

SKRIPSI

**ANALISIS KEANDALAN SISTEM DISTRIBUSI 20KV PADA
PENYULANG TAMALANREA PT PLN (PERSERO) ULP DAYA**

Disusun dan diajukan oleh:

AAN ANDRIADY

D041201121



PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK ELEKTRO

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS HASANUDIN

GOWA

2024

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

ANALISIS KEANDALAN SISTEM DISTRIBUSI 20KV PADA PENYULANG TAMALANREA PT. PLN (PERSERO) ULP DAYA

Disusun dan diajukan oleh

Aan Andriady

D041201121

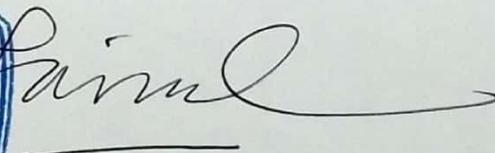
Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka
Penyelesaian Studi Program Sarjana Program Studi Teknik Elektro
Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin
Pada tanggal 21 Oktober 2024
Dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui,
Pembimbing Utama,



Prof. Dr. Ir. H Ansar Suyuti, M.T., IPU., ASEAN.Eng
NIP. 196712311992021001

Ketua Program Studi,



Prof. Dr. Ir. Faizal Arya Samman, ST, MT, IPU, AseanEng, ACPE
NIP. 197506052002121004

PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Aan Andriady
NIM : D041201121
Program Studi: Teknik Elektro
Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul

ANALISIS KEANDALAN SISTEM DISTRIBUSI 20KV PADA PENYULANG TAMALANREA PT. PLN (PERSERO) ULP DAYA

Adalah karya tulisan saya sendiri dan bukan merupakan pengambilan alihan tulisan orang lain dan bahwa skripsi yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri.

Semua informasi yang ditulis dalam skripsi yang berasal dari penulis lain telah diberi penghargaan, yakni dengan mengutip sumber dan tahun penerbitannya. Oleh karena itu semua tulisan dalam skripsi ini sepenuhnya menjadi tanggung jawab penulis. Apabila ada pihak manapun yang merasa ada kesamaan judul dan atau hasil temuan dalam skripsi ini, maka penulis siap untuk diklarifikasi dan mempertanggungjawabkan segala resiko.

Segala data dan informasi yang diperoleh selama proses pembuatan skripsi, yang akan dipublikasi oleh Penulis di masa depan harus mendapat persetujuan dari Dosen Pembimbing.

Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan isi skripsi ini hasil karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Gowa, 21 Oktober 2024

Yang Menyatakan



Aan Andriady

KATA PENGANTAR

Puji dan Syukur penulis panjatkan kepada Allah Subhanahu Wa Ta'ala, atas berkat dan limpahan rahmat, kesehatan, dan petunjuk sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini dengan judul **“ANALISIS KEANDALAN SISTEM DISTRIBUSI 20KV PADA PENYULANG TAMALANREA PT PLN (PERSERO) ULP DAYA”**. Penyusunan tugas akhir merupakan salah satu syarat kelulusan pada pendidikan strata satu (S1) di Departemen Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin sehingga penulisan tugas akhir ini tidak terlepas sebagai pemenuhan penulis untuk menyelesaikan studi sarjana.

Tugas akhir ini berisi penelitian yang bertujuan untuk menganalisis tingkat keandalan sistem distribusi sistem distribusi 20kV pada Penyulang Tamalanrea. Dalam penyelesaian tugas akhir ini, penulis menyadari banyaknya dukungan dan bantuan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih sebesar-besarnya kepada:

1. Orang tua saya yaitu ibu saya Dra. Sahirah, M.Pd. tercinta yang selalu menjadi sumber semangat dan motivasi bagi penulis, serta keluarga besar yang tak henti-hentinya memberikan semangat, dukungan, dan do'a sehingga skripsi ini dapat terselesaikan dengan baik.
2. Bapak Prof. Dr.-Ing. Ir. Faizal A Samman, M.T.,IPU.,ASEAN.Eng. ACPE selaku Ketua Departemen Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin
3. Bapak Prof. Dr. Ir. H. Ansar Suyuti, M.T., IPU., ASEAN.Eng selaku dosen pembimbing penulis yang telah meluangkan waktunya untuk bertukar pikiran serta memberikan inspirasi, masukan, dan evaluasi dalam penyelesaian tugas akhir ini
4. Ibu Dr. Ir. Zaenab Muslimin, M.T. dan Bapak Ir. Tajuddin Waris, M.T. selaku dosen penguji yang telah meluangkan waktunya untuk memberikan saran, koreksi, dan arahan dalam penyelesaian tugas akhir penulis
5. Seluruh dosen pengajar dan pegawai Departemen Teknik Elektro Universitas Hasanuddin atas bimbingan, didikan, kemudahan, dan bantuan

yang telah diberikan kepada penulis selama menempuh perkuliahan di Universitas Hasanuddin yang sedikit banyaknya membantu penulis dalam menyelesaikan tugas akhir

6. Teman-teman riset Laboratorium Distribusi Sistem Tenaga dan Instalasi Listrik yang telah mendukung penulis dari awal hingga akhir perkuliahan dan menjadi tempat kembali untuk bercerita tentang apa yang telah dilewati selama ini
7. Sobat COLOMBUS sebagai rekan asisten yang menjadi motivasi penulis dalam menyelesaikan tugas akhir
8. Seluruh rekan-rekan Himpunan Mahasiswa Energi dan Keluarga besar PROCEZ20R yang telah membantu dan menemani penulis dari awal hingga akhir penyusunan tugas akhir ini

Semoga segala bantuan dan motivasi yang diberikan kepada saya dibalas dengan limpahan rahmat oleh Allah SWT. Penulis berharap semoga apa yang saya laporkan dapat memberi manfaat bagi pembaca dan bagi penulis sendiri.

ABSTRAK

Aan Andriady: *Analisis Keandalan Sistem Distribusi 20kV Pada Penyulang Tamalanrea PT PLN (Persero) ULP Daya* (dibimbing oleh Ansar Suyuti)

Keandalan sistem distribusi adalah ukuran seberapa baik sistem distribusi dapat memenuhi fungsinya dalam menyalurkan energi listrik. Ukuran keandalan suatu sistem dapat dinyatakan dengan SAIFI (*System Average Interruption Frequency Index*) dan SAIDI (*System Average Interruption Duration Index*), CAIDI (*Customer Average Interruption Duration Index*), ASAI (*Average Service Availability Index*), dan ASUI (*Average Service Unavailability Index*). Penyulang Tamalanrea menyuplai beban-beban vital seperti rumah sakit, industri, pendidikan hingga beban rumah tangga sehingga penelitian ini perlu untuk dilakukan. Tujuan dari penelitian ini yaitu untuk menganalisis tingkat keandalan sistem distribusi 20kV di PT. PLN (Persero) ULP Daya pada penyulang Tamalanrea. Penelitian ini dilakukan menggunakan metode dari PLN dan Metode FMEA (*Failure Modes and Effects Analysis*). Metode PLN dilakukan dengan menganalisis gangguan JTM dengan terlebih dahulu menghitung indeks keandalan dasar berupa laju kegagalan (λ), lama pemadaman rata-rata (r), dan durasi pemadaman harian rata-rata (U). Setelah diperoleh indeks keandalan dasar, kemudian dapat dihitung indeks keandalan sistem untuk indikator SAIFI, SAIDI, dan CAIDI. Dari hasil perhitungan, diperoleh nilai indeks keandalan SAIFI sebesar 1,9666 Gangguan/Pelanggan/Tahun, indeks keandalan SAIDI sebesar 2,0642 Jam/Pelanggan/Tahun, dan indeks keandalan CAIDI sebesar 0,0767 Jam/Pelanggan/Kegagalan. FMEA (*Failure Modes and Effects Analysis*) adalah suatu pendekatan untuk mengidentifikasi kemungkinan mode kegagalan, serta dampak kegagalan yang ditimbulkan oleh tiap-tiap komponen terhadap sistem. Metode FMEA dilakukan dengan cara mencari terlebih dahulu nilai laju kegagalan (λ) dan durasi pemadaman tahunan rata-rata (U) dari masing-masing titik beban. Setelah diperoleh nilai λ dan U , dapat dihitung indeks keandalan berupa SAIFI, SAIDI, CAIDI, ASUI dan ASAI. Setelah membandingkan hasil perhitungan dengan standar SPLN 68-2:1986 baik menggunakan metode PLN maupun metode FMEA dapat ditarik kesimpulan bahwa penyulang Tamalanrea bisa dikatakan andal karena nilainya masih dibawah batas maksimum.

Kata Kunci: Keandalan, Sistem Distribusi 20kV SAIFI, SAIDI

ABSTRACT

Aan Andriady: Reliability Analysis of the 20kV Distribution System on the Tamalanrea Feeder of PT PLN (Persero) ULP Daya (Supervised by Ansar Suyuti)

Distribution system reliability is a measure of how well the distribution system can fulfill its function in distributing electrical energy. The reliability of a system can be expressed by SAIFI (System Average Interruption Frequency Index) and SAIDI (System Average Interruption Duration Index), CAIDI (Customer Average Interruption Duration Index), ASAI (Average Service Availability Index), and ASUI (Average Service Unavailability Index). Tamalanrea repeater supplies vital loads such as hospitals, industry, education to household loads so this research needs to be done. The purpose of this research is to analyze the reliability level of the 20kV distribution system at PT PLN (Persero) ULP Daya on the Tamalanrea extension. This research was conducted using the PLN method and the FMEA (Failure Modes and Effects Analysis) method. The PLN method is carried out by analyzing JTM disturbances by first calculating the basic reliability index in the form of failure rate (λ), average blackout duration (r), and average daily blackout duration (U). after obtaining the basic reliability index, then the system reliability index can be calculated for SAIFI, SAIDI, and CAIDI indicators. From the calculation results, the SAIFI reliability index value is 1.9666 Disruptions / Customer / Year, SAIDI reliability index is 2.0642 Hours / Customer / Year, and CAIDI reliability index is 0.0767 Hours / Customer / Failure. FMEA (Failure Modes and Effects Analysis) is an approach to identify possible failure modes, as well as the impact of failures caused by each component on the system. The FMEA method is carried out by first finding the value of the failure rate (λ) and the average annual outage duration (U) of each load point. After obtaining the values of λ and U , reliability indices such as SAIFI, SAIDI, CAIDI, ASUI, and ASAI can be calculated. After comparing the calculation results with the SPLN 68-2: 1986 standard using both the PLN method and the FMEA method, it can be concluded that the Tamalanrea feeder can be said to be reliable because the value is still below the maximum limit.

Keywords: Reliability, 20kV Distribution System, SAIFI, SAIDI

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI.....	i
PERNYATAAN KEASLIAN.....	ii
KATA PENGANTAR	iii
ABSTRAK.....	v
ABSTRACT.....	vi
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR TABEL.....	x
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Tujuan Penelitian	2
1.4 Manfaat Penelitian.....	3
1.5 Batasan Masalah	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	4
2.1 Sistem Tenaga Listrik.....	4
2.2 Sistem Distribusi Tenaga Listrik.....	5
2.2.1 Gardu induk/ Gardu induk distribusi.....	6
2.2.2 Gardu hubung.....	7
2.2.3 Gardu distribusi.....	7
2.2.4 Penyulang.....	8
2.2.5 Sistem distribusi primer	9
2.2.6 Sistem distribusi sekunder.....	12
2.2.7 Gangguan pada sistem distribusi.....	12
2.2.8 Proteksi sistem distribusi.....	13
2.3 Keandalan Sistem Distribusi	15
2.4 Indeks Keandalan Distribusi.....	17
BAB III METODE PENELITIAN.....	20
3.1 Jenis Penelitian.....	20
3.2 Tempat dan Waktu Penelitian	20
3.3 Objek Penelitian.....	20

3.4	Teknik Pengumpulan Data	20
3.5	Teknik Analisis Data	21
3.6	Alur Penelitian	22
3.7	Analisis Keandalan Menggunakan Metode PLN	25
3.8	Analisis Keandalan Menggunakan Metode <i>Failure Modes and Effects Analysis</i> (FMEA)	27
3.9	Menentukan Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Keandalan Sistem Distribusi	34
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		35
4.1	Data Penelitian	35
4.1.1	<i>Single Line Diagram</i> Penyulang Tamalanrea	35
4.1.2	Data Gangguan Penyulang Tamalanrea	38
4.1.3	Data Jumlah Pelanggan Penyulang Tamalanrea	39
4.1.4	Data Panjang Saluran Penyulang Tamalanrea	40
4.1.5	Data Trafo Distribusi.....	41
4.2	Perhitungan Keandalan Penyulang Tamalanrea Menggunakan Metode PLN	42
4.3	Perhitungan Keandalan Penyulang Tamalanrea Menggunakan Metode FMEA	45
4.3.1	Hasil Perhitungan Indeks Keandalan dengan metode FMEA menggunakan <i>Software Ms. Excel</i>	45
4.3.2	Hasil Perhitungan Indeks Keandalan dengan metode FMEA menggunakan <i>Software ETAP</i>	54
4.4	Analisis Hasil Perhitungan Keandalan Penyulang Tamalanrea.....	55
4.5	Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Keandalan Sistem Distribusi 20kV pada Penyulang Tamalanrea PT PLN (Persero) ULP Daya.....	60
4.6	Upaya Perbaikan Indeks Keandalan Sistem Distribusi 20 kV	61
4.6.1	Jenis gangguan sistem distribusi pada Penyulang Tamalanrea.....	61
4.6.2	Upaya mengurangi jumlah gangguan.....	62
4.6.3	Upaya meningkatkan indeks keandalan Penyulang Tamalanrea	63
BAB V PENUTUP.....		65
5.1	Kesimpulan.....	65
5.2	Saran.....	66
DAFTAR PUSTAKA		67
LAMPIRAN.....		69

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1 Skema sistem tenaga listrik	4
Gambar 2 Proses penyediaan tenaga listrik bagi para konsumen	6
Gambar 3 Pola jaringan distribusi primer radial	10
Gambar 4 Pola jaringan distribusi primer <i>loop</i>	11
Gambar 5 Pola jaringan distribusi primer spindel.....	11
Gambar 6 Diagram alir penelitian.....	22
Gambar 7 Contoh Jaringan Penyulang	30
Gambar 8 Disgram Satu Garis Penyulang Tamalanrea.....	36
Gambar 9 Jumlah Pelanggan Penyulang Tamalanrea	39
Gambar 10 Grafik Perbandingan Nilai SAIFI dari Hasil Perhitungan dengan Target PLN	56
Gambar 11 Grafik Perbandingan Nilai SAIDI dari Hasil Perhitungan dengan Target PLN	57
Gambar 12 Grafik perbandingan Nilai SAIFI dan SAIDI dari hasil perhitungan, Target PLN, dan SPLN 68-2:1986	58

DAFTAR TABEL

Tabel 1 Perbedaan antara jaringan distribusi dengan jaringan transmisi.....	5
Tabel 2. Faktor Penyesuaian Nilai SAIFI dan SAIDI.....	26
Tabel 3 Nilai laju kegagalan peralatan berdasarkan SPLN59 198.....	28
Tabel 4. Mode Kegagalan dan Pengaruh Terhadap Sistem	32
Tabel 5. Panjang Saluran	33
Tabel 6. Indeks Keandalan	33
Tabel 7. Data Kegagalan pada Penyulang Tamalanrea Selama Tahun 2023...	38
Tabel 8. Data Panjang Penyulang Tamalanrea	40
Tabel 9. Data Trafo Distribusi Penyulang Tamalanrea.....	41
Tabel 10. Data Gangguan JTM Penyulang Tamalanrea Tahun 2023	42
Tabel 11. Nilai Indeks Keandalan Dasar dan Indeks Keandalan Sistem	43
Tabel 12. Mode Kegagalan Penyulang Tamalanrea	46
Tabel 13. Hasil Perhitungan Indeks Keandalan pada Penyulang Tamalanrea.	51
Tabel 14 Hasil Simulasi menggunakan ETAP	55
Tabel 15. Hasil Perhitungan Nilai Indeks Keandalan dan Target Dari PLN ...	55
Tabel 16. Indeks Keandalan dari Hasil Perhitungan, Target PLN, dan SPLN 68-2:1986.....	57
Tabel 17. Perbandingan Hasil FMEA menggunakan Ms. Exel dan ETAP	59
Tabel 18. Perbandingan Hasil Metode PLN dan Metode FMEA terhadap SPLN 68-2:1986	59
Tabel 19. Jumlah dan Penyebab Gangguan JTM Penyulang Tamalanrea Tahun 2023	62
Tabel 20. Hasil Simulasi ETAP	64

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Energi listrik merupakan kebutuhan pokok yang tidak dapat dipisahkan dari kehidupan manusia. Listrik tidak hanya berfungsi untuk penerangan, tetapi juga untuk menggerakkan mesin-mesin dan mengembangkan usaha. Permintaan akan energi listrik terus meningkat seiring dengan pertumbuhan ekonomi dan peningkatan populasi penduduk. Untuk memenuhi kebutuhan tersebut, sistem pelayanan tenaga listrik harus terus dikembangkan.

Sistem jaringan tenaga listrik merupakan sistem yang kompleks yang terdiri dari berbagai komponen, termasuk unit pembangkit, unit penyalur, dan gardu-gardu. Unit pembangkit menghasilkan energi listrik, sedangkan unit penyalur menyalurkan energi listrik tersebut kepada konsumen. Gardu-gardu berfungsi untuk mengatur, membagi, memindahkan, dan menyalurkan energi listrik dari pusat pembangkit kepada konsumen. Sistem jaringan tenaga listrik dioperasikan secara otomatis dan manual untuk memastikan bahwa energi listrik dapat disalurkan secara efektif dan berkelanjutan.

Sistem distribusi tenaga listrik berfungsi untuk menyalurkan energi listrik dari penyedia ke pelanggan. Mutu, kontinuitas, dan ketersediaan energi listrik yang diterima oleh pelanggan merupakan hal yang fundamental dalam sistem distribusi tenaga listrik. Dengan meningkatnya kebutuhan masyarakat, diperlukan keandalan dan kontinuitas distribusi tenaga listrik yang tinggi. Gangguan dan kegagalan pada peralatan listrik jaringan distribusi 20 kV dapat menyebabkan terganggunya penyediaan tenaga listrik, yang dapat merugikan semua pihak yang terkait.

Keandalan sistem distribusi adalah ukuran seberapa baik sistem distribusi dapat memenuhi fungsinya dalam menyalurkan energi listrik. Semakin tinggi tingkat keandalan sistem distribusi, maka semakin kecil kemungkinan terjadinya pemadaman listrik. Oleh karena itu, untuk memenuhi kebutuhan tenaga listrik yang terus meningkat, sistem distribusi harus memiliki tingkat keandalan yang tinggi. Tingkat keandalan sistem distribusi dapat diukur dengan lamanya

pemadaman dan seberapa sering pemadaman terjadi. Jika tingkat keandalan sistem distribusi sesuai dengan standar, maka masyarakat pengguna dapat menikmati energi listrik secara kontinyu.

PT PLN (Persero) Area Makassar Utara memiliki beberapa Rayon yang menjadi tanggung jawabnya yaitu Rayon Karebosi, Rayon Daya, Rayon Maros dan Rayon Pangkep. Menurut data aset PLN Area Makassar Utara dari keempat Rayon tersebut, Rayon Daya memiliki jumlah gardu distribusi yang lebih banyak dari Rayon lainnya. Pada wilayah Rayon Daya terdapat penyulang Tamalanrea yang menaungi berbagai kawasan seperti kawasan industri, kawasan pendidikan, Rumah Sakit, hingga rumah tangga.

Berdasarkan uraian di atas maka dari itu peneliti menganggap perlu dilakukan suatu penelitian dengan judul “**Analisis Keandalan Sistem Distribusi 20kV pada Penyulang Tamalanrea PT PLN (Persero) ULP Daya**”.

1.2 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah yang ingin diselesaikan dalam penelitian ini antara lain:

1. Apa saja fafaktor-faktor yang mempengaruhi indeks keandalan sistem distribusi 20kV pada Penyulang Tamalanrea PT PLN (Persero) ULP Daya?
2. Bagaimana menghitung indeks keandalan sistem distribusi 20kV pada Penyulang Tamalanrea PT PLN (Persero) ULP Daya?
3. Bagaimana upaya meningkatkan keandalan sistem distribusi 20kV pada Penyulang Tamalanrea PT PLN (Persero) ULP Daya?

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan penelitian ini antara lain:

1. Menentukan fafaktor-faktor yang mempengaruhi indeks keandalan sistem distribusi 20kV pada Penyulang Tamalanrea PT PLN (Persero) ULP Daya.
2. Menghitung indeks keandalan sistem distribusi sistem distribusi 20kV pada Penyulang Tamalanrea PT PLN (Persero) ULP Daya.

3. Menentukan upaya meningkatkan keandalan sistem distribusi 20kV pada Penyulang Tamalanrea PT PLN (Persero) ULP Daya.

1.4 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat bermanfaat untuk:

1. Bagi peneliti, merupakan syarat untuk memperoleh gelar sarjana teknik program studi teknik elektro di Universitas Hasanuddin, serta dapat menjadi sarana untuk menambah wawasan, pengetahuan, dan pengalaman dalam melakukan *study* di Universitas Hasanuddin.
2. Bagi PT PLN (Persero) Rayon Daya dapat mengetahui tingkat keandalan sistem distribusi tenaga listrik pada penyulang tamalanrea.
3. Bagi mahasiswa selanjutnya dapat menjadi acuan dalam menghitung indeks keandalan sistem distribusi tenaga listrik.
4. Bagi pelanggan PLN, penelitian ini dapat menjadi acuan untuk melihat seberapa andal jaringan distribusi penyulang Tamalanrea sehingga dapat mengetahui sebaik apa kualitas layanan listrik yang sampai ke pelanggan.

1.5 Batasan Masalah

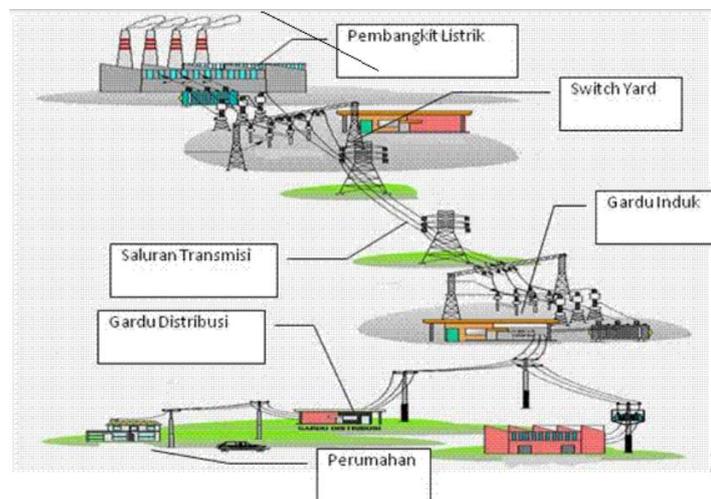
Berdasarkan permasalahan yang ada, maka Batasan masalah pada penelitian ini antara lain:

1. Penyulang yang dianalisis adalah penyulang Tamalanrea di PT. PLN (Persero) ULP Daya.
2. Penelitian ini tidak membahas aspek ekonomi akibat dari tingkat keandalan penyulang Tamalanrea.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Sistem Tenaga Listrik

Sistem Tenaga Listrik adalah kumpulan komponen yang saling berhubungan dan bekerja sama untuk menghasilkan, menyalurkan, dan menyediakan tenaga listrik bagi pelanggan. Secara umum, sistem ini terdiri dari pembangkit, transmisi, distribusi, dan beban (Suripto, 2016). Secara garis besar Sistem Tenaga Listrik dapat dilihat pada gambar 1.



Gambar 1 Skema sistem tenaga listrik (Suripto, 2016)

Sistem tenaga listrik dimulai dari pembangkit listrik. Pembangkit listrik menghasilkan tenaga listrik dari berbagai sumber, seperti air, batu bara, gas, dan matahari. Tenaga listrik yang dihasilkan kemudian dinaikkan tegangannya menggunakan transformator daya (*step-up*). Hal ini dilakukan agar tenaga listrik dapat disalurkan ke berbagai daerah yang jaraknya jauh tanpa banyak kehilangan daya (Husada, 2017).

Saluran transmisi tegangan tinggi di Indonesia memiliki tegangan nominal antara 70 kV, 150 kV, dan 500 kV dimana tegangan 500 kV disebut sebagai tegangan ekstra tinggi. Saluran transmisi akan berakhir di gardu induk (GI), di mana tegangan tinggi dari saluran transmisi akan diturunkan menjadi tegangan menengah untuk distribusi primer menggunakan transformator daya (*step-down*). Setelah itu, tenaga listrik akan didistribusikan ke daerah melalui jaringan tegangan

menengah (JTM) 20 kV. JTM akan menyalurkan tenaga listrik ke gardu-gardu distribusi yang menurunkan tegangan menengah ke tegangan rendah 380/220 V. Tegangan rendah inilah yang kemudian digunakan oleh konsumen untuk menyalakan lampu, peralatan elektronik, dan mesin-mesin (Husada, 2017). Untuk membedakan antara jaringan transmisi dan jaringan distribusi dapat dilihat pada tabel 1 yang dipandang dari berbagai segi sudut pandang.

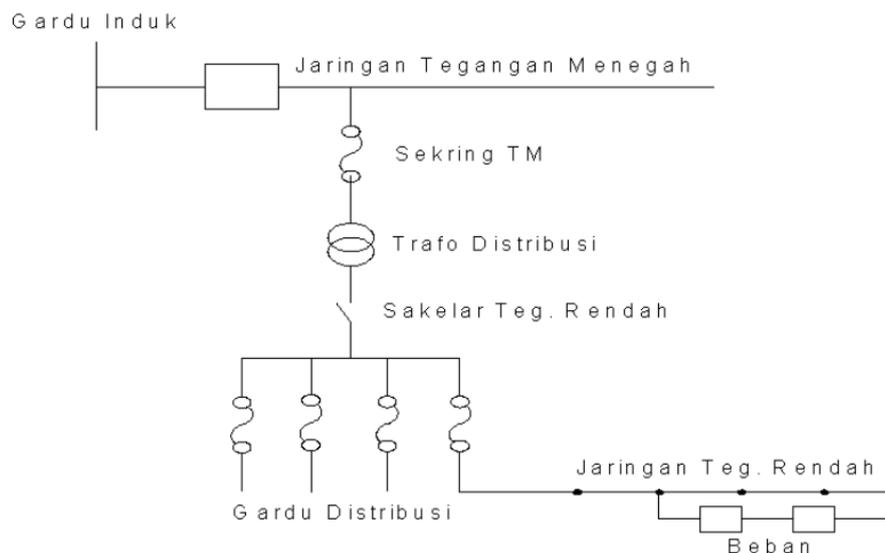
Tabel 1 Perbedaan antara jaringan distribusi dengan jaringan transmisi (Suswanto, 2009)

No.	Dari Segi	Distribusi	Transmisi
1.	Letak Lokasi Jaringan	Dalam Kota	Luar Kota
2.	Tegangan Sistem	<30 kV	>30kV
3.	Bentuk Jaringan	Radial, Loop, Paralel Interkoneksi	Radial dan Loop
4.	Sistem Penyaluran	Saluran Udara, Saluran Bawah Tanah	Saluran Udara, Saluran Bawah Laut
5.	Konstruksi Jaringan	Lebih Rumit dan Beragam	Lebih Sederhana
6.	Analisis Jaringan	Lebih Kompleks	Lebih Sederhana
7.	Komponen Rangkaian yang DIperhitungkan	Komponen R dan l	Komponen R, L, & C
8.	Penyangga Jaringan	Tiang Jaringan	Menara Jaringan
9.	Tinggi Penyangga Jaringan	Kurang dari 20m	30-200 m
10.	Kawat Penghantar	BCC, SAC, AAC, & AAAC	ACSR dan ACAR

2.2 Sistem Distribusi Tenaga Listrik

Distribusi tenaga listrik adalah tahap terakhir dari sistem tenaga listrik, yang bertanggung jawab untuk mengirimkan listrik ke konsumen. Fungsi utama sistem distribusi ialah menyalurkan dan mendistribusikan tenaga listrik dari Gardu Indukdistribusi (distribution substation) kepada pelanggan listrik dengan mutu pelayanan yang memadai (Funan dan Sutama, 2020). Pada sistem tenaga listrik, terdapat dua subbagian utama distribusi tenaga listrik, yaitu distribusi primer dan distribusi sekunder. Distribusi primer adalah bagian yang menyalurkan listrik dari saluran transmisi ke gardu distribusi. Distribusi sekunder adalah bagian yang menyalurkan listrik dari gardu distribusi ke konsumen (Jamaluddin, et al., 2022).

Sistem distribusi tenaga listrik adalah bagian dari sistem tenaga listrik yang berfungsi untuk menyalurkan tenaga listrik dari sumber daya listrik besar ke konsumen. Tenaga listrik yang dihasilkan oleh pembangkit listrik besar memiliki tegangan rendah, yaitu sekitar 11 kV hingga 24 kV. Tegangan ini kemudian dinaikkan oleh gardu induk menggunakan transformator menjadi 70 kV, 154 kV, 220 kV, atau 500 kV. Tegangan yang lebih tinggi ini disalurkan melalui saluran transmisi. Peningkatan tegangan bertujuan untuk mengurangi kerugian daya listrik pada saluran transmisi. Hal ini dikarenakan daya listrik yang sama akan mengalir dengan arus yang lebih kecil jika tegangannya dinaikkan. Arus yang lebih kecil akan menyebabkan kerugian daya yang lebih kecil pula. Tegangan yang tinggi dari saluran transmisi kemudian diturunkan oleh transformator di gardu distribusi primer. Tegangan yang diturunkan menjadi tegangan menengah, yaitu sekitar 2 kV hingga 35 kV. Tegangan menengah ini disalurkan melalui saluran distribusi primer ke gardu distribusi sekunder. Di gardu distribusi sekunder, tegangan menengah diturunkan menjadi tegangan rendah, yaitu 220/380 Volt. Tegangan rendah ini kemudian disalurkan melalui saluran distribusi sekunder ke konsumen (Candra & Nurmutia, 2020).



Gambar 2 Proses penyediaan tenaga listrik bagi para konsumen (Syafar, 2018)

2.2.1 Gardu induk/ Gardu induk distribusi

Gardu ini berisikan ujung-ujung dari saluran transmisi/subtransmisi, transformator, peralatan proteksi, peralatan kontrol dan pangkal saluran distribusi.

Gardu induk memberikan suplai tenaga listrik ke jaringan distribusi. Tegangan yang disuplai gardu induk adalah berupa tegangan menengah karena pada gardu induk, tegangan tinggi yang diterima diturunkan terlebih dahulu ke tegangan menengah sebelum disalurkan ke daerah beban yang dikehendaki (Syafar, 2018).

Gardu induk distribusi adalah komponen penting dalam jaringan distribusi. Gardu induk distribusi berfungsi untuk mengatur dan mendistribusikan tenaga listrik dari saluran transmisi ke jaringan distribusi. Gardu induk distribusi dapat dibagi menjadi dua jenis, yaitu gardu induk ujung dan gardu induk cabang. Gardu induk ujung terletak di ujung saluran transmisi, berfungsi untuk menurunkan tegangan dari saluran transmisi ke tegangan distribusi. Gardu induk cabang terletak di antara jaringan distribusi, berfungsi untuk membagi aliran daya dan menurunkan tegangan distribusi ke tegangan rendah. Gardu induk distribusi memiliki peran penting dalam memastikan keandalan jaringan distribusi. Gardu induk distribusi membantu untuk menjaga stabilitas tegangan dan mencegah terjadinya gangguan pada jaringan distribusi (Suripto, 2016).

2.2.2 Gardu hubung

Gardu hubung merupakan gardu penghubung antara gardu induk dengan trafo distribusi. Gardu ini tidak berisikan transformator, tetapi hanya perlengkapan hubung-bagian (*Switchgear*) dan biasanya rel-rel (busbar) (Syafar, 2018). Gardu hubung adalah gardu yang berfungsi untuk membagi beban pada sejumlah gardu atau untuk menghubungkan satu feeder TM dengan feeder TM yang lain. Dengan demikian pada gardu ini hanya dilengkapi peralatan hubung dan bila perlu misalnya untuk melayani konsumen TM dilengkapi dengan alat pembatas dan pengukur (Lelang, 2015).

2.2.3 Gardu distribusi

Gardu distribusi adalah suatu tempat atau bangunan instalasi listrik yang berfungsi untuk menyalurkan tenaga listrik dari jaringan primer ke jaringan sekunder. Gardu distribusi dilengkapi dengan berbagai peralatan, antara lain pemutus, penghubung, pengaman, dan transformator distribusi. Peralatan-

peralatan tersebut berfungsi untuk menunjang tercapainya pendistribusian tenaga listrik yang baik, yaitu kontinuitas pelayanan yang terjamin, mutu yang tinggi, dan keselamatan bagi manusia (Marniati, 2023). Gardu distribusi adalah gardu yang berisikan trafo distribusi dan merupakan daerah/titik pertama antar jaringan primer dan jaringan sekunder karena pada gardu ini tegangan menengah (TM) diubah ke tegangan rendah (TR)(Syafar, 2018). Gardu distribusi merupakan salah satu komponen dari suatu sistem distribusi yang berfungsi untuk menghubungkan jaringan ke konsumen atau untuk membagikan/mendistribusikan tenaga listrik pada beban/konsumen baik konsumen tegangan menengah maupun konsumen tegangan rendah (Suswanto, 2009).

2.2.4 Penyulang

Feeder (penyulang) dalam jaringan distribusi merupakan saluran yang menghubungkan gardu induk dengan gardu distribusi. Feeder dalam penggunaannya terbagi tiga yaitu:

- a. Feeder tunggal, Feeder Jenis ini adalah sistem feeder yang paling sederhana namun tingkat keandalannya sangat rendah, karena bila terjadi gangguan pada rel utama, maka pelayanan aliran tenaga listrik akan terputus sama sekali.
- b. Feeder Ganda, Feeder ini memerlukan lebih banyak isolator, feeder dengan bangunan konstruksi baja dan ruang dibandingkan feeder tunggal, tetapi dengan feeder ganda ini pemeriksa alat dan operasi menjadi lebih mudah. Tidak bekerjanya suatu feeder tidak diikuti oleh tidak bekerjanya trafo dan saluran transmisi.
- c. Sistem Tanpa Feeder, Sistem unit dengan menghilangkan feeder sudah banyak digunakan karena adanya kemajuan dalam keandalan alat-alat, meluasnya sistem transmisi bawah tanah dan penyederhanaan sistem intalasi karena sukarnya memperoleh tanah (Syafar, 2018).

Sebuah penyulang (*feeder*) terdiri dari penyulang utama, yang biasanya untai tiga fase empat kawat, dan percabangan atau lateral, yang biasanya berupa untai fase tunggal atau tiga fase yang ditambatkan pada penyulang utama. Selain itu juga terdapat sublateral yang ditambatkan ke lateral. Umumnya lateral dan

sublateral berlokasi dalam daerah perumahan perkotaan dan pedesaan adalah berfase tunggal dan terdiri dari satu konduktor fase dan konduktor netral. Sebagian besar transformator distribusi merupakan fase tunggal dan terhubung antara fase dan netral melalui pemutus sekering. Penyulang dalam sistem distribusi primer dipisahkan oleh piranti *reclosing* pada berbagai lokasi yang berguna untuk memutuskan rangkaian secepat mungkin apabila terjadi gangguan. Hal ini dapat dicapai melalui koordinasi operasi dari seluruh sekering dan *recloser* (Syahputra, 2016).

2.2.5 Sistem distribusi primer

Sistem distribusi primer merupakan bagian dari sistem distribusi yang berfungsi untuk menyalurkan dan mendistribusikan tenaga listrik dari pusat suplai daya besar (*Bulk Power Source*) atau disebut gardu induk ke pusat-pusat beban. Sistem distribusi primer atau sistem distribusi tegangan menengah tersusun oleh penyulang utama (*main feeder*) dan penyulang percabangan (*lateral*). Jaringan distribusi di Indonesia adalah jaringan distribusi bertegangan 20 KV (Syafar, 2018).

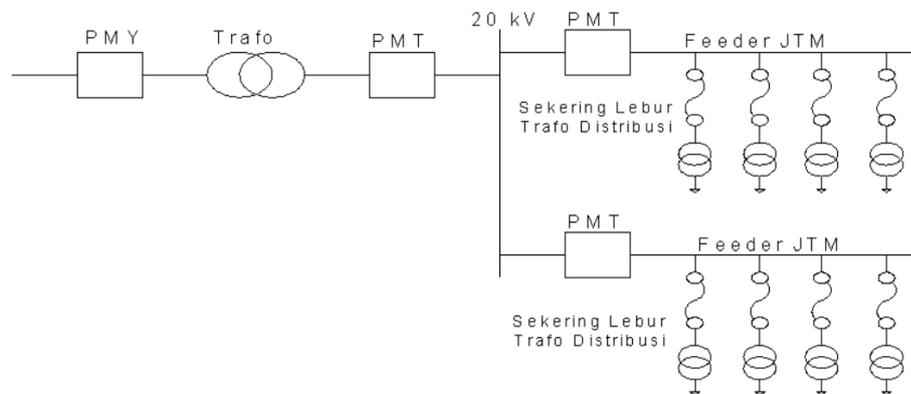
Untuk memenuhi tingkat kontinuitas pelayanan, dikenal beberapa pola jaringan distribusi primer yaitu:

1. Jaringan distribusi radial

Sistem radial pada jaringan distribusi merupakan sistem terbuka, dimana tenaga listrik yang disalurkan secara radial melalui gardu induk ke konsumen-konsumen dilakukan secara terpisah satu sama lainnya. Sistem ini merupakan sistem yang paling sederhana diantara sistem yang lain dan paling murah, sebab sesuai konstruksinya sistem ini menghendaki sedikit sekali penggunaan material listrik, apalagi jika jarak penyaluran antara gardu induk ke konsumen tidak terlalu jauh (Suswanto, 2009).

Pada konfigurasi radial ini apabila terjadi gangguan pada salah satu feeder, maka semua pelanggan yang terhubung pada feeder tersebut akan terganggu. Apabila gangguan tersebut bersifat permanen dan memerlukan perbaikan terlebih dahulu sebelum dapat dioperasikan kembali, maka pelanggan (konsumen) yang

mengalami gangguan pelayanan jumlahnya relative banyak (Syafar, 2018). Pola jaringan distribusi primer radial dapat dilihat pada gambar 3.



Gambar 3 Pola Jaringan Distribusi Primer Radial (Syafar, 2018)

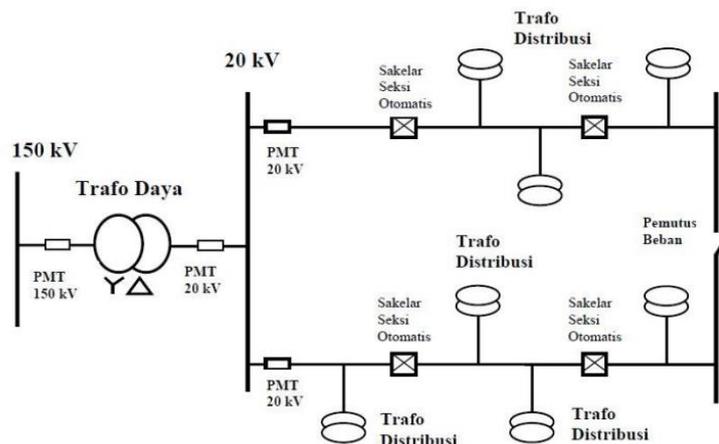
Gambar 3 menunjukkan jaringan tegangan menengah berupa feeder radial yang keluar dari gardu induk (GI). Pada setiap feeder terdapat transformator distribusi yang dilengkapi dengan saklar. Transformator Distribusi diletakkan didalam kota. Untuk wilayah kepadatan tinggi dan jarak antar pusat beban dengan feeder terlalu jauh perlu digunakan Gardu Hubung. Antara gardu induk dan gardu hubung umumnya dihubungkan oleh dua sirkuit tegangan menengah yang dilengkapi dengan relay pengaman agar kalau salah satu sirkuit terganggu masih ada satu sirkuit yang beroperasi (Syafar, 2018).

Kelebihan dari jaringan ini adalah biaya investasi yang murah tetapi kekurangan dari jaringan ini adalah tingkan keandalan yang sangat buruk dikarenakan tidak adanya alternatif pasokan apabila terjadi gangguan di *feeder* (Kadir, 2006).

2. Jaringan distribusi *Ring/ Loop*

Sistem jaringan loop adalah sistem jaringan yang mendesain feeder sebagai loop dengan menyambungkan kedua ujung saluran seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4. Hal ini mengakibatkan bahwa konsumen utilitas dapat memperoleh pasokan energi dari dua arah. Sehingga apabila pasokan dari salah satu penyulang terganggu, maka pasokan akan dialihkan pada penyulang lain yang terhubung pada sistem loop. Kapasitas cadangan yang cukup besar harus tersedia di setiap feeder pada sistem jaringan loop (Kadir, 2006).

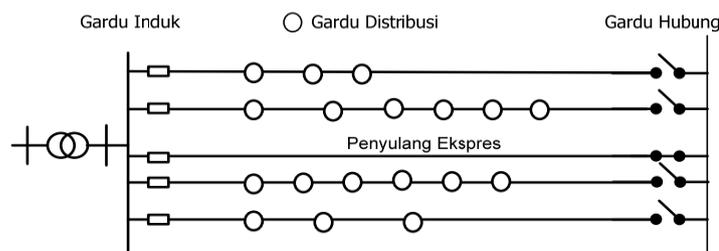
Sistem ini secara ekonomis menguntungkan karena pada jaringan terbatas hanya pada saluran yang terganggu, sedangkan pada saluran yang lain masih dapat menyalurkan tenaga listrik dari sumber lain dalam rangkaian yang tidak terganggu. Sehingga kontinuitas pelayanan sumber tenaga listrik dapat terjamin dengan baik (Syafar, 2018). Pola jaringan distribusi primer ring dapat dilihat pada gambar 4.



Gambar 4 Pola Jaringan Distribusi Primer Loop (Suripto, 2016)

3. Jaringan distribusi Spindel

Jaringan spindle merupakan suatu pola gabungan jaringan dari pola loop dan radial. Jaringan ini terdiri dari beberapa penyulang (feeder) yang dayanya disuplai dari gardu induk dan terhubung pada sebuah gardu hubung. Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5, pada sebuah jaringan *spindle* terdiri dari beberapa penyulang aktif dan sebuah penyulang cadangan/penyulang ekspres yang dihubungkan melalui gardu induk. Fungsi dari penyulang ekspres dalam jaringan ini adalah sebagai cadangan apabila terjadi suatu gangguan disalah satu penyulang aktif. Pola spindle biasanya digunakan untuk Jaringan Tegangan Menengah (JTM) yang menggunakan kabel tanah / saluran bawah tanah (SKTM) (Kadir, 2006).



Gambar 5 Pola Jaringan Distribusi Primer Spindel (PT. PLN (Persero), 2010)

2.2.6 Sistem distribusi sekunder

Sistem distribusi sekunder merupakan bagian dari sistem distribusi, yang bertugas mendistribusikan tenaga listrik secara langsung dari trafo distribusi ke pelanggan. Jaringan distribusi sekunder di Indonesia adalah jaringan distribusi bertegangan 220/380 Volt (Syafar, 2018). Jaringan sistem distribusi ini berguna mendistribusikan listrik melalui trafo distribusi ke konsumen. Penyaluran energi listrik pada jaringan distribusi sekunder disalurkan melalui kawat berisolasi. Jaringan ini dikategorikan dengan jaringan tegangan rendah dikarenakan standar besaran tegangannya 127/220 V untuk sistem lama, 440/550 V digunakan keperluan industri dan untuk sistem baru 220/380 V (Qasthari, 2021).

2.2.7 Gangguan pada sistem distribusi

Gangguan pada sistem distribusi adalah terganggunya sistem tenaga listrik yang menyebabkan bekerjanya rele pengaman penyulang bekerja untuk membuka *circuit breaker* di gardu induk yang menyebabkan terputusnya suplai tenaga listrik. Hal ini untuk mengamankan peralatan yang dilalui arus gangguan tersebut untuk dari kerusakan. Sehingga fungsi dari peralatan pengaman adalah untuk mencegah kerusakan peralatan dan tidak meniadakan gangguan (Syafar, 2018).

Berdasarkan durasi atau lamanya gangguan pada sistem distribusi dibagi menjadi:

1. Gangguan Sementara (Temporer)

Merupakan gangguan yang timbulnya gangguan bersifat sementara terjadi dalam waktu yang tidak lama dan tidak memerlukan tindakan dalam arti dapat normal kembali dengan sendirinya dengan penutupan kembali oleh peralatan hubung dan jaringan listrik akan bekerja normal kembali. Jenis gangguan ini dapat merusak peralatan listrik yang ada karena jenis ganggua ini bisa terjadi berulang kali. Jenis gangguan ini ialah : timbulnya *flashover* antar penghantar dan tanah (tiang, *traverse* atau kawat tanah) karena sambaran petir, *flashover* dengan pohon-pohon, dan lain sebagainya (Husada, 2017).

2. Gangguan Permanen

Gangguan permanen yaitu gangguan yang dapat disebabkan oleh adanya kerusakan pada peralatan sehingga gangguan ini baru hilang setelah kerusakan itu diperbaiki (Syafar, 2018). Contoh: menurunnya kemampuan isolasi padat atau minyak trafo. Di sini akan menyebabkan kerusakan permanen pada trafo, sehingga untuk dapat beroperasi kembali harus dilakukan perbaikan (Husada, 2017). Contoh lain yaitu karena ada sesuatu yang mengganggu secara permanen misalnya ada dahan yang menimpa kawat fasa dari saluran udara dan dahan ini perlu diambil terlebih dulu agar system dapat berfungsi kembali secara normal. Dengan kata lain gangguan permanen baru dapat diatasi setelah sebab gangguannya dihilangkan (Syafar, 2018).

2.2.8 Proteksi sistem distribusi

Alat pengaman atau pelindung adalah suatu alat yang berfungsi melindungi atau mengamankan suatu sistem penyaluran tenaga listrik dengan cara membatasi tegangan lebih (*over voltage*) atau arus lebih (*over current*) yang mengalir pada sistem tersebut, dan mengalirkannya ke tanah (*ground*). Dengan demikian alat pengaman harus dapat menahan tegangan sistem agar kontinuitas pelayanan ke pusat beban (*load center*) tidak terganggu hingga waktu yang tidak terbatas. Dan harus dapat melalukan atau mengalirkan arus lebih dengan tidak merusak alat pengaman dan peralatan jaringan yang lain (Suswanto, 2009).

Adapun peralatan proteksi pada jaringan distribusi yaitu:

1. *Fuse Cut Out* (FCO)

Fuse Cut Out (FCO) adalah suatu alat yang berfungsi sebagai *fuse* (sekering tegangan menengah) sekaligus sebagai alat pemutusan (*switch*) tegangan/arus. Letak FCO diantara jaringan tegangan menengah dan trafo distribusi tegangan menengah (Syafar, 2018). FCO pada umumnya berfungsi menjaga serta mengamankan pada rangkaian peralatan dan perlengkapan dan mencegah terjadinya kerusakan. *Fuse Cut Out* (FCO) ini memutus rangkaian listrik pada jaringan distribus. *Fuse Cut Out* (FCO) harus dilakukan perawatan serta di perhatikan penggunaannya. Jika tidak adanya pemeliharaan pada penggunaan FCO maka dapat menimbulkan kerusakan pada peralatan yang

dilindungi (Qasthari, 2021). *Fuse Cut Out* (FCO) dalam pemasangannya di lapangan dapat diletakkan pada konstruksi gardu trafo tiang maupun di percabangan pada jaringan tegangan menengah. FCO yang dipasang pada percabangan dapat disebut juga FCOB (*Fuse Cut Out Branch*) (Pramudaswari, 2019).

2. *Load Break Switch* (LBS)

Saklar pemutus beban (*Load Break Switch/LBS*) merupakan saklar atau pemutus arus tiga fasa untuk penempatan di luar ruas pada tiang panjang, yang di kendalikan secara manual maupun secara elektronis. *Load break switch* (LBS) mirip dengan alat pemutus tegangan (PMT) atau *Circuit Breaker* (CB) dan biasanya di pasang dalam saluran distribusi listrik (Syarifah et al., 2021).

3. *Disconnecting Switch* (DS)

Disconnecting Switch merupakan suatu sistem peralatan tenaga listrik yang mempunyai fungsi sebagai saklar pemisah rangkaian listrik tenaga dalam keadaan bertegangan maupun tidak bertegangan (tanpa arus beban) (Henriana & Permata, 2022). *Disconnecting Switch* berfungsi untuk meyakinkan terisolasinya CB dari bagian-bagian yang bertegangan pada waktu pemeliharaan. Dalam operasi pemeliharaan urutan kerjanya adalah: CB dibuka terlebih dahulu kemudian DS yang dibuka (Syafar, 2018).

4. *Lightning Arrester* (LA)

Arrester ialah perlengkapan pelindung untuk melindungi peralatan suatu sistem energi listrik terhadap sambaran petir. Peralatan ini melindungi terhadap gangguan sambaran dan berperan melindungi peralatan suatu sistem tenaga listrik dengan cara membatasi sambaran tegangan lebih yang datang dan mengalirkan ke tanah. *Arrester* menyalurkan arus petir yang mengalir ke sistem pentanahan agar tidak menimbulkan tegangan yang lebih yang dapat merusak aliran daya dengan frekuensi 50 Hz. Arus tinggi yang mengalir ke tanah di netralisir dan arrester kembali normal. Arrester umumnya dipasang pada jaringan, trafo, gardu induk dan *cubicle* (Qasthari, 2021).

5. *Recloser*

Recloser adalah sebuah alat yang dapat menutup kembali pada saat setelah terjadi gangguan temporer. Atau dengan kata lain jika setelah terjadi gangguan/kehilangan daya maka akan menutup kembali agar penyaluran daya tidak terlalu lama terhenti (Syafar, 2018).

6. *Sectionalizer (SSO)*

Sectionalizer ataupun Saklar Seksi Otomatis (SSO) yaitu saklar yang dilengkapi dengan kontrol elektronik, dipakai sebagai pengaman seksi ataupun pengaman arus lebih pada sistem distribusi energi listrik, prinsip kerjanya berhubungan dengan pengaman disisi sumber (seperti relai *recloser* ataupun PBO) (Qasthari, 2021). *Sectionalizer* sebagai alat pemutus rangkaian untuk dapat memisah misahkan jaringan utama dalam beberapa seksi secara otomatis, sehingga bila terjadi gangguan permanen maka luas daerah (jaringan) yang mengalami pemadaman akibat gangguan permanen dapat dibatasi sekecil mungkin (Syafar, 2018).

2.3 Keandalan Sistem Distribusi

Definisi keandalan (*reliability*) secara umum merupakan kemampuan sistem dapat berfungsi dengan baik untuk jangka waktu tertentu. Ukuran keandalan dapat dinyatakan sebagai seberapa sering sistem mengalami pemadaman berapa lama pemadaman terjadi dan berapa cepat waktu yang dibutuhkan untuk memulihkan kondisi dari pemadaman yang terjadi. Sistem yang mempunyai keandalan yang tinggi akan mampu memberikan tenaga listrik setiap saat dibutuhkan, sedangkan sistem yang mempunyai keandalan rendah akan menyebabkan sering terjadinya pemadaman (Anshori et al., 2020).

Berikut adalah definisi – definisi dasar yang ada dalam keandalan distribusi berdasarkan SPLN59 1985 yaitu sebagai berikut:

- a. Pemadaman (*Interruption of Supply*) Terhentinya pelayanan pada satu atau lebih konsumen, akibat dari satu atau lebih komponen mendapat gangguan.
- b. Keluar (*Outage*) Keandalan dimana dalam suatu komponen tidak dapat berfungsi sebagaimana mestinya, diakibatkan karena beberapa peristiwa

yang berhubungan dengan komponen tersebut. Suatu kelur dapat atau tidak dapat menyebabkan pemadaman, hal ini masih bergantung pada konfigurasi dari sistem.

- c. Lama Keluar (*Outage Duration*) Periode dari saat komponen mengalami outage hingga saat komponen dioperasikan kembali sesuai dengan fungsinya.
- d. Lama Keluar Paksa Transien (*Transient Forced Outage Duration*) Waktu singkat, karena alat pemutus mampu bekerja menutup kembali dengan cepat, tanpa merusak komponen.
- e. Lama Keluar Paksa Permanen (*Permanent Forced Outage Duration*) Waktu yang diperlukan dari saat permulaan komponen mengalami keluar sampai komponen mendapat perbaikan.
- f. Lama Keluar Terencana (*Scheduled Outage Duration*) Waktu yang diperlukan untuk perawatan dan pemeliharaan komponen yang telah direncanakan.
- g. Lama Pemadaman (*Interruption Duration*) Waktu dari saat permulaan terjadinya pemadaman hingga menyala kembali.
- h. Kegagalan Parsial (*Partial Failure*) Kegagalan parsial menggambarkan sebuah komponen yang bekerjanya tidak dapat sama dengan kemampuan yang semestinya tetapi tidak berarti tidak bekerja sama sekali.
- i. Kegagalan Total (*Complete Failure*) Kegagalan total, menggambarkan kondisi sebuah komponen yang sama sekali tidak bisa bekerja.
- j. Keluar Paksa Transien (*Transient Forced Outage*) Keluar paksa penyebabnya bisa hilang dengan sendirinya, sehingga alat atau komponen yang gagal tersebut bisa berfungsi normal kembali secara otomatis atau setelah sebuah pemutus ditutup kembali atau pelebur diganti. Contoh : Sambaran petir yang tidak menyebabkan alat atau komponen mengalami kerusakan.
- k. Keluar Paksa Permanen (*Permanent Force Outage*) Keluar yang penyebabnya tidak bisa hilang dengan sendirinya, tetapi harus dihilangkan terlebih dahulu atau komponen yang keluar harus diganti atau diperbaiki sebelum komponen tersebut bisa digunakan kembali. Contoh keluar paksa

permanen lalah sambaran petir, yang menyebabkan pecahnya isolator sehingga baru dapat berfungsi kembali sesudah isolator diganti.

- l. Pemadaman Paksa (*Forced Interruption*) Pemadaman yang disebabkan oleh keluar darurat.
- m. Pemadaman Terencana (*Scheduled Interruption*) Pemadaman yang disebabkan oleh keluar terencana.
- n. Pemadaman Sejenak (*Momentary Interruption*) Pemadaman yang waktunya terbatas diperluka hanya untuk mengembalikan suplai dengan cara otomatis, dengan cara pengaturan jarak jauh atau dengan cara manual yang langsung dikerjakan oleh operator yang sudah siap di tempat. Pemadaman ini biasanya tidak lebih dari 5 menit.
- o. Pemadaman Temporer (*Temporary Interruption*) Pemadaman yang waktunya terbatas diperlukan hanya untuk mengembalikan suplai dengan cara manual yang dikerjakan oleh operator yang tidak siap ditempat.

2.4 Indeks Keandalan Distribusi

Indeks keandalan merupakan suatu indikator keandalan yang dinyatakan dalam suatu besaran probabilitas. Sejumlah indeks sudah dikembangkan untuk menyediakan suatu kerangka untuk mengevaluasi keandalan sistem tenaga. Evaluasi keandalan sistem distribusi terdiri dari indeks titik beban dan indeks sistem yang dipakai untuk memperoleh pengertian yang mendalam kedalam keseluruhan capaian (Syafar, 2018). Parameter yang digunakan untuk mengevaluasi keandalan jaringan distribusi adalah:

λ = frekuensi kegagalan tahunan rata-rata (*fault/year*)

r = lama terputusnya pasokan listrik rata-rata (*hours/fault*)

U = lama/durasi terputusnya pasokan listrik tahunan rata-rata (*hours/year*)

Sebelum melakukan perhitungan atau analisis keandalan suatu sistem distribusi 20 kV, pehitungan dilakukan terhadap indeks-indeks keandalan dasar. Pada indeks keandalan dasar terdapat dua perhitungan yaitu:

a. Laju kegagalan (*failure rate*)

Laju kegagalan merupakan penjumlahan laju kegagalan semua peralatan yang berpengaruh pada titik beban tersebut.

$$\lambda = \frac{\text{jumlah gangguan}}{\text{selang waktu pengamatan}} \quad (1)$$

b. Durasi pemadaman rata-rata tahunan

Durasi pemadaman rata-rata tahunan merupakan perkalian antara laju kegagalan dengan durasi p emadaman yang dibutuhkan peralatan.

$$U = \lambda \times r \quad (2)$$

c. Durasi pemadaman rata-rata

Durasi pemadaman rata-rata merupakan pembagian antara durasi pemadaman rata-rata tahunan dibagi laju kegagalan.

$$r = \frac{\text{jumlah jam padam}}{\text{jumlah gangguan}} \quad (3)$$

Ketiga indeks dasar keandalan tersebut tidak dapat menggambarkan seberapa besar dampak pemadaman itu bagi konsumen dan bagi perusahaan. Oleh karena itu dilakukan dengan menghitung indeks keandalan sistem untuk mengetahui performa suatu sistem (Syafar, 2018).

Untuk menghitung Indeks keandalan yang digunakan dalam menghitung performa keandalan sistem secara keseluruhan yaitu :

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

Indeks ini dibuat untuk memberikan informasi mengenai frekuensi rata – rata dari pemadaman bertahan atau sustained interruption setiap pelanggan pada area yang telah ditetapkan dalam satu tahun (Husada, 2017). Indeks ini dapat dihitung dengan cara sebagai berikut :

$$\text{SAIFI} = \frac{\text{Jumlah frekuensi padam}}{\text{Jumlah total pelanggan yang dilayani}} \quad (4)$$

Secara matematis dituliskan sebagai berikut :

$$\text{SAIFI} = \frac{\sum \lambda_i \times N_i}{\sum N} \quad (5)$$

Dimana:

λ_i = indeks kegagalan rata-rata pertahun (*failure/year*)

N_i = Jumlah pelanggan padam

N = Jumlah total pelanggan

- **SAIDI (*System Average Interruption Duration Index*)**

SAIDI adalah tingkat kegagalan rata-rata untuk setiap pelanggan selama periode waktu tertentu (Sihombing, 2022). Indeks ini biasanya digunakan untuk mengetahui menit/waktu pemadaman pada pelanggan dan dibuat untuk memberikan informasi mengenai waktu rata-rata konsumen yang mengalami pemadaman (Husada, 2017). Indeks ini dapat dihitung dengan cara :

$$\text{SAIDI} = \frac{\text{Total durasi pemadaman}}{\text{Jumlah total pelanggan yang dilayani}} \quad (6)$$

Secara matematis dituliskan sebagai berikut :

$$\text{SAIDI} = \frac{\sum U_i \times N_i}{\sum N} \quad (7)$$

Dimana:

U_i = Durasi pemadaman rata-rata pertahun (*hours/year*)

N_i = Jumlah pelanggan padam

N = Jumlah total pelanggan