

ANALISA KEANDALAN KOMPONEN KRITIS PADA SISTEM ELEKTRONIK INTERNAL ELECTRIC VEHICLE CHARGING STATION MENGGUNAKAN METODE FAILURE MODE AND EFFECT ANALYSIS (FMEA)

*Deny Ari Putra¹, Gunawan Dwi Haryadi², Ismoyo Haryanto²

¹Mahasiswa Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

²Dosen Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

Jl. Prof. Sudharto, SH., Tembalang-Semarang 50275, Telp. +62247460059

*E-mail: denyariputraa@gmail.com

Abstrak

Stasiun Pengisian Kendaraan Listrik Umum (SPKLU) merupakan elemen kunci dalam mendukung adopsi massal kendaraan listrik (EV) dan integrasi dalam sistem transportasi berkelanjutan. Penelitian ini mengaplikasikan metode Failure Modes and Effects Analysis (FMEA) untuk mengevaluasi keandalan SPKLU. Dengan menggunakan pendekatan FMEA, studi ini menganalisis berbagai modus kegagalan potensial dalam sistem SPKLU, termasuk kerusakan perangkat keras, gangguan perangkat lunak, dan masalah konektivitas. Data dikumpulkan dari instalasi SPKLU yang beragam, dan setiap modus kegagalan dievaluasi berdasarkan dampaknya terhadap operasional dan ketersediaan layanan. Penelitian ini tidak hanya mengidentifikasi kegagalan-kegagalan kritis dan dampaknya terhadap sistem, tetapi juga menilai efektivitas protokol pemeliharaan yang ada serta mengusulkan perbaikan berbasis analisis risiko untuk meningkatkan keandalan operasional dan kepuasan pengguna. Temuan dari studi ini memberikan wawasan penting bagi para pemangku kepentingan dalam ekosistem EV, termasuk pembuat kebijakan, penyedia infrastruktur pengisian, dan produsen kendaraan, dengan tujuan meningkatkan keandalan jaringan SPKLU dan mendukung transisi menuju sistem transportasi yang lebih berkelanjutan.

Kata Kunci: energi terbarukan; fmea; keandalan spklu; kendaraan listrik; stasiun pengisian kendaraan listrik

Abstract

The reliability of Public Electric Vehicle Charging Stations (SPKLU) is a key element in supporting the mass adoption of electric vehicles (EVs) and integrating them into a sustainable transportation system. This study applies Failure Modes and Effects Analysis (FMEA) to evaluate the reliability of SPKLU. By using the FMEA approach, the study analyzes various potential failure modes within SPKLU systems, including hardware malfunctions, software disruptions, and connectivity issues. Data were collected from diverse SPKLU installations, and each failure mode was assessed based on its impact on operational performance and service availability. The study not only identifies critical failures and their impact on the system but also evaluates the effectiveness of existing maintenance protocols and proposes risk-based improvements to enhance operational reliability and user satisfaction. The findings provide valuable insights for stakeholders in the EV ecosystem, including policymakers, charging infrastructure providers, and vehicle manufacturers, aiming to improve the reliability of SPKLU networks and support the transition to a more sustainable transportation system.

Keywords: electric vehicle; electric vehicle charging stations; fmea; renewal energy; spklu reliability

1. Pendahuluan

Emisi karbon adalah gas hasil pembakaran suatu senyawa yang mengandung CO₂, solar, dan LPG yang dilepaskan ke atmosfer bumi, dimana emisi yang berlebihan dapat mengakibatkan permasalahan iklim global yang serius [1]. Pencemaran udara merupakan sebuah masalah yang mengkhawatirkan belakangan ini. Pencemaran udara adalah suatu perubahan komposisi udara dari keadaan yang awalnya normal menjadi sangat memprihatinkan akibat masuknya zat pencemar dalam udara [2]. Pencemaran udara di Indonesia banyak terjadi di kota besar seperti Ibukota Jakarta. Menurut lembaga peneliti kualitas udara IQAir, polusi udara di Ibukota bahkan sempat menjadi tertinggi di dunia [3]. Polusi udara disebabkan oleh berbagai macam kegiatan manusia seperti kegiatan produksi dan transportasi. Mengacu pada data Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan terkait peningkatan kualitas udara jabodetabek menunjukan bahwa penyumbang terbesar polusi di Jakarta adalah emisi yang dihasilkan dari sektor transportasi sebesar 44%, kemudian sektor industri energi 31%, sektor industri manufaktur 10%, sektor perumahan 14%, dan sektor komersil sebesar 1%.

Transportasi tidak dapat terpisahkan dalam upaya pembangunan suatu negara. Sistem transportasi di Indonesia di dominasi oleh kendaraan pribadi. Jumlah kendaraan di Indonesia pada tahun 2021 menurut data Badan Pusat Statistika [4] adalah sebanyak 141.992.573 unit, dengan rincian 120.042.298 unit sepeda motor, 16.413.348 unit mobil penumpang, 5.299.361 unit mobil barang dan 237.556 unit bus. Tingginya penggunaan kendaraan ini dapat memberi dampak negatif yaitu timbulnya pencemaran udara akibat adanya emisi yang dihasilkan oleh kendaraan motor tersebut.

Emisi gas apabila terkumpul dalam jumlah banyak akan menimbulkan fenomena berbahaya yang disebut efek rumah kaca.

kaca dan dapat mengakibatkan pemanasan global (global warming). Pemanasan global merupakan fenomena kenaikan suhu atmosfer akibat meningkatnya konsentrasi gas rumah kaca [5]. Ketika gas rumah kaca meningkat di atmosfer, panas matahari tidak dapat dipantulkan kembali oleh bumi dengan sempurna, akibatnya terjadi efek rumah kaca yang mencegah panas tersebut keluar dan malah kembali ke bumi dikarenakan gas yang menghalangi pantulan tersebut [6]. Emisi yang dihasilkan oleh kendaraan bermotor berbahan bakar fosil akan menghasilkan beberapa gas berbahaya seperti Karbon monoksida (CO), Nitrogen dioksida (NO₂), chlorofluorocarbon (CFC), Sulfur dioksida (SO₂), Hidrokarbon (HC), benda partikulat, Timah (Pb), dan carbon dioksida (CO₂) (Dwangga, 2018).

Infrastruktur penting untuk mendukung kemajuan penggunaan kendaraan listrik di Indonesia adalah fasilitas pengisian daya. Stasiun pengisian kendaraan listrik dapat mengurangi kekhawatiran konsumen mengenai jarak tempuh, karena sebagian besar kendaraan listrik memiliki jangkauan berkendara yang lebih rendah dibandingkan dengan Internal Combustion Engine Vehicles (ICEV). Menurut studi IESR [7], biaya awal yang tinggi, infrastruktur pengisian daya yang tidak memadai, durasi pengisian yang lama dan jangkauan berkendara yang terbatas merupakan hambatan utama dalam penerapan kendaraan listrik.

Keandalan merupakan metrik kinerja penting yang perlu dipertimbangkan dengan hati-hati selama perancangan, pembuatan, pengujian, dan pengoperasian dari SPKLU. Namun karena banyaknya jumlah komponen dan sub-assembly, power electronic system pada SPLKU rentan terhadap berbagai mekanisme kegagalan. Penting untuk mendefinisikan apa yang merupakan kegagalan sistem karena hanya dengan begitu seseorang dapat menentukan dimana potensi kegagalan pada tingkat komponen, yang sebenarnya akan menyebabkan kegagalan pada sistem. Mungkin saja ada lebih dari satu jenis kegagalan sistem, dalam hal ini diperlukan sejumlah prediksi yang memberikan keandalan yang berbeda [8], salah satu metode terbaik adalah dengan menggunakan Reliability Block Diagram. Reliability Block Diagram dapat membantu memahami bagaimana komponen – komponen dalam sistem berinteraksi dan memudahkan dalam mengidentifikasi dampak kegagalan suatu komponen terhadap keseluruhan sistem, sehingga tindakan pencegahan dan perbaikan yang efektif dapat diambil.

2. Metode Penelitian

Failure Mode Effect Analysis (FMEA) merupakan metode penilaian risiko yang kuat yang digunakan untuk mengevaluasi kemungkinan risiko dalam langkah-langkah desain, produksi, dan layanan perusahaan. Tujuan utama FMEA adalah untuk mengidentifikasi risiko sebelumnya dan mengambil tindakan pencegahan yang sesuai guna mengurangi atau menghilangkan risiko tersebut. Dengan demikian, penggunaan FMEA dapat membantu meningkatkan daya saing perusahaan dengan mengurangi biaya kegagalan, meningkatkan kualitas, dan meningkatkan keandalan produk. FMEA bertujuan memastikan bahwa produk yang dihasilkan memenuhi kebutuhan pelanggan dengan menganalisis sifat produk dari fase desain, menemukan penyebab dan efek kegagalan, menentukan jenis kegagalan, dan mengambil tindakan untuk mengatasi risiko. Penerapan FMEA penting untuk memastikan kepuasan pelanggan, yang pada gilirannya dapat menghasilkan peningkatan kualitas dan pengembangan bagi perusahaan. FMEA juga membantu meningkatkan keamanan kerja dan daya saing kualitas produk Perusahaan [9]. FMEA (*Failure Mode and Effect Analysis*) adalah suatu metode yang digunakan untuk mendefinisikan, mengidentifikasi, serta menghilangkan kecacatan dan masalah pada proses produksi baik permasalahan yang telah diketahui maupun yang potensial terjadi pada sistem. FMEA (*Failure Mode And Effect*) adalah teknik sistematis untuk mengidentifikasi dan meminimalisir terjadinya kegagalan proses produksi yang dapat menyebabkan kerusakan atau cacat produk [10].

Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) seperti mengetahui pekerjaan, uraian pekerjaan, mode kegagalan, menghitung *Risk Priority Number* ($Severity \times Occurrence \times Detection$) didapat RPN tertinggi dengan metode ini harapannya perusahaan dapat menemukan solusi sehingga kedepannya lebih baik lagi dan dapat meminimalisir cacat pada proses pengalengasaan produksi berikutnya.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Perhitungan Nilai Komponen Kritis

Penerapan kajian FMEA sangat penting untuk menjaga keandalan unit SPKLU, mengingat setiap mode kegagalan pada komponen bisa menimbulkan dampak yang menyebabkan kegagalan. Oleh karena itu, mengenali faktor risiko yang mungkin terjadi terlebih dahulu menjadi krusial. Tujuan utama dari FMEA adalah menentukan tindakan yang tepat untuk mengatasi, menghilangkan, dan meminimalkan kemungkinan mode kegagalan yang telah diidentifikasi, melalui kegiatan pemeliharaan berkala. Proses pengelolaan risiko dengan metode FMEA diawali dengan identifikasi risiko pada komponen-komponen yang mempengaruhi keandalan SPKLU. Identifikasi ini dilakukan dengan mengumpulkan potensi risiko pada setiap komponen. Komponen elektrik yang Menyusun SPKLU yang akan dianalisa meliputi:

- Surge Protection (4P; R, S, T, & N)
- AC Isolation Circuit Breaker

Tabel 4. 1. Analisis komponen SPKLU dengan FMEA

Komponen	Jenis Kegagalan	Penyebab Kegagalan	Efek Kegagalan	S	O	D	RPN
Surge Protection (4P; R, S, T, & N)	Kerusakan Fisik	Lonjakan melebihi batas	Merusak komponen elektronik sensitif di stasiun pengisian, termasuk modul kontrol, layar tampilan, dan koneksi komunikasi.	10	2	6	120
	Kerusakan Komponen Internal (seperti varistor atau tabung pelepasan gas)	Penggunaan berulang atau paparan terhadap banyak lonjakan kecil dari waktu ke waktu dapat menyebabkan keausan pada komponen internal SPD	Penurunan efektivitas SPD dalam melindungi dari lonjakan dapat menyebabkan komponen stasiun pengisian mengalami kerusakan berulang kali.				
	Panas Berlebih (overheat)	Lonjakan yang sering atau terlalu besar.	Overheating pada SPD bisa menyebabkan kerusakan permanen pada SPD dan berpotensi memicu kebakaran.				
	Kegagalan Grounding	Instalasi yang buruk, korosi, atau kerusakan fisik	Tanpa grounding yang tepat, SPD tidak bisa mengalihkan lonjakan tegangan secara efektif				
	Korosi dan Kelembapan	Lingkungan lembab atau terkena air	memungkinkan lonjakan tegangan mencapai peralatan di stasiun pengisian				
	Usia dan Keausan	Penggunaan jangka panjang tanpa penggantian atau pemeliharaan yang tepat.	stasiun pengisian lebih rentan terhadap kerusakan akibat lonjakan				
AC Isolation Circuit Breaker	Kegagalan Pembukaan (Failure to Trip)	Mekanisme internal yang aus atau macet. Kegagalan sensor deteksi arus berlebih atau korsleting. Penumpukan debu atau kotoran di dalam breaker.	Jika breaker gagal membuka saat terjadi kelebihan beban atau korsleting, ini dapat menyebabkan kerusakan serius pada peralatan pengisian, potensi kebakaran, atau risiko keselamatan bagi pengguna.	10	2	6	120
	Pembukaan Tanpa Alasan (Nuisance Tripping)	Sensitivitas yang terlalu tinggi pada pengaturan breaker. Lonjakan arus sementara yang seharusnya tidak menyebabkan trip. Kondisi lingkungan yang ekstrim, seperti suhu yang sangat tinggi atau rendah.	Breaker yang membuka tanpa alasan dapat mengganggu proses pengisian, menyebabkan downtime yang tidak perlu, dan ketidakpuasan pengguna. Ini juga bisa mengindikasikan masalah lain dalam sistem yang perlu diinvestigasi.				
	Kegagalan Kontak Internal (Internal Contact Failure)	Aus karena seringnya siklus on/off. Kerusakan fisik atau korosi pada kontak. Arus berlebih yang menyebabkan kontak terbakar atau menempel.	Kontak yang rusak bisa menyebabkan sirkuit tetap terbuka atau tertutup, yang berarti stasiun pengisian mungkin tidak dapat mengalirkan listrik atau terus mengalirkan listrik tanpa kontrol yang tepat. Ini dapat menyebabkan kegagalan pengisian atau overcharging, yang berpotensi merusak kendaraan.				

	Kegagalan Mekanisme Operasional (Operational Mechanism Failure)	Kerusakan mekanis pada tuas atau bagian penggerak breaker. Pelumas yang mengeras atau kurangnya pelumasan. Kotoran atau benda asing yang menghalangi mekanisme.	Mekanisme yang gagal berfungsi dapat menyebabkan breaker tidak dapat dioperasikan secara manual atau otomatis, mengakibatkan ketidakmampuan untuk mengisolasi sirkuit jika diperlukan. Ini bisa membahayakan keselamatan dan integritas sistem pengisian.				
	Kegagalan Sistem Monitoring (Monitoring System Failure)	Kegagalan sensor atau perangkat monitoring elektronik. Gangguan komunikasi antara breaker dan sistem kontrol pusat. Kesalahan perangkat lunak atau firmware.	Sistem monitoring yang gagal dapat menyebabkan ketidakmampuan untuk mendeteksi atau merespon anomali dalam operasi breaker. Ini bisa berarti breaker tidak akan membuka atau menutup ketika seharusnya, menyebabkan risiko keselamatan dan kerusakan peralatan.				
	Kegagalan Isolasi (Insulation Failure)	Tegangan berlebih yang merusak bahan isolasi. Kondisi lingkungan yang ekstrim seperti kelembapan tinggi atau suhu yang sangat rendah/tinggi. Penuaan material isolasi.	Kegagalan isolasi dapat menyebabkan korsleting internal, meningkatkan risiko kebakaran dan kerusakan serius pada stasiun pengisian. Ini juga bisa membahayakan keselamatan pengguna dan teknisi yang bekerja di stasiun.				

4. Kesimpulan

Berdasarkan analisis FMEA, beberapa komponen electric vehicle charging station memiliki nilai Risk Priority Number (RPN) yang tinggi, seperti Surge Protection, AC Isolation Circuit Breaker. Komponen-komponen ini menunjukkan risiko yang signifikan terhadap kegagalan sistem dan memerlukan perhatian khusus. Penilaian severity, occurrence, dan detection telah digunakan untuk menghitung RPN, yang membantu dalam mengidentifikasi prioritas untuk tindakan pemeliharaan dan inspeksi.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Adigama, A. S. (2011). Penyusunan Schedule Perawatan Sepeda Motor Honda Supra X 125 Sub-Assembly Rem Berbasis Reliability Centered Maintenance (RCM). Diponegoro University
- [2] Ebeling, C. E. (1997). An Introduction to Reliability and maintainability Engineering. Dalam T. McGraw (Penyunt.). New York, USA: Hill Companies.
- [3] Kumar, G., Jain, V., Gandhi, O.P., 2013. Availability Analysis of Repairable Mechanical Systems Using Analytical Semi-Markov Approach. Quality Engineering, 25: 97–107. <https://doi.org/10.1080/08982112.2012.751606>
- [4] Limantoro, D. (2013). Total Productive Maintenance di PT. X. Jurnal Titra, 1(1), 13-20
- [5] Ludean, D., Cretu, A., Munteanu, R., Moga, R., Stroia, N., Moga, D., Vladareanu, L., 2018. Reliability Approach of a Compressor System using Reliability Block Diagrams. Journal of Fundamental and Applied Science, 10: 149–154. <http://dx.doi.org/10.4314/jfas.v10i4s.74>
- [6] Mokhtar, A.A., Muhammad, M., Hussin, H., Majid, M.A.A., 2011. Development of a RAM Simulation Model for Acid Gas Removal System. International Journal of Mechanical and Mechatronics Engineering, 5: 2587–2590.
- [7] O'Connor, P.D.T., and Andre, K., 2012. Practical Reliability Engineering.
- [8] Smith, D.J., 2011. Reliability, Maintainability, and Risk.
- [9] Mohan. T R, Kumar MSM, Rao L. Numerical modelling of oxygen mass transfer in diffused aeration systems: A CFD-PBM approach. J Water Process Eng [Internet]. 2021;40(September 2020):101920. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2021.101920>
- [10] Tupan, J. M., Camerling, B. J., & Amin, M. (2019). Penentuan Jadwal Perawatan Komponen Kritis pada Mesin MTU 12V2000G65 di PLTD Tersebar PT PLN (Persero) Area Tual. Arika, 13(1), 33-48.