
ANALISIS INDEKS KEANDALAN SECARA TEKNIS DAN EKONOMIS JARINGAN DISTRIBUSI 20 KV DENGAN MENGGUNAKAN METODE SECTION TEHNIQUE PADA PT.PLN (PERSERO) RAYON BELAWAN

Gunawan Sihombing¹⁾, Surya Hardi²⁾, Rohana³⁾

^{1,2,3)}Pasca Sarjana Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara

Jl. Denai No.217, Tegal Sari Mandala II, Kec. Medan Denai, Kota Medan, Sumatera Utara 20371

E-mail: ¹⁾gunawansihombing6939@gmail.com

ABSTRAK

PT.PLN (Persero) adalah Perusahaan yang bertugas dalam menyalurkan energi listrik kepada masyarakat tanpa adanya pemadaman. Reliability Index adalah suatu metode untuk mengevaluasi parameter keandalan suatu sistem distribusi tenaga listrik dalam memberikan kualitas pelayanan kepada pelanggan. Indeks keandalan yang digunakan untuk mengukur keandalan sistem distribusi adalah SAIFI, SAIDI, dan CAIDI. Standar yang digunakan sebagai tolak ukur untuk menentukan keandalan sistem distribusi listrik adalah standar Indeks Keandalan IEEE Std 1366-2003 dan standart SPLN No 59 Tahun 1985.. Indeks keandalan 20 kV yang digunakan yaitu penyulang Lamhotma 01 (LH01) penyulang Lamhotma (LH01) sering mengalami pemadaman. Pemadaman mengakibatkan daya listrik tidak tersalurkan (ENS) dengan baik kekonsumen sehingga menyebabkan kerugian baik pihak PLN maupun pihak konsumen tujuan penelitian ini adalah Menganalisis indeks keandalan SAIDI, SAIFI dan CAIDI menggunakan metode Section Technique dan mengevaluasi keandalan sesuai dengan Standart Indeks Keandalan IEEE Std 1366 – 2003 dan standart SPLN No 59 Tahun 1985. Menganalisis rata-rata energi yang tidak tersalurkan secara teknis dan ekonomis akibat terjadinya pemadaman di PT. PLN (Persero) Rayon Belawan. Berdasarkan hasil analisis indeks keandalan dengan menggunakan metode section tehnikue nilai indeks keandalan SAIFI penyulang Lamhotma 01 (LH01) adalah 1,6 kali pelanggan/tahun melebihi standart yang ditetapkan oleh IEEE Std 1366-2003 yaitu 1,45 kali pelanggan/tahun, dan memenuhi standart yang di tetapkan SPLN sebesar 3,0 kali pelanggan/tahun. Nilai SAIDI penyulang Lamhotma 01 (LH01) adalah Sebesar 2,0 jam/tahun memenuhi standart yang telah di tetapkan IEEE std 1366-2003 yaitu 2.30 jam/tahun, dan juga memenuhi standart SPLN, dan nilai CAIDI penyulang Lamhotma (LH01) adalah 4,6 jam/pelanggan melebihi standart yang di tetapkan IEEE-1366-2003 yaitu 1,47 Jam/pelanggan, dan juga melebihi standart yang di tetapkan SPLN. Serta energi yang tidak tersalurkan (ENS) akibat terjadinya pemadaman pada penyulang Lamhotma tahun 2021 sebesar 32681,33 kWh dan rata-rata energi tak tersalurkan 4,7 kwh/pelanggan dan kerugian ekonomis akibat terjadinya pemadaman diperkirakan sebesar Rp 40.105.09,00.

Kata Kunci: Keandalan, Penyulang, SAIFI, SAIDI dan CAIDI

ABSTRACT

PT. PLN (Persero) is a company in charge of distributing electrical energy to the community without blackouts. Reliability Index is a method to evaluate the reliability parameters of an electric power distribution system in providing quality service to customers. The reliability index used to measure the reliability of the distribution system is SAIFI, SAIDI, and CAIDI. The standard used as a benchmark to determine the reliability of the electricity distribution system is the IEEE Std 1366-2003 Reliability Index standard and the SPLN standard No. 59 of 1985. The 20 kV reliability index used is the Lamhotma 01 feeder (LH01) the Lamhotma feeder (LH01) often experiences blackout.

The blackout resulted in the electrical power not being channeled properly (ENS) to consumers, causing losses to both PLN and consumers. The purpose of this study was to analyze the reliability index of SAIDI, SAIFI and CAIDI using the Section Technique method and evaluate reliability in accordance with the IEEE Std 1366-2003 Reliability Index Standard. and standard SPLN No. 59 of 1985. Analyzing the average energy that is not distributed technically and economically due to blackouts at PT. PLN (Persero) Belawan District. Based on the results of the reliability index analysis using the section technique method, the SAIFI reliability index value for the Lamhotma 01 feeder (LH01) is 1.6 times customers/year, exceeding the standard set by IEEE Std 1366-2003 which is 1.45 times customers/year, and meets the standard. SPLN is set at 3.0 times customers/year. The SAIDI value of the Lamhotma 01 feeder (LH01) is 2.0 hours/year. 6 hours/customer exceeds the standard set by IEEE-1366-2003 which is 1.47 hours/customer, and also exceeds the standard set by SPLN. And the energy that is not channeled (ENS) due to blackouts at the Lamhotma feeder in 2021 is 32681.33 kWh and the average unchanneled energy is 4.7 kWh/customer and the economic loss due to blackouts is estimated at Rp. 40,105.09.00.

Keywords: Reliability, Feeder, SAIFI, SAIDI and CAIDI.

1. PENDAHULUAN

Kemajuan dunia baik dalam bidang industri, perdagangan, maupun kebutuhan rumah tangga dimana semua kebutuhan tersebut membutuhkan energi listrik, hampir semua kebutuhan sehari-hari membutuhkan energi listrik. Dengan demikian pemanfaatan energi listrik akan terus meluas. Pemerintah melalui PT.PLN (Persero) harus mampu meningkatkan mutu dan kualitas energi listrik dalam penyalurannya untuk memenuhi kebutuhan pelayanan energi listrik yang di butuhkan masyarakat atau pelanggan. Salah satu langkah untuk meningkatkan keandalan serta kontinuitas pelanggan yaitu dengan cara melakukan tinjauan lapangan secara langsung dan melakukan pemeliharaan keandalan sistem tenaga listrik tengangan menengah secara rutin untuk dapat menghindari permasalahan yang terjadi di lapangan. Ada tiga unsur sistem tenaga listrik yaitu sistem pembangkit tenaga listrik, transmisi, dan sistem distribusi listrik, dari ketiga unsur tenaga listrik diatas sistem yang dekat dengan pelanggan dan berdampak secara langsung kepada beban atau pelanggan adalah sistem distribusi[1]. Keandalan sistem distribusi menentukan kontinuitas tenaga listrik sehingga berpengaruh terhadap konsumen. Dengan semakin lancarnya kontinuitas tenaga listrik ke konsumen maka semakin andallah suatu sistem distribusi tersebut. Keandalan

sistem jaringan distribusi ditandai dengan kehandalan penyaluran tenaga listrik dari sumber (pembangkit) ke konsumen tanpa terjadinya pemadaman [2]. Salah satu faktor yang mempengaruhi sistem keandalan jaringan distribusi adalah faktor alam atau kegagalan suatu alat dalam menjalankan sistem sehingga tengangan listrik menuju beban tidak teraliri yang ditandai dengan adanya pemadaman [3]. Gangguan atau kerusakan yang mengakibatkan pemadaman listrik dapat mempengaruhi nilai keandalan sistem distribusi. Kerusakan peralatan listrik dan juga kerugian kepada konsumen atau pengguna energi listrik. Tingginya gangguan mengakibatkan terjadinya pemadaman dan terhentinya penyaluran energi dan berakibat pada banyaknya energi yang tak tersalurkan (ENS), sehingga PT.PLN (Persero) sebagai penyedia energi listrik akan dirugikan karena energi yang di bangkitkan tidak digunakan atau terbuang sia-sia. Indeks Keandalan adalah suatu metode pengevaluasian parameter keandalan suatu peralatan distribusi tenaga listrik terhadap keandalan mutu pelayanan kepada pelanggan. Keandalan adalah tingkat keberhasilan atau kinerja dari suatu alat untuk dapat memberikan hasil yang lebih baik pada periode waktu tertentu[4]. Indeks keandalan yang digunakan untuk mengukur keandalan suatu sistem distribusi adalah SAIFI (*System Average Interruption Frequency Index*) indeks yang digunakan untuk

mengetahui seberapa sering frekwensi terjadi gangguan, SAIDI (*System Average Interruption Duration Index*) indeks yang digunakan mengukur seberapa lama waktu terjadi gangguan dalam periode waktu tertentu, CAIDI (*customer Average Interruption Duration Index*) digunakan untuk mengukur lamanya kegagalan pada pelanggan selama selang waktu tertentu [5]. Standart yang digunakan sebagai tolak ukur indeks keandalan sistem distribusi adalah Standart Indeks Keandalan IEEE Std 1366-2003. Metode yang dipakai untuk mencari indeks keandalan sistem distribusi adalah *Section Technique*. Metode *section Technique* merupakan suatu metode terstruktur untuk mengevaluasi sistem keandalan sistem distribusi tenaga listrik berdasarkan pada bagaimana suatu kegagalan dari suatu peralatan dapat mempengaruhi operasi sistem [7]. Dengan menggunakan metode *section technique* maka dapat di ketahui indeks yang sering mengalami kegagalan atau gangguan. Dengan mengetahui indeks keandalan sistem maka dapat dilakukan analisis nilai ekonomis dari sisi PLN dilakukan berdasarkan harga penjualan energi, dan biaya perawatan pada sistem distribusi. Dari hasil analisis yang didapat di korelasikan dengan aspek keandalan sehingga dapat di evaluasi tingkat keandalannya demi memperkecil kerugian yang terjadi [6]. Secara sistematis efek dan konsekuensi dari gangguan di indentifikasi dengan menganalisa apa yang terjadi jika terjadi gangguan kemudian peralatan yang mengalami kegagalan dianalisa dari semua load point (titik beban) [8]. Untuk menghitung nilai keandalan dengan menggunakan metode *section technique* dilakukan dengan cara membagi sistem distribusi menjadi beberapa section, dan kemudian mencari efek kegagalan tiap peralatan terhadap semua pelanggan pada jaringan distribusi. Kecamatan Medan Belawan adalah salah satu kecamatan di kota Medan yang ikut serta dalam pembangunan ekonomi Indonesia dan cukup maju dalam sisi aspek bisnis dan industri, menjadi salah satu wilayah sentra industri tentunya Belawan membutuhkan pasokan energi listrik. Energi listrik menjadi kebutuhan pokok bagi penduduk Belawan dan

permintaan energi selalu bertambah setiap tahunnya. Dengan bertambahnya kebutuhan energi listrik maka di perlukan peningkatan pada sektor pembangkit listrik dan pengembangan insfrastruktur sehingga proses transfer energi ke konsumen dapat berjalan dengan lancar. Pada kenyataanya penyaluran energi listrik masih sering mengalami gangguan yang di buktikan dengan seringnya pemadaman yang dampaknya dapat merugikan pelanggan dan penyedia energi listrik. Sistem distribusi yang di kelola PT. PLN (Persero) Rayon Belawan adalah unit pelaksana pelayanan pelanggan di wilayah kerja kota Belawan yang memiliki peranan penting dan memiliki tanggung jawab dalam memberikan pelayanan dan kualitas energi yang terjamin sesuai dengan standar dalam penyaluran energi listrik kepada konsumen. Situasi ini perlu di lakukan analisis indeks keandalan pada peralatan-peralatan listrik dengan menggunakan Metode Section Tehnique di PT. PLN (Persero) Rayon Belawan. Setelah mendapat nilai indeks keandalan selanjutnya melakukan analisis secara ekonomis untuk mengetahui banyak kerugian yang dialami oleh PT.PLN (Persero) Rayon Belawan. Nilai ekonomis berupa Energi Not Supplied (ENS) dari energi yang tak tersalurkan pada saat terjadi pemadaman atau gangguan. Lamanya gangguan yang mengakibatkan banyaknya energi yang hilang atau terbuang sia-sia. Tujuan dari perhitungan secara ekonomis adalah mengetahui berapa rupiah kerugian yang diakibatkan kurangnya keandalan sistem peralatan distribusi.

Berdasarkan latar belakang diatas, peneliti tertarik untuk melakukan penelitian tentang “Analisis Indeks keandalan Secara Teknis dan Ekonomis Jaringan Distribusi 20 kV dengan Menggunakan Metode Section Technique pada PT.PLN (Persero) Rayon Belawan

2. LANDASAN TEORI

Secara umum sistem tenaga listrik terdiri dari tiga yaitu pembangkit, transmisi dan distribusi. Pertama pembangkitan Tegangan yang dihasilkan oleh pusat tenaga listrik. Kedua, suatu sistem transmisi, lengkap dengan gardu induk [9]. Ketiga adanya saluran distribusi,

yang biasanya terdiri dari saluran distribusi primer dengan tegangan menengah (TM) dan saluran distribusi sekunder dan tegangan rendah (TR).

2.1 Sistem Distribusi

Saluran tegangan utama, umumnya dikenal sebagai sistem distribusi, terdiri dari 6 kV dan 20 kV dan dikendalikan oleh pusat kendali distribusi (DCC). Jaringan distribusi untuk saluran udara atau kabel tanah, gardu distribusi tegangan menengah dengan panel kontrol tegangan menengah sampai dengan panel distribusi tegangan rendah (380V, 220V) yang menghasilkan tegangan kerja atau tegangan jala-jala saluran untuk bisnis dan konsumen [10] [11].

Untuk beberapa pelanggan yang membutuhkan daya listrik yang besar beberapa tidak dapat terhubung ke jaringan tegangan rendah dan malah harus terhubung langsung ke jaringan tegangan menengah, sementara yang lain langsung terhubung ke saluran transmisi tegangan tinggi. Trafo distribusi dibuat untuk gardu distribusi karena memiliki beberapa distribusi dan membutuhkan banyak trafo distribusi. Gardu distribusi sering disederhanakan menjadi transformator tiang dengan saluran listrik yang lebih sederhana.

2.2 Keandalan Sistem Distribusi

Keandalan adalah probabilitas suatu peralatan listrik yang menjadi dasar atau mutu yang dapat mengoptimalkan fungsi atau kinerjanya tergantung pada kondisi dan situasi [12]. Dalam menentukan keandalan sistem distribusi diperlukan perhitungan indeks keandalan dalam periode waktu tertentu, untuk meningkatkan keandalan dari sebuah sistem distribusi perlu dilakukan perhitungan dan analisa terhadap tingkat kinerja atau sistem pada periode waktu tertentu [13].

Parameter yang biasa digunakan dalam mengevaluasi keandalan sistem distribusi radial yaitu Laju kegagalan (λ), waktu pemadaman rata-rata (μ) dan waktu pemadaman tahunan (U).

a) Laju kegagalan

Laju kegagalan merupakan frekwensi suatu sistem dalam mengalami kegagalan yang di lambangkan dengan λ (lamda) laju keandalan dari sistem tergantung waktu selama sistem bekerja [13] yang dirumuskan dengan persamaan 1.

$$\lambda = \frac{\text{jumlah gangguan setiap tahun}}{\text{selang waktu pengamatan dalam satu tahun}} \text{ atau}$$

$$\lambda = \frac{f}{T} \quad (1)$$

Dimana:

λ = Laju kegagalan (kali/tahun)

f = Jumlah kegagalan pada waktu pengamatan (kali/tahun)

T = Selang waktu pengamatan dalam satu tahun (tahun)

b) Laju Perbaikan rata-rata (μ)

Jumlah jam yang diperlukan untuk mengganti atau memperbaiki alat yang rusak agar dapat berfungsi kembali. Persamaan 2 dapat digunakan dalam perhitungan, dalam menentukan waktu kegagalan rata-rata yang dialami oleh sebuah alat.

$$\mu = \frac{\text{lama pemadaman}}{\text{jumlah pemadaman}}$$

$$\mu = \frac{T}{f} \quad (2)$$

Dimana:

μ = Laju perbaikan rata-rata (jam)

f = Jumlah pemadaman selama selang waktu (kali)

T = Lama pemadaman (jam)

c) Durasi Pemadaman Rata-rata (U)

Persamaan 3 digunakan untuk menghitung durasi pemadaman dengan cara mengalikan tingkat kegagalan dan waktu perbaikan.

$$U = \lambda \text{ (laju kegagalan)} \times \mu \text{ (laju perbaikan)}$$

atau

$$U = \lambda \frac{\text{kali}}{\text{bulan}} \times \mu \frac{\text{menit}}{\text{kali}} \quad (3)$$

Tabel 1. Standart PLN No 59 Tahun 1985 Kegagalan Peralatan [14]

Peralatan	Laju Kegagalan (kali tahun)	Waktu Perbaikan (jam)	Waktu Pemindahan (jam)
Saluran udara	0,2	3	0,15
Kabel saluran	0,07	10	0,15
Sakelar beban	0,003	10	0,15
Sectionalizer	0,003	10	0,15
Recloser	0,005	10	0,15
Transformator	0,005	10	0,15

Indeks Keandalan Sistem

Untuk menghitung nilai rata indeks keandalan dapat di hitung menggunakan [4][15][4].

1) SAIDI (*System Average Interruption Duration Indeks*)

SAIDI merupakan nilai rata-rata kegagalan untuk setiap pelanggan selama jangka waktu tertentu. Persamaan 4 digunakan untuk membagi kuantitas dan panjang kegagalan terus menerus untuk semua pelanggan selama periode waktu tertentu.

$$SAIDI = \frac{\sum_{0=i}^n \text{Durasi Padam} \times \text{Pelanggan Padam}}{\text{Jumlah Pelanggan dalam satu periode atau}} \quad \text{atau}$$

$$SAIDI = \frac{\sum_{0=i}^n U_i \times N_i}{N_t} (\text{jam/pelanggan}) \quad (4)$$

Dimana:

U_i = Durasi Pemadaman tahun titik beban i (jam/tahun)

N_i = Jumlah pelanggan padam pada titik beban i (pelanggan)

N_t = Jumlah pelanggan total dalam satu tahun (Pelanggan)

2) SAIFI (*System Average Interruption Frequency Index*)

adalah jumlah rata-rata kegagalan yang terjadi per pelanggan yang dilayani per satuan waktu (biasanya tahun). Ini dihitung dengan membagi jumlah total kegagalan

dalam satuan waktu dengan jumlah total konsumen yang dilayani oleh sistem. yang dirumuskan pada persamaan 5.

$$SAIFI = \frac{\sum_{0=i}^n (\text{Laju kegagalan} \times \text{Pelanggan Padam})}{\text{jumlah Pelanggan dalam satu tahun}}$$

Atau

$$SAIFI = \frac{\sum_{0=i}^n \lambda_i \times N_i}{N_t} (\text{Kali/Pelanggan}) \quad (5)$$

Dimana:

λ_i = Laju Kegagalan rata-rata untuk titik beban k (Kali/tahun)

N_i = Jumlah Pelanggan Padam pada titik beban i (Pelanggan)

N_t = Jumlah Pelanggan Total dalam satu tahun (Pelanggan)

3) CAIDI (*Customer Average Interruption Duration Indeks*)

CAIDI adalah ukuran lamanya waktu atau gangguan yang dialami oleh konsumen. CAIDI, adalah durasi gangguan rata-rata yang ditentukan berdasarkan jumlah gangguan yang berkelanjutan. dirumuskan dalam persamaan 6.

$$CAIDI = \frac{\text{Indeks durasi pemadaman rata-rata}}{\text{Indeks frekuensi pemadaman rata-rata}}$$

atau

$$CAIDI = \frac{SAIDI}{SAIFI} (\text{jam/Pelanggan}) \quad (6)$$

Dimana:

SAIDI = Indeks durasi pemadaman rata - rata

SAIFI = Indeks frekuensi pemadaman rata -rata

Standart Indeks Keandalan Sesuai dengan Standart SPLN No 59 Tahun 1985 dan Standart IEEE Std 1366 -2003:

Standart SPLN yaitu standart yang di tetapkan oleh direksi yang sifatnya wajib, standart yang dikeluarkan seperti pedoman instruksi dan juga cara pengujian dan spesifikasi teknik. Standart ini adalah untuk menjelaskan dan menetapkan tingkat keandalan sistem distribusi tenaga listrik. Tujuan dari standart ini adalah

memberikan pengangan yang terarah dalam menilai dan menentukan tingkat keandalan sistem distribusi dan juga menjadi tolak ukur terhadap kemajuan dalam menentukan proyeksi yang akan di capai PT.PLN (Persero) Rayon Belawan.

Tabel 2. Standart Indeks Keandalan

Indeks	Standart
SAIFI	3,0 kali pelanggan /tahun
SAIDI	1,5 jam pelanggan/tahun
CAIDI	1,5-3,0 jam/gangguan

Tabel 3. Standart indeks keandalan IEEE Std 1366-2003[16]

Indeks	Standart
SAIFI	1,45 kali pelanggan /tahun
SAIDI	2,30 jam pelanggan/tahun
CAIDI	1,47 jam/gangguan

2.3 Metode *Section Technique*

Metode *section technique* merupakan suatu metode terstruktur untuk mengevaluasi sistem keandalan sistem distribusi tenaga listrik berdasarkan pada bagaimana suatu kegagalan dari suatu peralatan mempengaruhi operasi sistem. Efek atau konsekuensi dari gangguan secara sistematis di indentifikasi dengan penganalisaan apa yang terjadi jika gangguan terjadi, kemudian masing-masing kegagalan peralatan dianalisa dari semua titik beban (load point). Pendekatan yang dilakukan dari bawah keatas dimana yang dipertimbangkan satu mode kegagalan pada satu waktu. Indeks keandalan yang dihitung adalah indeks-indeks titik beban dan indeks-indeks sistem baik secara section maupun keseluruhan, indeks titik beban antara lain [17].

2.4 Indeks Keandalan Secara Ekonomis

Indeks keandalan secara ekonomis adalah sebuah teknik yang digunakan untuk menuju keberhasilan dalam penekanan biaya atau pengefektifan biaya. Produk yang

dihasilkan terus ditinjau bagaimana proses dan pelayanannya dengan tetap meninjau persyaratan selain itu juga faktor biaya juga tetap diperhatikan [18]. Dalam konteks analisis keandalan sistem distribusi dengan perhitungan secara ekonomis dari suatu indeks keandalan bergantung pada besar daya listrik yang disalurkan waktu pemadaman dari tiap-tiap titik beban dan tarif dasar listrik yang berlaku. Dalam melaksanakan analisis nilai dibutuhkan beberapa data, antara lain topologi jaringan, data beban dan data pelanggan/konsumen. Dari data-data tersebut dapat dievaluasi mengenai mode kegagalannya

Dengan data setiap titik beban tersebut dapat ditentukan besar energi yang tidak tersalurkan. Sehingga berdasarkan setiap titik beban dapat dilakukan sebuah evaluasi nilai kerugian bagi penyedia energi listrik. Persamaan yang digunakan dalam menghitung secara ekonomis adalah dengan melalui persamaan pada sistem, yaitu

a) Daya aktif

Daya aktif digunakan untuk menghitung besarnya daya yang mengalir pada saat terjadi gangguan dan dapat dirumuskan dengan persamaan 7 [19]:

$$\text{Daya aktif} = \sqrt{3} \times V \times I \times \cos\varphi \quad (7)$$

Dimana

V = tegangan (kV)

I = kuat Arus (A)

$\cos \varphi = 0,8$ (rata-rata $\cos \varphi$ pada masing masing penyulang)

b) *Energy Not Supplied* (ENS)

ENS yaitu indeks keandalan yang menyatakan jumlah energi yang tidak disalurkan oleh sistem selama terjadinya gangguan atau pemadaman. Di dalamnya juga termasuk banyaknya kWh yang hilang akibat adanya pemadaman listrik, dapat dilihat pada persamaan 8 [20]:

$$\text{ENS} \Sigma \text{Gangguan(kW)} \times \text{Durasi(jam)} \quad (8)$$

Dimana:

ENS = Energi tak tersalurkan (kW)

Σ gangguan = Jumlah daya Aktip (kW)

Durasi = Lamanya gangguan (jam)

c) *Average Energi Not Supplied (AENS)*

AENS yaitu indeks rata-rata energi yang tidak tersalurkan akibat terjadinya pemadaman. AENS dinyatakan dengan perbandingan antara jumlah energi yang hilang saat terjadi pemadaman dengan jumlah pelanggan yang masih dia aliri energi listrik dapat dirumuskan dengan persamaan 11.

$$AENS = \frac{\text{jumlah energi yang tidak tersalurkan}}{\text{jumlah pelanggan yang di layani}}$$

$$AENS = \frac{ENS}{\Sigma n} \quad (9)$$

Dimana:

AENS = *Average Energy Not Supplied*
 (Rata-rata energi yang tidak tersalurkan)

Σn = Jumlah Pelanggan yang dilayani

Tarif dasar listrik adalah tarif yang dikenakan oleh pemerintah untuk konsumen listrik. Pada penelitian ini TDL digunakan untuk mendapatkan nilai ekonomis berupa kerugian rupiah yang dialami pihak PLN disebabkan oleh gangguan dalam sistem distribusi karena dengan adanya energi tak tersalurkan maka ada kWh yang tidak dapat dijual ke konsumen, sehingga nilai rupiah yang seharusnya dijadikan pendapatan menjadi nilai rupiah yang merugikan. Metode yang digunakan dalam penentuan nilai kerugian rupiah pada penelitian ini hampir sama dengan skema tarif pemakaian listrik pada umumnya, namun pada penelitian ini kWh yang dihitung adalah kWh yang tidak dapat dijual yaitu nilai energi tidak tersalurkan (ENS) dapat dikembangkan dengan persamaan 10 [26].

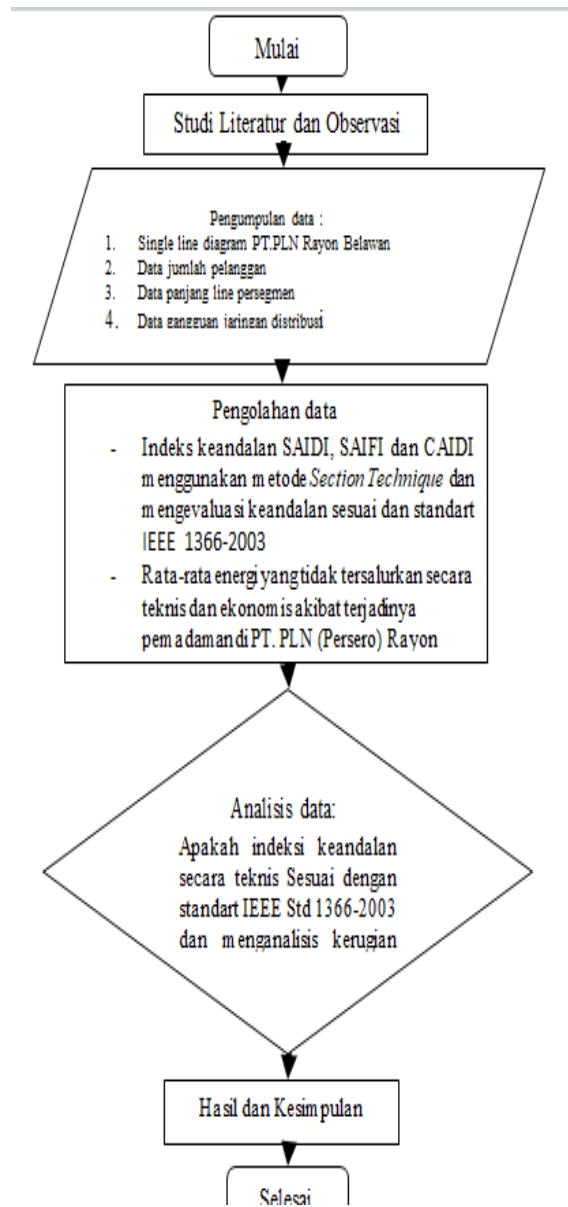
$$\text{Kerugian Ekonomis} = ENS \times TDL \quad (10)$$

Dimana:

ENS = *Energy Not Supplied* (energi tak tersalurkan)

TDL = Tarif dasar listrik peraturan menteri ESDM No 10 tahun 2022

3. METODE PENELITIAN



Gambar 1. metode penelitian

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

PT. PLN (Persero) Rayon Belawan adalah unit pelaksana pelayanan pelanggan di wilayah kerja kota Belawan yang memiliki

peranan penting dan memiliki tanggung jawab dalam memberikan pelayanan dan kualitas energi yang terjamin sesuai dengan standar dalam penyaluran energi listrik kepada konsumen. Kajian difokuskan pada jaringan distribusi 20 kV PT.PLN (Persero) Rayon Belawan yang terdiri dari 32 penyulang, atau salah satu penyulang dari 32 penyulang PT.PLN (Persero) Rayon Belawan adalah penyulang Lamhotma. Penyulang Lamhotma ditenagai oleh gardu induk Paya Pasir 60 MVA dengan beban yang berbeda (beban industri dan beban domestik) di setiap titik beban. Penyulang Ramhotoma memiliki 30 titik beban berupa trafo distribusi, dengan jumlah pelanggan 6854 pelanggan, penyulang ini terbagi dalam 30 rangkaian dengan total panjang rangkaian 11.129 km dan kapasitas beban 135 A. Lamhotma Feeder 01 (LH01) terdiri dari 5 sectionalizer dan feeder ini terbagi menjadi 4 section (bagian).

Tahapan pertama adalah membagi penyulang menjadi beberapa section dan penyulang lamhotma di bagai menjadi 4 section yaitu section I, section II, section III, dan section IV Jumlah pelanggan setiap section penyulang Lamhotma (LH 01) bervariasi section I terdiri dari 5 titik beban dan jumlah pelanggan sebanyak 1962 pelanggan, section II terdiri dari 9 titik beban sebanyak 3562 pelanggan, section III terdiri dari 10 titik beban sebanyak 3814 pelanggan, section IV terdiri dari 6 titik beban sebanyak 2633 pelanggan.

4.1 Indeks keandalan dengan menggunakan metode section technique

Analisis evaluasi keandalan menggunakan data dari saluran udara dan jumlah pelanggan di setiap titik beban. Nilai frekuensi kegagalan setiap titik beban (λ) dihitung dengan menjumlahkan tingkat kegagalan peralatan yang mempengaruhi setiap titik beban (TB) dan frekuensi kegagalan saluran dengan panjang saluran. adapun perhitungan nilai frekuensi kegagalan (λ) atau dapat dianalisis dengan menggunakan persamaan.

$$\lambda_{TB} = \sum_{i=k}^0 \lambda_i \quad (11)$$

Sedangkan untuk menghitung durasi gangguan (U) setiap titik beban didapat dari penjumlahan hasil perkalian jumlah trafo distribusi yang terganggu dan perlu mengalami perbaikan dengan waktu pemadamannya dan dengan hasil perkalian jumlah trafo distribusi yang terganggu. Waktu pemadaman (*repair time*) pada setiap peralatan ditunjukkan pada tabel berikut

Tabel 4. Hasil analisis laju kegagalan (λ) dan durasi (U) gangguan titik beban pada section I

Titik beban	Laju kegagalan (kali pelanggan/tahun)	Durasi pemadaman (jam/tahun)
Titik Beban 1	0,3378	1,0974
Titik Beban 2	0,3378	1,0974
Titik Beban 3	0,3378	1,0974
Titik Beban 4	0,3378	1,0974
Titik Beban 5	0,3378	1,0974
Titik Beban 6	0,3328	0,05007
Titik Beban 7	0,3328	0,05007
Titik Beban 8	0,3328	0,05007
Titik Beban 9	0,3328	0,05007
Titik Beban 10	0,3328	0,05007
Titik Beban 11	0,3328	0,05007
Titik Beban 12	0,3328	0,05007
Titik Beban 13	0,3328	0,05007
Titik Beban 14	0,3328	0,05007
Titik Beban 15	0,3328	0,05007
Titik Beban 16	0,3328	0,05007
Titik Beban 17	0,3328	0,05007
Titik Beban 18	0,3328	0,05007
Titik Beban 19	0,3328	0,05007
Titik Beban 20	0,3328	0,05007
Titik Beban 21	0,3328	0,05007
Titik Beban 22	0,3328	0,05007
Titik Beban 23	0,3328	0,05007
Titik Beban 24	0,3328	0,05007
Titik Beban 25	0,3328	0,05007
Titik Beban 26	0,3328	0,05007
Titik Beban 27	0,3328	0,05007

Titik beban	Laju kegagalan (kali pelanggan/tahun)	Durasi pemadaman (jam/tahun)
Titik Beban 28	0,3328	0,05007
Titik Beban 29	0,3328	0,05007
Titik Beban 30	0,3328	0,05007

Nilai SAIFI pada titik beban 1 nilai SAIFI di tentukan dengan mengalikan antara laju kegagalan dengan pelanggan padam kemudian membagi dengan total pelanggan yang dilayani atau menggunakan persamaan 5.

$$SAIFI_{TB1} = \frac{\sum_{i=0}^n \lambda_i X N_i}{N_t} \text{ kali pelanggan/tahun}$$

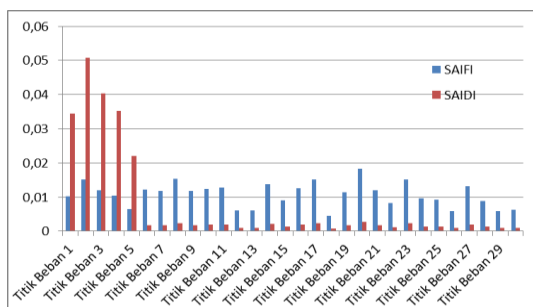
$$SAIFI_{TB1} = \frac{0,6386 \times 415}{11974} = 0,022138418 \text{ kali pelanggan/tahun}$$

Nilai SAIDI pada titik beban 1 nilai SAIDI dapat di tentukan dengan mengalikan antara durasi kegagalan dengan pelanggan padam kemudian membagi dengan total pelanggan yang dilayani atau menggunakan persamaan 4.

$$SAIDI_{TB1} = \frac{\sum_{i=0}^n U_i X N_i}{N_t} \text{ jam /pelanggan}$$

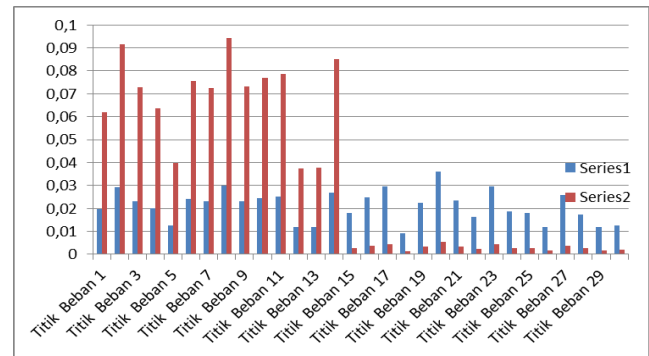
$$SAIDI_{TB1} = \frac{1,9788 \times 415}{11974} = 0,06859928 \text{ jam/pelanggan}$$

Hasil analisis indeks keandalan SAIFI, dan SAIDI *Section I*



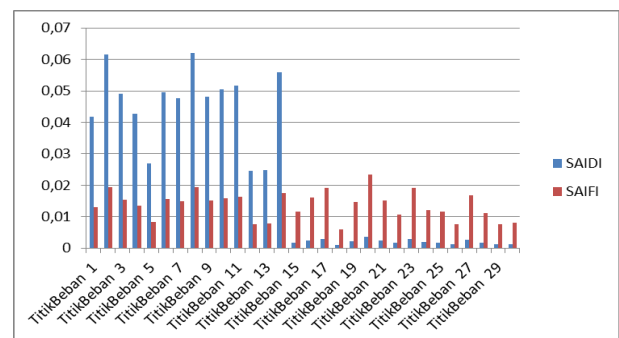
Gambar 2. Hasil analisis indeks keandalan SAIFI, dan SAIDI *section I*

Hasil analisis indeks keandalan SAIFI, dan SAIDI *Section II*



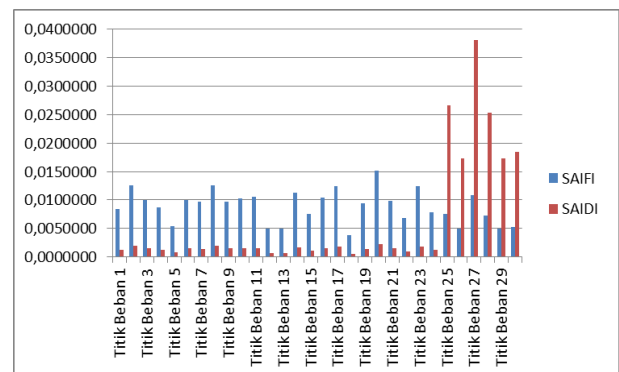
Gambar 3. hasil analisis indeks keandalan SAIFI, dan SAIDI *section II*

Hasil analisis indeks keandalan SAIFI, dan SAIDI *Section III*



Gambar 4. Hasil analisis indeks keandalan SAIFI, dan SAIDI *section III*

Hasil analisis indeks keandalan SAIFI, dan SAIDI *section IV*



Gambar 5. Hasil analisis indeks keandalan SAIFI, dan SAIDI *section IV*

Tabel 8. hasil analisis indeks keandalan penyulang Lamhotma (LH01) dengan menggunakan *section tehnikue*

Section	SAIFI	SAIDI	CAIDI
I	0,313	0,163	0,678
II	0,625	0,972	1,553
III	0,688	1,056	1,534
IV	0,467	0,346	0,739
Total	2,095	2,383	4,506

Dari hasil analisis indeks keandalan dengan menggunakan metode *section tehnikue* penyulang Lamhotma 01 (LH01) merupakan penyulang yang sering mengalami gangguan. nilai indeks keandalan SAIFI penyulang Lamhotma 01(LH01) adalah 2,1 kali pelanggan/tahun melebihi standart yang ditetapkan oleh IEEE Std 1366-2003 yaitu 1,45 kali pelanggan/tahun, dan memenuhi standart yang di tetapkan SPLN sebesar 3,0 kali pelanggan /tahun. Nilai SAIDI penyulang Lamhotma 01 (LH01) adalah Sebesar 2,3 jam/tahun memenuhi standart yang telah di tetapkan IEEE std 1366-2003 yaitu 2.30 jam/tahun, dan juga memenuhi standart SPLN, dan nilai CAIDI penyulang Lamhotma 01 (LH01) adalah 4,5 jam/pelanggan melebihi standart yang di tetapkan IEEE-1366-2003 yaitu 1,47 Jam/pelanggan, dan juga melebihi standart yang di tetapkan SPLN. Besarnya nilai indeks keandalan disebabkan tingginya gangguan pada jaringan dan banyaknya pemadaman akibat pekerjaan pemeliharaan dan pembangunan jaringan yang berkaitan dengan penyulang lamhotma dan faktor lain seperti gangguan hewan liar dan lainnya dan factor yang kedua yaitu faktor tiang roboh, isolator pecah karena usia dan lain sebagainya. Upaya untuk meningkatkan indeks keandalan adalah dengan menginsentifkan pemeliharaan feeder (penyulang), mengatur sesingkat mungkin pemeliharaan jaringan.

4.2 Analisis Secara Ekonomis

Analisis secara ekonomis bertujuan untuk mengetahui banyaknya kerugian yang dialami

PT.PLN (Persero) Rayon Belawan akibat terjadinya pemadaman.

4.3 Analisis *Energi Not Suplied* (ENS)

Analisis ENS dapat dicari dengan menggunakan persamaan 8. atau dapat dituliskan dengan rumus sebagai berikut.

$$ENS = \Sigma \text{Gangguan(kW)} \times \text{Durasi (Jam)}$$

Untuk melakukan analisis *Energi Not Suplied* (ENS) maka harus diketahui daya aktif pada saat gangguan terlebih dahulu secara matematis dapat dilihat persamaan 7.

$$\text{Daya aktif} = \sqrt{3} \times V \times I \times \cos \varphi$$

$$ENS = \Sigma \text{Gangguan (kW)} \times \text{Durasi (jam)}$$

$$AENS = \frac{ENS}{\Sigma N}$$

$$\cos \varphi = 0,8$$

Untuk menganalisis besarnya daya aktif pada saat terjadi gangguan pada setiap *section I* menggunakan persamaan 7.

$$\text{Daya aktif} = \sqrt{3} \times V \times I \times \cos \varphi$$

$$\cos \varphi = 0,8$$

$$\text{Daya aktif section1} = \sqrt{3} \times V \times I \times \cos \varphi$$

$$\begin{aligned} \text{Daya aktif section 1} &= \sqrt{3} \times 20\,000 \text{ V} \times \\ &26,352415 \text{ A} \times 0,8 \\ &= 730,9 \text{ kW} \end{aligned}$$

Tabel 9. banyaknya daya aktif pada saat terjadi gangguan penyulang Lamhotma 01 (LH01)

section	kostanta fasa	factor Beban	kuat arus	Daya aktif
I	1,732	0,8	26,3	730,
II	1,732	0,8	22,7	630
III	1,732	0,8	25,6	771,
IV	1,732	0,8	27,8	771,

Tabel 9. menunjukkan daya aktif pada saat terjadi gangguan memiliki nilai yang berbeda beda. Daya aktif paling kecil pada saat terjadi gangguan berada di section II sebesar 630,0 Kw

dan daya aktif paling besar berada di section III sebesar 771,5.

4.4 Perhitungan Energi Not Suplied (ENS)

Perhitungan ENS pada section 1 dapat dilakukan dengan menggunakan persamaan 8.

$$\begin{aligned} \text{ENS} &= \Sigma \text{Gangguan(kW)} \times \text{Durasi (jam)} \\ \text{ENS} &= 7302,781 \text{ (kW)} \times 6,73875 \text{ (jam)} \\ \text{ENS} &= 49211,66 \text{ kWh} \end{aligned}$$

Tabel 10. hasil ENS penyulang Lamhotma 01 (LH01)

Section	Daya aktif (kW)	Durasi pemadaman (jam)	Ens (kWh)
I	730,27	6,73875	4921,16
II	630,04	15,68584	9882,73
III	711,50	14,24826	10137,67
IV	771,09	10,03736	7739,76
		total	32681,33

Tabel 10 menunjukkan bahwa nilai ENS atau energi yang tidak tersalurkan akibat pemadaman (gangguan) pada penyulang Lamhotma 01 (LH01) adalah sebesar 32681,33 kWh. Energi yang tidak dimanfaatkan terbesar terjadi pada section III yaitu sebesar 10137,67 kWh hal ini diakibatkan section III nilai indeks keandalan SAIDI yang cukup besar akibat sering terjadinya pemadaman pada jaringan distribusi. Sedangkan energi yang tidak dimanfaatkan terkecil terjadi pada section I sebesar 4921,16 kWh hal ini disebabkan pada section tersebut gangguan terjadi lebih sedikit dan durasi pemadaman yang lebih singkat

4.5 Perhitungan AENS

Setelah menganalisis ENS atau energi yang tak tersalurkan dari setiap section maka selanjutnya adalah menganalisis nilai rata-rata (AENS) energi tak tersalurkan dan untuk menganalisis nilai rata-rata energi tak tersalurkan dapat digunakan dengan Persamaan

$$AENS = \frac{ENS}{\Sigma_n}$$

$$AENS = \frac{32681,33 \text{ kWh}}{6854 \text{ pelanggan}}$$

$$AENS = 4,7 \text{ kWh/pelanggan}$$

Jadi rata-rata energi tidak tersalurkan penyulang Lamhotma 01(LH01) selama tahun 2021 adalah 4,7 kWh/pelanggan.

4.5 Analisis Kerugian Ekonomis

Setelah menganalisis nilai *Energy Not Supplied* (ENS) dan *Average Energy Not Supplied* (AENS), maka selanjutnya menganalisis nilai ekonomis berupa kerugian dari energi yang tidak tersalurkan akibat pemadaman listrik dengan menggunakan rumus. Pada tahap ini, nilai energi tak tersalurkan (ENS) di kalkulasikan dengan tarif dasar listrik yang telah ditetapkan menteri ESDM dan PT.PLN (Persero) pada tahun 2022. Untuk menganalisis dengan menggunakan Persamaan 10 Biaya kerugian penyulang Lamhotma 01 (LH01) pada tahun 2021 adalah sebagai berikut.

Kerugian Ekonomis Section 1 = ENS x Tarif Dasar listrik (TDL)

Kerugian Ekonomis Section 1 = 4921,16 kWh x Rp 1.444,70

= Rp 7.109.815,00

Tabel 11. Hasil analisis kerugian ekonomis akibat energi tak tersalurkan penyulang Lamhotma pada tahun 2021

Section	ENS (kWh)	Tarif Dasar Listrik (Rp)	Kerugian Ekonomi (Rp)
I	4921,16	Rp 1.444,7	Rp 7.109.815
II	9882,73	Rp 1.444,7	Rp 14.277.546
III	10137,67	Rp 1.444,7	Rp 14.645.844
IV	7739,76	Rp 1.444,7	Rp 11.181.701
		Total	Rp 40.105.090

Jadi total biaya kerugian yang dialami PT.PLN persero rayon belawan akibat terjadinya

pemadaman di penyulang lamhotma adalah Rp 40.105.090.00

5. KESIMPULAN

Kesimpulan yang dapat diambil dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Berdasarkan hasil analisis indeks keandalan dengan menggunakan metode *section tehnikue* nilai indeks keandalan SAIFI penyulang Lamhotma 01 (LH01) adalah 1,6 kali pelanggan/tahun melebihi standart yang ditetapkan oleh IEEE Std 1366-2003 yaitu 1,45 kali pelanggan/tahun, dan memenuhi standart yang di tetapkan SPLN sebesar 3,0 kali pelanggan/tahun. Nilai SAIDI penyulang Lamhotma 01 (LH01) adalah Sebesar 2,0 jam/tahun memenuhi standart yang telah di tetapkan IEEE std 1366-2003 yaitu 2.30 jam/tahun, dan juga memenuhi standart SPLN, dan nilai CAIDI penyulang Lamhotma (LH01) adalah 4,6 jam/pelanggan melebihi standart yang di tetapkan IEEE-1366-2003 yaitu 1,47 Jam/pelanggan, dan juga melebihi standart yang di tetapkan SPLN
2. Berdasarkan hasil analisis secara teknis dan ekonomis total energi yang tak tersalurkan (ENS) akibat pemadaman di penyulang Lamhotma (LH01) adalah 32681,33 kWh dan rata-rata energi tak tersalurkan (AENS) selama satu tahun penyulang Lamhotma (LH01) adalah 4,7 kWh/pelanggan sedangkan kerugian ekonomis selama satu tahun PT. PLN (Persero) Rayon Belawan akibat terjadiya pemadaman penyulang Lamhotma 01 (LH01) selama tahun 2021 adalah Rp 40.105.09,00

6. DAFTAR PUSTAKA

- [1] P. Doloksaribu, “□ □ N □ U N Total durasi pemadaman Total durasi pemadaman Total frekwensi pemadaman,” vol. 1, no. 1, pp. 20–24, 2010.

- [2] A. Fatoni, “Analisa Keandalan Sistem Distribusi 20 kV PT.PLN Rayon Lumajang dengan Metode FMEA (Failure Modes and Effects Analysis),” *J. Tek. ITS*, vol. 5, no. 2, pp. 462–467, 2017, doi: 10.12962/j23373539.v5i2.16150.
- [3] M. W. Muntasyir, “Studi analisis keandalan sistem distribusi 20 kv pada pt. pln rayon palur,” 2018.
- [4] J. K. Koster, L. H. Cohn, R. B. B. Mee, and J. J. Collins, *Reliability-Evaluation-of-Power-Systems*, vol. 26, no. 5. 1978.
- [5] R. Syahputra, “Sistem Tenaga Listrik,” *ELTEK, Vol 11 Nomor 01*, pp. 1–293, 2016.
- [6] M. Praditama, Fery, Utomo, Teguh, Shidiq, *Analisis keandalan dan nilai ekonomis di penyulang pujan pt. pln (persero) area malang. .*
- [7] B. Pada, R. Bidang, and D. Metode, “Method of sections,” p. 2016, 2016.
- [8] R. E. Brown, *Electric power distribution reliability, second edition*. 2017.
- [9] H. H. Dasman, “Evaluasi Keandalan Sistem Distribusi 20 KV Menggunakan Metode Saidi dan Saifi di PT. PLN (PERSERO) Rayon Lubuk Alung Tahun 2015,” *J. Tek. Elektro Itp*, vol. 6, no. 2, pp. 170–179, 2017.
- [10] J. Pramono, “Makalah Teknik Tenaga Listrik, Transmission of Electrical Energy (Transmisi Tenaga Listrik),” *Departemen Tek. Elektro, Fak. Tek. Univ. Indones. Depok. Diambil dari <http://staff.ui.ac.id/system/files/users/chairul.hudaya/material/papertransmissionofelectricalenergy.pdf>*, 2010.
- [11] W. D. Stevenson, “Analisis Sistem Tenaga Listrik,” *Erlangga*, 1993.
- [12] N. E. Pratama, “Analisa Gangguan Saluran Udara Tegangan Menengah (SUTM) 20 KV Penyulang Raya 14 DI PT . PLN (PERSERO) Area

- PONTIANAK,” *Tek. Elektro*, pp. 1–8, 2017.
- [13] Hetri Voly, “ANALISIS NILAI KEANDALAN DAN NILAI EKONOMI SISTEM JARINGAN DISTRIBUSI 20 kV PADA PT. PLN (PERSERO) RAYON DURI MENGGUNAKAN METODE FMEA (FAILURE MODE EFFECT ANALYSIS),” 2020, [Online]. Available: <http://repository.uin-suska.ac.id/30256/>.
- [14] U. L. Negara, “SPLN 59: 1985 Keandalan Sistem Distribusi,” 1985.
- [15] Y. Kobayashi, *Distributed Power Generation*. 2016.
- [16] I. 2003, “Interpretation for IEEE Standards Interpretation for IEEE Std 1366TM-2003 IEEE Guide for Electric Power Distribution Reliability Indices,” no. Id 1, pp. 2011–2011, 2011.
- [17] D. E. Putra, M. Nurhadiyanto, P. Studi, T. Elektro, F. Teknik, and U. Palembang, “ANALISIS KEANDALAN PENYULANG PAJAJARAN 20KV MENGGUNAKAN METODE SECTION TECHNIQUE Metode Section Technique adalah suatu metode analisis evaluasi sistem Keandalan jaringan distribusi tenaga listrik . Jaringan distribusi yang di analisa adalah Keandalan Peny,” vol. 4, no. 1, 2019.
- [18] M. Praditama, Fery, Utomo, Teguh, Shidiq, “Analisis keandalan dan nilai ekonomis di penyulang pujon pt. pln (persero) area malang,” pp. 1–8.
- [19] D. Kv *et al.*, “ANALISIS INDEKS KEANDALAN PADA JARINGAN,” 2022.
- [20] F. G. Becker *et al.*, *Electric Power Distribution Engineering*, vol. 7, no. 1. 2015.