

ANALISIS *RELIABILITY* SISTEM *ELECTRIC VEHICLE CHARGING STATION* MENGUNAKAN METODE *FAILURE MODE AND EFFECT ANALYSIS* DAN *FAULT TREE ANALYSIS*

*Alfani Tri Kurniawan¹, Ismooyo Haryanto², Gunawan Dwi Haryadi²

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: aliyafi39@gmail.com

Abstrak

Indonesia merupakan salah satu negara dengan tingkat pencemaran tertinggi di dunia terutama pada kota-kota besar salah satunya kota Jakarta dengan menduduki peringkat ke-5. Pencemaran udara merupakan masalah yang sangat mengkhawatirkan yang dapat mempengaruhi kesehatan bagi manusia dan aktifitas bagi masyarakat terutama di kota besar. Penyebab pencemaran udara yang terjadi belakangan ini salah satunya yaitu polusi udara dari kegiatan manusia dan transportasi. Indonesia mempunyai program pengembangan ekonomi hijau untuk mendukung pengurangan pencemaran udara pada sektor transportasi. Emisi gas rumah kaca secara umum disebabkan oleh gas buang pada kendaraan berbahan bakar fosil, sehingga kendaraan listrik merupakan inovasi untuk mencapai keberhasilan program pengembangan ekonomi hijau di Indonesia. Kendaraan listrik tidak lepas dari Stasiun Pengisian Kendaraan Listrik Umum (SPKLU) sarana pengisian daya untuk konsumsi bahan bakar kendaraan listrik. Tugas akhir ini membahas seberapa besar fungsi dari komponen dan risiko kerusakan yang dapat terjadi pada komponen Stasiun Pengisian Kendaraan Listrik Umum (SPKLU). Metode yang digunakan adalah *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA) dan *Fault Tree Analysis* (FTA) dengan pengumpulan data menggunakan studi literatur. Hasil yang diperoleh dari analisis tersebut mendapatkan empat komponen kritis yaitu *wired & wireless connectivity*, *surged protection*, *circuit breaker* dan *power contactor* beserta akar permasalahan dari penyebab kerusakan yang terdapat pada empat komponen kritis tersebut. Dari kedua hasil analisis tersebut akan sangat mempengaruhi *Reliability* pada Stasiun Pengisian Kendaraan Listrik Umum (SPKLU).

Kata kunci : *failure mode and effect analysis*; *fault tree analysis*; komponen kritis; *mtbf*; *reliability*; *risk priority number*; stasiun pengisian kendaraan umum

Abstract

Indonesia is one of the countries with the highest levels of pollution in the world, especially in big cities, one of which is Jakarta, which is ranked 5th. Air pollution is a very worrying problem that can affect human health and community activities, especially in big cities. One of the causes of air pollution that has occurred recently is air pollution from human activities and transportation. Indonesia has a green economy development program to support the reduction of air pollution in the transportation sector. Greenhouse gas emissions are generally caused by exhaust gases from fossil fuel vehicles, so electric vehicles are an innovation to achieve the success of the green economy development program in Indonesia. Electric vehicles cannot be separated from the Public Electric Vehicle Charging Station (SPKLU), a means of charging for electric vehicle fuel consumption. This final project discusses how much function the components have and the risk of damage that can occur to the components of the Public Electric Vehicle Charging Station (SPKLU). The methods used are *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA) and *Fault Tree Analysis* (FTA) with data collection using literature studies. The results obtained from the analysis obtained four critical components, namely *wired & wireless connectivity*, *surged protection*, *circuit breaker* and *power contactor* along with the root cause of the damage found in the four critical components. From the two analysis results, it will greatly affect the *Reliability* of the Public Electric Vehicle Charging Station (SPKLU).

Keywords: *failure mode and effect analysis*; *fault tree analysis*; critical components; *mtbf*; *reliability*; *risk priority number*; public vehicle charging station

1. Pendahuluan

Pemanasan global menghadapi tantangan besar bagi pengembangan masyarakat yang berkelanjutan di seluruh dunia. Masalah ini mendorong banyak negara yang tengah memperbaiki ekonomi mereka untuk mencari alternatif energi yang menghasilkan emisi karbon rendah. Di perkotaan, sektor-sektor seperti perumahan, industri, dan logistik merupakan kontributor utama emisi karbon (1). Perubahan iklim yang disebabkan oleh aktivitas manusia, atau

perubahan iklim antropogenik, berdampak negatif pada ekosistem, kesehatan, dan keberlanjutan lingkungan, menarik perhatian komunitas internasional. Penyebab utama perubahan iklim antropogenik adalah efek gas rumah kaca dari emisi gas karbon, yang meningkatkan pemanasan global, dengan ketergantungan pada bahan bakar fosil dan limbah industri sebagai penyebab utamanya (2).

Sejak Revolusi Industri dimulai pada abad ke-18, penggunaan bahan bakar fosil terus meningkat. Awalnya, bahan bakar fosil hanya digunakan untuk menggerakkan mesin-mesin pabrik. Namun, dengan kemajuan teknologi yang pesat, penggunaannya meluas ke pembangkit listrik, transportasi, dan berbagai keperluan lainnya. Akibatnya, emisi karbon yang dihasilkan semakin terkonsentrasi di atmosfer, menyebabkan panas matahari terperangkap dan memicu pemanasan global. Fenomena ini menjadi tantangan bagi pertumbuhan ekonomi global, sehingga diperlukan strategi untuk mencegah dampak yang lebih parah (3).

Mengacu pada data Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan terkait peningkatan kualitas udara jabodetabek menunjukkan 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 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. 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) (6).

Salah satu implementasi pengurangan penggunaan BBM pada sektor transportasi adalah dengan penggunaan kendaraan listrik. Kendaraan listrik mulai berkembang kembali dengan dikeluarkannya Peraturan Presiden 55/2019 tentang percepatan program kendaraan listrik berbasis baterai. Perpres 55/2019 ini telah mendorong perkembangan populasi kendaraan listrik di Indonesia mengalami peningkatan. Pada tahun 2022 saja, jumlah E2W dan E4W di jalan meningkat masing-masing hampir 5 dan 4 kali lipat dibandingkan tahun 2021. Namun, meskipun terjadi pertumbuhan yang sangat besar pada tahun 2022, tingkat adopsi kendaraan listrik masih jauh dari target *Nationally Determined Contribution* (NDC) Indonesia dalam mengurangi emisi karbon.

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 berkendaraan 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.

Dengan melihat kendala mengenai penggunaan kendaraan listrik, tidak dapat dipungkiri bahwa ketersediaan infrastruktur pengisian daya memainkan peran penting dalam upaya peningkatan penggunaan kendaraan listrik, sehingga analisis *reliability* diperlukan. Keandalan didefinisikan sebagai probabilitas bahwa suatu produk akan menjalankan fungsinya tanpa kegagalan, dalam kondisi yang ditentukan, selama periode waktu tertentu. 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 (8). 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 (9), salah satu metode terbaik adalah dengan *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA). *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA) dan *Fault Tree Analysis* (FTA) 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. Bahan dan Metode Penelitian

2.1 Pengumpulan Data

Penelitian dilakukan dengan mengumpulkan data studi literatur menggunakan Sistem Pengisian Kendaraan Listrik Umum milik PLN. Berikut merupakan Spesifikasi SPKLU milik PLN. Spesifikasi Stasiun Pengisian Kendaraan Listrik Umum PLN. Penelitian dilakukan pada SPKLU dengan spesifikasi teknis sebagai Berikut:



Gambar 1. SPKLU



Gambar 2. AC EVSE

Tabel 1. Spesifikasi Stasiun Pengisian Kendaraan Listrik Umum

Deskripsi	Spesifikasi
Box panel	Ukuran P x L x T : 1000 x 300 x 1657 mm; Material Aluminium Alloy 2 mm
Daya Input	Tegangan kerja 380V; Daya Input 76.000 Watt; Input phase = 3 phase
Charging Mobil Listrik	2 Port; @ Port Output AC 22 KW; @ Port Input / Output Rating : 400 Vac; @ Port Input / Output Rating : 32 Vdc
Display	LCD; 10 Inch; Informatif
Port Connector Output Charging	Type Charging Standard; Standard Plug; Proteksi RCD; 30 mA, Short Circuit, Over Temp. Over Current
Port AC Outlet	4x @ Socket Outlet 1 Phase 220 Vac; 16 A max Standard AC Outlet; Proteksi RCD: 30 mA, Short Circuit
Metering	Digital kWh Meter Class 1

Pengumpulan data diperoleh dari stasiun Pengisian Kendaraan Listrik Umum (SPKLU) yang dimiliki oleh PLN dan juga studi literatur. Spesifikasi Stasiun Pengisian Kendaraan listrik Umum (SPKLU) diperoleh langsung dari kepemilikan PLN. Sedangkan data resiko kerusakan diperoleh melalui studi literatur dari berbagai referensi yang terdapat dari jurnal maupun hasil penelitian sebelumnya.

2.2 Menentukan Risk Priority Number Menggunakan Metode FMEA

Menentukan nilai Risk Priority Number (RPN) melibatkan tiga faktor utama: severity, occurrence, dan detection.

1. **Severity** mengukur tingkat keparahan atau dampak yang ditimbulkan oleh mode kegagalan terhadap keseluruhan mesin.

Tabel 2. Nilai *Risk Priority Number Severity*

<i>Severity</i>	Peringkat	Deskripsi
Berbahaya Tanpa Peringatan	10	Kegagalan sistem yang menghasilkan efek sangat berbahaya
Sangat Tinggi	8	Sistem tidak beroperasi
Sedang	6	Sistem beroperasi dan aman tetapi mengalami penurunan performa
Rendah	4	Efek yang kecil pada performa sistem
Sangat Rendah	2	Efek yang diabaikan pada kinerja sistem
Tidak Ada Efek	1	Tidak ada efek

2. **Occurrence** menunjukkan frekuensi terjadinya kerusakan atau kegagalan, dengan kemungkinan kegagalan terjadi meskipun komponen masih dalam masa pakainya.

Tabel 3. Nilai *Risk Priority Number Occurance*

<i>Occurance</i>	Peringkat	Deskripsi
Sangat Tinggi	10	Sering Terjadi Kegagalan
	9	
Tinggi	8	Mungkin Terjadi Kegagalan
	7	
Sedang	6	Jarang Terjadi Kegagalan
	5	
Rendah	4	Sangat Kecil Terjadi Kegagalan
	3	
Tidak Ada Efek	2	Hampir Tidak Ada Kegagalan
	1	

3. **Detection** menilai seberapa baik kegagalan dapat terdeteksi dalam suatu komponen atau sistem.

Tabel 4. Nilai *Risk Priority Number Detection*

<i>Detection</i>	Peringkat	Deskripsi
<i>Almost Impossible</i>	10	Tidak bisa mendeteksi
<i>Very Remote</i>	9	Kegagalan tidak mudah dideteksi atau terdeteksi secara random
<i>Remote</i>	8	Kegagalan terdeteksi setelah proses dengan inspeksi visual atau pendengaran oleh operator
<i>Very Low</i>	7	Kegagalan terdeteksi dengan inspeksi visual atau setelah penggunaan alat ukur oleh operator
<i>Low</i>	6	Kegagalan terdeteksi setelah proses dengan alat ukur oleh operator
<i>Moderate</i>	5	Kegagalan terdeteksi di unit dengan alat ukur oleh operator atau di unit oleh alat kontrol pada unit tersebut, seperti <i>light buzzer</i> .
<i>Moderately High</i>	4	Kegagalan terdeteksi setelah proses dengan alat kontrol pada unit dan mengunci proteksi mesin untuk mencegah proses berikutnya
<i>High</i>	3	Kegagalan terdeteksi di unit dengan alat kontrol pada unit dan mengunci proteksi mesin untuk mencegah proses berikutnya
<i>Very High</i>	2	Kesalahan di deteksi di unit dengan alat kontrol eksisting yang mendeteksi kesalahan dan mencegah di proses produksi berjalan

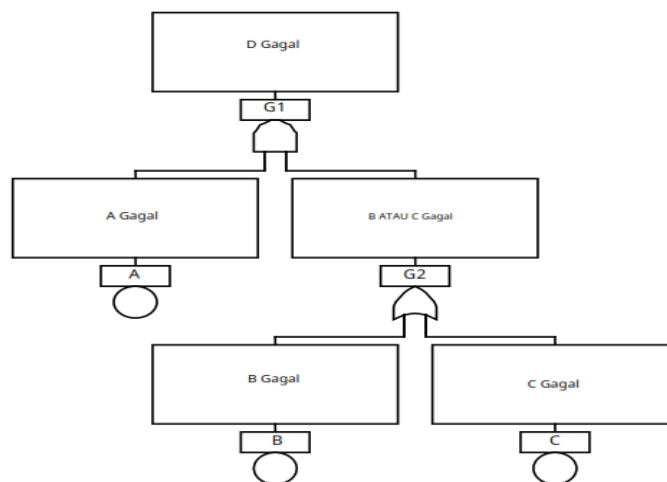
<i>Almost Certain</i>	1	Pencegahan kesalahan dengan <i>fixture design</i> , <i>machine design</i> , atau <i>part design</i> . Part reject tidak bisa dibuat karena item sudah di error-proofed
-----------------------	---	--

Pengukuran *severity* atau dampak kerusakan peralatan didasarkan pada kemampuan proses produksi untuk mengatasi efek kegagalan, yang mencakup penurunan dalam kemampuan produksi dan keselamatan. Peringkat adalah nilai relatif dalam konteks FMEA yang diterapkan pada kriteria *severity*, *occurrence*, dan *detection* (10).

2.3 Pembuatan *Fault Tree Analysis*

Pada tahapan pembuatan *Fault Tree Analysis* dibutuhkan langkah dimana ada beberapa tahapan yang harus diperhatikan untuk mendapatkan prosedur dan pendekatan yang digunakan dengan menggunakan diagram FTA sebagai tool untuk menganalisis dan mengevaluasi mode kegagalan adalah sebagai berikut:

1. Menetapkan kejadian puncak (*top event*).
2. Menentukan *intermediate event* tingkat pertama terhadap kejadian puncak.
3. Menentukan hubungan *intermediate event* tingkat pertama ke *top event* dengan menggunakan gerbang logika (*logic gate*).
4. Menentukan *intermediate* tingkat atau level kedua.
5. Menentukan hubungan *intermediate event* tingkat kedua ke *intermediate event* tingkat pertama dengan menggunakan gerbang logika (*logic gate*).
6. Melanjutkan-nya sampai ke *basic event*.



Gambar 3. Contoh *Fault Tree Analysis* yang disederhanakan

2.4 Perhitungan Waktu Kerusakan Pada Sub-sistem

Perhitungan ini merupakan tahap perhitungan *Time To Failure*, *Time To Repair* dan *Time Between Failure* pada setiap sub-sistem. *Time Failure* adalah waktu kerusakan mesin yang digunakan untuk mengevaluasi tingkat keandalan (*reliability*) dan untuk merencanakan strategi perawatan (*maintainability*) pada suatu mesin (11). *Time Failure* mencakup TTF (*Time to Failure*), TTR (*Time to Repair*), dan TBF (*Time Between Failure*).

1. **TTR (*Time to Repair*)** adalah waktu yang dibutuhkan untuk memperbaiki mesin, diukur dari saat kerusakan terjadi hingga mesin kembali beroperasi normal.
2. **TTF (*Time to Failure*)** adalah waktu menuju kerusakan, diukur dari saat mesin kembali dalam kondisi normal setelah perbaikan hingga mesin mengalami kerusakan berikutnya.
3. **TBF (*Time Between Failure*)** adalah waktu antar kerusakan, diukur dari saat mesin mengalami kerusakan hingga kerusakan berikutnya terjadi.

3 Hasil dan Pembahasan

3.1 Analisis Komponen SPKLU Menggunakan Metode FMEA

Kajian FMEA ini diperlukan untuk menjaga keandalan unit SPKLU dikarenakan setiap mode kegagalan pada komponen dapat menyebabkan dampak dan menyebabkan terjadinya kegagalan oleh karena itu penting untuk mengetahui faktor risiko yang dapat terjadi terlebih dahulu. Tujuan yang dicapai dari FMEA yaitu dapat menentukan tindak lanjut yang tepat untuk mengatasi, menghilangkan dan meminimalisasi terhadap kemungkinan mode kegagalan yang telah didapatkan dalam bentuk kegiatan *periodic maintenance*. Proses pengelolaan risiko dengan metode FMEA dimulai dengan melakukan identifikasi risiko pada komponen - komponen yang berpengaruh terhadap *reliability* dari SPLKU. Proses identifikasi risiko ini dilakukan dengan mengumpulkan potensi risiko pada tiap komponen. Tabel 5 menunjukkan Analisis Komponen SPKLU Menggunakan Metode FMEA.

Tabel 5. Analisis Komponen SPKLU Menggunakan Metode FMEA

Sub-Sistem	Item	Failure Mode	Dampak	Penyebab	Pencegahan
Charge	Surge Protection	Overheating	Surge Protection tidak dapat bekerja dengan baik atau rusak	Rusaknya <i>metal oxide varistors</i> dan <i>semiconductors</i> dalam sistem <i>surge protection</i> .	Dilakukan pemasangan <i>enclosure</i> dan <i>cooling</i> untuk mengurangi panas.
	AC Isolation Circuit Breaker	Aging and Corrosion	AC Isolation Circuit Breaker tidak stabil (sering mengalami trip) atau tidak berfungsi.	Suhu ekstrim yang merusak mekanisme penguncian yang menahan <i>circuit breaker</i> tetap tertutup.	Melakukan pengecekan secara berskala, apabila ada tanda seperti <i>overheating</i> , terbakar, ataupun <i>noise</i> menandakan adanya kerusakan <i>circuit breaker</i>
	AC Power Contactor	Short circuit	Akan mempengaruhi fungsi sub-komponen lainnya jika terjadi kerusakan	Proses manufaktur yang tidak benar, Proses assembly yang tidak sesuai, umur sub-komponen yang menyebabkan rusaknya kabel	Menggunakan perlindungan tegangan dan arus tinggi pada sistem dan melakukan <i>periodic maintenance</i>
	Charging Cable & Connector	Open Circuit	SPKLU tidak dapat mengalirkan daya ke kendaraan dan SPKLU tidak dapat terkoneksi dengan EV	Degradasi karena faktor eksternal dan proses <i>assembly</i> yang tidak sesuai	Memilih produsen yang baik, melakukan perawatan berkala.
Control & Monitor	Auxiliary Power Supply	Overheating	Power supply mengalami kerusakan dan tidak dapat berfungsi	Kerusakan pada <i>cooling sistem</i>	melakukan perawatan berkala.
	AC Charging Controller	Overvoltage or Overcurrent	Overvoltage dan Overcurrent dapat menyebabkan kerusakan permanen pada sirkuit internal atau menyebabkan kegagalan fungsi.	Mikrokontroler dapat gagal jika terkena tegangan atau arus yang lebih tinggi dari nilai maksimumnya.	Menggunakan perlindungan tegangan dan arus tinggi pada sistem dan melakukan <i>periodic maintenance</i>
	Energy Measurement	Overvoltage or Overcurrent, Corrosion	Kerusakan pada perangkat dapat mengakibatkan ketidakakuratan pengukuran	Penggunaan yang berlebihan atau di luar batas spesifikasi perangkat dapat menyebabkan kerusakan atau ada faktor eksternal	Menggunakan perlindungan tegangan dan arus tinggi pada sistem dan melakukan <i>periodic maintenance</i>
	Residual Current Monitor	Short Circuit	RCM tidak dapat berfungsi sehingga menyebabkan kegagalan dalam mendeteksi arus bocor.	Proses manufaktur yang tidak sesuai, Proses <i>soldering</i> dan <i>assembly</i> yang tidak sesuai, aging yang menyebabkan rusaknya kabel	Menggunakan perlindungan tegangan dan arus tinggi pada sistem dan melakukan <i>periodic maintenance</i>

Sub-Sistem	Item	Failure Mode	Dampak	Penyebab	Pencegahan
Communication and User Interface	Wired & Wireless Connectivity	Error Connectivity	SPKLU tidak dapat terhubung dengan EV dan pengguna	Update software yang belum dilakukan, adanya halangan saat menghubungkan software	Melakukan <i>periodic maintenance</i>
	Display & LED Indicator	Display mati, berkedip, tidak responsive	Kegagalan tampilan dapat mengakibatkan SPKLU sulit dioperasikan pengguna dan tidak dapat menampilkan informasi terkait dengan pengoperasian SPKLU	Degradasi karena faktor eksternal dan proses <i>assembly</i> dan <i>welding</i> yang tidak tepat selama manufacturing	Menggunakan perlindungan tegangan dan arus tinggi pada sistem dan melakukan <i>periodic maintenance</i>
	Radio Frequency Identification	Mechanical or Electrical Failure	Kesulitan atau kegagalan dalam mengidentifikasi atau mendeteksi tag RFID.	Suhu ekstrem, kelembaban tinggi, atau faktor eksternal lainnya.	Pilih Tag RFID yang sesuai, melakukan <i>periodic maintenance</i> , dan pemasangan yang tepat

3.2 Analisis Komponen Kritis SPKLU dengan Menggunakan Nilai Risk Priority Number

Nilai Risk Priority Number (RPN) merupakan peringkat risiko untuk setiap mode kegagalan yang didapatkan dengan mengalikan tiga elemen yaitu nilai *severity*, *occurrence*, dan *detection*. Tabel 6 merupakan penilaian komponen kritis SPKLU dengan menggunakan nilai risk priority number.

Tabel 6. Analisis Komponen Kritis SPKLU dengan Menggunakan Nilai Risk Priority Number

Komponen	Severity	Occurence	Detection	RPN
Surge Protection	10	2	6	120
AC Isolation Circuit Breaker	10	2	6	120
AC Power Contactor	10	2	6	120
Charging Cable & Connector	7	7	2	98
Auxiliary Power Supply	8	1	6	48
AC Charging Controller	8	2	5	80
Energy Measurement	6	3	3	54
Residual Current Monitor	6	3	3	54
Wired & Wireless Connectivity	6	10	2	120
Display & LED	3	8	2	48

Indicator				
Radio Frequency Identification	1	3	4	12

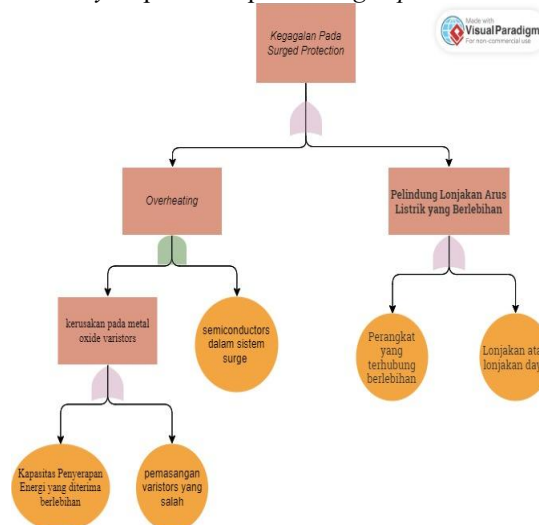
Dari hasil perhitungan dapat dilihat bahwa dari hasil perhitungan didapatkan bahwa komponen yang memiliki nilai RPN paling tinggi adalah *wired & wireless connectivity, surged protection, circuit breaker dan power contactor*.

3.3 Fault Tree Analysis (FTA)

Langkah selanjutnya melakukan analisis penyebab yang dapat menimbulkan kerusakan pada komponen *wired & wireless connectivity, surged protection, circuit breaker dan power contactor* menggunakan *Fault Tree Analysis (FTA)*. Hal ini dilakukan untuk mencari semua penyebab yang di duga menimbulkan akibat sehingga timbulah suatu masalah, sehingga nantinya jika mendapati kerusakan pada komponen tersebut maka devisi *operation & maintenance* tidak akan kaget dan akan mudah untuk mencari solusi dalam memperbaikinya.

Fault Tree Analysis Komponen *surged protection*

Berikut merupakan *Fault Tree Analysis* pada komponen *surged protection*.



Gambar 4. *fault tree analysis* komponen *surged protection*

Pada *fault tree analysis* komponen *surged protection* diatas, diperoleh hasil yang dapat dilihat pada tabel 7. dibawah.

Tabel 7. Hasil *fault tree analysis* komponen *surged protection*.

Komponen	Hasil FTA	Rekomendasi
<i>surged protection</i>	<ol style="list-style-type: none"> 1. semiconductors dalam sistem surge 2. Kapasitas Penyerapan Energi yang diterima berlebihan 3. pemasangan varistors yang salah 4. Perangkat yang terhubung berlebihan 5. Lonjakan atau lonjakan daya 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Dilakukan pemasangan <i>enclosure</i> 2. <i>cooling</i> untuk mengurangi panas.

3.4 Perhitungan Waktu Kerusakan Pada Sub-sistem

Perhitungan ini merupakan tahap perhitungan *Time To Failure, Time To Repair* dan *Time Between Failure* pada setiap sub-sistem. Tabel 8 merupakan contoh salah satu perhitungan waktu kerusakan pada sub-sistem *charge* pada SPKLU:

Tabel 8. Contoh rekapitulasi data hasil perhitungan waktu kerusakan pada sub-sistem *charge* sistem SPKLU.

Downtime Dimulai	Downtime Selesai	TTR (jam)	TTF (jam)	TBF (jam)
09/01/2023 16.45	09/01/2023 19.55	3,167	-	-
14/02/2023 13.00	14/02/2023 16.49	3,817	857,083	860,250
18/03/2023 04.18	18/03/2023 08.40	4,367	755,483	759,300
22/03/2023 13.35	22/03/2023 17.42	4,117	100,917	105,283
29/05/2023 21.36	30/05/2023 07.16	9,667	1635,900	1640,017
15/07/2023 02.57	15/07/2023 10.20	7,383	1099,683	1109,350
02/08/2023 04.36	02/08/2023 09.15	5,350	426,267	433,650
01/10/2023 14.55	01/10/2023 20.16	5,350	1445,667	1450,317
06/10/2023 12.13	06/10/2023 15.34	3,350	111,950	117,300
01/11/2023 03.48	01/11/2023 09.21	5,550	612,233	615,583
12/12/2023 16.41	12/12/2023 21.46	5,083	991,333	1002,883
21/12/2023 23.22	22/12/2023 09.35	10,217	241,600	246,683

Berikut merupakan contoh perhitungan waktu kerusakan sub-sistem *charge* pada sistem SPKLU:

1. *Time To Repair* (TTR)

Time To Repair merupakan durasi downtime pada satu waktu tertentu. Nilai *Time To Repair* diperoleh dari selisih antara waktu selesai *downtime* dengan waktu mulainya *downtime* pada suatu waktu periode kerusakan. Berikut adalah contoh perhitungan *Time To Repair*:

$$\begin{aligned} TTR &= \text{Waktu Selesai Downtime} - \text{Waktu Mulai Downtime} \\ TTR &= 09 \text{ Januari 2023 (16.45)} - 09 \text{ Januari 2023 (19.55)} \\ TTR &= 190 \text{ menit} = 3,167 \text{ jam} \end{aligned}$$

2. *Time To Failure* (TTF)

Time To Failure diperoleh dari selisih antara waktu mulai terjadinya downtime pada hari berikutnya dengan waktu selesai *downtime* periode kerusakan sebelumnya. Berikut adalah contoh perhitungan *Time To Failure*:

$$\begin{aligned} TTF &= \text{Waktu Mulai Downtime} - \text{Waktu Selesai Downtime} \\ TTF &= 09 \text{ Januari 2023 (19.55)} - 14 \text{ Februari 2023 (13.00)} \\ TTF &= 51425 \text{ menit} = 857,083 \text{ jam} \end{aligned}$$

3. *Time Before Failure* (TBF)

Time Before Failure merupakan hasil penjumlahan antara *Time To Repair* sebelumnya dengan *Time To Failure* saat ini. Berikut adalah contoh perhitungan *Time Before Failure*:

$$\begin{aligned} TBF &= \text{Time To Failure} + \text{Time To Repair} \\ TBF &= 857,083 + 3,167 \\ TBF &= 860,250 \text{ menit} \end{aligned}$$

4 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan terkait dengan *reliability* pada SPKLU, maka dapat disimpulkan bahwa :

1. Pemilihan komponen kritis dilakukan dengan melakukan perhitungan nilai RPN (*Risk Priority Number*) yang didapatkan nilai tertinggi. Dari hasil perhitungan nilai RPN komponen yang termasuk ke dalam komponen kritis pada sistem SPKLU adalah *wired & wireless connectivity*, *surged protection*, *circuit breaker* dan *power contactor* mendapatkan nilai tertinggi yaitu 120, sedangkan yang mendapatkan nilai terendah adalah *Radio Frequency Identification* dengan hasil nilai RPN yaitu 12.
2. Akar permasalahan yang didapat menggunakan metode *Fault Tree Analysis* (FTA) yang terdapat di salah satu komponen kritis pada SPKLU yaitu *surged protection* meliputi semiconductors dalam sistem surge , Kapasitas Penyerapan Energi yang diterima berlebihan, pemasangan varistors yang salah, Perangkat yang terhubung

berlebihan Lonjakan atau lonjakan daya.

3. Berdasarkan hasil analisis contoh perhitungan waktu kerusakan pada salah satu komponen kritis SPKLU yaitu *charge* yang terdiri dari perhitungan *Time To Failure*, *Time To Repair* dan *Time Between Failure*, di dapatkan nilai *Time To Failure* sebesar (*TTF*) = 51425 menit = 857,083 jam, dan *Time To Repair* sebesar (*TTR*) = 190 menit = 3,167 jam, serta *Time Before Failure* sebesar (*TBF*) = 860,250 menit.

5 Daftar Pustaka

- [1] Guo J, Zhao Q, Xi M. Sustainable Urban Logistics Distribution Network Planning with Carbon Tax. *Sustain.* 2022;14(20).
- [2] Wawrzyniak D, Doryń W. Does the quality of institutions modify the economic growth-carbon dioxide emissions nexus? Evidence from a group of emerging and developing countries. *Econ Res Istraz* [Internet]. 2020;33(1):124–44. Available from: <https://doi.org/10.1080/1331677X.2019.1708770>
- [3] Chen WJ. Toward Sustainability: Dynamics of Total Carbon Dioxide Emissions, Aggregate Income, Non-Renewable Energy, and Renewable Power. *Sustain.* 2022;14(5).
- [4] <https://www.bps.go.id/id/statistics-table/3/VjJ3NGRGa3dkRk5MTIU1bVNFOTVVbmQyVURSTVVFUMDkjMw==/jumlah-kendaraan-bermotor-menurut-provinsi-dan-jenis-kendaraan--unit---2021.html?year=2021>. 2021.
- [5] Dharmawan Y, Fuady A, Korfage I, Richardus JH. Individual and community factors determining delayed leprosy case detection: A systematic review. *PLoS Negl Trop Dis* [Internet]. 2021;15(8):1–17. Available from: <http://dx.doi.org/10.1371/journal.pntd.0009651>
- [6] Dwangga M. Intensitas Polusi Udara Untuk Penunjang Penataan Ruang Kota Pelaihari Kabupaten Tanah Laut. *J Tek Ind.* 2018;4(2):69–77.
- [7] <https://iesr.or.id/pustaka/ieto2022/>. 2022.
- [8] Heydari, R., Savaghebi, M. & Blaabjerg, F., 2021, Control of Power Electronic Converters and Systems. Blaabjerg, F. (ed.). Academic Press, Vol. 3. p. 523-540 18 p. 2021;
- [9] Smith, W. K., & Lewis, M. W. (2011). Toward a theory of paradox: A dynamic equilibrium model of organizing. *The Academy of Management Review*, 36(2), 381–40. 2011;
- [10] Carlson, E. B., Dalenberg, C., & McDade-Montez E. Carlson, E. B., Dalenberg, C., & McDade-Montez, E. (2012). Dissociation in posttraumatic stress disorder part 1: Definitions and review of research. *Psychological Trauma: Theory, Research, Practice, and Policy*, 4(5), 479–489. 2012;
- [11] Ebeling. @inproceedings{Ebeling1996AnIT, title={An Introduction to Reliability and Maintainability Engineering}, author={Charles E. Ebeling}, year={1996}, url={<https://api.semanticscholar.org/CorpusID:106645710>}}. 1996.