

SKRIPSI

**ANALISA KEANDALAN SISTEM DISTRIBUSI
KETENAGALISTRIKAN 20 KV DENGAN
PENAMBAHAN *RECLOSER* DAN *SECTIONALIZER*
PADA PENYULANG BEO DI GARDU INDUK
SEDUDUK PUTIH DENGAN METODE *FAILURE
MODE EFFECT ANALYSIS* (FMEA) DAN SOFTWARE
ETAP 19.0.1**



**Disusun untuk Memenuhi Syarat Mendapatkan Gelar Sarjana Teknik pada
Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Univeritas Sriwijaya**

OLEH :
SYABITAH PUTRI EDRIANI
03041282126085

**JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS SRIWIJAYA
2025**

LEMBAR PENGESAHAN

ANALISA KEANDALAN SISTEM DISTRIBUSI KETENAGALISTRIKAN 20 KV DENGAN PENAMBAHAN *RECLOSER* DAN *SECTIONALIZER* PADA PENYULANG BEO DI GARDU INDUK SEDUDUK PUTIH DENGAN METODE *FAILURE MODE EFFECT ANALYSIS (FMEA)* DAN SOFTWARE ETAP 19.0.1.



SKRIPSI

Disusun Untuk Memenuhi Syarat Memperoleh Gelar Sarjana Teknik Pada
Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik
Universitas Sriwijaya

Oleh :

SYABITAH PUTRI EDRIANI

03041282126085

Mengetahui,

Ketua Jurusan Teknik Elektro

Ir. M. Abu Bakar Sidik, S.T., M.Eng., Ph.D., IPU., APEC Eng.
NIP. 197108141999031005

Palembang, 04 Juni 2025
Menyetujui,

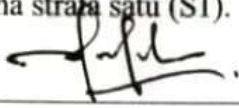
Dosen Pembimbing

Ir. Wirawan Adipradana, S.T., M.T.
NIP. 198601122015041001

HALAMAN PERNYATAAN DOSEN

Saya sebagai pembimbing menyatakan bahwa telah membaca dan menyetujui skripsi ini dan dalam pandangan saya skop dan kuantitas skripsi ini mencakupi sebagai mahasiswa sarjana strata satu (S1).

Tanda Tangan

:  _____

Pembimbing Utama : Ir. Wirawan Adipradana, S.T., M.T.

Tanggal

: 04/Juni/2025

HALAMAN PERNYATAAN INTEGRITAS

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Syabitah Putri Edriani

NIM : 03041282126085

Fakultas : Teknik

Jurusan/Prodi : Teknik Elektro

Universitas : Universitas Sriwijaya

Hasil Pengecekan *Software iThenticate/Turnitin*: 9%

Menyatakan bahwa laporan hasil penelitian Saya yang berjudul “Analisa Keandalan Sistem Distribusi Ketenagalistrikan 20 Kv Dengan Penambahan *Recloser* Dan *Sectionalizer* Pada Penyulang Beo Di Gardu Induk Seduduk Putih Dengan Metode *Failure Mode Effect Analysis* (FMEA) Dan *Software* Etap 19.0.1.” merupakan hasil karya sendiri dan benar keasliannya. Apabila ternyata dikemudian hari ditemukan unsur penjiplakan/plagiat dalam karya ilmiah ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik dari Universitas Sriwijaya sesuai dengan ketentuan yang berlaku.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya dan tanpa paksaan.

Indralaya, 04 Juni 2025



Syabitah Putri Edriani

NIM. 03041282126085

PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

Sebagai civitas akademik Universitas Sriwijaya, Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Syabitah Putri Edriani

NIM : 03041282126085

Jurusan : Teknik Elektro

Fakultas : Teknik

Jenis Karya : Skripsi

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas **Sriwijaya Hak Bebas Royalti Noneksklusif (Non-exclusive Royalty-Free Right)** atas karya ilmiah Saya yang berjudul:

ANALISA KEANDALAN SISTEM DISTRIBUSI KETENAGALISTRIKAN 20 KV DENGAN PENAMBAHAN *RECLOSER* DAN *SECTIONALIZER* PADA PENYULANG BEO DI GARDU INDUK SEDUDUK PUTIH DENGAN METODE *FAILURE MODE EFFECT ANALYSIS (FMEA)* DAN SOFTWARE ETAP 19.0.1.

Beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini, Universitas Sriwijaya berhak menyimpan, mengalih media/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (database), merawat, dan mempublikasikan tulisan saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta. Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Palembang

Pada tanggal : 04 Juni 2025



Syabitah Putri Edriani

NIM. 03041282126085

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT, yang mana berkat, rahmat, karunia dan hidayah-Nya. Shalawat dan salam semoga senantiasa tercurahkan kepada Nabi Muhammad SAW, beserta keluarga dan para sahabatnya. Berkat nikmat dan pertolongan-Nya, penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini yang berjudul **“Analisa Keandalan Sistem Distribusi Ketenagalistrikan 20 Kv Dengan Penambahan Recloser Dan Sectionalizer Pada Penyulang Beo Di Gardu Induk Seduduk Putih Dengan Metode Failure Mode Effect Analysis (FMEA) Dan Software Etap 19.0.1.”**, sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan Program Sarjana (S1) Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya.

Penulis menyadari bahwa dalam proses penyusunan skripsi ini tidak terlepas dari arahan, bimbingan, kritik, saran, dukungan, bantuan dan juga semangat dari berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis ingin menyampaikan terima kasih kepada semua pihak yang telah berkontribusi dalam penyelesaian skripsi ini. Dengan rasa hormat dan kerendahan hati, penulis mengucapkan terima kasih kepada :

1. Ibunda penulis, Apriani, yang selalu menjadi sumber kekuatan dan inspirasi penulis dan Saudara Penulis, Revita Rahma Dianti. Terima kasih atas setiap doa yang tidak pernah putus, dukungan tanpa syarat, semangat yang tak henti diberikan, serta kepercayaan dan kasih sayang yang tulus
2. Almh. Nyai, Nurdiah dan Alm. Papa, Edward yang raganya memang sudah tidak didunia lagi tetapi selalu menjadi penyemangat penulis untuk melakukan yang terbaik dalam menjalani perkuliahan
3. Ketua Jurusan Teknik Elektro Universitas Sriwijaya, Bapak Ir. Muhammad Abu Bakar Sidik, S.T., M.Eng., Ph.D. IPU., APEC Eng.
4. Sekretaris Jurusan Teknik Elektro Universitas Sriwijaya, Ibu Dr. Eng. Ir. Suci Dwi Dwijayanti, S.T., M.S., IPM.
5. Bapak Ir. Wirawan Adipradana, S.T., M.T., selaku dosen pembimbing yang dengan penuh kesabaran dan dedikasi telah membimbing serta memberikan arahan dan saran selama proses penyusunan skripsi ini berlangsung

6. Ibu Dr. Ir. Herlina Wahab, S.T., M.T., IPM. dan Ibu Dr. Ir. Syarifah Fitria, S.T. selaku Dosen Penguji Tugas Akhir
7. Seluruh Dosen Teknik Elektro dan Staff Teknik Elektro Universitas Sriwijaya yang telah memberikan ilmu dan bantuan selama perkuliahan
8. Bapak Reza Syahputra, yang telah membantu penulis dalam proses pengambilan data tugas akhir di PT. PLN UP3 Palembang
9. Teman - teman seperjuangan semasa perkuliahan Ananda Putri Kamila, Alvierina Azzahra Ningrum, Shalsabila Puteri, Bernika Putri Ramadhani, Daniela Salsabrina, Ananda Zhafirah, Indi Rahmawati yang telah kebersamai semasa perkuliahan dan menjadi saksi penulisan skripsi ini
10. Sahabat SMA Penulis, Octavia Maharani dan Akbar Triandra yang selalu memberikan dukungan dan kebersamai penulis dalam keadaan senang maupun sedih
11. Teman – teman jurusan Teknik Elektro angkatan 2021 yang telah kebersamai dan memberikan kenangan yang indah selama perkuliahan.
12. Semua pihak yang telah memberikan doa, dukungan, pertolongan dan semangat dengan tulus sehingga skripsi ini dapat diselesaikan..

Penulis menyadari bahwa dalam proses penyusunan skripsi ini masih terdapat kekurangan yang perlu diperbaiki. Oleh karena itu, penulis sangat menghargai segala bentuk kritik dan saran yang bersifat membangun untuk menyempurnakan isi skripsi ini, agar lebih bermanfaat bagi penulis sendiri maupun para pembaca.

Palembang, 04 Juni 2025



Syabitah Putri Edriani

ABSTRAK

ANALISA KEANDALAN SISTEM DISTRIBUSI KETENAGALISTRIKAN 20 KV DENGAN PENAMBAHAN *RECLOSER* DAN *SECTIONALIZER* PADA PENYULANG BEO DI GARDU INDUK SEDUDUK PUTIH DENGAN METODE *FAILURE MODE EFFECT ANALYSIS* (FMEA) DAN SOFTWARE ETAP 19.0.1.

(Syabitah Putri Edriani, 03041282126085, 2025, 76 Halaman)

Di era elektrifikasi saat ini, kontinuitas dalam proses penyaluran energi listrik dari pembangkit listrik hingga ke konsumen menjadi hal yang krusial. Keandalan sistem distribusi pada tingkat penyulang, menjadi indikator penting dalam menilai tingkat kualitas layanan penyedia energi listrik. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis keandalan Penyulang Beo pada Gardu Induk Seduduk Putih menggunakan metode *Failure Mode Effect Analysis* (FMEA) dan simulasi pada ETAP 19.0.1, serta untuk mengetahui efek penambahan *recloser* dan penambahan *recloser* dan *sectionalizer* pada penyulang melalui simulasi *reliability assesment* pada *software* ETAP 19.0.1. Indeks keandalan yang dianalisis meliputi SAIFI, SAIDI, dan CAIDI akan dibandingkan terhadap standar SPLN 2011 dan IEEE P1366-2003 untuk mengetahui penyulang tergolong sebagai penyulang yang andal atau tidak andal. Hasil analisis menunjukkan bahwa pada kondisi eksisting, nilai SAIFI, SAIDI, dan CAIDI dengan metode FMEA secara berurut sebesar 1,387260; 2,338064; dan 1,681523. Sedangkan pada simulasi di *sotware* ETAP, nilai SAIFI, SAIDI, dan CAIDI secara berurut 1,5633; 2,7800; dan 1,7778. Setelah penambahan *recloser*, nilai SAIFI, SAIDI, dan CAIDI secara berurut 1,3029; 2,6512; dan 2,035. Penambahan *recloser* dan *sectionalizer*, nilai SAIFI, SAIDI dan CAIDI secara berurut menjadi 1,1117; 2,3410; dan 2,106. Hal ini menunjukkan bahwa penyulang beo tergolong sebagai penyulang yang tidak andal dan penambahan perangkat proteksi dapat meningkatkan keandalan sistem distribusi.

Kata kunci : Keandalan Sistem Distribusi, Penyulang Beo, Metode FMEA, ETAP 19.0.1, SAIFI, SAIDI, CAIDI, *Recloser*, *Sectionalizer*.

ABSTRACT

RELIABILITY ANALYSIS OF 20 KV ELECTRICAL DISTRIBUTION SYSTEM WITH THE ADDITION OF RECLOSER AND SECTIONALIZER ON THE BEO FEEDER AT SEDUDUK PUTIH SUBSTATION USING FAILURE MODE EFFECT ANALYSIS (FMEA) METHOD AND ETAP 19.0.1 SOFTWARE

(Syabitah Putri Edriani, 03041282126085, 2025, 76 Page)

In the current era of electrification, the continuity of electricity distribution from power generation to consumers has become crucial. The reliability of the distribution system at the feeder level serves as an important indicator in assessing the quality of service provided by electricity suppliers. This study aims to analyze the reliability of the Beo Feeder at the Seduduk Putih Substation using the Failure Mode Effect Analysis (FMEA) method and simulation with ETAP 19.0.1 software, as well as to determine the impact of adding a recloser and a combination of recloser and sectionalizer on the feeder through a reliability assessment simulation in ETAP 19.0.1. The reliability indices analyzed include SAIFI, SAIDI, and CAIDI, which are compared to the SPLN 2011 and IEEE P1366-2003 standards to determine whether the feeder is classified as reliable or unreliable. The analysis results show that under existing conditions, the SAIFI, SAIDI, and CAIDI values using the FMEA method are 1,387260; 2,338064; and 1,681523, respectively. Meanwhile, the simulation using ETAP software produced SAIFI, SAIDI, and CAIDI values of 1,5633; 2,7800; and 1,7778, respectively. After the addition of a recloser, the values became 1,3029; 2,6512; and 2,035, respectively. Furthermore, with the addition of both a recloser and sectionalizer, the values improved to 1,1117; 2,3410; and 2,106. These results indicate that the Beo Feeder is categorized as an unreliable feeder and that the addition of protection devices can improve the reliability of the distribution system.

Keywords : *Distribution System Reliability, Beo Feeder, FMEA Method, ETAP 19.0.1, SAIFI, SAIDI, CAIDI, Recloser, Sectionalizer.*

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	ii
HALAMAN PERNYATAAN DOSEN	iii
HALAMAN PERNYATAAN INTEGRITAS	iv
PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR.....	v
KATA PENGANTAR.....	vi
ABSTRAK	viii
ABSTRACT	ix
DAFTAR ISI	x
DAFTAR GAMBAR.....	xiii
DAFTAR TABEL	xvi
DAFTAR RUMUS.....	xvii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Batasan Masalah.....	3
1.5 Manfaat Penelitian	4
1.6 Sistematika Penelitian	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 Sistem Tenaga Listrik.....	6
2.2 Sistem Distribusi Tenaga Listrik	7
2.2.1 Sistem Jaringan Distribusi Primer.....	7
2.2.2 Sistem Jaringan Distribusi Sekunder	7
2.3 Jenis Jaringan Distribusi Tenaga Listrik	7
2.3.1 Jaringan Radial.....	7
2.3.2 Jaringan Hantaran Penghubung (<i>Tie Line</i>).....	8
2.3.3 Jaringan Distribusi Lingkar (<i>Loop</i>)	9
2.3.4 Jaringan Spindel	10
2.3.5 Sistem Gugus atau Sistem Kluster	10
2.4 Struktur Sistem Distribusi Ketenagalistrikan.....	11
2.4.1 Gardu Induk	11

2.4.2	<i>Feeder (Penyulang)</i>	12
2.4.3	Gardu Distribusi	12
2.4.4	Transformator Distribusi	13
2.5	Gangguan pada Sistem Distribusi Tenaga Listrik	13
2.5.1	Gangguan Pada Kondisi Bertegangan.....	14
2.5.2	Gangguan Pada Kondisi Tegangan Lebih	15
2.6	<i>Recloser</i>	16
2.7	<i>Sectionalizer</i>	17
2.8	Prinsip Kerja <i>Recloser</i> dan <i>Sectionalizer</i>	17
2.9	Keandalan Sistem Distribusi Tenaga Listrik	18
2.9.1	Faktor – Faktor Keandalan Sistem Distribusi	18
2.10	Indeks Keandalan Sistem Distribusi	19
2.10.1	<i>Failure Rate/Laju Kegagalan (λ)</i> dan Waktu Perbaikan	20
2.10.2	<i>Unavaibility (U)</i>	21
2.10.3	<i>System Average Interruption Duration Index (SAIDI)</i>	22
2.10.4	<i>System Average Interruption Frequency Index (SAIFI)</i>	22
2.10.5	<i>Customer Average Interruption Duration Index (CAIDI)</i>	23
2.10.6	<i>Average Service Availability Index (ASAI)</i>	23
2.10.7	<i>Average Service Unavailability Index (ASUI)</i>	23
2.11	Standar Indeks Keandalan Distribusi 20 kV menurut SPLN dan IEEE	24
2.12	Metode <i>Failure Mode and Effect Analysis (FMEA)</i>	24
2.13	<i>Software ETAP (Electrical Transient Analysis Program)</i>	25
2.13.1	<i>Reliability Index Assessment</i>	26
BAB III METODOLOGI PENELITIAN		27
3.1	Lokasi dan Waktu Penelitian.....	27
3.2	Metode Penelitian.....	27
3.2.1	Metode Wawancara	27
3.2.2	Studi Literatur	28
3.2.3	Pengambilan Data	28
3.2.4	Pengolahan Data.....	28
3.2.5	Analisa Data	29
3.3	Alur Penelitian	29
3.4	Diagram Alir Penelitian.....	33
3.4.1	Diagram Alir Metode Failure Mode Effect Analysis (FMEA)	34

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	35
4.1 Umum.....	35
4.2 Data Penelitian	35
4.2.1 Data <i>Single Line Diagram</i> Penyulang Beo	36
4.2.2 Data Peralatan yang Terinstal pada Penyulang Beo.....	37
4.2.3 Data Panjang Penghantar Penyulang Beo	37
4.2.4 Data Kapasitas Transformator Distribusi dan Jumlah Beban	39
4.3 Mode Kegagalan pada Penyulang Beo Gardu Induk Seduduk Putih....	41
4.4 <i>Failure Rate</i> dan <i>Annual Outage Time</i> Penyulang Beo Gardu Induk Seduduk Putih.....	44
4.5 Indeks Keandalan Penyulang Beo Gardu Induk Seduduk Putih.....	51
4.6 Pemodelan Sistem Distribusi Penyulang Beo dengan <i>Software</i> ETAP 19.0.1.....	54
4.7 Perbandingan Nilai Indeks Keandalan Penyulang Beo Gardu Induk Seduduk Putih dengan SPLN dan IEEE.....	57
4.8 Penambahan Recloser pada Kondisi Existing Penyulang Beo di <i>Software Electrical Transient Analysis Program</i> (ETAP).....	58
4.8.1 Simulasi Penambahan Recloser diantara Titik Beban Penyulang Beo di <i>Software</i> ETAP	58
4.9 Penambahan <i>Recloser</i> dan <i>Sectionalizer</i> pada Penyulang Beo di <i>Software Electrical Transient Analysis Program</i> (ETAP)	65
4.9.1 Penambahan <i>Recloser</i> diantara Titik Beban PB 0427 – PB 1281 dan <i>Sectionalizer</i> pada Percabangan Penyulang.....	66
4.10 Rekapitulasi Hasil Perhitungan Indeks Keandalan SAIFI, SAIDI dan CAIDI Penyulang Beo.....	69
4.11 Dampak dari Ketidakandalan Sistem Distribusi terhadap Pelanggan dan Operasional PLN	70
4.12 Analisa.....	71
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	75
5.1 Kesimpulan	75
5.2 Saran.....	76
DAFTAR PUSTAKA.....	77
LAMPIRAN.....	82

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Sistem Tenaga Listrik	6
Gambar 2. 2 Konfigurasi Sistem Radial	8
Gambar 2. 3 Konfigurasi Sistem Hantaran Penghubung (<i>Tie Line</i>)	9
Gambar 2. 4 Konfigurasi Sistem Loop	9
Gambar 2. 5 Konfigurasi Sistem Spindel.....	10
Gambar 2. 6 Konfigurasi Sistem Kluster	11
Gambar 2. 7 Gardu Distribusi Tipe Portal	12
Gambar 2. 8 Transformator Distribusi	13
Gambar 2. 9 <i>Recloser</i>	16
Gambar 2. 10 <i>Sectionalizer</i>	17
Gambar 2. 11 Skema FMEA	25
Gambar 2. 12 <i>Software</i> ETAP 19.0.1	26
Gambar 3. 1 <i>Single Line Diagram</i> pada Kondisi Existing.....	30
Gambar 3. 2 Tab <i>Reliability</i> untuk Komponen Transformator Distribusi pada Software ETAP.....	30
Gambar 3. 3 Simulasi <i>Reliability Index Assessment</i> pada kondisi <i>existing</i> penyulang	31
Gambar 3. 4 Simulasi Penambahan <i>Recloser</i> dan Simulasi <i>Reliability Index Assessment</i>	31
Gambar 3. 5 Simulasi Penambahan <i>Recloser</i> dan <i>Sectionalizer</i> serta Simulasi <i>Reliability Index Assessment</i>	32
Gambar 4. 1 <i>Single Line Diagram</i> Penyulang Beo.....	36
Gambar 4. 2 <i>Google Maps</i> Panjang Penghantar Penyulang Beo	37
Gambar 4. 3 <i>Single Line Diagram</i> Kondisi <i>existing</i> Penyulang Beo Bagian A pada ETAP	54
Gambar 4. 4 <i>Single Line Diagram</i> Penyulang Beo Kondisi <i>existing</i> Penyulang Beo Bagian B pada ETAP	55
Gambar 4. 5 Hasil Simulasi <i>Reability Assesment</i> pada Kondisi <i>Existing</i> pada <i>Software</i> ETAP.....	56
Gambar 4. 6 Penambahan <i>recloser</i> diantara titik beban PB 0013 – PB 0757.....	58

Gambar 4. 7 Hasil Running Simulasi <i>Reliability Assesment</i> dengan Penambahan <i>Recloser</i> diantara Titik Beban PB 0013 – PB 0757	59
Gambar 4. 8 Penambahan <i>Recloser</i> diantara titik beban PB 0757 – PB 0016.....	59
Gambar 4. 9 Hasil Running Simulasi <i>Reliability Assesment</i> dengan Penambahan <i>Recloser</i> diantara Titik Beban PB 0757 – PB 0016	60
Gambar 4. 10 Penambahan <i>Recloser</i> diantara Titik Beban PB 0016 – PB 0427 ..	60
Gambar 4. 11 Hasil Running Simulasi <i>Reliability Assesment</i> dengan Penambahan <i>Recloser</i> diantara Titik Beban PB 0016 – PB 0427	61
Gambar 4. 12 Penambahan <i>Recloser</i> diantara Titik Beban PB 0427 – PB 1281 ..	61
Gambar 4. 13 Hasil Running Simulasi <i>Reliability Assesment</i> dengan Penambahan <i>Recloser</i> diantara Titik Beban PB 0427 – PB 1281	62
Gambar 4. 14 Penambahan <i>Recloser</i> diantara Titik Beban PB 1281 – PBX 043 .	62
Gambar 4. 15 Hasil Running Simulasi <i>Reliability Assesment</i> dengan Penambahan <i>Recloser</i> diantara Titik Beban PB 1281 – PBX 043	63
Gambar 4. 16 Penambahan <i>Recloser</i> diantara Titik Beban PBX 043 – PB 0677 .	63
Gambar 4. 17 Hasil Running Simulasi <i>Reliability Assesment</i> dengan Penambahan <i>Recloser</i> diantara Titik Beban PBx 043 – PB 0677	64
Gambar 4. 18 Penambahan <i>Recloser</i> diantara Titik Beban PB 0677 – PB 0163 ..	64
Gambar 4. 19 Hasil Running Simulasi <i>Reliability Assesment</i> dengan Penambahan <i>Recloser</i> diantara Titik Beban PB 0677 – PB 0163	65
Gambar 4. 20 Penambahan <i>Recloser</i> diantara Titik Beban PB 0427 – PB 1281 dan <i>Sectionalizer</i> di saluran penghantar (<i>line</i>) 18.....	66
Gambar 4. 21 Hasil Running Simulasi Penambahan <i>Recloser</i> diantara titik beban 0427 – PB 1281 dan <i>Sectionalizer</i> di saluran penghantar (<i>line</i>) 18	66
Gambar 4. 22 Penambahan <i>Recloser</i> diantara Titik Beban PB 0427 – PB 1281 dan <i>Sectionalizer</i> di saluran penghantar (<i>line</i>) 26.....	67
Gambar 4. 23 Hasil Running Simulasi Penambahan <i>Recloser</i> diantara titik beban 0427 – PB 1281 dan <i>Sectionalizer</i> di saluran penghantar (<i>line</i>) 26	67
Gambar 4. 24 Penambahan <i>Recloser</i> diantara Titik Beban PB 0427 – PB 1281 dan <i>Sectionalizer</i> di saluran penghantar (<i>line</i>) 37	68
Gambar 4. 25 Hasil Running Simulasi Penambahan <i>Recloser</i> diantara titik beban 0427 – PB 1281 dan <i>Sectionalizer</i> di saluran penghantar (<i>line</i>) 37	68

Gambar 4. 26 Perbandingan Hasil Perhitungan Indeks Keandalan dengan Metode FMEA dan <i>Software</i> ETAP	71
Gambar 4. 27 Grafik Penambahan <i>Recloser</i> pada titik beban PB 0427 – PB 1281	72
Gambar 4. 28 Grafik Penambahan <i>Recloser</i> di Titik Beban PB 0427 – PB 1281 dan Sectionalizer di Saluran Penghantar (<i>line</i>) 37	73

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Nilai Laju Kegagalan (<i>Failure Rate</i>) dan Waktu Perbaikan Berdasarkan SPLN 59 : 1985	21
Tabel 2. 2 Standar Keandalan Jaringan Distribusi 20 kV	24
Tabel 3. 1 Jadwal Proses Pelaksanaan Tugas Akhir	27
Tabel 4. 1 Data Peralatan pada Penyulang Beo	37
Tabel 4. 2 Data Panjang Saluran Penghantar Penyulang Beo	37
Tabel 4. 3 Data Kapasitas Transformator Distribusi dan Jumlah Beban.....	39
Tabel 4. 4 Mode Kegagalan (<i>Failure Mode</i>) Penyulang Beo.....	41
Tabel 4. 5 Perhitungan Nilai <i>Failure Rate</i> dan <i>Annual Outage Time</i> pada LP 1 ..	45
Tabel 4. 6 Perhitungan Nilai <i>Failure Rate</i> dan <i>Annual Outage Time</i> pada LP 9 ..	47
Tabel 4. 7 Perhitungan Nilai <i>Failure Rate</i> dan <i>Annual Outage Time</i> pada LP 15 49	
Tabel 4. 8 Perhitungan Nilai Indeks Keandalan Penyulang Beo Gardu Induk Seduduk Putih	52
Tabel 4. 9 Hasil Perhitungan Indeks Keandalan Penyulang Beo Gardu Induk Seduduk Putih	53
Tabel 4. 10 Hasil Indeks Keandalan Penyulang dengan metode FMEA dan RA pada ETAP	57
Tabel 4. 11 Tabel Perbandingan Indeks Keandalan Penyulang Beo dengan Metode FMEA dan ETAP serta SPLN dan IEEE.....	57
Tabel 4. 12 Tabel Hasil Rekapitulasi Indeks Keandalan Penyulang Beo Gardu Induk Seduduk Putih	69

DAFTAR RUMUS

Rumus 2.1 Laju Kegagalan pada titik beban	20
Rumus 2.2 <i>Unavaibility</i> /Ketidaktersediaan pada titik beban.....	21
Rumus 2.3 <i>System Average Interruption Duration Index</i> (SAIDI)	22
Rumus 2.4 <i>System Average Interruption Frequency Index</i> (SAIFI)	22
Rumus 2.5 <i>Customer Average Interruption Duration Index</i> (CAIDI)	23
Rumus 2.6 <i>Average Service Availability Index</i> (ASAI)	23
Rumus 2.7 <i>Average Service Unavailability Index</i> (ASUI)	23

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Di era elektrifikasi saat ini, kontinuitas dalam proses penyaluran energi listrik yang melalui proses pembangkitan tenaga listrik, jaringan transmisi dan jaringan distribusi hingga sampai ke konsumen adalah salah satu hal yang perlu diperhatikan bagi para penyedia energi listrik [1]. Tahapan distribusi sistem ketenagalistrikan sebagai bagian akhir dari proses penyaluran energi listrik diharuskan dapat secara andal dan kontinyu mensuplai energi listrik menuju ke titik beban dan konsumen [2]. Kemampuan suatu sistem tenaga untuk dapat memenuhi kebutuhan energi listrik secara terus – menerus dan aman dengan standar kualitas yang baik pada kondisi tertentu disebut dengan keandalan sistem ketengalistrikan [3].

Dalam konteks distribusi ketenagalistrikan, keandalan pada tingkat penyulang (*feeder*) merupakan aspek utama dalam proses distribusi energi listrik ke konsumen. Indikator dari keandalan sistem ketenagalistrikan pada penyulang adalah indeks – indeks keandalan yang berupa SAIFI (*System Average Interruption Frequency Index*), SAIDI (*System Average Interruption Frequency Index*), CAIDI (*Customer Average Interruption Index*), ASUI (*Average Service Unavailability Index*), dan ASAI (*Average Service Availability Index*) [4]. Besaran nilai SAIDI dan SAIFI yang didapatkan dari hasil perhitungan menggambarkan tingkatan keandalan pada penyulang tersebut, dimana semakin tinggi nilai indeks keandalan *SAIFI* dan *SAIDI* maka akan semakin rendah tingkat keandalan jaringan dan kualitas layanan pelanggan. Metode *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA) ini dipilih karena dapat menganalisis potensi kegagalan komponen secara sistematis dan terstruktur, serta memberikan kontribusi langsung terhadap perhitungan indeks keandalan dan optimalisasi proteksi. Salah satu bentuk upaya dalam meningkatkan keandalan penyulang adalah instalasi atau relokasi komponen proteksi berupa *recloser* dan *sectionalizer*[5].

Recloser atau PBO (Pemutus Balik Otomatis) merupakan jenis alat proteksi yang berkerja dengan mendeteksi arus berlebih yang disebabkan hubung singkat antara fasa – fasa atau hubung singkat fasa ke tanah [4], [5]. Sedangkan, *Sectionalizer* (SSO) adalah jenis alat proteksi yang bekerja dengan mendeteksi

hilangnya tegangan pada suatu jaringan, dimana jenis alat proteksi ini akan membuka (*open*) saat jaringan tidak bertegangan dan menutup (*close*) ketika jaringan bertegangan. Dalam proses pengoperasiannya, sectionalizer hanya dapat bekerja sebagaimana fungsinya jika dikoordinasikan dengan *recloser*. Penambahan *recloser* dan *sectionalizer* pada suatu penyulang dapat dilakukan dengan simulasi pada aplikasi *ETAP (Electric Transient Analysis Program) Power Station*[6].

Merujuk pada penelitian terdahulu oleh Muhammad Naufal Shabhi (2024) mengenai “Analisa Keandalan Sistem Distribusi Tegangan Menengah Dengan Metode *Failure Mode And Effect Analysis* Pada Penyulang Fatmawati PT. PLN Prabumulih” dan “Analisa Indeks Keandalan Dengan Penambahan *Recloser* Pada Sistem Distribusi 20 kV Penyulang Makassar di Gardu Induk Talang Ratu Menggunakan Metode *Section Technique* dan *ETAP*” oleh Melisa Dian Novita (2022). Maka, berdasarkan latar belakang dan referensi dari penelitian terdahulu, penulis akan melakukan penelitian dengan judul **“Analisa Keandalan Sistem Distribusi Ketenagalistrikan 20 Kv Dengan Penambahan *Recloser* Dan *Sectionalizer* Pada Penyulang Beo Di Gardu Induk Seduduk Putih Dengan Metode *Failure Mode Effect Analysis* (FMEA) Dan *Software Etap 19.0.1*”**. Penelitian ini dilakukan dengan menganalisa keandalan suatu penyulang melalui parameter berupa indeks – indeks keandalan yang meliputi perhitungan pada nilai SAIFI (*System Average Interruption Frequency Index*), SAIDI (*System Average Interruption Frequency Index*) dan CAIDI (*Customer Average Interruption Frequency Index*) pada suatu penyulang dengan menerapkan metode *Failure Mode Effect Analysis* (FMEA) serta simulasi penambahan *recloser* dan *sectionalizer* pada aplikasi *ETAP (Electric Transient Analysis Program) 19.0.1*.

1.2 Rumusan Masalah

Parameter dari pengukuran indeks keandalan penyulang pada penelitian ini adalah *SAIDI*, *SAIFI*, *CAIDI* yang nilainya didapat dari analisa laju kegagalan peralatan pada penyulang (*failure time*), panjang saluran pada penyulang, waktu perbaikan (*repair time*), jumlah titik beban dan jumlah pelanggan pada penyulang dengan menerapkan metode *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA). Sehingga perumusan masalah yang diangkat pada penulisan tugas akhir ini adalah Bagaimana tingkat keandalan sistem distribusi 20 kV berdasarkan indeks nilai

SAIDI, SAIFI, dan CAIDI dengan menggunakan metode *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA) dan *Software ETAP*, Apakah hasil perhitungan indeks keandalan penyulang tersebut sudah memenuhi standar PLN 2011 dan IEEE P1366-2003 dan apakah *recloser* dan *sectionalizer* dapat meningkatkan indeks keandalan pada saluran distribusi 20 kV pada penyulang.

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian berikut ini adalah:

1. Menghitung indeks keandalan berupa *SAIFI*, *SAIDI*, dan *CAIDI* dengan metode *Failure Mode Effect Analysis (FMEA)* dan *Software ETAP 19.0.1* pada Penyulang Beo Gardu Induk Seduduk Putih
2. Menganalisa tingkat keandalan pada penyulang di gardu induk terhadap standar SPLN 2011 dan IEEE P1366 – 2003
3. Menganalisa hasil dari penambahan *recloser* dan/atau *sectionalizer* terhadap tingkat keandalan penyulang pada gardu induk

1.4 Batasan Masalah

Agar penelitian ini tidak menyimpang dari pokok pembahasan dan lebih terarah, maka dibuat batasan masalah sebagai pedoman dalam menyelesaikan penelitian, yakni sebagai berikut:

1. Penelitian ini membahas indeks keandalan berupa SAIFI, SAIDI, dan CAIDI jaringan distribusi 20 KV penyulang pada Gardu Induk dengan metode *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA)
2. Hasil perhitungan nilai indeks keandalan Berdasarkan SPLN 2011 dan IEEE P1366 – 2003
3. Proses simulasi pada *software ETAP* dilakukan dalam kondisi *existing* penyulang
4. Simulasi penambahan *Recloser* dan *Sectionalizer* dilakukan dengan menggunakan *software ETAP (Electric Transient Analysis Program) Power Station 19.0.1*
5. Simulasi komponen proteksi berupa *recloser* akan disimulasikan diantara titik beban sedangkan *sectionalizer* hanya akan disimulasi pada percabangan penyulang

6. Penelitian ini tidak membahas mengenai koordinasi proteksi antara *recloser* dan *sectionalizer*
7. Penelitian ini tidak membahas analisa biaya, proses pemeliharaan serta faktor alam

1.5 Manfaat Penelitian

Penulisan tugas akhir ini diharapkan dapat memberikan manfaat sebagai berikut:

1. Tugas Akhir ini dapat memberikan informasi tingkatan keandalan jaringan distribusi 20 KV pada penyulang pada gardu induk melalui perhitungan dengan metode *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA) dan *ETAP (Electric Transient Analysis Program) Power Station 19.0.1*
2. Tugas Akhir ini dapat memberikan informasi mengenai penggunaan alat proteksi berupa *recloser* dan *sectionalizer* untuk meningkatkan indeks keandalan sistem distribusi 20 kV pada penyulang dan dapat memberikan informasi apakah dengan penambahan *recloser* dan *sectionalizer* pada jaringan distribusi 20 KV dapat meningkatkan keandalan.

1.6 Sistematika Penelitian

Adapun Sistematika dalam penulisan tugas akhir ini terdiri atas lima bab, yaitu:

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini akan membahas mengenai latar belakang, rumusan masalah, tujuan penelitian, batasan masalah penelitian, manfaat penelitian dan sistematika penulisan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini akan membahas mengenai dasar teori sistem ketenagalistrikan seperti sistem distribusi, jenis – jenis jaringan distribusi, definisi keandalan sistem distribusi, parameter indeks – indeks keandalan distribusi berupa SAIFI, SAIDI dan CAIDI, metode *Failure Mode Effect Analysis (FMEA)*, alat proteksi berupa *recloser* dan *software ETAP (Electric Transient Analysis Program) Power Station*.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini akan membahas mengenai penjelasan metode – metode yang akan digunakan dalam melakukan penelitian mengenai analisa dan peningkatan indeks keandalan pada suatu sistem distribusi 20 kv yang meliputi waktu dan tempat penelitian, metode pengumpulan data serta langkah – langkah dalam mengolah data seperti perhitungan, analisa dan simulasi pada *software*.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini akan membahas mengenai perhitungan indeks keandalan berupa SAIFI, SAIDI, dan CAIDI dengan menggunakan metode *Failure Mode Effect Analysis (FMEA)*, analisis dari hasil perhitungan dan hasil simulasi penambahan *recloser*; penambahan *recloser* dan *sectionalizer* terhadap indeks keandalan SAIFI, SAIDI, dan CAIDI serta melakukan analisa apakah penyulang tersebut andal atau tidak andal melalui indeks keandalan dari standar PLN dan IEEE.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini akan membahas mengenai hasil, kesimpulan dan saran terhadap analisa indeks keandalan pada penyulang tersebut di gardu induk.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. Firmansyah, M. Noer, and I. J. Putra, "Evaluasi sistem proteksi penyulang kalingga pada gardu induk New Jakabaring yang melayani pelanggan premium," *JURNAL ELTEK*, vol. 20, no. 1, pp. 11–24, Apr. 2022, doi: 10.33795/eltek.v20i1.338.
- [2] R. Harahap, H. Farizi, S. Tarmizi Kasim, K. Kunci, and N. Ekonomi, "Analisis Indeks Keandalan Pada Jaringan Distribusi 20 Kv Penyulang Ka.1, Ku.1 Dan Tw.1 Di PT. PLN (Persero) UP3 Lubuk Pakam," *SEMNASTEK*, no. ISBN: 978-623-7297-51-2, 2022.
- [3] K. G. Manopo, H. Tumaliang, and S. Silimang, "Analisis Indeks Keandalan Sistem Distribusi Tenaga Listrik Berdasarkan SAIFI dan SAIDI Pada PT. PLN (Persero) Area Minahasa Utara," 2022.
- [4] T. Rijanto, Joko, and R. Harimurti, "Analisis Penempatan Recloser Terhadap Keandalan Sistem Tenaga Listrik Jaringan Distribusi 20kV di PT.PLN (Persero) ULP AMUNTAI," *Jurnal Teknik Elektro*, vol. 13, no. 2, pp. 130–134, 2024.
- [5] H. A. Waritza, "Optimalisasi Penempatan Recloser Jaringan Distribusi 20kv Penyulang Rdt03 Menggunakan Algoritma Optimasi Particle Swarm Optimization Untuk Menekan Saidi Dan Saifi Di Kawasan Industri Tambak Aji," 2022.
- [6] N. Nurul Fadlilah *et al.*, "Analisa Keandalan Sistem Distribusi Tenaga Listrik berdasarkan Koordinasi Recloser dan Sectionalizer," *Semnastera*, vol. 3, Oct. 2021.
- [7] I. S. Suropto and M. Eng, *Sistem Tenaga Listrik*. Yogyakarta: Penerbit LP3M UMY, 2017.
- [8] R. Joto and M. Urfan Barran Rusyda Marzuq, "Analisis Perencanaan Sistem Jaringan Distribusi Listrik dan Perkembangan Beban Pada Perumahan The Grand Kenjeran Surabaya," *Elposys: Jurnal Sistem Kelistrikan*, vol. 09, no. 3, 2022.
- [9] A. F. Setiawan and T. Suheta, "Analisa Studi Keandalan Sistem Distribusi 20 Kv Di PT. PLN (Persero) Upj Mojokerto Menggunakan Metode Fmea (*Failure Mode Effect Analysis*)," *CYCLOTRON*, vol. 3, no. 1, Jan. 2020.
- [10] I. Hajar1, ; Muhammad, H. Pratama, T. Elektro, S. Tinggi, and T. Pln, "Analisa Nilai Saidi Saifi Sebagai Indeks Keandalan Penyediaan Tenaga Listrik Pada Penyulang Cahaya Pt. Pln (Persero) Area Ciputat," *Jurnal Ilmiah Energi & Kelistrikan*, vol. 10, no. 1, pp. 1–93, 2018.
- [11] Yolnasdi, F. Palaha, and J. Efendi, "Perencanaan Penempatan Recloser Berdasarkan Gangguan Di Jaringan Distribusi 20 kV Menggunakan ETAP 12.6," *SainETIn (Jurnal Sain, Energi, Teknologi & Industri)*, vol. 5, no. 1,

pp. 27–34, Dec. 2020, Accessed: Dec. 07, 2024. [Online]. Available: <https://journal.unilak.ac.id/index.php/SainETIn/index>

- [12] B. Halik, I. M. Wartana, and W. P. Muljanto, “Rekonfigurasi Jaringan Distribusi Untuk Reduksi Rugi Daya Dan Meningkatkan Profil Tegangan Di Pt. Pln (Persero) Ulp Larantuka Flores Timur,” *Magnetika*, vol. 7, no. 2, 2023.
- [13] Z. Lubis and A. Siagian, “Analisis Sistem Konfigurasi Jaringan Distribusi Penyulang 20 KV di PT.PLN (Persero) ULP Pakam Kota Untuk Kehandalan Jaringan Tenaga Listrik,” *Journal of Electrical Technology*, vol. 9, no. 2, Jun. 2024.
- [14] A. Muhtar, I. H. Antarissubhi, and J. Elektro, “Analisis Rugi Daya Jaringan Distribusi Primer PT. PLN ULP Sengkang Sulawesi Selatan,” *Vertex Elektro*, vol. 13, no. 01, Feb. 2021.
- [15] A. A. Pratomo, L. Patras, and H. Tumaliang, “Analisa Perancangan Gardu Induk 150 kV di Kabupaten Muna,” Jan. 2022.
- [16] Fitriono, Dasweptia, Hamimi, and M. Heryan, “Perencanaan Sistem Loop Jaringan 20 kV Menggunakan Load Breaking Switch Motorized di Penyulang Sawit, Jati dan Pala,” *ELECTRICIAN – Jurnal Rekayasa dan Teknologi Elektro*, vol. 17, no. 1, 2023.
- [17] M. Masri, R. Harahap, Z. Pelawi, R. Harahap, F. Halim Pulungan, and A. Komaini, “Analisis Penempatan Transformator Distribusi Berdasarkan Jatuh Tegangan Pada Saluran Distribusi Primer 20 KV,” *Journal of Electrical Technology*, vol. 9, no. 1, 2024.
- [18] A. Spencer Deeng, G. M. Ch Mangindaan, and L. S. Patras, “Studi Kelayakan Operasi Perencanaan Uprating Sutrm Pada Penyulang Sk 2 & Sk 4 Di Gardu Induk Kawangkoan Dengan Metode Simulasi Etap 12.6.0,” Jan. 2022.
- [19] H. L. Latupeirissa, “Analisa Umur Pakai Transformator Distribusi 20 Kv Di PT. PLN Cabang Ambon,” *Jurnal Simetrik*, vol. 8, no. 2, Dec. 2018.
- [20] D. Fath Ashari, J. Teknik Elektro, and P. Negeri Ujung Pandang, “Analisis Gangguan Gardu Distribusi Di PT PLN (Persero) ULP Watang Sawitto,” *Prosiding Seminar Nasional Teknik Elektro dan Informatika (SNTEI) 2021 Makassar*, pp. 158–161, Sep. 2021.
- [21] Suparmono, R. K. Harahap, M. Sembiring, M. Sembiring, and Abdullah, “Studi Pemeliharaan Komponen Utama Pada Gardu Distribusi Tipe Portal di PT. PLN (PERSERO) Rayon Medan Baru,” *RELE (Rekayasa Elektrikal dan Energi): Jurnal Teknik Elektro*, vol. 4, no. 1, pp. 42–47, 2021, doi: 10.30596/rele.v4i1.7824.

- [22] M. I. Wiranto, L. S. Patras, and S. Silimang, "Analisa Kinerja Transformator Distribusi Kawanua Emerald City-Amethyst," 2022.
- [23] M. Alfaqih, A. Firnanda, M. Salman, A. Arwangi, and R. M. Yasi, "Study Of The Effect Of The Number Of Coils On Voltage And Current Value," *JEEE : Journal of Educational Engineering and Environment*, vol. 2, no. 1, pp. 11–14, Mar. 2023.
- [24] N. Aryanto and M. Balkis, "Tinjauan Gangguan Jaringan Distribusi 20 Kv Penyulang Muara Aman PT. PLN (Persero) Ulp Rayon Muara Aman," *JTERAF (Jurnal Teknik Elektro Raflesia)*, vol. 1, no. 1, pp. 16–21, 2021.
- [25] P. Sinaga, Hardiansyah, and Purwoharjo, "Analisa Keandalan Sistem Distribusi Berdasarkan Metode Section Technique Pada PT. PLN (Persero) Area Pontianak," *Journal of Electrical Engineering, Energy, and Information Technology (J3EIT)*, vol. 7, no. 2, pp. 1–13, 2019.
- [26] R. A. Duyo, "Analisis Penyebab Gangguan Jaringan Pada Distribusi Listrik Menggunakan Metode Fault Tree Analysis Di PT. PLN (Persero) Rayon Daya Makassar," *Vertex Elektro*, vol. 12, no. 02, Aug. 2020.
- [27] Kusnawati and Meriani, "Analisa Penyebab Gangguan Jaringan Distribusi Di Pln Unit Pelayanan Jaringan Ulp Kepahiang Penyulang Keban Agung Kepahiang," *JTERAF (Jurnal Teknik Elektro Raflesia)*, vol. 2, no. 2, pp. 29–33, 2022.
- [28] A. S. Sampeallo, Nursalim, and P. J. Fischer, "Analisis Gangguan Hubung Singkat Pada Jaringan Pemakaian Sendiri PLTU BOLOK PT. SMSE (IPP) Unit 3 Dan 4 Menggunakan Software Etap 12.6.0," *Jurnal Media Elektro*, vol. 8, no. 1, pp. 76–85, 2019.
- [29] T. A. Al Qoyyimi, O. Penangsang, and N. K. Aryani, "Penentuan Lokasi Gangguan Hubung Singkat pada Jaringan Distribusi 20 kV Penyulang Tegalsari Surabaya dengan Metode Impedansi Berbasis GIS (Geographic Information System)," *JURNAL TEKNIK ITS*, vol. 6, no. 1, pp. B67-71, 2017.
- [30] F. Rohman Syah, "Analisis Hubung Singkat Pada Sistem Distribusi 20 kV PT. Pertamina Ep Asset 4 Field Cepu Distrik Ledok Menggunakan ETAP 12.6.0 A," *JURNAL TEKNIK ELEKTRO*, vol. 10, no. 3, pp. 699–705, 2021.
- [31] N. Y. Irawan, A. A. N. Amrita, and W. Setiawan, "Optimasi Penempatan Recloser untuk Meningkatkan Keandalan Menggunakan Metode Virus Evolutionary Genetic Algorithm (VEGA)," *Majalah Ilmiah Teknologi Elektro*, vol. 17, no. 2, pp. 177–184, May 2018, doi: 10.24843/mite.2018.v17i02.p03.
- [32] S. S. Akhmad, Nurhidayanti, and N. A. Noor, "Analisis Penempatan Recloser Terhadap Keandalan Sistem Tenaga Listrik Di ULP Sungguminasa," *Jurnal ELEKTRIK*, vol. 1, no. 2, pp. 26–38, Dec. 2022.

- [33] Titiek Suheta and Muhammad Faisal A, “Analisa Keandalan Sistem Jaringan Distribusi 20 kV Dan Rekonfigurasi Recloser Pada Penyulang Kamal,” *Jurnal JEETech*, vol. 3, no. 2, pp. 64–70, Sep. 2022, doi: 10.48056/jeetech.v3i2.196.
- [34] B. A. Sasongko, Karnoto, and Darjat, “Analisis Penambahan Recloser Pada Lokasi Yang Tepat Guna Meminimalkan Nilai Saidi Dan Saifi Penyulang Ford Baru PT. PLN (PERSERO) UP3 Palembang,” *Transient: Jurnal Ilmiah Teknik Elektro*, vol. 10, no. 4, pp. 620–625, 2021, [Online]. Available: <https://ejournal3.undip.ac.id/index.php/transient>
- [35] N. Nurul Fadlilah *et al.*, “Analisa Keandalan Sistem Distribusi Tenaga Listrik berdasarkan Koordinasi Recloser dan Sectionalizer,” *SEMNASTERA (Seminar Nasional Teknologi dan Riset Terapan)*, vol. 3, pp. 266–273, Oct. 2021.
- [36] R. R. Syam, A. R. Sultan, and A. Asri, “Analisis Koordinasi Recloser Dan Sectionalizer Pada Jaringan Distribusi 20 Kv Di PT. PLN (Persero),” *JOES : Journal of Power Energy System*, vol. 1, no. 1, pp. 1–9, 2023.
- [37] M. Andika Pratama, Y. Wahyu Setiyono, and A. Harista Rahman, “Optimisasi Penempatan Recloser dan Sectionalizer untuk Memperbaiki Keandalan Jaringan pada Penyulang WNI10 Menggunakan Simulasi Reliability Assessment,” *Jurnal Listrik, Instrumentasi, dan Elektronika Terapan*, vol. 5, no. 2, pp. 56–64, Oct. 2024.
- [38] Syahid, Y. Badruzzaman, and A. Kusumawardani, “Analisis Koordinasi PMT, Recloser, dan Sectionalizer Pada Sistem Proteksi Penyulang SGN-02 GI Sanggrahan Menggunakan ETAP Berbasis PLC & SCADA,” *JTET(Jurnal Teknik Elektro Terapan)*, vol. 11, no. 3, pp. 95–102, Dec. 2022.
- [39] H. Gusmedi, L. Hakim, and R. Ramadan, “Evaluasi Keandalan Jaringan Distribusi 20 Kv Penyulang Stroberi 2 PT. PLN (PERSERO) ULP Kota Metro Dengan Metode Failure Mode And Effect Analysis (FMEA),” *Jurnal Informatika dan Teknik Elektro Terapan*, vol. 12, no. 1, pp. 61–67, Jan. 2024, doi: 10.23960/jitet.v12i1.3617.
- [40] M. Anshori, A. A. R, and Sofyan, “Studi Keandalan Sistem Jaringan Distribusi Penyulang 20 Kv Pada PT.PLN (Persero) Rayon Daya Dengan Metode Failure Modes and Effects Analysis (Fmea),” *Prosiding Seminar Nasional Teknik Elektro dan Informatika (SNTEI)*, pp. 47–52, Oct. 2020.
- [41] C. Afri Lestari, Zulfahri, and U. Situmeang, “Analisis Keandalan Sistem Distribusi 20 kV dengan Metode FMEA pada Penyulang Akasia dan Lele PT PLN (Persero) ULP Kota Barat,” *Jurnal Sain, Energi, Teknologi & Industri*, vol. 6, no. 1, pp. 1–7, 2021, doi: 10.31849/sainetin.v6i1.7408.
- [42] A. P. Gumilang, R. S. Wibowo, and I. M. Y. Negara, “Penilaian Keandalan Sistem Tenaga Listrik Jawa Bagian Timur Dan Bali Menggunakan Formula

Analitis Deduksi Dan Sensitivitas Analitis Dari Expected Energy Not Served,” *JURNAL TEKNIK ITS*, vol. 7, no. 1, pp. B1–B6, 2018.

- [43] R. Harahap, S. A. Siregar, S. Hardi, and S. HS, “Analisis Sistem Jaringan Distribusi 20 KV Penyulang SB.02 Pada PT. PLN (Persero) ULP Sibolga Kota Menggunakan Metode Section Technique dan Failure Mode Effect Analysis (FMEA),” *Cetak) Journal of Electrical Technology*, vol. 7, no. 2, pp. 87–95, Jun. 2022.
- [44] Perusahaan Listrik Negara (PLN), *SPLN 59 - 1985 : Keandalan Pada Sistem Distribusi 20 kV DAN 6 kV*. Indonesia, 1985.
- [45] IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers), “IEEE 1366-Reliability Indices,” 2019.
- [46] Usman, M. Thahir, Indra, Sofyan, A. R. Idris, and S. Thaha, “Penentuan Keandalan Sistem Distribusi 20 KV Penyulang Malili dengan Metode Section Technique dan FMEA,” *Protek : Jurnal Ilmiah Teknik Elektro*, vol. 9, no. 2, p. 126, Sep. 2022, doi: 10.33387/protk.v9i2.4985.
- [47] Sukamdi, A. Setiawan, and H. Sungkowo, “Analisis Manuver Penyulang Selecta untuk Menjaga Nilai Keandalan Sistem Distribusi di PT. PLN (Persero) ULP Batu,” *ELPOSYS: Jurnal Teknik Listrik*, vol. 09, pp. 161–166, 2022.
- [48] J. Huang, J. X. You, H. C. Liu, and M. S. Song, “Failure mode and effect analysis improvement: A systematic literature review and future research agenda,” *Reliab Eng Syst Saf*, vol. 199, Jul. 2020, doi: 10.1016/j.ress.2020.106885.
- [49] A. Adem, R. Kumar, and W. Abubeker, “Reliability Assessment of Haramaya University Power Distribution System,” *American Journal of Electrical Power and Energy Systems*, vol. 14, no. 1, pp. 1–10, Feb. 2025, doi: 10.11648/j.epes.20251401.11.
- [50] W. Kusuma, R. Joto, and M. Mieftah, “Analisis Keandalan Sistem Distribusi 20kV Pada Penyulang Pujon PT. PLN (PERSERO) ULP Batu,” *ELPOSYS: Jurnal Sistem Kelistrikan*, vol. 9, no. 3, pp. 188–94, 2022.
- [51] H. Chi Minh City *et al.*, “Research of Distribution Network Reliability Assessment by ETAP Software,” *GMSARN International Journal*, vol. 16, pp. 33–46, 2022.
- [52] F. Haz, A. Mustopa, G. A. Setia, D. Furqon, A. Charisma, and M. R. Hidayat, “Reliability Index Assessment-Section Technique pada Distribusi Listrik Penyulang Suci Menggunakan Software ETAP,” *Jurnal Teknik: Media Pengembangan Ilmu dan Aplikasi Teknik*, vol. 23, no. 01, pp. 61–74, May 2024, [Online]. Available: <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>