

**ANALISIS KEANDALAN SISTEM JARINGAN DISTRIBUSI 20KV PT
PLN (PERSERO) UP3 METRO DENGAN MENGGUNAKAN METODE
*RELIABILITY NETWORK EQUIVALENT APPROACH (RNEA)***

Skripsi

**Oleh:
ABDULLAH AZZAM
NPM 1855031006**



**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2023**

**ANALISIS KEANDALAN SISTEM JARINGAN DISTRIBUSI 20KV PT
PLN (PERSERO) UP3 METRO DENGAN MENGGUNAKAN METODE
*RELIABILITY NETWORK EQUIVALENT APPROACH (RNEA)***

Oleh :

ABDULLAH AZZAM

Skripsi

**Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mendapat Gelar
SARJANA TEKNIK**

Pada

**Jurusan Teknik Elektro
Fakultas Teknik Universitas Lampung**



**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG**

2023

ABSTRAK

ANALISIS KEANDALAN SISTEM JARINGAN DISTRIBUSI 20 KV PT. PLN (PERSERO) UP3 METRO DENGAN MENGGUNAKAN METODE *RELIABILITY NETWORK EQUIVALENT APPROACH* (RNEA)

Oleh

ABDULLAH AZZAM

Kualitas keandalan jaringan distribusi sangat penting dalam menentukan kinerja sistem distribusi tenaga listrik. Dalam suatu jaringan distribusi, kualitas keandalan dapat dilihat dari lamanya pemadaman listrik dan seberapa sering terjadinya pemadaman listrik dalam kurun waktu tertentu. Sistem distribusi tentunya memiliki nilai keandalan, dimana indeks-indeks keandalan yang digunakan untuk menghitung nilai keandalan yaitu SAIDI dan SAIFI. Metode yang digunakan dalam menghitung indeks keandalan pada tugas akhir ini adalah menggunakan metode *Reliability Netwok Equivalent Approach* (RNEA), dimana prinsip utama dari metode RNEA adalah elemen ekuivalen dapat digunakan untuk mengganti bagian jaringan distribusi dan menyusun kembali sistem distribusi yang besar ke dalam bentuk seri dan sederhana. Berdasarkan hasil yang diperoleh dari analisis pada penyulang Stroberi dan penyulang Nila, didapatkan nilai indeks keandalan untuk penyulang Stroberi yaitu, nilai SAIDI sebesar 9,2718 dan nilai SAIFI sebesar 3,0055. Penyulang Nila diperoleh nilai indeks keandalan SAIDI sebesar 13,8186 dan SAIFI sebesar 4,44104. Dengan demikian penggunaan metode RNEA yang mereduksi load point dapat diterapkan pada penyulang Stroberi dan penyulang Nila.

Kata kunci : Keandalan, Sistem Distribusi, RNEA, SAIDI SAIFI

ABSTRACT

RELIABILITY ANALYSIS OF 20 KV DISTRIBUTION SYSTEM PT. PLN (PERSERO) UP3 METRO WITH RELIABILITY NETWORK EQUIVALENT APPROACH (RNEA) METHOD

By:

ABDULLAH AZZAM

The quality of reliability in distribution networks is crucial in determining the performance of electric power distribution systems. In a distribution network, reliability can be assessed based on the duration and frequency of power outages within a specific time frame. Distribution systems inherently possess reliability values, where reliability indices such as SAIDI (System Average Interruption Duration Index) and SAIFI (System Average Interruption Frequency Index) are used to calculate the reliability value. The method employed to calculate reliability indices in this study is the Reliability Network Equivalent Approach (RNEA). The main principle of the RNEA method is that equivalent elements can be used to replace parts of the distribution network, reorganizing large distribution systems into simpler and serial forms. Based on the results obtained from the analysis of the Stroberi and Nila feeders, the reliability indices for the Stroberi feeder are as follows: SAIDI value of 9.2718 and SAIFI value of 3.0055. For the Nila feeder, the reliability indices are SAIDI value of 13.8186 and SAIFI value of 4.44104. Thus, the use of the RNEA method that reduces load points can be applied to the Stroberi and Nila feeders.

Key words: Reliability, Distribution System, RNEA, SAIDI SAIFI

Judul : **ANALISIS KEANDALAN SISTEM JARINGAN
DISTRIBUSI 20 KV PT. PLN (PERSERO) UP3
METRO DENGAN MENGGUNAKAN
METODE RELIABILITY NETWORK
EQUIVALENT APPROACH (RNEA)**

Nama Mahasiswa : **Abdullah Azzam**

Nomor Pokok Mahasiswa : **1855031006**

Program Studi : **Teknik Elektro**

Fakultas : **Teknik**



Ir. Herri Gusmedi, S.T., M.T.
NIP 19710813 199903 1 003

Zulmiftah Huda, S.T., M. Eng.
NIP 19880624 201903 1 015

2. Mengetahui

Ketua Jurusan Teknik Elektro

Ketua Program Studi Teknik Elektro

Herlinawati, S.T., M.T.
NIP 19710314 199903 2 001

Dr. Eng. Nining Purwasih, S.T., M.T.
NIP 19740422 200001 2 001

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

Ketua

Ir. Herri Gusmedi, S.T., M.T.



Sekretaris

Zulmiftah Huda, S.T., M. Eng.



Penguji

Ir. Khairudin, S.T., M.Sc., Ph.D. Eng.



2. Dekan Fakultas Teknik

Dr. Eng. Ir. Helmy Fitriawan, S.T., M.Sc.

NIP 19750928 200112 1 002



Tanggal Lulus Ujian Skripsi: 20 November 2023

SURAT PERNYATAAN

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Abdullah Azzam

NPM : 1855031006

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam skripsi ini tidak terdapat karya yang pernah dilakukan orang lain dan sepanjang sepengetahuan saya tidak terdapat atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali secara tertulis diacu dalam naskah ini sebagaimana yang disebutkan dalam daftar pustaka. Selain itu, saya menyatakan pula bahwa skripsi ini dibuat oleh saya sendiri.

Apabila pernyataan saya tidak benar, maka saya bersedia dikenai sanksi sesuai dengan hukum yang berlaku.

Bandar Lampung, 7 Desember 2023



Abdullah Azzam
NPM. 1855031006

RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di Serang, Banten pada tanggal 22 Februari 2000. Penulis merupakan anak ke-empat dari empat bersaudara dari pasangan Bapak H.Akim Gunawan (Alm) dan Ibu Hj.Mumuy Murdawiyah. Penulis memulai pendidikan di SDIT Bina Insani pada tahun 2006 hingga 2012, SMPIT Al-izzah pada tahun 2012 hingga 2015, SMAN 3 Kota Serang Pada tahun 2015 hingga 2018. Penulis menjadi mahasiswa Jurusan Teknik Elektro, Universitas Lampung pada tahun 2018 melalui jalur SMMPTN-BARAT. Selama menjadi mahasiswa, penulis tergabung dalam organisasi internal di Jurusan Teknik Elektro yaitu (HIMATRO) sebagai Anggota Divisi Kerohanian pada tahun 2019 hingga 2020 dan Anggota Divisi Minat dan Bakat pada tahun 2020 hingga 2021. Selain itu, penulis juga tergabung dalam organisasi eksternal yaitu Himpunan Mahasiswa Banten-Lampung sebagai Anggota Divisi Sosial Masyarakat Periode 2019 dan Kepala Divisi Sosial Masyarakat periode 2020. Kemudian pada tanggal 26 Juli 2021 – 26 Januari 2022, penulis melaksanakan Kerja Praktik (KP) dan magang di PT Syntek Otomasi Indonesia.

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Alhamdulillah, Atas Izin Allah yang Maha Kuasa

KU PERSEMBAHKAN KARYA INI UNTUK

Ayah dan Ibu Tercinta

H. Akim Gunawan (Alm.) dan Hj. Mumuy Murdawiyah

Kakak-Kakak Ku Tercinta

Anggri Aditiyawarman

Mardiyah Suwarsih

Muhamad Fauzan Syihab

Ezta Kharisma Wijayanti, S.P., Keluarga Besar,

Dosen JTE, Teman-Teman, dan Almamater

Universitas Lampung



MOTTO

"Dan bersabarlah kamu, sesungguhnya janji Allah adalah benar"

(QS.Ar-Ruum : 60)

“Sesungguhnya sesudah kesulitan itu ada kemudahan. Maka apabila engkau telah selesai (dari suatu urusan), tetaplah bekerja keras dengan sungguh-sungguh (untuk urusan yang lain). Dan hanya kepada Tuhan-Mu lah engkau berharap”

(QS. Al-Insyirah : 6-8)

"Jangan takut jatuh, karena yang tidak pernah memanjatlah yang tidak pernah jatuh. Jangan takut gagal, karena yang tidak pernah gagal hanyalah orang-orang yang tidak pernah melangkah. Jangan takut salah, karena dengan kesalahan yang pertama kita dapat menambah pengetahuan untuk mencari jalan yang benar pada langkah yang kedua."

(Buya Hamka)

“Apa yang melewatkanmu tidak akan pernah menjadi takdirmu, dan apa yang ditakdirkan untukmu tidak akan pernah melewatkanmu.”

(Umar bin Khattab)

SANWACANA

Segala puji bagi Allah SWT, atas limpahan nikmat-Nya yang diberikan kepada penulis sehingga dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini. Shalawat dan salam senantiasa dicurahkan kepada Nabi Muhammad SAW. suri teladan yang mampu membuka sesuatu yang terkunci, penutup dari semua yang terdahulu, penolong kebenaran dengan jalan yang benar, dan petunjuk kepada jalan-Mu yang lurus.

Tugas Akhir dengan judul “**Analisis Keandalan Sistem Jaringan Distribusi 20 kV PT. PLN (Persero) UP3 Metro dengan Menggunakan Metode *Reliability Network Equivalent Approach (RNEA)***” ini merupakan salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Lampung.

Pada kesempatan ini, penulis mengucapkan terimakasih kepada:

1. Ibu Prof. Dr. Ir. Lusmeilia Afriani, D.E.A., I.P.M. selaku Rektor Universitas Lampung.
2. Bapak Dr. Eng. Helmy Fitriawan, S.T., M.Sc. selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Lampung.
3. Ibu Herlinawati, S.T., M.T. selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro Universitas Lampung.
4. Bapak Meizano Ardhi Muhammad, S.T., M.T. selaku Sekretaris Jurusan Teknik Elektro Universitas Lampung.
5. Ibu Dr.Eng. Nining Purwasih, S.T., M.T. selaku Ketua Prodi Teknik Elektro Universitas Lampung.
6. Bapak Ir. Herri Gusmedi, S.T., M.T. selaku pembimbing utama yang telah memberikan bimbingan rutin, ilmu, motivasi, arahan, dan nilai-nilai kehidupan kepada penulis dengan baik dan ramah.
7. Bapak Zulmiftah Huda, S.T., M. Eng. selaku dosen pembimbing pendamping yang telah memberikan bimbingan serta arahan kepada penulis dengan baik dan ramah.

8. Bapak Ir. Khairudin, S.T., M.Sc., Ph.D. Eng. selaku dosen penguji yang telah memberikan masukan, kritik, dan saran yang membangun kepada penulis agar penelitian ini lebih baik lagi.
9. Ibu Yetti Yuniati, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing akademik (PA) yang telah memberikan nasihat, arahan, dan bimbingan bagi penulis dalam mempersiapkan diri menjadi seorang Sarjana Teknik.
10. Bapak Hari selaku Manager Jaringan PT. PLN (Persero) UP3 Metro yang telah memberikan izin untuk penelitian dan membantu selama proses penelitian ini kepada penulis.
11. Segenap Dosen di Jurusan Teknik Elektro yang telah memberikan ilmu yang bermanfaat, wawasan, dan pengalaman bagi penulis
12. Segenap Staff di Jurusan Teknik Elektro dan Fakultas Teknik yang telah membantu penulis baik dalam hal administrasi dan hal-hal lainnya.
13. Kedua Orang Tua paling berjasa di dalam hidup saya, (Bapak Alm. H.Akim Gunawan dan Umi Hj. Mumuy Murdawiyah) yang selalu menjadi penyemangat, yang tiada henti-hentinya selalu memberikan kasih sayang, memotivasi, nasihat, dan do'a kepada penulis sehingga bisa menyelesaikan skripsi ini dengan baik.
14. Kakak-Kakakku Tercinta aa Adit, teteh Diah, kak Fauzan atas semua do'a dan dukungannya kepada penulis.
15. Kepada Ezta Kharisma Wijayanti, S.P., seseorang yang selalu menemani dalam keadaan suka maupun duka, yang selalu mendengarkan keluh kesah, dan selalu memberikan dukungan dan memotivasi selama proses pengerjaan skripsi ini. Terimakasih telah menjadi bagian dari perjalanan hidup saya dan mendukung saya hingga saat ini.
16. Rekan-rekan mahasiswa Teknik Elektro Universitas Lampung Angkatan 2018 (ELTICS 2018), yang telah banyak memberi dukungan moril untuk saya.
17. Teman seperjuangan Syuja, Stefanus, Osan, Babal, Zulfikar, Afra, Riko, Fandu, Arlex, Opang, Maul, dan Rizki yang telah banyak membantu, memberikan semangat, dukungan, pengalaman, cerita, yang diberikan kepada penulis.

18. Teman-teman KKN Cikoneng Banten Periode I, terimakasih atas dukungan dan serta kebersamaan yang sampai saat ini masih terjalin dengan baik.
19. Mahasiswa perantau Banten Squad 2018 Rafif, Indra, Kiki Maul, Piak dan Adut yang telah memberikan dukungan, kebersamaan, pengalaman selama berada di perantauan untuk menyelesaikan perkuliahan.
20. Semua pihak yang telah membantu selama pengerjaan skripsi dan penyusunan laporan namun tidak dapat disebutkan satu-persatu.
21. Yang terakhir, terimakasih sebanyak-banyaknya untuk diri saya sendiri Abdullah Azzam sudah mampu bertahan dan berjuang dalam menikmati proses panjang skripsi ini. Telah melalui berbagai macam hambatan baik dalam proses pengerjaan dan proses revisi yang tidak untuk terus berusaha bekerja keras menyelesaikannya.

Penulis menyadari bahwa masih banyak kekurangan dalam penulisan skripsi ini. Penulis mengharapkan kritik dan saran konstruktif dari semua pihak demi kemajuan bersama. Penulis berharap skripsi ini dapat bermanfaat bagi kita semua.

Bandar Lampung, 7 Desember 2023

Abdullah Azzam
NPM 1855031006

DAFTAR ISI

	Halaman
DAFTAR ISI.....	i
DAFTAR GAMBAR.....	iii
DAFTAR TABEL	iv
I. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Tujuan.....	2
1.3 Rumusan Masalah	3
1.4 Batasan Penelitian	3
1.5 Manfaat Penelitian.....	3
1.6 Hipotesis	3
1.7 Sistematika Penulisan.....	4
II. TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Penelitian Terdahulu.....	5
2.2 Sistem Tenaga Listrik.....	7
2.3 Sistem Distribusi Listrik.....	8
2.3.1 Jaringan Distribusi Primer	9
2.4 Jenis Gangguan Distribusi Listrik	17
2.5 Keandalan Sistem Distribusi	19
2.5.1 Indeks keandalan.....	20
III. METODOLOGI PENELITIAN	21
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian	21
3.1.1 Tempat Penelitian	21
3.1.2 Waktu Penelitian.....	21
3.2 Alat dan Bahan	21
3.3 Prosedur Penelitian.....	22
3.4 Studi Literatur.....	23
3.5 Pengumpulan Data	23
3.6 Metode RNEA	23
3.6.1 Tahapan Perhitungan Metode RNEA	25

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN.....	31
4.1 PT. PLN ULP Kota Metro.....	31
4.2 Data Penyulang Stroberi	32
4.2.1 Data Jaringan Penyulang Stroberi.....	35
4.2.2 Data Jaringan Equivalent Penyulang Stroberi	37
4.2.3 Menghitung Indeks Keandalan Sistem	39
4.2.4 Perbandingan Nilai Indeks Keandalan Metode RNEA dan Metode FMEA Pada Penyulang Stroberi.....	46
4.3 Penyulang Nila	48
4.3.1 Data Jaringan Penyulang Nila.....	51
4.3.2 Data Jaringan Equivalent Penyulang Nila	53
4.3.3 Menghitung Indeks Keandalan pada Penyulang Nila.....	55
4.3.4 Perbandingan Nilai Indeks Keandalan Metode RNEA dan Metode FMEA pada Penyulang Nila	61
4.4 Upaya Perbaikan Keandalan Sitem Distribusi	63
V. PENUTUP	65
5.1 Simpulan.....	65
5.2 Saran	65
DAFTAR PUSTAKA	66
LAMPIRAN.....	69

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
Gambar 2.1 Sistem Tenaga Listrik.....	7
Gambar 2.2 Jaringan Distribusi Radial.....	10
Gambar 2.3 Jaringan Radial dengan <i>Tie</i> dan <i>Switch</i> Pemisah.....	12
Gambar 2.4 Jaringan Radial tipe Phase Area.....	13
Gambar 2.5 Jaringan Distribusi Loop.....	14
Gambar 2.6 Jaringan Distribusi Grid.....	15
Gambar 2.7 Konfigurasi Jaringan Sistem Spindel (1).....	16
Gambar 2.8 Konfigurasi Jaringan Sistem Spindel (2).....	16
Gambar 2.9 Jaringan Distribusi Sekunder.....	17
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian.....	22
Gambar 3.2 Tahapan Perhitungan Metode RNEA.....	25
Gambar 4.1 Grafik gangguan triwulan PT. PLN ULP Kota Metro.....	32
Gambar 4.2 Topologi Jaringan Penyulang Stroberi.....	33
Gambar 4.3 Identifikasi Jaringan Penyulang Stroberi.....	34
Gambar 4.4 Hasil Perhitungan Matlab Penyulang Stroberi.....	39
Gambar 4.5 Perbandingan RNEA dan FMEA pada Penyulang Stroberi.....	47
Gambar 4.6 Topologi Jaringan Penyulang Nila.....	49
Gambar 4.7 Identifikasi Jaringan Penyulang Nila.....	50
Gambar 4.8 Hasil Perhitungan Matlab Penyulang Nila.....	55
Gambar 4.9 Perbandingan RNEA dan FMEA pada Penyulang Nila.....	62

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
Tabel 3.1. Waktu Penelitian	21
Tabel 3.2. Standar PLN No.59 Tahun 1985	30
Tabel 4.1. Jumlah Gangguan per-3 Bulan.....	31
Tabel 4.2. Gangguan Penyulang ULP Kota Metro per-Bulan	31
Tabel 4.3. Data Saluran Penyulang Stroberi	35
Tabel 4.4. Data Trafo dan Jumlah Pelanggan Penyulang Stroberi	36
Tabel 4.5. Data Saluran Jaringan Equivalent Penyulang Stroberi	37
Tabel 4.6. Data Trafo dan Jumlah Pelanggan Jaringan Equivalent Penyulang Stroberi	38
Tabel 4.7. Standar laju kegagalan SPLN No. 59 Tahun 1985	39
Tabel 4.8. Perhitungn Laju Kegagalan dan Laju Perbaikan.....	40
Tabel 4.9. Hasil Perhitungan Matlab Penyulang Stroberi.....	43
Tabel 4.10. Urutan tingkat keandalan SAIDI dan SAIFI Penyulang Stroberi	45
Tabel 4.11. Nilai Indeks Keandalan Penyulang Stroberi	46
Tabel 4.12. Hasil Perhitungan Metode FMEA Penyulang Stroberi.....	47
Tabel 4.13. Perbandingan metode RNEA dan metode FMEA Pada Penyulang Stroberi	47
Tabel 4.14. Data Saluran Penyulang Nila	51
Tabel 4.15. Data Trafo dan Jumlah Pelanggan Penyulang Nila	52
Tabel 4.16. Data saluran Jaringan Equivalent Penyulang Nila.....	53
Tabel 4.17. Data Trafo dan Jumlah Pelanggan Jaringan Equivalent Penyulang Nila	54
Tabel 4.18. Perhitungan Laju Kegagalan dan Laju Perbaikan.....	55
Tabel 4.19. Hasil Perhitungan Matlab Penyulang Nila.....	58
Tabel 4.20. Urutan tingkat keandalan SAIDI dan SAIFI Penyulang Nila	60
Tabel 4.21. Nilai Indeks Keandalan Penyulang Nila.....	61
Tabel 4.22. Hasil Perhitungan Metode FMEA Penyulang Nila.....	62
Tabel 4.23. Perbandingan metode RNEA dan metode FMEA Pada Penyulang Nila	62

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Sebagai pemasok listrik utama di Indonesia. Pemerintah melalui PT. PLN (Persero) selalu berupaya untuk meningkatkan kualitas keandalan dan kontinuitas tenaga listrik untuk memenuhi kebutuhan listrik masyarakat. Kebutuhan listrik berbanding lurus dengan teknologi yang berkembang dari waktu ke waktu. Hal ini membutuhkan sistem tenaga listrik yang andal dan efisien untuk memasok dan mendistribusikan listrik kepada konsumen. Kualitas keandalan jaringan distribusi sangat penting dalam menentukan kinerja sistem distribusi tenaga listrik, sistem dapat dikatakan andal apabila frekuensi gangguan atau pemadamannya rendah dan tegangan dalam batas operasi normal. Keandalan sistem distribusi listrik dipengaruhi oleh konfigurasi sistem, alat pengaman yang dipasang, dan sistem proteksinya. Konfigurasi yang benar, peralatan yang andal, dan pengoperasian sistem otomatis meningkatkan keandalan sistem distribusi [1]. Salah satu cara dalam meningkatkan keandalan dan kontinuitas tenaga listrik adalah sistem distribusi tegangan menengah 20 kV yang digunakan untuk mencegah atau mengantisipasi timbulnya masalah.

Keandalan sistem merupakan kemampuan sistem untuk berfungsi sesuai dengan fungsinya selama periode waktu tertentu. Nilai keandalan sistem dapat dilihat dari berapa banyak kegagalan sistem yang terjadi dan berapa lama waktu yang dibutuhkan untuk memperbaiki kegagalan. Dalam suatu jaringan distribusi, kualitas keandalan dapat dilihat dari lamanya pemadaman listrik dan seberapa sering terjadi pemadaman listrik dalam satu satuan waktu, misalkan satu tahun [2]. Dengan tingkat keandalan yang sesuai dengan standar, pengguna dapat menikmati listrik secara terus menerus. Sistem distribusi tentunya memiliki nilai keandalan tertentu, dimana nilai keandalan diperoleh dengan menghitung indeks keandalannya, Indeks keandalan yang digunakan untuk menentukan tingkat keandalan sistem distribusi

adalah indeks *System Average Interruption Frequency Index* (SAIFI), *System Average Interruption Duration Index* (SAIDI) [3].

Evaluasi keandalan sistem jaringan distribusi PT. PLN (Persero) UP3 Metro merupakan salah satu faktor yang sangat penting untuk menentukan, dan menangani tingkat keandalan sistem. Evaluasi keandalan sistem jaringan distribusi tenaga listrik pada PT. PLN (Persero) UP3 Metro dapat dilakukan dengan berbagai metode, salah satu metodenya adalah *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA). Pada metode FMEA menggunakan perhitungan yang sangat banyak, sehingga membutuhkan waktu perhitungan yang lama. Salah satu penyederhanaan dari metode FMEA adalah metode *Reliability Network Equivalent Approach* (RNEA), juga dikenal sebagai metode keandalan jaringan dengan pendekatan yang sama [4].

Pada tahun 1998, Billinton and Wang mengenalkan metode *Reliability Network Equivalent Approach* (RNEA). Metode ini merupakan metode pendekatan untuk mengevaluasi sistem distribusi yang menggunakan proses berulang dan berurutan untuk mengevaluasi indeks keandalan per titik beban (*load point*) [5]. Metode RNEA ini merupakan penyederhanaan dari metode FMEA, dan merupakan solusi dari masalah yang dihadapi pada metode FMEA. Maka penulis perlu membahas tentang “Analisis Keandalan Sistem Jaringan Distribusi 20 Kv PT. PLN (Persero) UP3 Metro dengan Menggunakan Metode *Reliability Network Equivalent Approach* (RNEA)”.

1.2 Tujuan

Adapun tujuan dari tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Menghitung indeks keandalan sistem distribusi 20 kV pada penyulang Stroberi dan penyulang Nila dengan menggunakan metode *Reliability Network Equivalent Approach* (RNEA).
2. Mengevaluasi tingkat keandalan sistem terhadap standar SPLN No.59 : 1985

1.3 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Menyederhanakan jaringan pada penyulang Stroberi dan penyulang Nila menjadi jaringan *equivalent*.
2. Menghitung laju kegagalan *equivalent* dan laju perbaikan untuk menganalisis keandalan sistem pada penyulang Stroberi dan penyulang Nila dengan menggunakan metode RNEA.

1.4 Batasan Penelitian

Adapun batasan masalah dari penelitian ini antara lain sebagai berikut:

1. Hasil perhitungan dengan metode *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA) didapat dari penelitian terdahulu.
2. Data yang diambil adalah data dalam kurun waktu satu tahun kebelakang (Januari – Desember 2022).
3. Penelitian terbatas hanya di sistem distribusi 20 kV pada penyulang yang tingkat keandalan terburuk.

1.5 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Bagi perusahaan : Sebagai sarana pemeriksaan bagi Perusahaan agar menjadi pertimbangan untuk melakukan pemeliharaan dan perawatan serta penggantian komponen sehingga terjadi peningkatan nilai keandalan yang berdampak positif bagi konsumen dan perusahaan.
2. Bagi penulis : Tugas akhir ini diharapkan dapat membantu memahami sistem distribusi dan Upaya untuk meningkatkan keandalannya.

1.6 Hipotesis

Adapun hipotesis dalam penelitian ni adalah dengan dilakukannya analisis keandalan pada jaringan distribusi listrik 20 kV menggunakan metode RNEA (*Reliability Network Equivalent Approach*) diharapkan dapat mengetahui indeks keandalan dari tiap titik beban pada setiap penyulang. Sehingga metode RNEA dapat diterapkan dalam menghitung indeks keandalan.

1.7 Sistematika Penulisan

Adapun sistematika penulisan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

BAB 1. PENDAHULUAN

Pada bab ini menjelaskan latar belakang, tujuan penelitian, manfaat penelitian, perumusan masalah, batasan masalah, hipotesis, dan sistematika penulisan.

BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

Pada bab ini diuraikan referensi dan teori yang digunakan dalam pembuatan penelitian, diantaranya yaitu Penelitian Terdahulu, Sistem Tenaga Listrik, Sistem Distribusi Listrik, Gangguan Distribusi, Keandalan Sistem Distribusi.

BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN

Pada bab ini memaparkan waktu dan tempat, alat dan bahan, metode penelitian dan pelaksanaan serta pengamatan dalam pengerjaan tugas akhir.

BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini berisi pembahasan tentang analisis keandalan sistem jaringan distribusi dengan menggunakan metode RNEA yang kemudian dibandingkan dengan penelitian terdahulu dalam kasus yang sama sesuai dengan standar.

BAB 5. PENUTUP

Pada bab ini menjelaskan simpulan dan saran dari hasil analisis keandalan sistem jaringan distribusi menggunakan metode RNEA dan metode FMEA.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Terdahulu

Adapun teori dan penelitian dari masalah yang terkait yang digunakan untuk menentukan topik yang diambil maka diambil referensi penelitian sebagai berikut:

1. Evaluasi Keandalan Sistem Jaringan Distribusi 20kV Menggunakan Metode *Reliability Network Equivalent Approach* (RNEA) di PT. PLN Rayon Mojokerto

Pada penelitian Nanzain dan Wrahatnolo [6], suatu sistem jaringan distribusi dituntut memiliki keandalan dalam penyediaan dan penyaluran energi listrik. Kualitas keandalan pelayanan energi listrik dapat dilihat dari seberapa sering terjadi pemadaman dan lamanya pemadaman yang terjadi dalam selang waktu tertentu. Pada Tugas Akhir ini akan di bahas tentang keadalan sistem distribusi 20 kV di PT. PLN Rayon Mojokerto. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui indeks keandalan sistem jaringan distribusi pada beberapa penyulang di PT. PLN Rayon Mojokerto dengan menggunakan metode RNEA dan *software* ETAP sebagai referensi.

2. Analisis Keandalan Sistem Jaringan Distribusi 20kV di PT. PLN (PERSERO) ULP Kalebajeng dengan Metode *Reliability Network Equivalent Approach* (RNEA)

Pada penelitian Annisa, Hamma, dan Najib [7], kualitas keandalan jaringan pelayanan energi pada sistem distribusi dapat dilihat dari seberapa sering terjadi pemadaman dan lamanya padam dalam waktu tertentu. Evaluasi keandalan penyulang radial memerlukan perhitungan yang cukup rumit dan sangat banyak. Metode *Reliability Network Equivalent Approach* (RNEA) digunakan untuk

menganalisis keandalan sistem distribusi yang besar dan kompleks menjadi bentuk yang sederhana, dengan elemen pendekatan ekuivalen. Rangkaian ekuivalen digunakan untuk mengganti bagian jaringan distribusi, dan menyusun kembali ke dalam bentuk seri. Sebagai sampel penyulang Parang Banoa dan penyulang RRI yang berkonfigurasi radial. Telah dilakukan perhitungan dengan menggunakan metode RNEA. Dari keandalan ini didapatkan nilai indeks keandalan *load point* dan indeks keandalan sistem.

3. Analisa Keandalan Sistem Distribusi 20 kV Pada Penyulang Kayutangi menggunakan metode *Reliability Network Equivalent Approach* (RNEA)

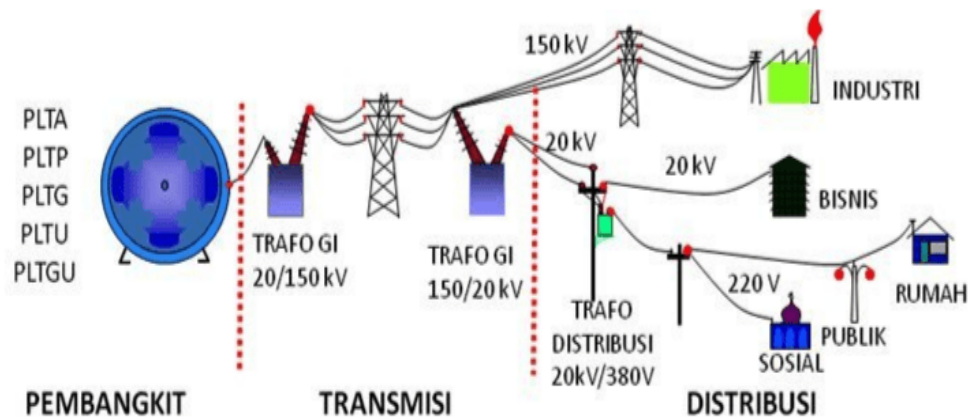
Pada penelitian Adiguna [8], keandalan dalam penyediaan dan penyaluran merupakan tuntutan suatu sistem jaringan distribusi untuk menyalurkan energi listrik ke pelanggan. Kualitas keandalan pelayanan energi listrik dapat dilihat dari lamanya pemadaman dan seberapa sering pemadaman terjadi dalam kurun waktu tertentu. Penelitian ini bertujuan untuk evaluasi keandalan sistem distribusi PT. PLN (Persero) Kota Banjarmasin pada penyulang Kayutangi dan melakukan upaya peningkatan indeks keandalan. Metode yang dipilih dalam pengerjaan penelitian ini untuk menentukan indeks keandalan adalah metode RNEA.

4. Analisis Keandalan Sistem Jaringan Distribusi 20kV PT. PLN (Persero) UP3 Metro dengan Menggunakan Metode *Reliability Network Equivalent Approach* (RNEA)

Penelitian ini dilakukan di PT. PLN (Persero) UP3 Metro dengan menggunakan metode *Reliability Network Equivalent Approach* (RNEA) dan standar SPLN 59 : 1985 sebagai acuannya. Penelitian ini membandingkan penelitian terdahulu dengan menggunakan metode metode *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA) dalam kasus yang sama. Studi kasus yang akan dilakukan pada penelitian ini sebanyak 2 penyulang dikarenakan 2 penyulang tersebut memiliki gangguan yang cenderung lebih banyak dibandingkan penyulang lainnya yang berada di lokasi tersebut.

2.2 Sistem Tenaga Listrik

Sistem tenaga listrik adalah suatu sistem yang terdiri dari beberapa komponen, antara lain pembangkit listrik, saluran transmisi, gardu induk, sistem distribusi yang terhubung untuk melayani kebutuhan tenaga listrik ke pelanggan sesuai kebutuhan. Pada jaringan listrik, sumber energi biasanya berasal dari pembangkit listrik. Sistem energi listrik adalah kumpulan atau kombinasi dari komponen atau peralatan listrik seperti generator, transformator, saluran transmisi, saluran distribusi dan beban yang saling berhubungan membentuk satu kesatuan yang membentuk suatu sistem [9].



Gambar 2.1 Sistem Tenaga Listrik

Saluran transmisi berfungsi untuk menyalurkan tenaga listrik dari gardu induk pusat pembangkit ke gardu induk yang lain dengan jarak yang jauh. Karena tegangan generator pada umumnya rendah, antara 6 kV sampai 24 kV, maka tegangan ini dinaikkan dengan menggunakan transformator daya ke tingkat tegangan yang lebih tinggi antara 30 kV sampai 500 kV. Tingkat tegangan yang lebih tinggi ini, selain untuk memperbesar daya hantar saluran juga untuk memperkecil rugi daya dan jatuh tegangan pada saluran. Penurunan tegangan dari tingkat tegangan transmisi pertama dilakukan pada gardu induk, dimana tegangan diturunkan dari 500 kV ke 150 kV atau dari 150 kV ke 70 kV dan kedua pada gardu induk distribusi dari 150 kV ke 20 kV atau dari 70 kV ke 20 kV. [10]

Saluran distribusi berfungsi untuk menyalurkan dan mendistribusikan tenaga listrik dari gardu induk ke konsumen. Penurunan tegangan menengah 20 kV ke tegangan rendah 220/380 V dilakukan melalui trafo distribusi. Penyaluran energi listrik yang berawal dari pusat tenaga listrik ke konsumen melalui saluran transmisi dan distribusi dapat dilihat pada gambar 2.1. [10]

2.3 Sistem Distribusi Listrik

Jaringan distribusi listrik terdiri dari berbagai perangkat dan komponen yang mendistribusikan daya dari pembangkit listrik ke konsumen akhir. Perangkat dan komponen termasuk transformator, jaringan kabel, jaringan pipa, jaringan penghantar udara, *switchgear*, dan banyak perangkat lainnya. Selain itu, jaringan distribusi tenaga listrik dilengkapi dengan sistem proteksi dan pengendalian yang bertujuan untuk menjamin keamanan dan kualitas listrik yang disalurkan kepada konsumen [11]

Menurut Antarissubhi [12], Saluran sistem tenaga listrik atau saluran distribusi diklasifikasikan sebagai berikut:

1. Menurut Nilai Tegangannya

a. Saluran Distribusi Tegangan menengah

Jaringan yang terdapat antara sekunder transformator substation (Gardu Induk) sampai pada sisi primer transformator distribusi. Istilah lain untuk saluran distribusi primer adalah penyulang atau *feeder*, level tegangan yang digunakan adalah 20 kV.

b. Saluran Distribusi Tegangan Rendah

Jaringan antara sisi sekunder trafo distribusi sampai pada titik cabang menuju beban, besarnya tegangan yang digunakan adalah 220/380 volt.

2. Menurut Bentuk Tegangannya:

a. Saluran Distribusi Searah (*Direct Current*), yaitu saluran distribusi searah yaitu penggunaan tegangan DC pada saluran distribusi.

b. Saluran Distribusi Bolak-balik (*Alternating Current*), yaitu saluran distribusi bolak-balik yaitu penggunaan tegangan AC pada saluran distribusi.

3. Menurut Jenis/Tipe Konduktornya:

1. Saluran Udara

yaitu pendistribusian melalui saluran udara dengan menggunakan tiang sebagai penopang saluran dan dilengkapi dengan peralatan tambahan untuk mendukung pendistribusian. Saluran udara dapat dibagi menjadi:

- a Saluran kawat, yaitu saluran udara yang menggunakan penghantar tanpa bahan isolasi atau tanpa pembungkus
- b Saluran kabel berisolasi, yaitu saluran udara yang menggunakan penghantar yang berisolasi atau konduktornya terbungkus isolasi.

2. Saluran Tanah

yaitu saluran distribusi yang dipasang di dalam tanah, kabel bawah tanah dengan konduktor yang memiliki klasifikasi khusus kabel bawah tanah harus digunakan untuk saluran distribusi yang diletakkan di dalam tanah.

3. Saluran Bawah Laut, yaitu saluran distribusi yang dipasang di dalam laut untuk distribusi antar pulau.

4. Menurut Susunan Salurannya:

- a Saluran Horizontal, yaitu cara menata instalasi penghantar yang disusun secara mendatar, terdiri dari penghantar fasa ke fasa atau penghantar fasa ke netral, sehingga membentuk mendatar atau horizontal.
- b Saluran Vertikal, yaitu susunan atau pemasangan penghantar fasa dengan fasa atau penghantar fasa dengan netral yang disusun secara vertikal.
- c Saluran Delta, yaitu susunan atau pemasangan penghantar fasa dengan fasa atau penghantar fasa dengan netral yang disusun membentuk segitiga (delta).

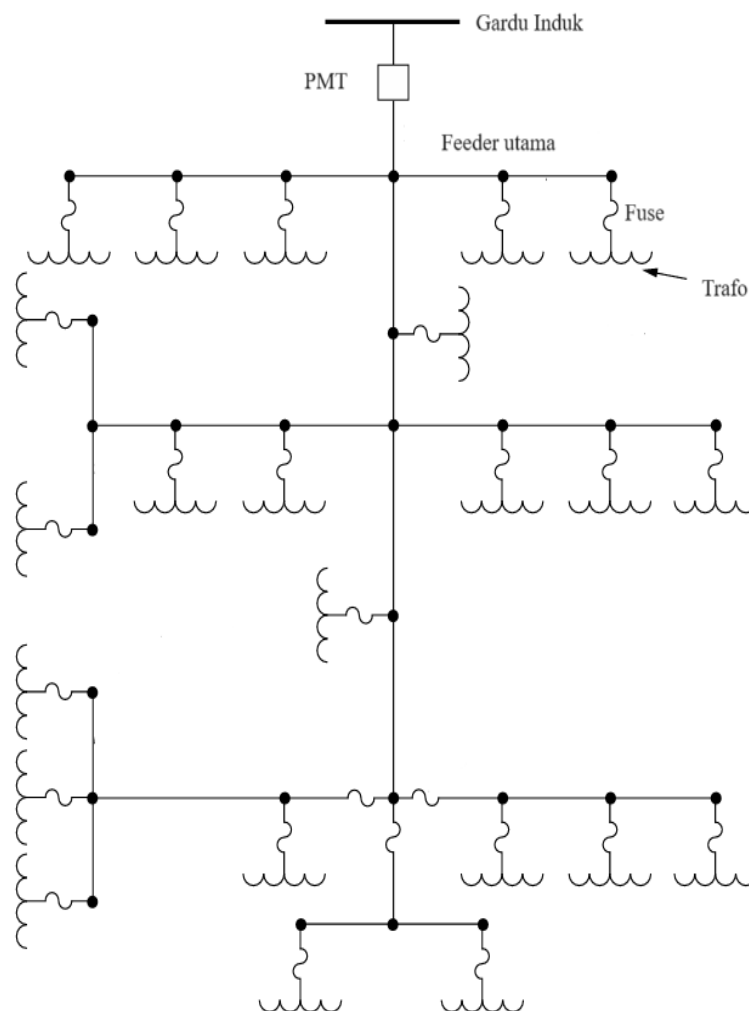
2.3.1 Jaringan Distribusi Primer

Bagian dari sistem utilitas listrik yang berada diantara gardu distribusi dan trafo distribusi disebut sistem distribusi primer. Sistem distribusi primer digunakan untuk menyalurkan tenaga listrik dari Gardu Induk ke pusat – pusat beban atau konsumen dengan diturunkan menggunakan trafo distribusi menjadi tegangan rendah, yaitu 220/380 Volt [13]. Sistem ini dapat menggunakan saluran udara maupun kabel tanah sesuai dengan tingkat keandalan yang diinginkan dan kondisi serta situasi

pada lingkungan. Panjang saluran distribusi primer dapat bervariasi tergantung pada sejumlah faktor, termasuk ukuran wilayah layanan, kepadatan populasi, dan kebutuhan beban. Di perkotaan, saluran distribusi primer cenderung lebih pendek karena jarak antara gardu distribusi dan konsumen biasanya lebih dekat, sementara di daerah pedesaan, saluran ini mungkin memiliki panjang yang lebih besar [14].

A Jaringan Distribusi Radial

Menurut T. Gonen [15], topologi jaringan sistem distribusi primer yang paling umum dan sederhana ditunjukkan pada gambar berikut:



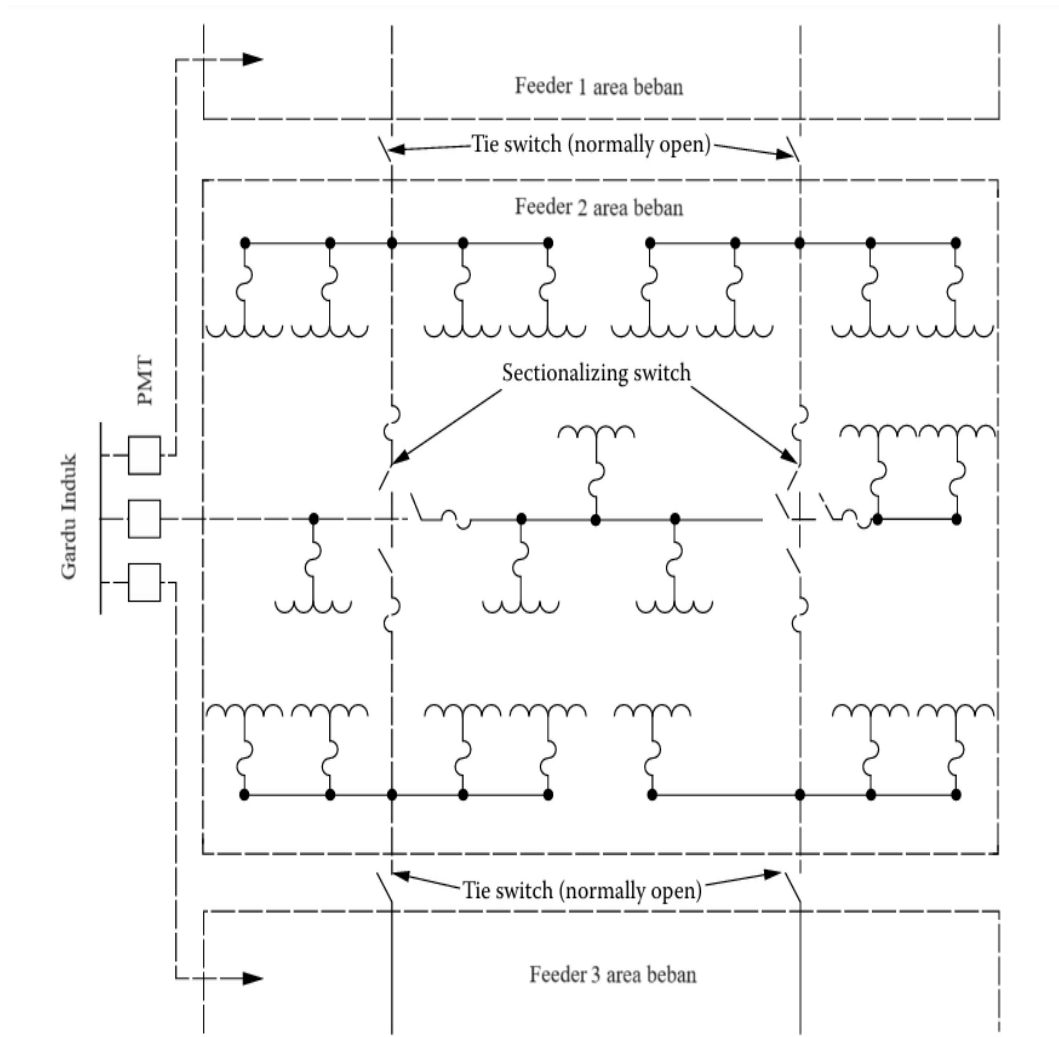
Gambar 2.2 Jaringan Distribusi Radial

Sistem radial merupakan bentuk dasar yang paling sederhana dan paling banyak digunakan dibandingkan dengan sistem yang lainnya [16]. Sistem radial hanya memiliki satu bus sebagai sumber daya dan bus – bus lainnya dalam jaringan merupakan bus beban [17]. Jaringan primer terhubung secara radial dari suatu titik yang merupakan sumber dari jaringan dan bercabang untuk menyalurkan atau melayani ke semua trafo distribusi [18].

Untuk melokalisir gangguan, pada bentuk radial ini biasanya diperlengkapi dengan peralatan pengaman berupa *fuse*, *sectionalizer*, *recloser*, atau alat pemutus beban lainnya, tetapi fungsinya hanya membatasi daerah yang mengalami pemadaman total, yaitu daerah saluran sesudah atau dibelakang titik gangguan, selama gangguan belum teratasi [19]. jaringan distribusi radial ini memiliki beberapa bentuk modifikasi sebagai berikut:

1. Jaringan radial dengan *tie* dan *switch* pemisah

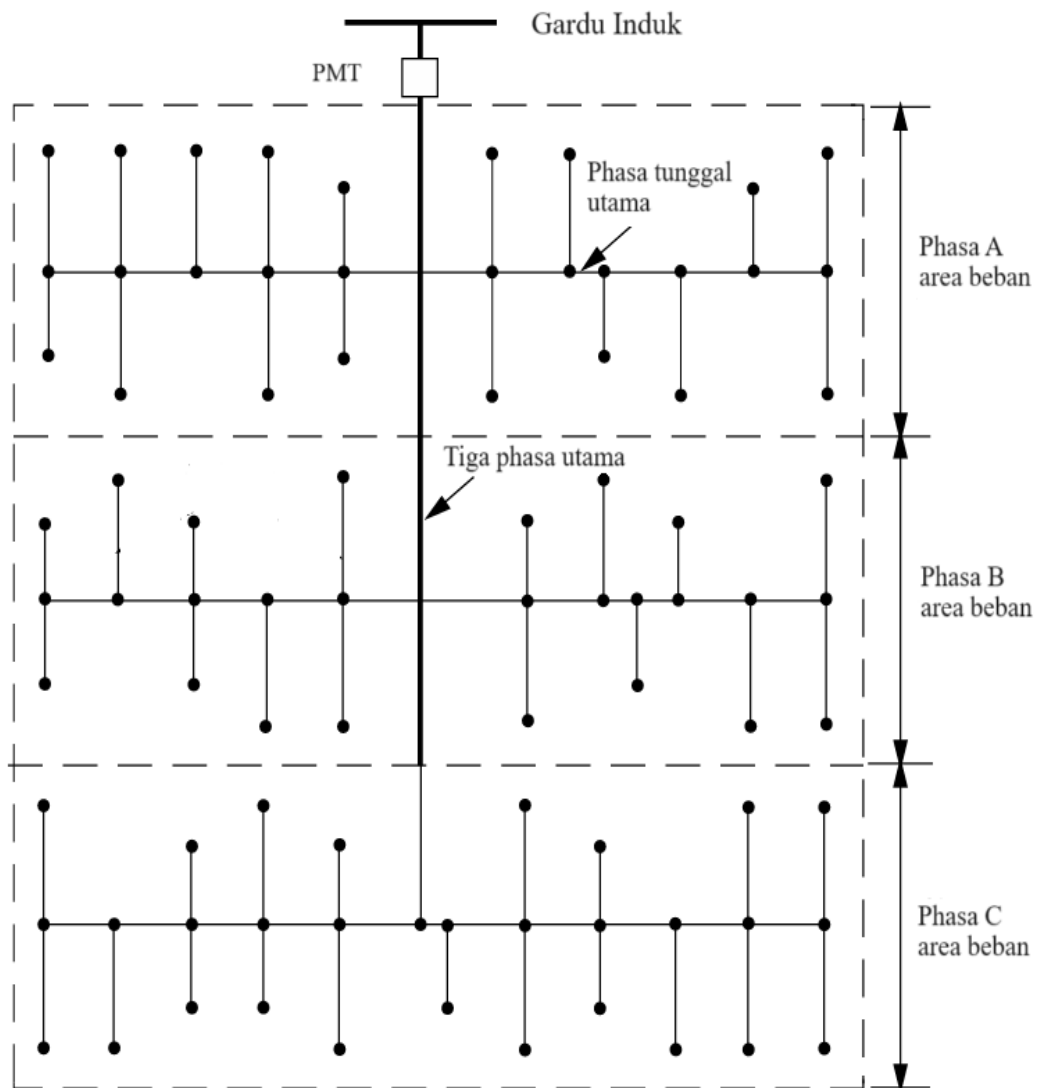
Jaringan ini merupakan bentuk modifikasi jaringan radial standar dengan menambahkan *tie* dan *switch* pemisah yang digunakan ketika diperlukan untuk mempercepat pemulihan pelayanan untuk konsumen, dengan cara menghubungkan area – area yang tidak terganggu pada penyulang yang bersangkutan, dengan penyulang sekitarnya. Sehingga dengan cara ini penyulang yang terganggu dapat dilokalisir dan bagian lain yang tidak mengalami gangguan dapat dioperasikan kembali [19]. Pada dasarnya penambahan *tie* dan *switch* pada jaringan ini digunakan untuk melakukan optimalisasi jaringan dalam pengurangan kehilangan daya pada sistem transmisi. [20]



Gambar 2.3 Jaringan Radial dengan *Tie* dan *Switch* Pemisah

2. Jaringan radial tipe *phase area*

Menurut Swaminathan [20], pada jaringan bentuk ini masing – masing *phase* pada jaringan bertugas melayani daerah beban yang berlainan. Jenis jaringan ini dapat mengakibatkan tidak seimbangnnya beban antar *phase* apa bila digunakan pada daerah beban baru dan belum pasti pembagian bebannya. Jaringan ini memiliki keuntungan yaitu jika terjadi sebuah gangguan pada satu *phase*, maka sumber daya dari *phase* lain masih dapat digunakan untuk mensuplai daya sehingga lebih mudah dalam melakukan sistem proteksi [21].

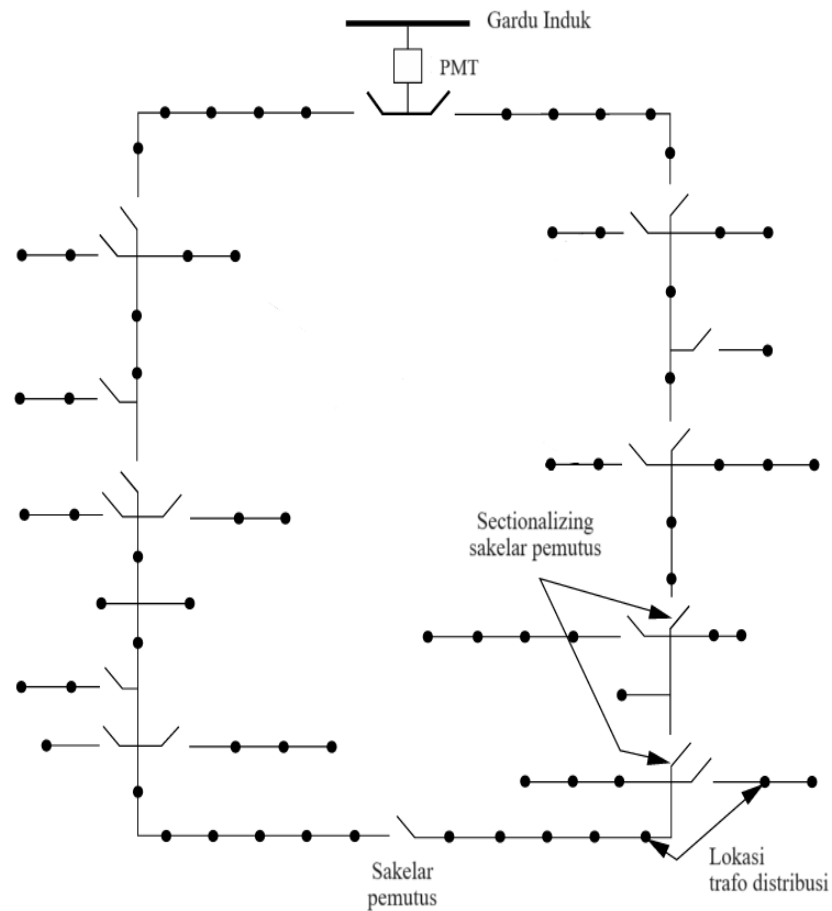


Gambar 2.4 Jaringan Radial tipe *Phase Area*

B. Jaringan Distribusi Loop

Gambar 2.5 menunjukkan jaringan distribusi tipe *loop* terhubung dari gardu induk yang melingkari area beban atau beberapa trafo distribusi dan akhirnya konduktor sistem akan kembali lagi ke gardu induk. Pada dasarnya, jaringan *loop* merupakan jaringan radial dimana kedua sistem radial terhubung dengan *switch*. Saat keadaan normal jaringan *loop* bekerja seperti jaringan radial. Gangguan primer yang mengakibatkan pemutus *feeder* (PMT) terbuka, saat terjadi gangguan PMT yang

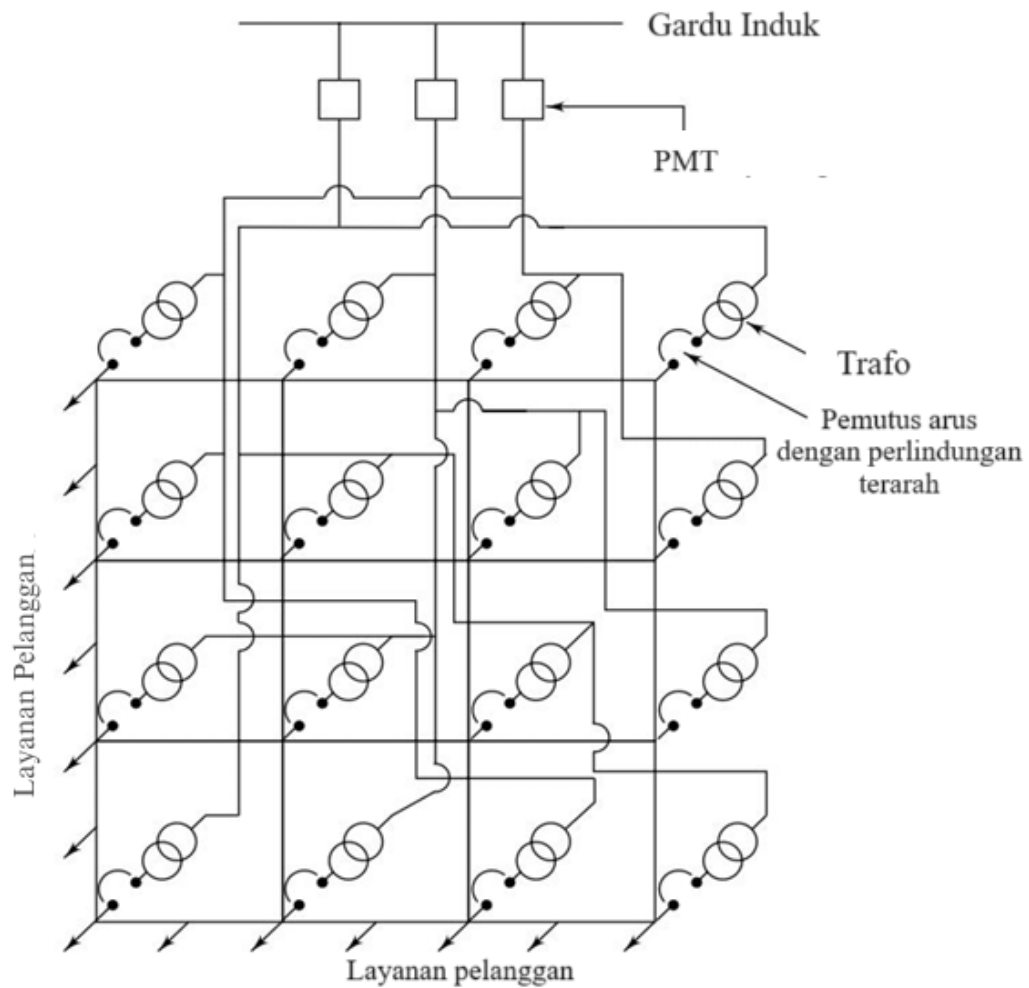
terhubung dapat dioperasikan sehingga *supply* daya listrik segera tersalurkan kembali [15].



Gambar 2.5 Jaringan Distribusi Loop

C. Jaringan Distribusi Grid

Menurut Pabla [22], jaringan distribusi grid adalah jaringan dengan tingkat keandalan yang paling baik dari jaringan yang lainnya. Dalam jaringan distribusi grid, tidak ada pemadaman konsumen yang disebabkan oleh pemutusan aliran daya primer untuk pemeliharaan terjadwal (*maintenance*). Dengan sistem ini keandalan dapat ditingkatkan karena aliran daya ke konsumen melalui beberapa trafo distribusi yang beroperasi secara paralel.

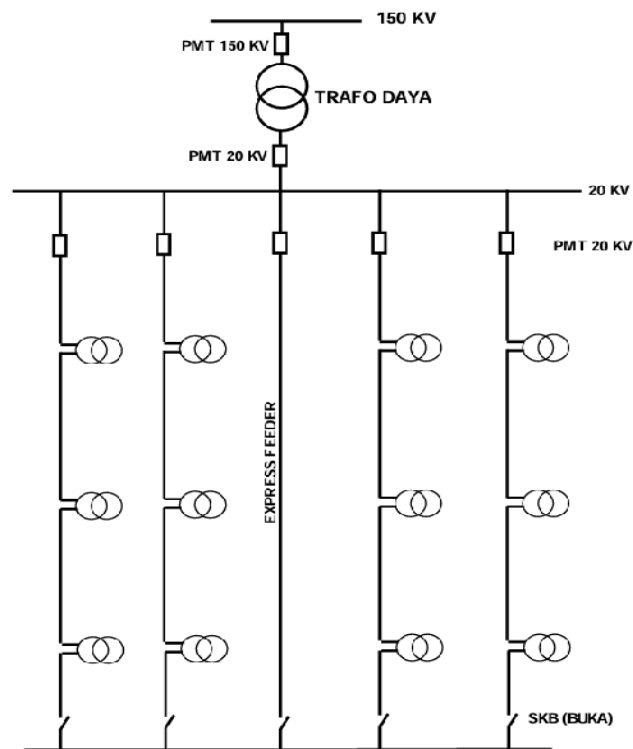


Gambar 2.6 Jaringan Distribusi Grid

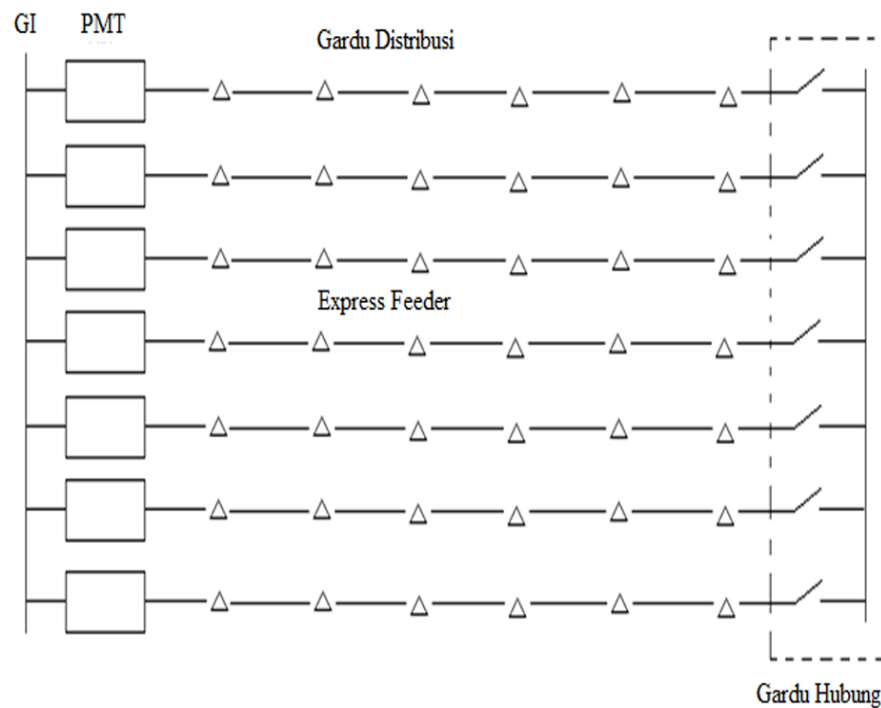
D. Jaringan Distribusi Spindel

Sistem jaringan spindel biasanya terdiri atas maksimum 6 penyulang dalam keadaan dibebani, dan satu penyulang dalam keadaan kerja tanpa beban. Saluran penyulang yang beroperasi dalam keadaan berbeban dinamakan "*working feeder*" atau saluran kerja, sedangkan saluran yang dioperasikan tanpa beban dinamakan "*express feeder*" [23]. Fungsi "*express feeder*" dalam hal ini selain sebagai cadangan pada saat terjadi gangguan pada salah satu "*working feeder*", juga berfungsi untuk memperkecil terjadinya drop tegangan pada sistem distribusi bersangkutan pada keadaan operasi normal [24].

Menurut Syufrijal [25], konfigurasi jaringan sistem spindel dapat dilihat pada gambar 2.7 dan gambar 2.8.



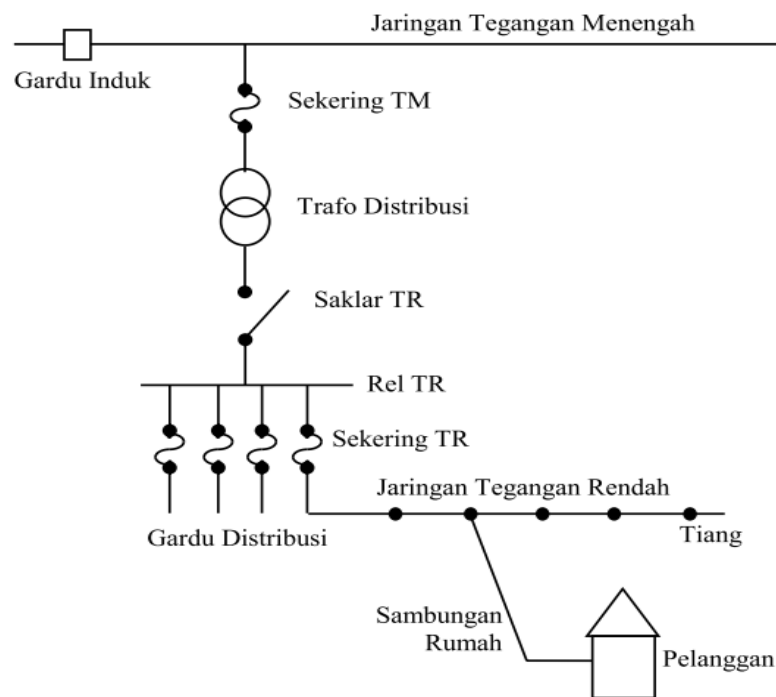
Gambar 2.7 Konfigurasi Jaringan Sistem Spindel (1)



Gambar 2.8 Konfigurasi Jaringan Sistem Spindel (2)

B. Jaringan Distribusi Sekunder

Pada jaringan distribusi sekunder memiliki sebuah komponen penting sebagai pemutus dan proteksi yaitu Saklar TR. Komponen tersebut mematikan atau menghidupkan pasokan listrik ke konsumen akhir atau mengisolasi gangguan jika diperlukan. Jaringan distribusi sekunder adalah jaringan daya listrik yang memiliki level tegangan rendah (sistem 380/220 Volt) [26].



Gambar 2.9 Jaringan Distribusi Sekunder

2.4 Jenis Gangguan Distribusi Listrik

Menurut Tasiam [27], saat ini terdapat 100 gangguan per 100 kilometer per tahun pada saluran udara tegangan menengah. Sebagian besar gangguan pada saluran udara tegangan menengah tidak disebabkan oleh petir, tetapi karena sentuhan pohon. Selain itu, banyak saluran udara tegangan menengah yang terletak di kota-kota dengan gedung-gedung tinggi dan pepohonan yang lebih tinggi dari tiang saluran udara tegangan menengah.

Hal ini menyebabkan saluran udara tegangan menengah yang ada di dalam kota banyak terlindung dari sambaran petir, tetapi banyak yang terganggu oleh sentuhan pohon. Hanya di daerah luar kota sering terjadi gangguan akibat sambaran petir

selain gangguan sentuhan pohon. Gangguan yang disebabkan oleh petir atau karena sentuhan pohon bersifat sementara, sehingga penggunaan penutup balik otomatis (*recloser*) akan mengurangi waktu pemutusan penyediaan daya (*supply interrupting time*).

Pada dasarnya gangguan yang sering terjadi pada sistem distribusi saluran 20 kV dapat digolongkan menjadi dua macam yaitu gangguan dari dalam sistem dan gangguan dari luar sistem. Gangguan yang berasal dari luar sistem disebabkan oleh sentuhan daun/pohon pada penghantar, sambaran petir, manusia, binatang, cuaca dan lain-lain. Sedangkan gangguan yang datang dari dalam sistem dapat berupa kegagalan dari fungsi peralatan jaringan, kerusakan dari peralatan jaringan, kerusakan dari peralatan pemutus beban dan kesalahan pada alat pendeteksi [28].

Menurut Hutaeruk [29], klasifikasi gangguan yang terjadi pada jaringan distribusi adalah :

- a. Dari jenis gangguannya**, yaitu Gangguan dua fasa atau tiga fasa melalui hubungan tanah, Gangguan fasa ke fasa, Gangguan dua fasa ke tanah, dan Gangguan satu fasa ke tanah atau gangguan tanah.
- b. Dari lamanya gangguan**, yaitu Gangguan temporer dan Gangguan permanen.

Gangguan yang bersifat temporer

Menurut Khusni [30], gangguan temporer adalah gangguan yang sifatnya sementara, gangguan tidak akan lama dan dapat normal atau hilang dengan sendirinya yang disusul dengan penutupan kembali peralatan hubungannya. Gangguan temporer ini apabila terjadi gangguan, maka gangguan tersebut tidak akan lama dan dapat normal kembali. Gangguan tersebut akan hilang dengan sendirinya dan jaringan listrik akan bekerja normal kembali. Apabila gangguan temporer sering terjadi dapat menimbulkan kerusakan pada peralatan dan akhirnya menimbulkan gangguan yang bersifat permanen. Contoh gangguan ini yaitu gangguan akibat sentuhan pohon disekitar jaringan, gangguan akibat binatang seperti burung, kelelawar, ular, kukang dan gangguan akibat sambaran petir.

Gangguan yang bersifat permanen

Menurut Putu dan Mudiana [31], gangguan permanen tidak akan dapat hilang sebelum penyebab gangguan dihilangkan terlebih dahulu. Gangguan yang bersifat permanen, yaitu gangguan yang bersifat tetap. Gangguan ini dapat disebabkan oleh kerusakan peralatan, sehingga gangguan ini baru hilang setelah kerusakan ini diperbaiki atau karena ada sesuatu yang mengganggu secara permanen. Untuk membebaskannya diperlukan tindakan perbaikan atau menyingkirkan penyebab gangguan tersebut. Terjadinya gangguan ditandai dengan jatuhnya pemutus tenaga, untuk mengatasinya operator memasukkan tenaga secara manual. Contoh gangguan ini yaitu adanya kawat yang putus, terjadinya gangguan hubung singkat, dahan yang menimpa kawat fasa dari saluran udara.

2.5 Keandalan Sistem Distribusi

Keandalan memiliki beberapa definisi, salah satunya adalah keandalan menyatakan tingkat keberhasilan kinerja suatu sistem atau bagian dari sistem untuk mencapai hasil yang lebih baik dalam periode waktu tertentu dan dalam kondisi operasi tertentu. Tugas utama dari sistem distribusi tenaga listrik adalah menyuplai energi listrik kepada pelanggan (konsumen) secara terus menerus. Suatu jaringan dianggap andal jika jaringan tersebut memiliki frekuensi pemadaman listrik yang rendah dan mutu tegangan optimal (sesuai standar) [32].

Keandalan suatu sistem tenaga listrik ditentukan oleh penilaian kecukupan (*adequacy assessment*) berkaitan dengan kemampuan sistem untuk memasok energi listrik ke pelanggan dengan memenuhi persyaratan dengan cara yang memuaskan dan penilaian keandalan (*security assessment*) berkaitan dengan kemampuan sistem tenaga listrik untuk tetap mampu bertahan akibat adanya gangguan atau hilangnya elemen sistem yang tidak dapat diantisipasi [33]. Tujuan dari keandalan sistem distribusi adalah untuk mengurangi frekuensi dan durasi pemadaman listrik ke pelanggan, mengurangi frekuensi kegagalan, waktu yang dibutuhkan untuk mencari dan mengisolasi kegagalan, sehingga mengurangi waktu yang dibutuhkan untuk mengembalikan daya ke pelanggan yang terkena dampak.

2.5.1 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 *load point* dan indeks sistem. Indeks keandalan *Load point* antara lain, adalah: [34]

1. **Frekuensi pemadaman (*Outage*)**, merupakan keadaan dimana suatu komponen tidak dapat berfungsi sebagai mana mestinya, diakibatkan karena beberapa peristiwa yang berhubungan dengan komponen tersebut.
2. **Lama pemadaman (*Outage Duration*)**, merupakan periode dari satu permulaan komponen mengalami keluar sampai saat komponen dapat dioperasikan kembali sesuai dengan fungsinya.

Berdasarkan indeks-indeks *load point*, diperoleh jumlah indeks kegagalan untuk menentukan indeks keandalan sistem secara keseluruhan yang dapat mengevaluasi dengan lengkap mengenai kinerja sistem. Indeks-indeks ini adalah indeks SAIDI dan SAIFI.

III. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

3.1.1 Tempat Penelitian

Penelitian tugas akhir ini akan dilaksanakan di Laboratorium Terpadu Teknik Elektro Universitas Lampung dan PT. PLN (Persero) UP3 Metro.

3.1.2 Waktu Penelitian

Penelitian dimulai bulan Mei 2023 – Oktober 2023. Adapun jadwal pengerjaan tugas akhir dapat dilihat pada tabel 3.1

Tabel 3. 1. Waktu Penelitian

NO	Kegiatan	Mei				Juni				Juli				Agustus				September				Oktober			
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
1	Studi Literatur	■																							
2	Seminar Proposal																								
3	Pengambilan Data	■																							
4	Analisis dan Hasil																								
5	Pembuatan Laporan																								
6	Seminar Hasil																								

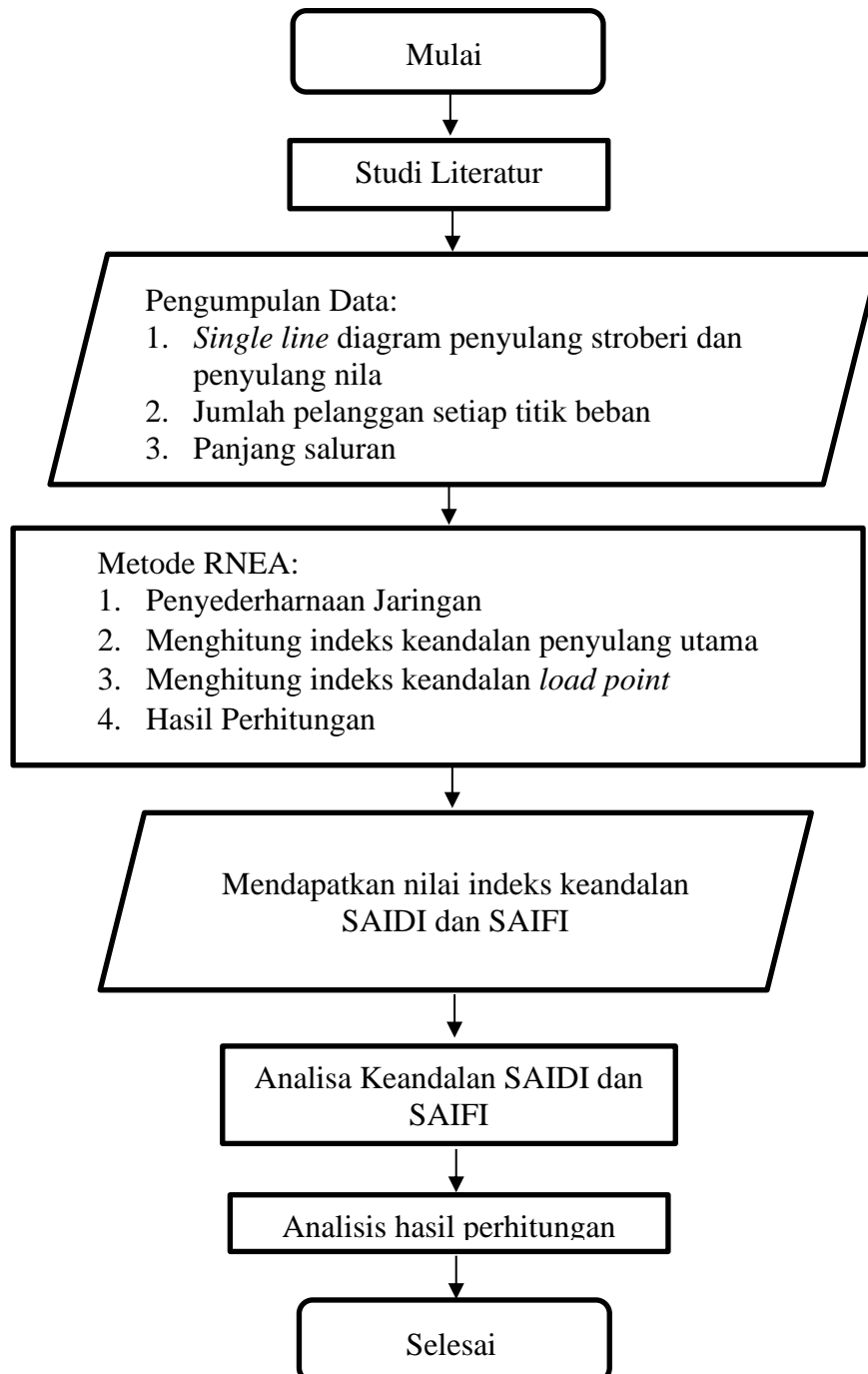
3.2 Alat dan Bahan

Adapun alat dan bahan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

- 1 buah laptop sebagai perangkat utama yang digunakan.
- Software* atau aplikasi yang digunakan untuk mengolah data hasil analisis dan perhitungan pada penelitian
- Microsoft Office* untuk membuat laporan penelitian, file presentasi, dan mengolah data penelitian.

3.3 Prosedur Penelitian

Adapun tahapan yang dilakukan dalam penelitian ini dapat dilihat pada diagram alir penelitian dibawah ini



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

3.4 Studi Literatur

Setiap penelitian, studi literatur memiliki peranan penting karena dapat dimanfaatkan sebagai landasan logika berfikir bagi penulis dalam menyelesaikan masalah secara ilmiah. Studi literatur dilakukan dengan mempelajari teori-teori yang berkaitan untuk mencapai suatu tujuan.

3.5 Pengumpulan Data

Setelah studi literatur, penelitian ini memerlukan data-data sistem yang berhubungan langsung dengan penelitian penulis.

Adapun data-data yang dibutuhkan dalam proses penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Data *Single Line Diagram* penyulang
Data topologi jaringan di PT.PLN (Persero) ULP Kota Metro penyulang Stroberi dan penyulang Nila.
2. Data jumlah pelanggan setiap titik beban
Data jumlah pelanggan digunakan untuk melakukan perhitungan indeks keandalan dan mengetahui jumlah total pelanggan setiap titik beban pada suatu penyulang.
3. Data panjang saluran pada penyulang
Data panjang saluran distribusi penyulang Stroberi dan penyulang Nila dibutuhkan untuk mendapatkan hasil nilai indeks titik beban dan mengetahui panjangnya saluran distribusi pada penyulang Stroberi dan penyulang Nila.

3.6 Metode RNEA

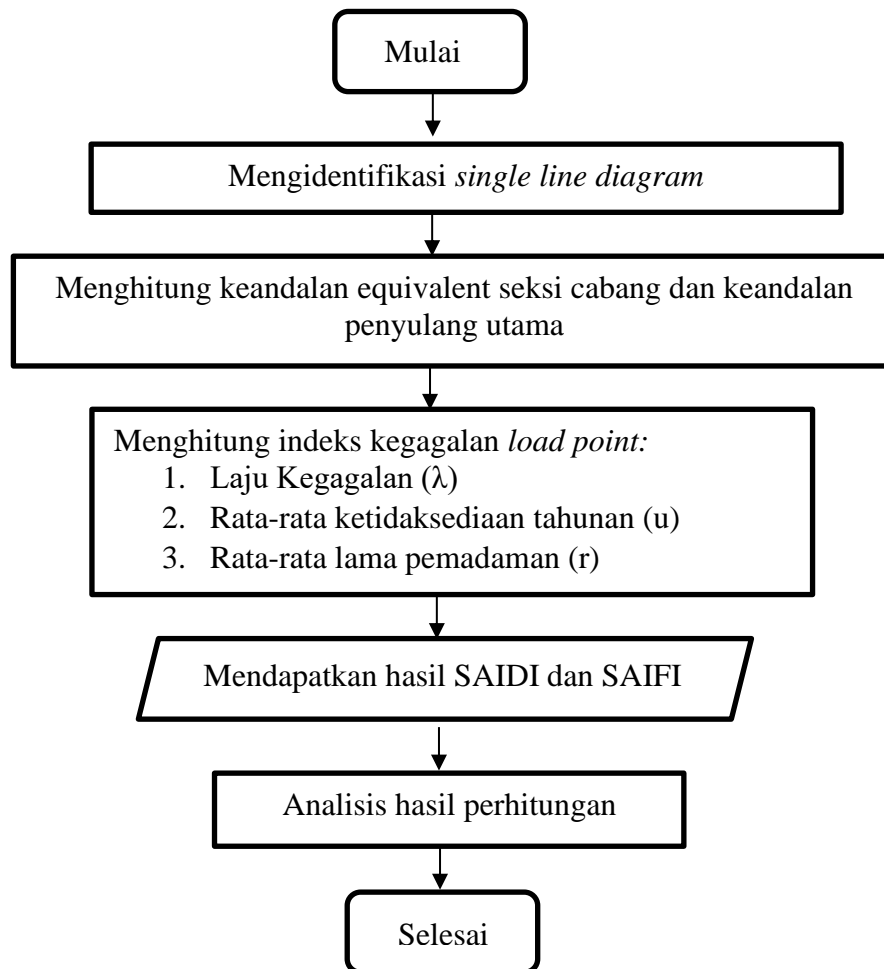
Metode *Reliability Network Equivalent Approach* (RNEA) digunakan untuk menganalisis sistem distribusi radial yang kompleks secara sederhana. Prinsip utama dari metode RNEA adalah elemen ekuivalen dapat digunakan untuk mengganti bagian jaringan distribusi dan Menyusun kembali sistem distribusi yang besar ke dalam bentuk seri dan sederhana. Metode ini merupakan metode pendekatan untuk mengevaluasi sistem distribusi yang menggunakan proses berulang dan berurutan untuk mengevaluasi indeks keandalan *per-load point*. Metode *Reliability Network Equivalent Approach* merupakan penyederhanaan dari

metode FMEA, dan merupakan solusi dari masalah yang dihadapi metode FMEA. Metode FMEA menggunakan perhitungan yang sangat banyak, sehingga membutuhkan waktu perhitungan yang lama [5].

Salah satu metode penyederhanaan dari metode *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA) adalah *Reliability Network Equivalent Approach* (RNEA), juga dikenal sebagai metode untuk keandalan jaringan dengan pendekatan yang sama. Kemungkinan terjadinya kegagalan atau komponen pada sistem distribusi yang tidak dapat berfungsi diidentifikasi dan dianalisis menggunakan metode FMEA untuk menentukan dampaknya pada titik beban. Jika pada akhirnya ditemukan kegagalan, indeks titik beban harus dievaluasi. Karena metode FMEA menggunakan banyak perhitungan, dibutuhkan waktu lama untuk menghitung. Oleh karena itu, indeks keandalan sistem dan indeks keandalan titik beban harus dihitung menggunakan metode yang lebih cepat dan sederhana.

Untuk menunjukkan keberhasilan yang lebih baik dalam periode kurun waktu tertentu dan dalam kondisi operasi dibutuhkannya evaluasi keandalan yang merupakan unjuk tingkat keberhasilan suatu sistem. Untuk mengukur hal tersebut perlu diadakannya pemeriksaan, pemeriksaan ini dilakukan dengan cara menganalisa tingkat suatu keberhasilan atau operasi dalam sistem yang ditinjau pada kurun waktu tertentu lalu dibandingkan dengan nilai standar yang telah ditetapkan, yaitu standar SPLN No.59 tahun 1985.

3.6.1 Tahapan Perhitungan Metode RNEA



Gambar 3.2 Tahapan Perhitungan Metode RNEA

1. Mengidentifikasi single line diagram

Pada tahapan pertama dalam menghitung nilai indeks titik beban dengan menggunakan metode RNEA adalah mengidentifikasi single line diagram penyulang strawberry dan penyulang nila. Dalam tahapan ini semua penyulang cabang (*sub feeder*) dan penyulang utama (*main feeder*) dicari, kemudian penyulang – penyulang cabang direduksi sehingga menghasilkan jaringan ekuivalen. Dengan menggunakan jaringan ekuivalen, sistem dapat direduksi kedalam bentuk sistem distribusi umum.

2. Menghitung keandalan seksi cabang

Langkah selanjutnya yaitu menghitung indeks kegagalan pada setiap seksi cabang setelah dilakukan identifikasi pada SLD menentukan seksi cabang dan seksi utama serta mengetahui komponen penyusunnya. Pada tahap ini akan dievaluasi indeks kegagalan dari setiap peralatan yang ada di seksi cabang. Sehingga dapat diketahui nilai dari λ_e (Laju kegagalan titik cabang) dan dapat dihitung durasi gangguan U_e (ketidaktersediaan tahunan pada titik beban cabang) dari penyulang Stroberi dan penyulang Nila.

Berikut ini adalah rumus-rumus persamaan untuk menghitung indeks keandalan seksi cabang.

a. Menentukan nilai λ_e

Rumus perhitungan yang digunakan untuk menghitung nilai λ_e adalah sebagai berikut:

$$\lambda_e = \lambda_i \dots\dots\dots(3.1)$$

Keterangan:

λ_e = laju kegagalan ekuivalen komponen seri

λ_i = laju kegagalan komponen i

b. Menentukan nilai U_e

Rumus perhitungan yang digunakan untuk menghitung nilai U_e adalah sebagai berikut:

$$U_e = \lambda_i r_i \dots\dots\dots(3.2)$$

Keterangan:

U_e = total ketidaktersediaan tahunan ekuivalen komponen seri

λ_i = laju kegagalan komponen i

r_i = waktu perbaikan komponen i

c. Menentukan nilai r_e

Rumus perhitungan yang digunakan untuk menghitung nilai r_e adalah sebagai berikut:

$$r_e = \frac{U_e}{\lambda_e} \dots\dots\dots(3.3)$$

Keterangan:

r_e = waktu perbaikan (repair time)

U_e = total ketidaktersediaan tahunan ekuivalen komponen seri

λ_e = laju kegagalan ekuivalen komponen seri

3. Menghitung indeks kegagalan load point

Untuk menunjukkan keberhasilan yang lebih baik dalam periode kurun waktu tertentu dalam keadaan sistem sedang operasi dibutuhkan evaluasi keandalan sistem yang merupakan tingkat keberhasilan suatu sistem. Untuk mengukur hal tersebut perlu diadakannya pemeriksaan, pemeriksaan ini dilakukan dengan cara menganalisa tingkat suatu keberhasilan atau operasi dalam sistem yang ditinjau pada kurun waktu tertentu lalu dibandingkan dengan nilai standar yang telah ditetapkan.

a. Laju Kegagalan (*Failure Rate*)

Frekuensi suatu sistem/komponen yang mengalami kegagalan kerja, dengan dilambangkan λ (*lambda*)

$$\lambda_{LP} = \sum \lambda_i \dots\dots\dots(3.4)$$

Keterangan:

λ_{LP} = laju kegagalan setiap *load point*

i = komponen/peralatan

b. Laju Perbaikan (*Repair Time*)

Laju perbaikan atau downtime rate adalah frekuensi lamanya suatu sistem / komponen.

$$U_{LP} = \sum \lambda_i r_i \dots\dots\dots(3.5)$$

Keterangan:

U_{LP} = total ketidaktersediaan tahunan setiap *load point*

r_i = laju perbaikan komponen/peralatan

4. Menghitung indeks keandalan sistem

Pada tahapan menghitung indeks keandalan sistem pada penelitian ini adalah menentukan indeks keandalan sistem yaitu SAIDI dan SAIFI. Adapun data yang dibutuhkan dalam menghitung indeks keandalan yaitu nilai λ_e (laju kegagalan *load point*), U_e (rata-rata ketidakersediaan tahunan *load point*), dan r_e (rata-rata lama padam *load point*) serta data jumlah pelanggan pertitik beban pada jaringan distribusi.

A SAIDI

Indeks ini biasanya digunakan untuk mengetahui menit/waktu pemadaman pada pelanggan dan dibuat untuk memberikan informasi mengenai waktu rata – rata konsumen yang mengalami pemadaman. Indeks ini dapat dihitung dengan cara:

$$SAIDI = \frac{\sum \text{Durasi pelanggan padam}}{\text{total jumlah pelanggan}}$$

$$SAIDI = \frac{\sum U_{LP} \times N_{LP}}{\sum N} \text{ (jam/tahun /pelanggan).....(3.6)}$$

Keterangan:

U = total ketidakersediaan *load point* dalam satu tahun

N_{LP} = jumlah pelanggan *load point*

N = jumlah pelanggan pada penyulang

B SAIFI (System Average Interruption Frequency Index)

Index ini memberikan informasi mengenai frekuensi rata-rata pemadaman dalam kurun waktu satu tahun. Index ini dapat dihitung dengan cara:

$$SAIFI = \frac{\text{Jumlah total pemadaman}}{\text{Total jumlah pelanggan yang dilayani}}$$

$$SAIFI = \frac{\sum \lambda_{LP} \times N_{LP}}{\sum N} \text{ (kegagalan / tahun/pelanggan).....(3.7)}$$

Keterangan:

λ_{LP} = Jumlah laju kegagalan *load point* dalam satu tahun

N_{LP} = Jumlah pelannggan *load point*

N = Jumlah pelanggan yang dilayani dalam satu penyulang

C CAIDI (*Customer Average Interruption Duration Index*)

Memberikan informasi mengenai rata-rata waktu yang dibutuhkan untuk mengembalikan layanan untuk rata-rata pelanggan dalam setiap interupsi/gangguan.

$$CAIDI = \frac{SAIDI}{SAIFI} \dots\dots\dots(3.8)$$

D ASAI (*Average Service Availability Index*)

Indeks yang memberikan informasi mengenai ketersediaan daya untuk pelanggan dalam satu tahun.

$$ASAI = \frac{\sum N_{LP} \times 8760 - (\sum N_{LP} \cdot U_{LP})}{\sum N_{LP} \times 8760} \dots\dots\dots(3.9)$$

E ASUI (*Average Service Availability Index*)

Merupakan indeks yang merepresentasikan ketidakterediaan daya kepada pelanggan dalam satu tahun

$$ASUI = 1 - ASAI \dots\dots\dots(3.10)$$

5. Mendapatkan Hasil SAIDI dan SAIFI

Hasil yang di peroleh dari perhitungan metode RNEA (*Reliability Network Equivalent Approach*) pada penyulang Stroberi dan penyulang Nila adalah nilai indeks keandalan sistem yaitu SAIDI (*System Average Interruption Duration Index*) nilai rata-rata dari lamanya kegagalan untuk setiap konsumen selama satu tahun dan SAIFI (*System Average Interruption Frequency Index*) jumlah rata-rata kegagalan yang terjadi untuk setiap konsumen selama satu tahun.

6. Analisis Hasil Perhitungan

Setelah hasil didapat dari perhitungan menggunakan metode *Reliability Network Equivalent Approach*. Langkah berikutnya adalah membandingkan hasil perhitungan metode RNEA dengan penelitian terdahulu pada kasus yang sama

menggunakan metode FMEA (*Failure Mode and Effect Analysis*) terhadap standar SPLN yang telah ditetapkan.

Setiap peralatan listrik pada jaringan distribusi memiliki nilai laju kegagalan yang mana bentuk kegagalan dari peralatan listrik atau komponen menyebabkan zona pengaman disekiran komponen yang mengalami kegagalan tersebut. Selain itu, komponen atau peralatan listrik juga memiliki *Repair Time* atau waktu perbaikan yang merupakan lamanya waktu yang dibutuhkan untuk perbaikan komponen dari mulai terjadi gangguan hingga beban terpenuhi kembali. Berikut merupakan beberapa nilai laju kegagalan dari komponen atau peralatan listrik berdasarkan standar SPLN No.59 : 1985 adalah sebagai berikut:

Tabel 3. 2. Standar PLN No.59 Tahun 1985

Komponen	laju kegagalan	laju perbaikan
saluran udara	0.2/km/tahun	3 jam
pemutus tegangan	0.004/unit/tahun	10 jam
sakelar beban	0.003/unit/tahun	10 jam
sakelar pemisah	0.003/unit/tahun	10 jam
trafo distribusi	0.005/unit/tahun	10 jam

Adapun waktu yang dibutuhkan untuk membuka/menutup sakelar beban atau sakelar pemisah atau yang biasa disebut dengan istilah *Switching Time* yaitu selama 0.15 jam. Dalam keandalan sistem distribusi 20kV, terdapat indeks frekuensi kegagalan (SAIFI) dan juga indeks durasi (SAIDI) kegagalan dengan nilai standar atau target dari PLN adalah sebagai berikut:

SAIFI : 3,2 kali/pelanggan/tahun

SAIDI : 21 jam/pelanggan/tahun

V. PENUTUP

5.1 Simpulan

Adapun simpulan pada penelitian kali ini adalah:

1. Metode RNEA, pada penyulang Stroberi mereduksi Load Point sebesar 25% mendapatkan nilai SAIDI 9,2718 (jam/pelanggan/tahun) dengan selisih sebesar sebesar 0,1338 atau sebesar 1,443% dengan metode FMEA dan Nilai SAIFI 3,0055 (gangguan/pelanggan/tahun) dengan selisih sebesar 0,0455 atau sebesar 1,514% dengan metode FMEA. Pada penyulang Nila mereduksi Load Point sebesar 27,19% mendapatkan nilai SAIDI 13,818 (jam/pelanggan/tahun) dengan selisih sebesar 0,2466 atau sebesar 1,785% dengan metode FMEA dan Nilai SAIFI 4,441 (gangguan/pelanggan/tahun) dengan selisih sebesar 0,026 atau sebesar 0,585% dengan metode FMEA. Sehingga metode RNEA dapat digunakan untuk menghitung nilai indeks keandalan.
2. Penyulang Stroberi nilai SAIDI dan SAIFI lebih kecil dibandingkan dengan standar SPLN No.59 tahun 1985. Sedangkan nilai SAIDI penyulang Nila berada dibawah standar SPLN No.59 tahun 1985, tetapi nilai SAIFI penyulang Nila lebih tinggi dari standar SPLN No.59 tahun 1985.

5.2 Saran

Adapun saran pada penelitian ini adalah untuk penyederhanaan jaringan menggunakan metode RNEA bisa mereduksi *Load Point* lebih banyak dari penelitian ini, sehingga jaringan ekuivalen menjadi lebih sederhana dengan hasil yang lebih teliti.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Hiron, N., Busaeri, N., Sutisna, S., Nurmela, N., and Sambas, A. (2021). *Design of Hybrid (PV-Diesel) System for Tourist Island in Karimunjawa Indonesia*. 14(24).
- [2] Chowdhury, A. A., and Koval, D. O. (2009). *Power Distribution System Reliability*. IEEE PRESS.
- [3] Brown, R. E. (2009). *Electric Power Distribution Reliability (Second)*. CRC Press Taylor & Francis Group.
- [4] Y. Ding., P. Wang., L. Goel., and Q. Wu. 2005. *Reliability Assesment of Deregulated Generating Systems Using Reliability Network Equivalent and Pseudosequential Simulation Techiniques*. 15th Power Syst. Comput. Conf. PSCC.
- [5] Billinton, R., & P.Wang. (1998). *Reliability-network-equivalent approach to distribution-system-reliability evaluation*. 145(2), 149–153.
- [6] Nanzain, S., & Wrahatnolo, T. (2019). Evaluasi Keandalan Sistem Jaringan Distribusi 20 kV Menggunakan Metode Reliability Network Equivalent Approach (RNEA) di PT. PLN Rayon Mojokerto. *Jurnal Teknik Eektro*, 6(2), 111–119.
- [7] Annisa, R. N., Hamma, & Najib, N. R. (2022). Analisis Keandalan Sistem Jaringan Distribusi 20 kV di PT . PLN (Persero) ULP Kalebajeng Dengan Metode Reliability Network Equivalent Approach (RNEA). *Prosiding Seminar Nasional Teknik Elektro Dan Informatika (SNTEI)*, 338–343.
- [8] Adiguna, M. . (2019). *Analisis Keandalan Pada Penyulang Kayutangi Menggunakan Metode Reability Network Equivalent Approach (RNEA)*.
- [9] Suripto, S. (2017). *Sistem tenaga listrik*. LP3M UMY. Yogyakarta.
- [10] Wibowo, S. S. (2018). *Analisa Sistem Tenaga*. POLINEMA Press.
- [11] Sallam, A. A., & P.Malik, O. (2018). *Electric Distribution System*. IEEE Press WILEY.

- [12] Antarissubhi, H., Songli, Y., Leda, J., Allu, N., Arunglabi, R., Rapa, C. I., & Lande, S. (2019). *Pengantar Teknik Eletro* (Z. Zainuddin (ed.)). CV. Tohar Media.
- [13] Kawihing, A. P., Tuegeh, M., Patras, L. S., dan Pakiding, I. M. (2013). *Pemerataan Beban Transformator Pada Saluran Distribusi Sekunder*. *Teknik Elektro Dan Komputer*.
- [14] Wibawa, P. S., Tarigan, A. S. P., & Aryza, S. (2022). Comparisonal Analysis Study Of Power Loss At The Connection Point Of Pierching Connector With Line Tap Connector On 220 V Low Voltage Network At Pt. Pln (Persero) Ulp Stabat. *Jurnal Infokom*, 10(3), 398–404.
- [15] Gonen, T. (2014). *Electric Power Distribution Engineering* (Third). CRC Press Taylor & Francis Group.
- [16] Roji, M. F., Aryza, S., & Hamdani. (2023). A Reliability Improvement Of Management Distribution System. *Jurnal Ekonomi*, 12(01), 1753–1758.
- [17] Moses, I. A., Kiprono, L. L., & Talai, S. M. (2023). Optimal Placement and Sizing of Distributed Generation (DG) Units in Electrical Power Distribution Networks. *International Journal of Electrical and Electronics Engineering Studies*, 9(1), 66–124.
- [18] Duyo, R. A., dan Sulkifli, A. (2019). Analisis Jaringan Dan Pemeliharaan Pada Jaringan Distribusi Di Pt.Pln Wilayah Cabang Pinrang. *Vertex Elektro*, 01(02).
- [19] Husada, T. A. (2017). Analisa Keandalan Sistem Distribusi 20 kV Di PT. PLN (Persero) Area Tanjung Karang Menggunakan Metode FMEA. *Institut Teknologi Sepuluh Nopember*.
- [20] Swaminathan, D., Rajagopalan, A., Montoya, O. D., Arul, S., & Grisales-Noreña, L. F. (2023). Distribution Network Reconfiguration Based on Hybrid Golden Flower Algorithm for Smart Cities Evolution. *Energies*.
- [21] Ritonga, Z. A., Tarigan, A. S. P., & Aryza, S. (2022). Study Analysis Of Lightning Arrester Installation Location At Substations. *Jurnal Infokom*, 10(3), 121–128.
- [22] Pabla, A. S. (2011). *Electric power distribution*. McGraw-Hill Education.
- [23] Łowczowski, K., & Olejnik, B. (2022). Monitoring, Detection and Locating of Transient Earth Fault Using Zero-Sequence Current and Cable Screen Earthing Current in Medium Voltage Cable and Mixed Feeders. *Energies*, 15(3), 1066.

- [24] Clavijo-Blanco, J. A., Cagigal, M. G., & Rosendo-Macías, J. A. (2023). A fitting procedure for probability density functions of service restoration times. Application to underground cables in medium-voltage networks. *Electric Power Systems Research*, 217.
- [25] Syufrijal, & Readysal, M. (2014). *Jaringan Distribusi Tenaga Listrik*. Kementerian Pendidikan Dasar Menengah Dan Kebudayaan Republik Indonesia.
- [26] Kia, A., Farzinfar, M., Amirahmadi, M., & Samieimoghaddam, M. (2022). A Resilience-Oriented Methodology for Transformation of the Distribution Networks into MicroGrid. *International Transactions on Electrical Energy Systems*, 2022.
- [27] Tasiyam, F. J. (2017). *Proteksi sistem tenaga listrik*. Teknosain.
- [28] Suswanto, D. (2009). *Sistem distribusi tenaga listrik*. Universitas Negeri Padang.
- [29] Hutaaruk, T. S. (1987). *Pengetahuan Netral Sistem Tenaga dan Pengetanahan Peralatan*. Erlangga.
- [30] Khusni, M. U. (2017) Analisa Keandalan Sistem Distribusi 20 kV di PT. PLN Rayon Blora dengan Menggunakan FMEA. *Institut Teknologi Sepuluh Nopember*.
- [31] Putu, I. G., & Mudiana, N. (2013). Studi Pengaruh Pemasangan Sistem Proteksi Rele Terhadap Kemungkinan Gangguan Sympathetic Tripping Pada Penyulang. *Jurnal Logic*, 13(3), 142–147.
- [32] Mazidi, P., & Sreenivas, G. N. (2013). *Reliability analysis of a radial distributed generation distribution system*.
- [33] Weber, E., Adler, B., Allan, R., Agarwal, S., Bhavaraju, M., Billinton, R., Blanchard, M., Aquannr, D., Ellis, R., Endrenyi, J., Garrison, D., Luehmann, M., Odom, J., Preston, G., Rau, N., Reppen, N., Salvaderi, L., Schilling, M., Schneider, A., ... White, T. (1996). Reporting bulk power system delivery point reliability. *IEEE Transactions on Power Systems*, 11(3), 1262–1268.
- [34] Allan, R. N., & Billinton, R. (1995). *Concepts Of Data For Assessing The Reliabilty Of Transmission And Distribution Equipment*. 406, 1–6.