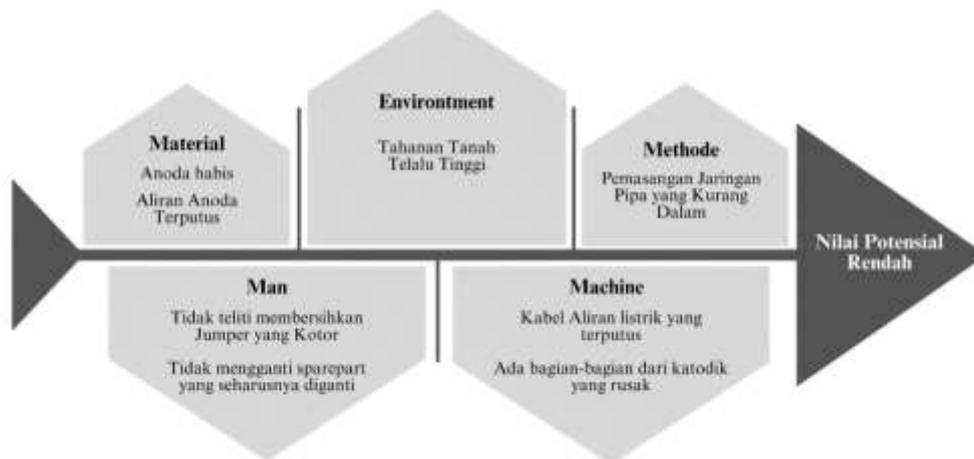


Gambar 1. Diagram Pareto

Berdasarkan **Tabel 1** diatas didapatkan 5 jenis gangguan pada proteksi katodik yaitu gangguan nilai anoda rendah, nilai potensial rendah, katodik hilang, tiang pendek, dan tutup hilang. Gangguan yang terjadi pada proteksi katodik PT PGAS Solution dari yang memiliki nilai tertinggi adalah gangguan Nilai Potensial Rendah sebesar 23%, diikuti dengan gangguan Tutup Hilang sebesar 22%, gangguan Nilai Anoda Rendah sebesar 21%, gangguan Tiang Pendek sebesar 20%, dan gangguan terendah yaitu Katodik Hilang sebesar 14%. Sehingga ditetapkan bahwa gangguan Nilai Potensial Rendah menjadi gangguan kritis pada proteksi katodik.

Fishbone Diagram

Setelah gangguan kritis pada proteksi katodik diidentifikasi, langkah selanjutnya adalah melakukan analisis sebab-akibat yang akan disajikan dalam bentuk *fishbone* diagram. Penelitian ini bertujuan untuk menggali faktor-faktor yang mempengaruhi gangguan yang terjadi pada sistem proteksi katodik. Salah satu gangguan yang diidentifikasi adalah nilai potensial rendah pada proteksi katodik jaringan pipa gas. *Fishbone* diagram digunakan untuk menggambarkan berbagai kemungkinan penyebab dari gangguan tersebut secara sistematis. Berikut ini adalah hasil identifikasi penyebab gangguan nilai potensial rendah pada proteksi katodik jaringan pipa gas PT PGAS Solution Area Bekasi.



Gambar 2. Fishbone Diagram

Berdasarkan gambar *fishbone* diagram tersebut dapat dilakukan analisis sebagai berikut:

a. *Material*

Berdasarkan faktor material, yang dapat menyebabkan rendahnya nilai potensial antara lain adalah anoda yang digunakan sebagai sumber arus listrik sudah habis atau jumlahnya sudah tidak banyak dan juga bisa disebabkan karena aliran anoda yang terputus sehingga menyebabkan nilai potensialnya tidak sesuai dengan standar yang diperlukan untuk memberikan proteksi pada jaringan pipa.

- b. *Environment*
Berdasarkan faktor *environment* atau lingkungannya, yang dapat menyebabkan rendahnya nilai potensial antara lain adalah jenis tanah yang digunakan merupakan tahanan tanah yang tinggi sehingga menjadi hambatan untuk listrik dapat mengalir dengan baik, bisa karena jenis tanah dan juga kurangnya kelembaban tanah karena air merupakan penghantar listrik yang baik.
- c. *Method*
Berdasarkan faktor *method* atau metodenya, yang dapat menyebabkan rendahnya nilai potensial antara lain adalah pemasangan jaringan pipa yang tidak sesuai dengan standar desain pemasangan sistem sehingga mengurangi tingkat efektivitas sistem dan meningkatkan resiko kerusakan.
- d. *Man*
Berdasarkan faktor *man* atau pekerjaanya, yang dapat menyebabkan rendahnya nilai potensial antara lain adalah kurang teliti dalam memeriksa kebersihan *jumper* dan juga tidak mengganti bagian katodik yang sudah rusak atau tidak berfungsi dengan baik sehingga kerja sistem proteksi menjadi kurang maksimal.
- e. *Machine*
Berdasarkan faktor *machine* atau mesinnya, yang dapat menyebabkan rendahnya nilai potensial antara lain adalah putusnya kabel aliran listrik sehingga tidak dapat memberikan aliran listrik untuk kerjanya proteksi katodik dan juga dapat disebabkan karena rusaknya bagian-bagian dari katodik yang kemudian harus di ganti atau diperbaiki.

Failure Mode and Effect Analysis

Setelah dilakukan penentuan penyebab dari masing-masing faktor, maka tahap selanjutnya adalah untuk melakukan analisis dengan menggunakan metode FMEA.

Tabel 2. Failure Mode and Effect Analysis (FMEA)

Faktor	Penyebab	Efek	S	O	D	Risk of Priority Number (RPN)	Rank
<i>Material</i>	Anoda Habis, Aliran Anoda Terputus	Arus proteksi jaringan pipa tidak tersalur dengan baik	7	6	6	252	II
<i>Environment</i>	Tahanan tanah yang terlalu tinggi	Keadaan lingkungan yang dibutuhkan untuk mengalirkan listrik tidak didapatkan	8	6	6	288	I
<i>Method</i>	Pemasangan jaringan pipa tidak memenuhi standar desain	Mengurangi tingkat efektivitas sistem dan meningkatkan resiko kerusakan.	5	3	6	90	IV
<i>Man</i>	Kurang teliti dalam memeriksa keadaan <i>jumper</i> dan tidak mengganti bagian katodik yang tidak berfungsi dengan baik	Aliran listrik tidak tersalur dengan baik dan kerja sistem menjadi kurang maksimal	2	2	3	12	V
<i>Machine</i>	Putusnya kabel aliran listrik	Tidak adanya aliran listrik	8	6	4	192	III

Faktor	Penyebab	Efek	S	O	D	Risk of Priority Number (RPN)	Rank
	dan rusaknya bagian dari katodik	yang dibutuhkan untuk memproteksi jaringan pipa					

Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) adalah metode terorganisasi yang digunakan untuk mendeteksi faktor-faktor yang dapat menyebabkan masalah dalam kualitas produk dan layanan, serta mengidentifikasi akar penyebab dari masalah tersebut, termasuk kemungkinan munculnya berbagai mode kegagalan dan cara penanganannya. Penggunaan metode ini adalah dengan mencari nilai *Risk of Priority Number* (RPN) yang didapatkan dari perkalian nilai *severity* (S), *occurrence* (O), dan *detection* (D). Setelah dilakukan penggunaan metode FMEA pada permasalahan yang ada, didapatkan bahwa faktor *environment* atau lingkungan menjadi faktor yang memiliki RPN tertinggi dan dikatakan menjadi penyebab gangguan kritis dengan nilai RPN sebesar 288.

Fuzzy Failure Mode and Effect Analysis

Setelah dilakukan analisis menggunakan FMEA, tahap berikutnya adalah dengan menggunakan *fuzzy logic* untuk memperoleh hasil yang lebih akurat dibandingkan dengan menggunakan metode FMEA tradisional.

Tabel 3. Fuzzy Failure Mode and Effect Analysis (FMEA)

Faktor	Keanggotaan Himpunan										Risk of Priority Number (RPN)	Fuzzy Risk of Priority Number (FRPN)	Rank		
	S	O	D	S	O	D	S	O	D	S					
<i>Material</i>	6	7	8	5	6	7	5	6	7	5	6	7	252	252	III
<i>Environment</i>	7	8	9	5	6	7	5	6	7	5	6	7	288	308	I
<i>Method</i>	4	5	6	2	3	4	5	6	7	5	6	7	90	118	IV
<i>Man</i>	1	2	3	1	2	3	2	3	4	5	6	7	12	24	V
<i>Machine</i>	7	8	9	5	6	7	3	4	5	6	7	8	192	258	II

Dari **Tabel 3** perhitungan menggunakan metode Fuzzy FMEA tersebut didapatkan hasil FRPN tertinggi. Nilai FRPN ini di dapat dari penjumlahan dari RPN S, RPN O, dan RPN D kemudian jumlahnya dibagi tiga. Hasil dari perhitungan FRPN ini menunjukkan bahwa faktor *environment* atau lingkungan menjadi faktor yang memiliki menjadi penyebab gangguan kritis dengan nilai FRPN sebesar 308 menjadi peringkat I. lalu di peringkat II terdapat faktor *machine* dengan nilai FRPN sebesar 258, di peringkat III terdapat faktor *material* dengan nilai FRPN sebesar 252, di peringkat IV terdapat faktor *method* dengan nilai FRPN sebesar 118, dan di peringkat terakhir terdapat faktor *man* dengan nilai FRPN sebesar 24.

Tindakan Kontrol

Penggunaan metode *Fuzzy Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA) memberikan kesimpulan dari gangguan kritis yaitu gangguan nilai potensial rendah dan didapatkan pula penyebab gangguan kritis yaitu faktor lingkungan berupa tahanan tanah yang terlalu tinggi. Penyebab yang dihasilkan oleh faktor lingkungan ini adalah keadaan lingkungan yang dibutuhkan untuk mengalirkan listrik tidak didapatkan. Proteksi katodik memerlukan lingkungan dengan konduktivitas yang baik sehingga tanah yang bertahanan rendah menjadi pilihan terbaik sehingga arus listrik dari anoda (sumber proteksi katodik) dapat mengalir dengan mudah ke seluruh permukaan jaringan pipa yang butuh untuk dilindungi.

Dari gangguan tersebut, tindakan kontrol yang dapat disarankan untuk dilakukan adalah dengan melakukan pemantauan nilai potensial dan sistem proteksi katodik secara berkala dan jika ditemukan nilai potensial yang sudah rendah maka dilakukan penggantian kepada anoda yang sudah habis.

4. Kesimpulan

Dibutuhkan pemantauan secara berkala kepada seluruh proteksi katodik untuk meminimalisir timbulnya gangguan. Dari identifikasi didapatkan 5 faktor yang dapat menjadi alasan timbulnya gangguan yaitu *matrial, environment, man, metode, dan machine*. Hasil yang didapatkan setelah dilakukan analisis menggunakan metode *Fuzzy Failure Mode and Effect Analysis (FMEA)* adalah bahwa hasil dari perhitungan FRPN pada metode *Fuzzy Failure Mode and Effect Analysis (FMEA)* ini menunjukkan bahwa faktor *environment* atau lingkungan menjadi faktor yang memiliki menjadi penyebab gangguan kritis dengan nilai FRPN sebesar 308 menjadi peringkat pertama. Tindakan kontrol yang menjadi saran untuk dapat dilakukan adalah dengan melakukan pemantauan nilai potensial dan kondisi sistem proteksi katodik secara berkala dan jika ditemukan nilai potensial yang sudah rendah maka dilakukan penggantian kepada anoda yang sudah habis.

5. Referensi

- [1] M. Iswahyudi *et al.*, *Manajemen Pemasaran: Strategi dan Praktek yang efektif*. Jambi: PT. Sonpedia Publishing Indonesia, 2023.
- [2] Nur Sahroni and R. A. Darajatun, "Efektivitas Proses Produksi Melalui Pengendalian Kualitas pada Part End Plate dengan Metode Lean Six Sigma di PT. GCE," *Ind. J. Ilm. Tek. Ind.*, vol. 8, no. 2, pp. 343–351, 2024, doi: 10.37090/indstrk.v8i2.1259.
- [3] Y. Hisprastin and I. Musfiroh, "Ishikawa Diagram dan Failure Mode Effect Analysis (FMEA) sebagai Metode yang Sering Digunakan dalam Manajemen Risiko Mutu di Industri," *Maj. Farmasetika*, vol. 6, no. 1, p. 1, 2020, doi: 10.24198/mfarmasetika.v6i1.27106.
- [4] I. Tanjung, A. Affandi, S. Huzni, and S. Fonna, "Investigasi pengaruh jumlah elemen anoda terhadap distribusi potensial korosi pada beton bertulang menggunakan BEM 3D," *J. Rekayasa Mater. Manufaktur dan Energi*, vol. 3, no. 1, pp. 57–64, 2020, doi: 10.30596/rmme.v3i1.4529.
- [5] R. Saputra and D. T. Santoso, "Analisis Kegagalan Proses Produksi Plastik Pada Mesin Cutting Di Pt. Fkp Dengan Pendekatan Failure Mode and Effect Analysis Dan Diagram Pareto," *Barometer*, vol. 6, no. 1, pp. 322–327, 2021, doi: 10.35261/barometer.v6i1.4516.
- [6] A. Saefullah, A. Fadli, Nuryahati, I. Agustina, and F. Abas, "Implementasi Prinsip Pareto Dan Penentuan Biaya Usaha Seblak Naha Rindu," *J. Media Wahana Ekon.*, vol. 20, no. 1, pp. 1–13, 2023, doi: 10.31851/jmwe.v20i1.11077.
- [7] W. Astutik, Mujaddid, J. Kulsaputro, A. Fole, and N. Yanasim, "Enhancing Risk Mitigation Strategies In Innovative Poultry Slaughterhouses: A House Of Riskmethod Approach," *Sci. Junal Ilm. Sains dan Teknol.*, vol. 2, no. 11, pp. 1–21, 2024.
- [8] Khamaludin, I. Respatiningsih, and B. Kustiawan, *Manajemen Mutu*. Jambi: Sonpedia Publishing Indonesia, 2024.
- [9] M. T. Sembiring, A. R. S. Meliala, and M. Z. Harahap, "Analisis Permasalahan Menggunakan Cause and Effect Diagram , Fault Tree Analysis dan Afinity Diagram," *Talent. Conf. Ser. Energy Eng.*, vol. 5, no. 2, pp. 163–168, 2022, doi: 10.32734/ee.v5i2.1561.
- [10] Intan Putri Ramadhani and Wida Winardini, "Analisis Diagram Fishbone Dalam Kebijakan Pengelolaan Sampah Di Kota Surabaya," *J. Media Akad.*, vol. 2, no. 5, 2024, doi: 10.62281/v2i5.281.
- [11] B. Khrisdamara and D. Andesta, "Analisis Penyebab Kerusakan Head Truck-B44 Menggunakan Metode FMEA dan FTA (Studi Kasus : PT. Bima, Site Pelabuhan Berlian)," *J. Serambi Eng.*, vol. 7, no. 3, 2022, doi: 10.32672/jse.v7i3.4255.
- [12] M. D. Farrizqi and D. Andesta, "Analisis Pengendalian Kualitas dengan Menggunakan Metode Failure Mode and Effect Analysis dan Fault Tree Analysis pada Produk Songkok UD. XYZ," *G-Tech J. Teknol. Terap.*, vol. 8, no. 2, pp. 835–846, 2024, doi: 10.33379/gtech.v8i2.4052.
- [13] S. Ramadhania, D. Mubarak, Mislan, A. Rahmatullah, B. Panulisan, and D. Khaerudin, "Quality Control Of Capsule A Products Using Statistical Process Control (SPC) And Fuzzy Failure Mode And Effect Analysis (F-FMEA) Methods At PT.LP," *Uranus J. Ilm. Tek. Elektro, Sains dan Inform.*, vol. 2, no. 1, pp. 21–34, 2024, doi: 10.61132/uranus.v2i1.80.
- [14] N. Eze and I. Eneh, "Using Failure Occurrence, Severity, Detection, and Risk Priority Number in Developing FMEA Worksheet in a Brewery for Failure Mitigation," *Int. J. Eng. Environ. Sci.*, vol. 5, no. 3, pp. 1–9, 2022, [Online]. Available: <https://airjournal.org/ijeas>
- [15] I. B. Bachtiar, M. Darul K., and M. Yusuf S., "Analisis Risiko Goliath Crane Galangan Kapal Menggunakan Fuzzy FMEA," *J. Teknol. Marit.*, vol. 7, no. 1, pp. 35–45, 2024, doi: 10.35991/jtm.v7i1.9.