

Sistem Jaringan Tegangan Rendah di PT. PLN ULP Binjai Timur Dengan Metode *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA)

Notatema Waruwu¹, Zuraidah Tharo²

^{1,2}Program Studi Teknik Elektro, Universitas Pembangunan Panca Budi
Medan, Indonesia

corresponding author(s): notatemawaruwu06@gmail.com

Abstrak— Metode Analisis Kerusakan dan Dampak (FMEA) adalah pendekatan induktif yang digunakan untuk menentukan kemungkinan kerusakan pada produk atau proses. Metode ini fokus pada menemukan kemungkinan kerusakan, penyebab, dan dampaknya, dan memprioritaskan perbaikan berdasarkan tingkat kepentingan kerusakan. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui seberapa besar kerusakan tersebut. Tingkat kegelapan sistem distribusi 20 kV di ULP Binjai Timur merupakan tujuan dari penelitian ini. Metode Analisis Efek Mode Gagal (FMEA) digunakan dalam penelitian ini. Metode ini menilai indeks kegagalan pada setiap komponen inti sistem distribusi, dan kemudian menghitung pengukuran keandalan sistem secara keseluruhan. Studi ini dilakukan di PT. PLN (persero) ULP Binjai Timur menggunakan kasus studi. Tujuan untuk memahami bagaimana jumlah dan lokasi penempatan sectionalizer di sepanjang jaringan memengaruhi indeks yang menunjukkan keandalan sistem. Menurut hasil analisis beberapa penyulang dalam 1 JTR ULP Binjai Timur Menurut metode FMEA, nilai SAIFI adalah 3,80237, sedangkan hasil simulasi menunjukkan angka 3,8174. Di sisi lain, penyulang 2 JTR ULP Binjai Timur memiliki nilai SAIDI sebesar 11,9697 dan 12,1197, sedangkan Nilai SAIFI kedua penyulang adalah 6,82974 menurut metode FMEA, sedangkan nilai simulasi adalah 6,4743. Nilai SAIDI untuk kedua penyulang adalah 13,9370443 dan 14,5671. Namun, keduanya masih belum memenuhi standar PT. PLN (persero) untuk nilai SAIFI dan SAIDI. Oleh karena itu, diperlukan perbaikan untuk membuat sistem distribusi lebih andal.

Kata Kunci— Jaringan Tegangan Rendah, SAIDI, SAIFI, FMEA, Keandalan.

Abstract— The Damage and Impact Analysis (FMEA) method is an inductive approach used to determine possible damage to the Damage and Impact Analysis (FMEA) method is an inductive approach used to determine possible damage to a product or process. This method focuses on finding possible defects, their causes, and impacts, and prioritizing repairs based on the importance of the defect. The purpose of this research is to find out how big the damage is. The level of darkness of the 20 kV distribution system at ULP Binjai Timur is the objective of this research. The Failure Mode Effects Analysis (FMEA) method is used in this research. This method assesses the failure index on each core component of the distribution system and then calculates the overall system reliability measurement. This study was conducted at PT PLN (Persero) ULP Binjai Timur using a case study. The purpose of this study is to understand how the number and location of sectionalized placement along the network affect the indexes that indicate system reliability. According to the results of the analysis some of the sectionalizers in 1 JTR ULP Binjai Timur According to the FMEA method, the SAIFI value is 3.80237, while the simulation results show a figure of 3.8174. On the other hand, JTR ULP Binjai Timur's 2 JTRs have SAIDI values of 11.9697 and 12.1197, while the SAIFI value of the two fibers is 6.82974 according to the FMEA method, while the simulation value is 6.4743. The SAIDI values for the two power lines are 13.9370443 and 14.5671. However, both still do not meet PT PLN (Persero) standards for SAIFI and SAIDI values. Therefore, improvements are needed to make the distribution system more reliable.

Keywords— Low Voltage Network, SAIDI, SAIFI, FMEA, Reliability.

I. PENDAHULUAN

Sudah jelas bahwa listrik sangat penting bagi kehidupan sehari-hari orang, seperti yang dinyatakan dalam slogan "Listrik untuk kehidupan yang lebih baik"[1].

Dengan pertumbuhan ekonomi dan populasi yang terus meningkat, permintaan listrik di Indonesia pun semakin meningkat. PT. PLN (Persero), penyedia listrik utama di Indonesia, berkomitmen untuk terus meningkatkan Keandalan dan penyediaan listrik yang memadai untuk memenuhi kebutuhan masyarakat adalah faktor kunci dalam menjaga kualitas layanan listrik. Energi listrik Kehidupan manusia sangat bergantung pada energi listrik. di zaman sekarang, dan sumber daya energi menjadi salah satu aspek yang paling esensial [2].

PLN harus menjalankan standar pelayanan yang tinggi sambil memenuhi tanggung jawabnya untuk menyediakan listrik berkualitas tinggi kepada pelanggannya. Hal ini dapat tercapai dengan memastikan bahwa seluruh proses, mulai dari perencanaan, konstruksi, operasional, dan pemeliharaan sistem tenaga listrik, selalu

mengikuti persyaratan teknis yang berlaku. Selain itu, dalam proses distribusi listrik dari pembangkit listrik ke konsumen, perlu meminimalkan kerugian atau pembuangan energi [3].

Dalam pengaturan instalasi listrik, beragam sistem distribusi daya listrik diterapkan untuk mengalirkan energi dari sumber utama ke pengguna akhir. Jenis sistem distribusi yang digunakan mempengaruhi kualitas daya yang sampai ke konsumen [4].

Sangat penting untuk memastikan bahwa kualitas dan pasokan listrik berada pada level terbaik saat menjalankan sistem operasi energi listrik. Salah satu cara untuk mencapainya adalah dengan memastikan bahwa sistem distribusi jaringan tegangan rendah (JTR) memenuhi Standar ini ditetapkan berdasarkan parameter-parameter yang ada pada peralatan sentral seperti generator, transformator step-up, dan saluran transmisi berkekuatan tinggi atau ekstra tinggi serta jaringan distribusi [5].

Dalam distribusi daya listrik, terdapat banyak masalah yang dapat mempengaruhi atau merusak sistem. Ada kemungkinan bahwa perubahan resistensi, yang disebabkan oleh peningkatan atau penurunan tegangan, mempengaruhi kinerja peralatan listrik[6].

Ketidakstabilan tegangan dalam jaringan distribusi tegangan rendah dapat menyebabkan tegangan yang melebihi batas operasional yang ditentukan atau bahkan menyebabkan kondisi ketidakstabilan tegangan. Efek ketidakstabilan tegangan dalam jaringan distribusi tegangan rendah termasuk penuaan peralatan dan penurunan akurasi peralatan instrumen [7].

Peraturan Ketenagalistrikan Nomor 30 Tahun 2009 Republik Indonesia, PT. PLN (Persero) ULP Binjai Timur adalah satu-satunya perusahaan milik pemerintah di sektor pelayanan kelistrikan di Indonesia yang memiliki dominasi dalam penjualan listrik. PT. PLN (persero)ULP Binjai Timur memiliki hak monopoli dan memiliki berbagai macam pelanggan, termasuk rumah tinggal, bangunan komersial, kantor, dan berbagai jenis industri [8]. Selain itu, sebagai salah satu cabang PLN, PT. PLN (Persero) ULP Binjai Timur masih menyediakan dua opsi pembayaran, yaitu Prabayar dan Pascabayar. Pilihan di antara keduanya[8].

Bagian area termasuk dalam Unit Pelayanan Jaringan (UPJ) ULP Binjai Timur milik PT. PLN (Persero). manajemen jaringan dengan sambungan rendah dan tegangan rendah (JTR), perlengkapan dan pengukur (APP), pengelolaan keuangan, dan penerimaan hasil penjualan tenaga listrik adalah tanggung jawab UPJ. Administrasi dan pengelolaan sumber daya manusia (SDM) juga bertanggung jawab untuk membangun hubungan kerja yang efektif, kolaborasi, dan komunikasi. untuk menjaga reputasi industri dan mematuhi prinsip Tata Kelola Industri yang Baik (Good Corporate Governance). ULP Binjai Timur memiliki kapasitas untuk membangun kawasan industri yang besar, tetapi beberapa penyulang sering menghadapi masalah, terutama penyulang 1 dan 2. Oleh karena itu, peningkatan keandalan dibutuhkan melalui pemeliharaan preventif jaringan dan pengurangan frekuensi kendala.

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Sistem Energi Listrik

Pembangkit listrik, sistem transmisi, dan sistem distribusi. Tujuan sistem ini adalah untuk memberikan listrik kepada konsumen dari produsen tanpa mengorbankan sistem perlindungan.

Secara umum, Sistem energi listrik terdiri dari tiga komponen pokok: pembangkitan, transmisi, dan distribusi. Terdapat berbagai jenis sistem pembangkit Energi listrik dihasilkan melalui berbagai metode, termasuk pembangkit Pembangkit listrik tenaga air (PLTA), pembangkit listrik tenaga uap (PLTU), pembangkit listrik tenaga gas (PLTG), dan pembangkit listrik tenaga nuklir (PLTN) adalah beberapa metode untuk menghasilkan listrik[9].

B. Jaringan Tegangan Rendah

Jaringan tegangan rendah biasanya dimulai di gardu distribusi dan merupakan bagian integral dari sistem distribusi energi listrik. serta berakhir pada perlengkapan pembatas, pengukur, atau ammeter, yang dipasang pada perlengkapan konsumen. Jaringan tegangan rendah terdiri dari saluran distribusi tegangan rendah, titik penyambungan, dan sambungan layanan, yang termasuk alat pembatas dan pengukur, atau meter, yang terpasang pada perlengkapan konsumen. Gangguan jaringan tegangan rendah biasanya tidak terjadi. serta gardu transformator distribusi memiliki tingkat kerugian tegangan sekitar 10%. Di sisi lain, penghantar sambungan ke rumah konsumen memiliki tingkat kerugian tegangan sekitar 2%. Dalam situasi ini, sambungan rumah dihitung dari titik penyambungan pada saluran tegangan rendah[10].

C. Keandalan Distribusi

Keandalan tenaga listrik adalah seberapa baik sebuah perangkat dapat memenuhi tujuan dalam jangka waktu tertentu dan dalam kondisi operasional tertentu untuk memenuhi kebutuhan energi konsumen. Indeks keandalan seperti LOLP (Probabilitas Loss of Load) dan UE (Unserved Energy) digunakan untuk mengevaluasi keandalan ketersediaan daya pada suatu sistem pembangkit [11]. Tingkatan keandalan setiap komponen sangat bergantung pada keadaan di dalamnya dan area operasionalnya, termasuk operasi dan penyimpanan. Bisa dikatakan bahwa keandalan ini akan menurun seiring dengan bertambahnya usia perangkat. Selain itu, komponen yang mempengaruhi keandalan distribusi dapat dipertimbangkan.

Beberapa faktor yang memengaruhi indeks keandalan dalam sistem distribusi sesuai dengan standar IEEE P1366 meliputi [12]:

a. *Interruption of Supply*

Penghentian layanan kepada satu ataupun lebih pelanggan disebabkan oleh gangguan pada satu ataupun lebih komponen.

b. *Outage*

Situasi di mana suatu bagian tidak berfungsi seperti yang diharapkan karena berbagai peristiwa yang terkait dengan bagian tersebut Pemadaman dapat atau tidak terjadi akibat gangguan, tergantung pada konfigurasi sistem.

c. *Outage Duration*

waktu yang diperlukan antara gangguan pertama pada suatu komponen dan saat komponen tersebut dapat berfungsi kembali sesuai dengan fungsinya semula

d. *interruption Duration.*

waktu antara pemadaman dimulai dan kembalinya pasokan listrik. Jumlah total pelanggan yang dilayani—total jumlah pelanggan yang menerima layanan selama periode laporan terakhir—dibandingkan dengan rasio pelanggan yang mendapatkan layanan.

e. Periode laporan.

Periode laporan dianggap setahun. Tingkat kegagalan (λ), Dalam evaluasi keandalan sistem distribusi radial, biasanya digunakan tiga parameter utama, yaitu frekuensi pemadaman (F), rata-rata durasi pemadaman (D), dan indeks keandalan tahunan (SAIDI).

D. *Indeks Keandalan Jaringan tegangan rendah adalah komponen dalam Sistem pengaliran energi listrik dengan tegangan 20 kV. Jaringan Indeks dalam sistem distribusi menggunakan faktor-faktor dasar untuk menilai tingkat kehandalan sistem, yakni[13]:*

a. λ = Rata-rata frekuensi kegagalan per tahun.

b. r = Rata-rata lamanya pemadaman pasokan listrik dalam satu tahun (dalam jam).

c. U = Rata-rata lamanya pemadaman pasokan listrik dalam satu tahun (dalam jam).

Standart Keandalan Sistem Jaringan Distribusi

Standar yang ditetapkan oleh PLN dapat digunakan sebagai acuan basis untuk mengevaluasi kondisi sistem, seperti [4]:

SAIFI: 1,2 kali per pengguna per tahun

SAIDI: 0,83 jam per pengguna per tahun

Selain itu, standar lain, IEEE P1366j–2003, dianggap memiliki keandalan sistem yang baik jika memenuhi persyaratan berikut:

SAIFI adalah 1,26 kali per tahun untuk setiap pengguna.

SAIDI: 1,9 jam per tahun untuk setiap pengguna.

III. METODE PENELITIAN

Ada beberapa pendekatan analisis Mode Failure Effect (FMEA) yang digunakan untuk meningkatkan nilai keandalan melibatkan pembagian sistem menjadi bagian yang lebih kecil. Ini dilakukan untuk mengurangi kemungkinan kesalahan dan waktu yang diperlukan[14]. Dalam proses penelitian ini, langkah-langkah berikut diambil:

a. Informasi tentang penyulang, jalur distribusi, dan jaringan tegangan rendah dikumpulkan.

b. Menghitung beban pada saat terjadi kegagalan pada transformator, saklar, dan kabel dengan menggunakan data tingkat kegagalan standar.

a. Hasil perhitungan untuk beban 1 yang dipengaruhi oleh tombol. Jika terjadi kegagalan pada tombol 1, maka indeks kegagalan akan berdampak pada beban 1 yang berasal dari tombol tersebut. Nilai indeks kegagalan tombol = 0,003 kali satu, atau tombol yang berkontribusi pada kegagalan beban 1) = 0,003λ.

Hasil dari perhitungan beban 1 yang dipengaruhi Pengaruh dari kabel: jika terjadi masalah pada kabel 1, masalah tersebut tersebut akan mempengaruhi beban 1 dari kabel 1 hingga kabel 6, kabel 8 hingga kabel 11, kabel 18, dan Jaringan, termasuk kabel 20 dan kabel 21, sehingga akan memengaruhi indeks kegagalan kabel. Nilai indeks kegagalan kabel adalah 0,2 x 16,965, menunjukkan bahwa panjang kabel yang mempengaruhi kegagalan beban 1 adalah. 3,393. Oleh karena itu, lambda total beban 1 adalah 0,065 + 0,003 +3,393 + 0,004 (cb) = 3,465. Perhitungan kegagalan yang berdasarkan pada panjang kabel yang memengaruhi waktu perbaikan

TABEL III. INFORMASI MENGENAI PANJANG KABEL YANG TERKENA DAMPAK KEGAGALAN

Data Panjang Kabel		
Saluran	L (Km)	Kabel yang dipengaruhi Kegagalan
L1	12.296	12.296
L2	0.596	0.596
L3	0.528	0.528
L4	1.001	1.001
L5	0.096	0.096
L6	0.059	0.059
L7	0.226	
L8	0.514	0.514
L9	0.439	0.439
L10	0.103	0.103
L11	0.122	0.122
L12	0.139	
L13	0.676	
L14	1.413	
L15	1.884	
L16	1.455	
L17	1.051	
L18	0.458	0.458
L19	0.247	
L20	0.439	0.439
L21	0.314	0.314
Nilai Keseluruhan	24.056	
Nilai yang dipengaruhi Kegagalan		16.965

Sumber: Data diolah, 2023

b. Waktu perbaikan U dihitung dengan mengalikan nilai indeks kegagalan dalam setiap tingkat dengan durasi perbaikan.

$$0,065 \times 10 = 0,65$$

$$0,003 \times 10 = 0,03$$

$$3,393 \times 3 = 10,179$$

$$0,004 \times 10 = 0,04$$

c. Jadi, U (waktu/waktu kegagalan) dari beban 1 adalah 0,65 + 0,03 + 10,179 + 0,04 (cb) = 10,899 U. Hasil perhitungan SAIFI

$$\frac{465 \times 416}{3257}$$

SAIFI 0,44257

d. Hasil perhitungan SAIDI

$$\frac{10,899 \times 416}{3257}$$

SAIDI 1,39207

e. Hasil perhitungan CAIDI

$$\frac{1,39207 \times 416}{0,44257}$$

CAIDI 3,14545

Perhitungan tingkat keandalan dengan menggunakan metode FMEA pada penyulang menghasilkan nilai-nilai sebagai berikut. 1 Binjai Timur

TABEL IV. HASIL EVALUASI INDEKS KEANDALAN PADA PENYULANG 1 DI BINJAI TIMUR ADALAH SEPERTI BERIKUT INI.

FMEA	
SAIFI	3.80237
SAIDI	11.9697
CAIDI	3.14796

Sumber: Data diolah, 2023

TABEL V. EVALUASI INDEKS KEANDALAN PADA PENYULANG 1 DI BINJAI TIMUR MEMILIKI HASIL SEBAGAI BERIKUT.

Simulasi	
SAIFI	3.8174
SAIDI	12.1197
CAIDI	3.175

Sumber: Data diolah, 2023

Hasil evaluasi indeks keandalan yang dianalisis dengan menggunakan metode FMEA pada JTR penyulang 2 Binjai Timur.

TABEL VI. MENUNJUKKAN HASIL EVALUASI INDEKS KEANDALAN JTR CLOSING 2 EAST BRANCH.

Simulasi	
SAIFI	6.82974
SAIDI	13.9370443
CAIDI	2.04064

Sumber: Data diolah, 2023

TABEL VII. PENILAIAN INDEKS KEANDALAN MELALUI SIMULASI PADA PENYULANG 2 DI BINJAI TIMUR MENGHASILKAN HASIL BERIKUT.

Simulasi	
SAIFI	6.4743
SAIDI	14.5671
CAIDI	2.250

Sumber: Data diolah, 2023

f. Mencatat semua saluran tegangan rendah dan penyulang di kawasan Binjai Timur.

TABEL VIII. TOPOLOGI DATA PENYULANG

Penyulang	Panjang Saluran Jaringan Tegangan Rendah (Km)	Jumlah Pelanggan
1	24.056	3257
2	46.862	11729

Sumber: Data diolah, 2023

Seiring dengan panjang saluran, SAIDI dan SAIFI akan menurun. Ini disebabkan oleh jumlah fuses yang lebih besar yang diperlukan untuk mengurangi nilai lambda per titik beban, dan jumlah switch yang lebih besar diperlukan untuk mengkompensasi waktu perbaikan yang lebih lama.

V. KESIMPULAN DAN SARAN

Dengan mempertimbangkan hasil analisis dan simulasi, kita bisa membuat beberapa kesimpulan:

1. Dalam situasi penyulang 1 JTR, terdapat perbedaan Perbedaan antara Nilai SAIFI sekitar 0,01503 dan SAIDI sekitar 0,15 yang dibandingkan antara hasil simulasi dan perhitungan menggunakan metode FMEA menunjukkan bahwa Nilai SAIFI dan SAIDI tetap di bawah standar PT. PLN (persero).
2. Hasil perhitungan menggunakan metode FMEA dan simulasi untuk penyulang 2 di Bangsal mengindikasikan perbedaan sekitar 0,35544 untuk nilai SAIFI dan sekitar 0,63005 untuk nilai SAIDI. Hal ini menunjukkan bahwa penyulang Bangsal belum mencapai Saat ini Nilai SAIFI (sekitar 0,01503) dan SAIDI (sekitar 0,15) tidak memenuhi persyaratan PT. PLN (persero) untuk standar SAIFI dan SAIDI, seperti yang ditunjukkan oleh perbandingan antara perhitungan dengan metode FMEA dan hasil simulasi.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] K. F. Jago, P. E. Pambudi, and M. Mujiman, "PERENCANAAN JARINGAN DISTRIBUSI TEGANGAN RENDAH 3 PHASA 380 VOLT UNTUK MENANGGULANGI KEBUTUHAN DAYA LISTRIK DI DAERAH TERPENCIL," *J. Elektr.*, vol. 2, no. 1, pp. 69–74, 2015.
- [2] R. Harahap, S. A. Siregar, S. Hardi, and H. S. Syafruddin, "Analisis Sistem Jaringan Distribusi 20 KV Penyulang SB. 02 Pada PT. PLN (Persero) ULP Sibolga Kota Menggunakan Metode Section Technique dan Failure Mode Effect Analysis (FMEA)," *JET (Journal Electr. Technol.*, vol. 7, no. 2, pp. 87–95, 2022.
- [3] I. I. N. Setiawan, M. T. W. P. Jawab, N. M. A. E. D. Wirastuti, and I. A. Dharma, "SUSUNAN REDAKSI SPEKTRUM".
- [4] Y. F. Noufanda and P. Slamet, "Keandalan sistem jaringan distribusi 20KV di PT. PLN Rayon Ploso Menggunakan Metode FMEA," *J. EL Sains P-ISSN*, vol. 2527, p. 6336, 2021.
- [5] O. Kati, A. Khafabin, and S. Suparno, "Studi Evaluasi Distribusi Jaringan Tegangan Rendah (JTR) pada Gardu JPR 047 Penyulang Merak," *Elsains J. Elektro*, vol. 3, no. 1, 2021.
- [6] P. Hariyanto, S. Sepdian, M. Idris, and M. Isnén, "Perancangan Alat Proteksi Tegangan Listrik Berlebih dan Menurun pada Jaringan Distribusi Tegangan Rendah," *J. Elektron. List. dan Teknol. Inf. Terap.*, vol. 2, no. 2, pp. 23–29, 2021.
- [7] O. Zebua, N. Soedjarwanto, and J. Anggara, "Monitoring Stabilitas Tegangan Pada Jaringan Distribusi Tegangan Rendah," 2018.
- [8] I. Sitompul and L. Syafina, "Analisis Perbandingan Migrasi Listrik Pascabayar Menjadi Prabayar Terhadap Pendapatan PT. PLN (Persero) ULP Binjai Timur," *Indones. J. Islam. Econ. Bus.*, vol. 8, no. 1, pp. 65–78, 2023.
- [9] M. Aminudin, "SIMULATOR SISTEM TENAGA LISTRIK TIGA FASA DOUBLE FEEDERS UNTUK PENDIDIKAN DAN PELATIHAN," *Edu Elektr. J.*, vol. 6, no. 2, p. 32, 2017.
- [10] J. P. Ulahayanan, L. S. Patras, and F. Lisi, "Studi Perbaikan Kualitas Tegangan Pada Jaringan Distribusi Primer 20 kV di Kota Gorontalo," *J. Tek. Elektro dan Komput.*, vol. 8, no. 2, pp. 93–102, 2019.
- [11] S. SYAHRIAL, K. SAWITRI, and P. GEMAHAPSARI, "Studi Keandalan Ketersediaan Daya Pembangkit Listrik pada Jaringan Daerah 'X,'" *ELKOMIKA J. Tek. Energi Elektr. Tek. Telekomun. Tek. Elektron.*, vol. 5, no. 1, p. 93, 2017.
- [12] N. Nurdiana, "Studi Keandalan Sistem Distribusi 20 kV Gardu Induk Talang Ratu Palembang," *J. Ampere*, vol. 2, no. 1, pp. 23–30, 2017.
- [13] G. SIHOMBING, "ANALISIS INDEKS KEANDALAN SECARA TEKNIS DAN EKONOMIS JARINGAN DISTRIBUSI 20 kV DENGAN MENGGUNAKAN METODE SECTION TECHNIQUE PADA PT. PLN (PERSERO) RAYON BELAWAN." 2022.
- [14] A. F. Setiawan and T. Suheta, "Analisa Studi Keandalan Sistem Distribusi 20 kV di PT. PLN (PERSERO) UPJ Mojokerto Menggunakan Metode FMEA (Failure Mode Effect Analysis)," *CYCLOTRON*, vol. 3, no. 1, 2020.