

Evaluasi Keandalan Jaringan Listrik ULP 3 Binjai Menggunakan Metode Simulasi Monte Carlo Berbasis MATLAB

Yunus Satria Solin^{1*}, Rahmaniar², Zuraidah Tharo³

^{1,2,3} Universitas Pembangunan Panca Budi

*Corresponding author, email: Yunussatria1994@gmail.com

Abstrak

Kehandalan jaringan listrik merupakan aspek krusial dalam penyediaan layanan energi yang berkelanjutan. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi keandalan jaringan listrik di Unit Layanan Pelanggan (ULP) 3 Binjai menggunakan metode Simulasi Monte Carlo yang diimplementasikan melalui perangkat lunak MATLAB. Studi ini menggunakan data historis gangguan operasional sistem distribusi listrik ULP 3 Binjai selama periode satu tahun terakhir (2023). Metode Simulasi Monte Carlo dipilih karena kemampuannya dalam menangani ketidakpastian dan variabilitas sistem yang kompleks. Implementasi berbasis MATLAB memungkinkan analisis yang lebih efisien dan akurat. Penelitian ini bertujuan menghitung indeks keandalan utama seperti *System Average Interruption Frequency Index* (SAIFI) dan *System Average Interruption Duration Index* (SAIDI). Hasil simulasi menunjukkan bahwa ULP 3 Binjai memiliki nilai SAIFI 0.88 gangguan/pelanggan/tahun dan SAIDI 1.53 jam/pelanggan/tahun pada tahun 2023. Analisis sensitivitas juga dilakukan untuk mengidentifikasi komponen kritis yang memiliki dampak signifikan terhadap keandalan sistem. Berdasarkan hasil evaluasi, diusulkan untuk meningkatkan keandalan jaringan, termasuk penguatan infrastruktur pada titik-titik kritis dan optimalisasi jadwal pemeliharaan. Penelitian ini memberikan kontribusi dalam pengembangan metodologi evaluasi keandalan yang dapat diterapkan pada sistem distribusi listrik serupa di Indonesia, dengan fokus pada analisis data terkini.

Keyword: keandalan jaringan listrik, simulasi monte carlo, MATLAB, SAIFI, SAIDI

Abstract

The reliability of the electricity network is a crucial aspect in the provision of sustainable energy services. The aim of this study is to evaluate the reliability of the electricity network in the utility service unit (ULP) 3 Binjai using the Monte Carlo simulation method implemented through MATLAB software. This study uses historical data of operational disturbances of the electricity distribution system of ULP 3 Binjai during the last one-year period (2023). The Monte Carlo simulation method was chosen because of its ability to handle complex system uncertainty and variability. The MATLAB based implementation allows for a more efficient and accurate analysis. This research aims to calculate key reliability indices such as System Average Interruption Frequency Index (SAIFI) and System Average Interruption Duration Index (SAIDI). The simulation results show that ULP 3 Binjai will have a SAIFI of 0.88 interruptions/customer/year and a SAIDI of 1.53 hours/customer/year in 2023. A sensitivity analysis was also carried out to identify critical components that have a significant impact on system reliability. Based on the results of the evaluation, measures to improve network reliability are proposed, including infrastructure reinforcement at critical points and optimisation of maintenance schedules. This research contributes to the development of a reliability assessment methodology that can be applied to similar electricity distribution systems in Indonesia, focusing on the analysis of current data.

Keywords: *electricity network reliability, monte carlo simulation, MATLAB, SAIFI, SAIDI*

PENDAHULUAN

Kehandalan sistem distribusi listrik merupakan faktor kunci dalam menjamin kualitas layanan dan kepuasan pelanggan dalam sektor ketenagalistrikan [1]. Di era modern ini, ketergantungan masyarakat dan industri terhadap pasokan listrik yang stabil dan kontinu semakin meningkat [2]. Evaluasi dan peningkatan keandalan jaringan listrik menjadi prioritas utama bagi penyedia layanan listrik di seluruh dunia, termasuk di Indonesia [3].

Unit Layanan Pelanggan (ULP) 3 Binjai, sebagai bagian integral dari sistem distribusi listrik di wilayah Sumatera Utara, memiliki peran penting dalam menyalurkan listrik ke berbagai sektor, mulai dari rumah tangga hingga industri. Keandalan jaringan listrik di wilayah ini tidak hanya berdampak pada kenyamanan masyarakat tetapi juga pada produktivitas ekonomi regional [4] dan sistem distribusi listrik lainnya. ULP 3 Binjai juga menghadapi tantangan dalam mempertahankan tingkat keandalan yang optimal, terutama mengingat kompleksitas jaringan dan berbagai faktor eksternal yang dapat mempengaruhi kinerja sistem [5].

Penggunaan metode analisis yang akurat dan komprehensif menjadi sangat penting [6]. Simulasi Monte Carlo telah terbukti sebagai metode yang efektif dalam mengevaluasi keandalan sistem yang kompleks dengan mempertimbangkan berbagai faktor ketidakpastian [7]. Metode ini memungkinkan pemodelan berbagai skenario gangguan dan pemulihan sistem, memberikan gambaran yang lebih realistis tentang keandalan jaringan listrik.

Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi keandalan jaringan listrik ULP 3 Binjai menggunakan metode Simulasi Monte Carlo yang diimplementasikan melalui perangkat lunak MATLAB. Melakukan analisis indeks keandalan utama seperti SAIFI (*System Average Interruption Frequency Index*) dan SAIDI (*System Average Interruption Duration Index*) pada ULP 3 Binjai.

Pemilihan MATLAB sebagai platform simulasi didasarkan pada kemampuannya dalam menangani komputasi numerik yang kompleks dan visualisasi data yang komprehensif [8]. Fokus analisis adalah pada data operasional tahun 2023, yang memberikan gambaran terkini tentang kondisi dan kinerja jaringan listrik di wilayah tersebut. Evaluasi keandalan jaringan listrik dapat dibagi beberapa analisis diantaranya memakai dua indeks utama yang digunakan secara luas adalah SAIDI dan SAIFI [9]. Kedua indeks ini merupakan standar internasional yang diakui oleh IEEE (*Institute of Electrical and Electronics Engineers*) dan banyak digunakan oleh perusahaan listrik di seluruh dunia, termasuk PT PLN (Persero) di Indonesia.

SAIDI merupakan indikator yang mengukur durasi rata-rata gangguan listrik yang dialami oleh pelanggan dalam suatu periode tertentu, biasanya dinyatakan dalam satuan jam per pelanggan per tahun. Indeks ini memberikan gambaran tentang seberapa lama, secara rata-rata, pelanggan mengalami pemadaman listrik. SAIDI dihitung dengan membagi total durasi pemadaman yang dialami seluruh pelanggan dengan jumlah total pelanggan yang dilayani [10]. Nilai SAIDI yang rendah mengindikasikan sistem distribusi yang lebih andal, di mana pemadaman yang terjadi dapat diatasi dengan cepat [11].

SAIFI mengukur frekuensi rata-rata gangguan listrik yang dialami oleh pelanggan dalam periode yang sama, biasanya dinyatakan dalam jumlah gangguan per pelanggan per tahun. SAIFI memberikan informasi tentang seberapa sering pelanggan mengalami pemadaman, terlepas dari durasi pemadaman tersebut. Indeks ini dihitung dengan membagi total jumlah gangguan yang dialami pelanggan dengan jumlah total pelanggan yang dilayani [12]. Nilai SAIFI yang rendah menunjukkan bahwa sistem distribusi memiliki tingkat keandalan yang tinggi dalam hal frekuensi gangguan.

Dalam konteks ULP 3 Binjai, analisis SAIDI dan SAIFI menjadi sangat penting karena beberapa alasan: (1) *Evaluasi Kinerja*: Kedua indeks ini memungkinkan evaluasi obyektif terhadap kinerja jaringan distribusi listrik ULP 3 Binjai, memberikan gambaran yang jelas tentang tingkat layanan yang diberikan kepada pelanggan; (2) *Benchmark*: Nilai SAIDI dan SAIFI dapat dibandingkan dengan standar nasional atau internasional, serta dengan kinerja unit layanan pelanggan lain di Indonesia, membantu dalam menentukan posisi relatif ULP 3 Binjai dalam hal keandalan sistem; (3) *Kepuasan Pelanggan*: Perbaikan dalam nilai SAIDI dan SAIFI secara langsung berdampak pada peningkatan kualitas layanan dan kepuasan pelanggan, yang merupakan salah satu tujuan utama dari pengelolaan sistem distribusi listrik.

Penggunaan Simulasi Monte Carlo berbasis MATLAB akan mempertimbangkan berbagai faktor yang mempengaruhi kedua indeks tersebut, termasuk topologi jaringan dan karakteristik beban. Pendekatan ini diharapkan dapat diperoleh pemahaman yang lebih mendalam tentang dinamika keandalan sistem dan faktor-faktor kritis yang mempengaruhinya, sehingga dapat dirumuskan strategi yang efektif untuk meningkatkan keandalan jaringan listrik di ULP 3 Binjai.

Dalam konteks lokal, ULP 3 Binjai merupakan salah satu unit layanan pelanggan di bawah PT PLN (Persero) Unit Induk Distribusi Sumatera Utara. Terletak di Kota Binjai, Sumatera Utara, ULP 3 Binjai memiliki peran strategis dalam menyalurkan listrik ke area yang mencakup sebagian Kota Binjai dan sekitarnya. Wilayah layanan ULP 3 Binjai memiliki karakteristik yang unik, meliputi area perkotaan, suburban, dan beberapa kawasan industri kecil menengah [13].

Beberapa aspek penting terkait ULP 3 Binjai yang relevan dengan studi kehandalan jaringan listrik meliputi:

1. Topografi Wilayah: ULP 3 Binjai mencakup area dengan topografi beragam, mulai dari dataran rendah hingga area yang sedikit berbukit. Variasi topografi ini memberikan tantangan tersendiri dalam pemeliharaan dan pengembangan jaringan listrik.
2. Karakteristik Beban: Wilayah ini memiliki campuran beban yang terdiri dari pelanggan rumah tangga, komersial, dan industri kecil menengah. Variasi beban ini mempengaruhi pola konsumsi listrik dan potensi gangguan yang mungkin terjadi.
3. Infrastruktur Jaringan: ULP 3 Binjai mengelola jaringan distribusi yang terdiri dari transformator distribusi, jaringan tegangan menengah, dan jaringan tegangan rendah. Usia dan kondisi infrastruktur ini bervariasi, yang dapat mempengaruhi tingkat kehandalan sistem.
4. Pertumbuhan Ekonomi: Sebagai bagian dari Kota Binjai yang sedang berkembang, area layanan ULP 3 Binjai mengalami pertumbuhan ekonomi yang stabil. Hal ini berimplikasi pada peningkatan permintaan listrik dan kebutuhan akan kehandalan yang lebih tinggi.
5. Tantangan Operasional: ULP 3 Binjai menghadapi tantangan seperti pertumbuhan beban yang tidak merata, area-area dengan kepadatan penduduk tinggi yang sulit diakses, serta kebutuhan untuk mengintegrasikan teknologi baru dalam sistem distribusi.
6. Target Kinerja: Sebagai bagian dari PT PLN (Persero), ULP 3 Binjai memiliki target kinerja SAIDI dan SAIFI yang ditetapkan oleh manajemen pusat. Pencapaian target ini menjadi salah satu indikator kunci dalam evaluasi kinerja unit.
7. Pola Gangguan: Data historis menunjukkan bahwa ULP 3 Binjai mengalami pola gangguan yang bervariasi, dengan beberapa area mengalami frekuensi gangguan yang lebih tinggi dibandingkan area lainnya. Analisis mendalam terhadap pola ini penting untuk mengidentifikasi titik-titik kritis dalam jaringan.

Dengan mempertimbangkan konteks lokal ini, evaluasi kehandalan jaringan listrik ULP 3 Binjai menggunakan Simulasi Monte Carlo berbasis MATLAB menjadi semakin relevan dan penting. Analisis yang dilakukan tidak hanya akan memberikan gambaran tentang kinerja sistem saat ini tetapi juga akan membantu dalam merumuskan strategi peningkatan yang sesuai dengan karakteristik dan tantangan spesifik yang dihadapi oleh ULP 3 Binjai. Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi signifikan dalam upaya peningkatan layanan listrik di wilayah tersebut, sekaligus menjadi model yang dapat diadaptasi oleh unit layanan pelanggan lain di Indonesia.

Metode Simulasi Kehandalan

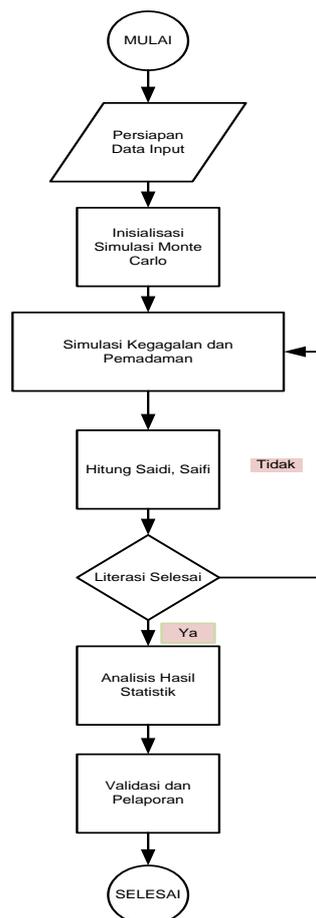
Simulasi kehandalan sistem jaringan listrik dapat dilakukan dengan berbagai metode. Salah satu metode yang umum digunakan adalah simulasi Monte Carlo [14], yang teruji efektif dalam memodelkan sifat stokastik dari kegagalan sistem dan proses perbaikan. Metode lain seperti analisis pohon kegagalan (*Fault Tree Analysis*) dan analisis mode kegagalan dan dampaknya (*Failure Mode and Effect Analysis*) juga sering digunakan dalam evaluasi kehandalan sistem [15].

Penilaian kehandalan berbasis simulasi memungkinkan analisis yang lebih komprehensif terhadap berbagai skenario dan kondisi operasi sistem. Pendekatan simulasi dapat menghasilkan estimasi yang lebih akurat tentang indeks kehandalan dibandingkan dengan metode analitis tradisional [16].

Penggunaan MATLAB untuk analisis sistem tenaga dapat termasuk sebagai simulasi kehandalan dalam konteks simulasi sistem jaringan listrik. MATLAB telah menjadi alat yang semakin populer dan *powerful*. MATLAB (*Matrix Laboratory*) menawarkan lingkungan komputasi numerik dan bahasa pemrograman yang memungkinkan analisis kompleks dan visualisasi hasil yang efektif [17]. Penggunaan MATLAB untuk mengembangkan simulasi Monte Carlo dalam evaluasi kehandalan sistem distribusi menunjukkan fleksibilitas dan memiliki kekuatan dalam menangani perhitungan yang kompleks [18]. Hal ini menunjukkan bahwa MATLAB dapat secara efisien menghitung indeks kehandalan seperti SAIDI dan SAIFI berdasarkan data historis dan model probabilistik.

METODE

Metode penelitian ini terdiri dari beberapa langkah utama seperti Gambar 1.



Gambar 1. Flowchat Metode Monte Carlo pada Sistem Kehandalan ULP 3 Binjai

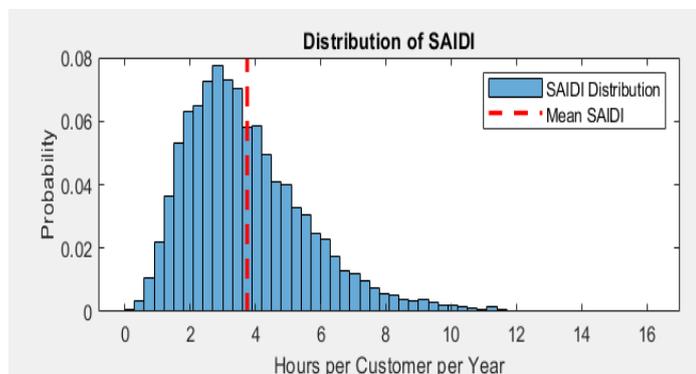
Metode penelitian ini terdiri dari beberapa langkah utama sebagai berikut:

1. Persiapan data Input dengan cara meidentifikasi dan mengumpulkan data teknis terkait jaringan listrik ULP 3 Binjai. Data yang terkumpul untuk mendukung pembuatan model jaringan. Data terdiri dari informasi tentang komponen sistem (seperti transformer dan saluran distribusi), karakteristik beban, dan data historis gangguan yang diperoleh dari dokumentasi internal, laporan pemeliharaan, dan rekaman kejadian gangguan yang terjadi.
2. Inisiasi Simulasi Monte Carlo untuk mengevaluasi kehandalan jaringan listrik. Simulasi dilakukan dengan menjalankan algoritma Monte Carlo dalam MATLAB untuk mensimulasikan berbagai skenario gangguan dan pemulihan secara acak. Jumlah iterasi yang cukup dijalankan untuk memastikan hasil simulasi yang representatif.
3. Hitung SAIDI, SAIFI merupakan langkah analisis yang mencakup perhitungan metrik kehandalan seperti waktu rata-rata pemulihan (MTTR), frekuensi gangguan (SAIFI), dan durasi gangguan (SAIDI). Interpretasi hasil simulasi dilakukan untuk mengidentifikasi pola gangguan dan efektivitas pemulihan jaringan.
4. Analisis Hasil Statistik merupakan langkah perbandingan hasil simulasi dengan data gangguan yang tercatat pada PLN ULP 3 Binjai.
5. Validasi dan Pelaporan Untuk memastikan keakuratan model dan hasil simulasi, validasi dilakukan dengan membandingkan hasil simulasi dengan data historis gangguan yang ada. Validasi juga dilakukan dengan metode analisis lain jika memungkinkan, untuk mengevaluasi kesesuaian model dengan kondisi nyata.

6. Kesimpulan dan Rekomendasi Penelitian diakhiri dengan menyajikan kesimpulan utama dan memberikan rekomendasi praktis untuk meningkatkan kehandalan jaringan listrik. Kesimpulan dan rekomendasi disusun berdasarkan hasil analisis dan temuan penelitian.

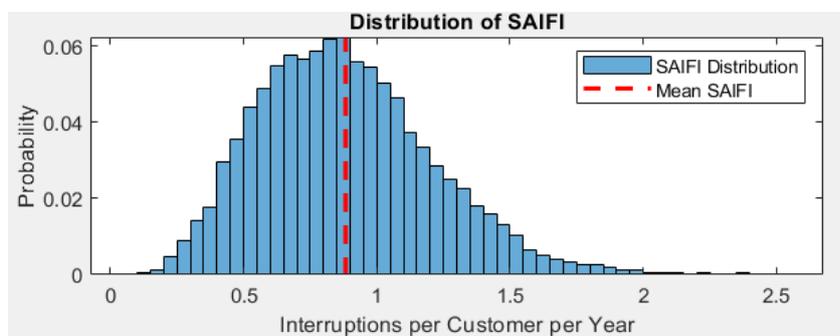
HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis Hasil SAIDI dan SAIFI ULP 3 Binjai menggunakan Simulasi Monte Karlo:



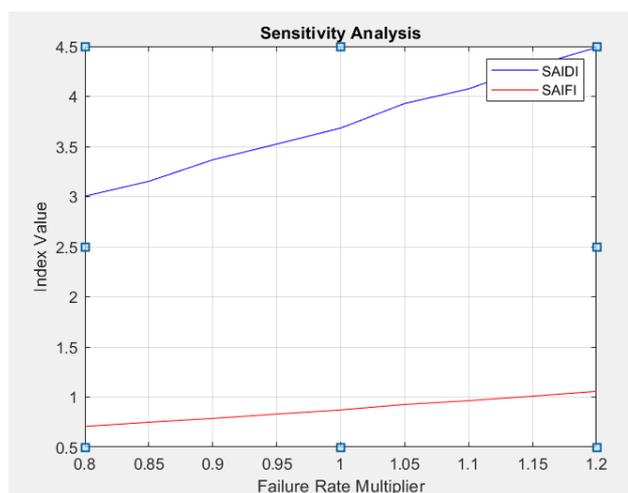
Gambar 2. Hasil Simulasi SAIDI

Nilai SAIDI (*System Average Interruption Duration Index*) dengan nilai rata-rata: 1.53 jam/pelanggan/tahun. Interval Kepercayaan 95%: 0.42 - 3.24 jam/pelanggan/tahun.



Gambar 3. Hasil Simulasi SAIFI

Nilai SAIFI (*System Average Interruption Frequency Index*), dengan nilai rata-rata: 0.88 gangguan/pelanggan/tahun. Interval Kepercayaan 95%: 0.34 - 1.58 gangguan/pelanggan/tahun.



Gambar 4. Simulasi Sensitivity Analysis

Interpretasi Hasil simulasi rata-rata SAIDI 1.53 jam dan SAIFI 0.88, ini menunjukkan bahwa rata-rata durasi setiap gangguan adalah sekitar 1.74 jam ($1.53 / 0.88$). Merujuk dari standar IEEE bahwa index keandalan sistem ULP Medan Binjai pada katagori handal. Rentang yang cukup lebar ini menunjukkan variabilitas yang signifikan dalam durasi pemadaman. sebagian besar pelanggan mengalami kurang dari 2 gangguan per tahun. Interval kepercayaan yang cukup lebar untuk kedua indeks menunjukkan variabilitas yang signifikan dalam kinerja sistem disebabkan perbedaan karakteristik antar feeder dan sifat acak dari kejadian gangguan.

PENUTUP

Secara umum, kinerja sistem ULP Medan Binjai cukup baik dengan rata-rata kurang dari 1 gangguan per pelanggan per tahun namun ada ruang untuk peningkatan, terutama dalam mengurangi variabilitas durasi pemadaman dan ULP 3 Binjai memiliki dasar yang kuat untuk merencanakan peningkatan keandalan sistem dan mengoptimalkan alokasi sumber daya untuk pemeliharaan dan perbaikan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] P. S. J. Bonifasius, *Infogatrik, Buletin Ditjen Ketenagalistrikan*.
- [2] R. Nero, P. Christopher, H. Thai, And T. Ngo, "Reliability Framework For Clt Floors In Out-Of-Plane Bending Using Monte Carlo Simulation," *Structures*, Vol. 65, No. May, P. 106745, 2024, Doi: 10.1016/J.Istruc.2024.106745.
- [3] B. Harsanto And A. Yunani, "Electric Power Distribution Maintenance Model For Industrial Customers : Total Productive Maintenance (Tpm), Reliability-Centered Maintenance (Rcm), And Four-Discipline Execution (4dx) Approach," *Energy Reports*, Vol. 10, No. September, Pp. 3186–3196, 2023, Doi: 10.1016/J.Egyr.2023.09.129.
- [4] A. Junaidi, M. Afandi, W. Pangaribuan, And A. H. K, "Enhancing Electrical Power Engineering Education In North Sumatra : Evaluating The Effectiveness And Practicality Of Consortium Collaborations Between Academia And Industry," *Al-Ishlah J. Pendidik.*, Vol. 16, Pp. 2953–2966, 2024, Doi: 10.35445/Alishlah.V16i3.5446.
- [5] P. M. Rahmaniar, Pristisal Wibowo, "Transient Stability Analysis With Critical Clearing Time Method On Transmission Line 150 Kv," 2022.
- [6] D. C. Dewi, "Jurnal Informatika Ekonomi Bisnis," *J. Inform. Ekon. Bisnis*, Vol. 3, Pp. 60–65, 2021, Doi: 10.37034/InfEb.V3i2.67.
- [7] M. Ahsan, Y. Zulfadli, And D. E. Umar, "Pemanfaatan Simulasi Monte Carlo Untuk Perhitungan Kinerja Gangguan Tenaga Listrik Pada Pt Pln (Persero) Uiw Suluttenggo," *J. Ilm. Sutet*, Vol. 12, No. 2, Pp. 62–74, 2023.
- [8] A. Junaidi, A. K. Hamid, N. Jalinus, And J. Jama, "Modelling And Simulation: An Injection Model Approach To Controlling Dynamic Stability Based On Unified Power Flow Controller," *J. Theor. Appl. Inf. Technol.*, Vol. 31, P. 20, 2019, [Online]. Available: [Www.Jatit.Org](http://www.jatit.org).
- [9] P. W. Rika Widya Pratiwi, Rahmaniar, "Analisis Analisis Keandalan Sistem Jaringan Distribusi 20 Kv Pt. Pln (Persero) Rayon Delitua," Universitas Pembangunan Panca Budi, 2023.
- [10] R. E. Brown, *Electric Power Distribution Reliability, Second Edition*. New York. Basel: Marcel Dekker, Inc, 2017.
- [11] A. D. T. Desmon Saing, Rahmaniar, "Evaluasi Keandalan Jaringan Listrik 20 Kv Berdasarkan Nilai Saidi – Saifi Terhadap Pemasangan Tabung Urgent Cut Out Di Pln (Persero) Ulp Medan Baru Evaluation Of Reliability Of 20 Kv Electricity Network Based On Saidi – Saifi Value Of The Installation," Universitas Pembangunan Panca Budi, 2021.
- [12] Z. T. Notatema Waruwu, "Sistem Jaringan Tegangan Rendah Di Pt . Pln Ulp Binjai Timur Dengan Metode Failure Mode And Effect Analysis (Fmea)," *J. Rekayasa Elektro Sriwij.*, Vol. 5, No. 1, Pp. 32–38, 2023.
- [13] R. F. Natria Aminarti, "Implementasi Sistem Informasi Manajemen Dalam Penggunaan Pln Mobile Up3 Binjai

Untuk Meningkatkan Efisiensi Pelayanan Pelanggan Natria Aminarti Rayyan Firdaus Sistem Informasi Manajemen Informasi Yang Bermanfaat Bagi Orang Lain . Dalam Proses Pengambilan,” *J. Penelit. Manaj. Dan Inov. Ris.*, Vol. 2, No. 4, Pp. 128–139, 2024.

- [14] H. Book And W. Li, *Reliability Assessment Of Electric Power Systems Using Monte Carlo Methods*. 1994.
- [15] R. Billinton, *Reliability Evaluation Of Power Systems*. 1984.
- [16] M. A. El-Kady And B. M. Alshammari, “A Practical Framework For Reliability And Quality Assessment Of Power Systems,” *Energy Power Eng.*, Vol. 2011, No. September, Pp. 499–507, 2011, Doi: 10.4236/Epe.2011.34060.
- [17] H. Saadat, *Power System Analysis*. Kevin Kane, 2011.
- [18] M. Sales, G. Ross, R. Lima, A. Luis, And C. Araújo, “Monte Carlo Simulation In The Evaluation Of Failure Probability In Waste Stabilization Ponds,” *J. Water Process Eng.*, Vol. 38, No. December, 2020.

Biodata Penulis

Yunus Satria Solin, lahir di Dairi 05 Oktober 1994, Mahasiswa Prodi Teknik Elektro Universitas Pembangunan Panca Budi (UNPAB) dengan bidang konsentrasi Teknik Energi Listrik.

Rahmaniar, lahir di Banda Aceh 26 Juni 1976, Prodi Teknik Elektro Universitas Pembangunan Panca Budi (UNPAB) dengan bidang konsentrasi Teknik Energi Listrik.

Zuraidah Tharo, Lahir di Medan 19 Juli 1967 Prodi Teknik Elektro Universitas Pembangunan Panca Budi (UNPAB) dengan bidang konsentrasi Teknik Energi Listrik