

SKRIPSI
ANALISIS KOORDINASI SISTEM PROTEKSI
***OVERCURRENT RELAY* DAN *RECLOSER* PADA**
PENYULANG DISTRIBUSI 20KV MENGGUNAKAN
METODE *FAILURE MODE AND EFFECT ANALYSIS*
(FMEA)



Disusun untuk Memenuhi Syarat Mendapatkan Gelar Sarjana Teknik Pada
Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik
Universitas Sriwijaya

OLEH:
IRTIZA SYIFA KAMILA
03041382126116

JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS SRIWIJAYA

2025

LEMBAR PENGESAHAN

**ANALISIS KOORDINASI SISTEM PROTEKSI *OVERCURRENT RELAY*
DAN *RECLOSER* PADA PENYULANG DISTRIBUSI 20KV
MENGUNAKAN METODE *FAILURE MODE AND EFFECT ANALYSIS*
(FMEA)**



SKRIPSI

**Disusun untuk Memenuhi Syarat Mendapatkan Gelar Sarjana Teknik Pada
Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik
Universitas Sriwijaya**

Oleh:

**Irtiza Syifa Kamila
03041382126116**

Indralaya, 11 Juni 2025

**Menyetujui,
Dosen Pembimbing**

Dr. Ir. Herlina, S.T., M.T., IPM

NIP. 198007072006042004

Mengetahui,

Ketua Jurusan Teknik Elektro

Muhammad Abu Bakar Sidik, S.T., M.Eng., Ph.D., IPU

NIP. 197108141999031005

HALAMAN PERNYATAAN DOSEN

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

Tanda Tangan : 

Pembimbing Utama : Dr. Ir Herlina, S.T., M.T., IPM

Tanggal : 11 / Juni / 2025

PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

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

Nama : Irtiza Syifa Kamila
NIM : 03041382126116
Fakultas : Teknik
Jurusan/Prodi : Teknik Elektro
Universitas : Sriwijaya
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:

**ANALISIS KOORDINASI SISTEM PROTEKSI *OVERCURRENT RELAY*
DAN *RECLOSER* PADA PENYULANG DISTRIBUSI 20KV
MENGUNAKAN METODE *FAILURE MODE AND EFFECT ANALYSIS*
(FMEA)**

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 tanpa meminta izin dari saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta. Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di Indralaya

Pada tanggal: 11 Juni 2025

Yang Menyatakan



Irtiza Syifa Kamila

NIM.03041382126116

HALAMAN PERNYATAAN INTEGRITAS

Yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Irtiza Syifa Kamila
NIM : 03041382126116
Fakultas : Teknik
Jurusan/Prodi : Teknik Elektro
Universitas : Universtias Sriwijaya

Hasil Pengecekan Software *iThenticate/Turnitin*: 12%

Menyatakan bahwa laporan hasil penelitian saya yang berjudul “Analisis Koordinasi Sistem Proteksi Overcurrent Relay dan Recloser pada Penyulang Distribusi 20 kV Menggunakan Metode Failure Mode and Effect Analysis (FMEA)” 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, 11 Juni 2025



Irtiza Syifa Kamila

NIM. 03041382126116

KATA PENGANTAR

Segala puji syukur kehadirat Allah SWT yang telah memberikan segala berkat dan nikmat-Nya sehingga saya dapat menyelesaikan pembuatan Tugas Akhir yang berjudul “**ANALISIS KOORDINASI SISTEM PROTEKSI *OVER CURRENT RELAY* DAN *RECLOSER* PADA PENYULANG DISTRIBUSI 20KV MENGGUNAKAN METODE *FAILURE MODE AND EFFECT ANALYSIS (FMEA)*”**, yang dilaksanakan pada bulan Agustus hingga Desember 2024 sebagai persyaratan untuk mendapatkan gelar sarjana teknik pada jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Sriwijaya.

Penulis menyadari bahwa penyusunan skripsi ini tidak akan terwujud tanpa doa, bantuan, bimbingan, dan dukungan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, pada kesempatan ini penulis ingin menyampaikan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Kedua orang tua penulis yaitu ayah dan mama serta adik penulis yang selalu memberikan dukungan kepada penulis baik itu moral maupun materi serta doa yang tulus untuk penulis dalam menyusun tugas akhir.
2. Ibu Dr. Herlina, S.T., M.T., selaku dosen pembimbing tugas akhir dan dosen pembimbing akademik ini yang selalu memberikan bimbingan, saran, dan bantuan kepada penulis dari awal hingga terselesaikannya tugas akhir ini.
3. Ibu Dr. Syarifa Fitria S.T., dan Bapak Wirawan Adipradana, S.T., M.T. selaku dosen penguji yang telah memberi ilmu, bimbingan, motivasi dan arahan selama pengerjaan skripsi.
4. Bapak Muhammad Abu Bakar Sidik, S.T., M.Eng., Ph.D., IPU selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro Universitas Sriwijaya.
5. Ibu Dr. Eng. Ir. Suci Dwijayanti, S.T., M.S., IPM., selaku Sekertaris Jurusan Teknik Elektro Universitas Sriwijaya .
6. Seluruh dosen Jurusan Teknik Elektro Universitas Sriwijaya yang telah mendidik dan memberikan ilmu selama masa perkuliahan.
7. Kak Redha Firata, dan kak Muhammad Chairul Umam selaku tim PLN yang sudah sangat membantu dalam proses menyelesaikan tugas akhir.

8. Misc Hani, Merizian Trista, Alda arafah, Rasendriya Dwi, Cizzy Levina, Putri Choirunnisyah, Nova Yutavia, Ni Made Desti dan Kania Puri Sahira yang telah membantu dalam menyelesaikan tugas akhir.
9. Untuk M. Asadel Gerty yang sudah sangat membantu dalam penyusunan skripsi
10. Teman-teman Teknik Elektro 2021 yang sudah membantu dan menemani selama proses perkuliahan.
11. Seluruh pihak yang tidak dapat disebutkan satu-persatu yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan tugas akhir hingga meraih gelar Sarjana Teknik.
12. Berterima kasih kepada diri sendiri yang telah berjuang secara individu dengan segala keterbatasan, tidak menyerah, dan semangat.

Penulis menyadari adanya kesalahan yang bersumber dari keterbatasan pengetahuan dan kemampuan pribadi dalam pembuatan dan penyelesaian tugas akhir ini. Oleh karena itu, penulis meminta maaf sebesar-besarnya dan mengharapkan kritik dan saran yang bersifat membangun dari seluruh pihak dan pembaca demi memperbaiki tugas akhir ini menjadi lebih baik. Akhir kata, penulis berharap semoga tugas akhir ini dapat bermanfaat dan menjadi referensi serta menambah ilmu bagi para pembaca dan semua pihak terutama bagi mahasiswa jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya dan masyarakat pada umumnya.

Palembang, 11 Juni 2025



Irtiza Syifa Kamila
NIM. 03041382126116

ABSTRAK

ANALISIS KOORDINASI SISTEM PROTEKSI *OVERCURRENT RELAY* DAN *RECLOSER* PADA PENYULANG DISTRIBUSI 20KV MENGUNAKAN METODE *FAILURE MODE AND EFFECT ANALYSIS* (FMEA)

(Irtiza Syifa Kamila, 03041382126116, 2025, 80 Halaman)

Sistem distribusi 20 kV di Gardu Induk Keramasan khususnya pada penyulang Bali sering mengalami gangguan hubung singkat akibat faktor eksternal, yang dapat menyebabkan pemadaman dan menurunkan keandalan penyulang. Oleh karena itu penulis membahas tentang koordinasi relai *overcurrent* (OCR) dan *recloser* pada penyulang Bali yang terhubung pada *Transformator* II 70/20 kV Gardu Induk Keramasan menggunakan metode *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA) untuk menganalisis keandalan pada penyulang tersebut. Setelah dilakukan perhitungan matematis maka didapatkan nilai hubung singkat tiga fasa sebesar 2976,0323 A, hubung singkat dua fasa sebesar 2578,6987 A dan arus hubung singkat satu fasa sebesar 1564,1639 A. Pada relai *Overcurrent* sisi *incoming* mendapat waktu kerja sebesar 0,69866 detik, pada sisi *outgoing* sebesar 0,299 detik, waktu kerja pada *recloser highset* sebesar 0,153 dan *lowset* sebesar 0,1227. Penggunaan metode FMEA untuk mengidentifikasi potensi kegagalan didapatkan hasil analisis keandalan penyulang Bali dengan indeks keandalan SAIFI sebesar 1,64395, SAIDI sebesar 1,677574297 dan CAIDI sebesar 1,020453. Jika dibandingkan dengan SPLN maka nilai dari indeks keandalan penyulang Bali masuk dalam kategori tidak andal.

Kata Kunci : Koordinasi proteksi, *recloser*, *overcurrent relay*, Indeks Keandalan, Metode FMEA

ABSTRACT

ANALYSIS OF OVERCURRENT RELAY AND RECLOSER PROTECTION SYSTEM COORDINATION ON 20KV DISTRIBUTION FEEDERS USING FAILURE MODE AND EFFECT ANALYSIS (FMEA) METHOD

(Irtiza Syifa Kamila, 03041382126116, 2025, 80 Halaman)

The 20 kV distribution system at the Keramasan Substation, especially at the Bali feeder, often experiences short circuit disturbances due to external factors, which can cause blackouts and reduce the reliability of the feeder. Therefore, the author discusses the coordination of the overcurrent relay (OCR) and recloser on the Bali feeder connected to the 70/20 kV Transformer II of the Keramasan Substation using the Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) method to analyze the reliability of the feeder. After mathematical calculations, the three-phase short circuit value was obtained as 2976.0323 A, the two-phase short circuit was 2578.6987 A and the single-phase short circuit current was 1564.1639 A. On the incoming side of the Overcurrent relay, the working time was 0.69866 seconds, on the outgoing side it was 0.299 seconds, the working time on the highset recloser was 0.153 and the lowset was 0.1227. The use of FMEA method to identify potential failures obtained the results of the reliability analysis of the Bali feeder with a SAIFI reliability index of 1.64395, SAIDI of 1.677574297 and CAIDI of 1.020453. When compared with SPLN, the value of the Bali feeder reliability index is included in the unreliable category.

Keywords: Protection coordination, recloser, overcurrent relay, Reliability Index, FMEA method

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
HALAMAN PERNYATAAN DOSEN	iii
PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS.....	iv
HALAMAN PERNYATAAN INTEGRITAS	v
KATA PENGANTAR	vi
ABSTRAK	viii
ABSTRACT.....	ix
DAFTAR ISI	x
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR TABEL	xv
DAFTAR RUMUS	xvii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Batasan Masalah.....	3
1.5 Sistematika Penulisan.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Sistem Tenaga Listrik.....	5
2.2 Sistem Distribusi Tenaga Listrik.....	6
2.2.1 Jaringan Distribusi Primer.....	7
2.2.2 Jaringan Distribusi Sekunder	7
2.3 Jaringan Tegangan Menengah.....	8
2.4 Konfigurasi Jaringan Tegangan Menengah.....	8
2.5 Penyulang	9
2.6 Gangguan Jaringan Distribusi Listrik.....	10
2.6.1 Jenis-jenis Gangguan Jaringan Distribusi Listrik	10
2.7 Sistem Proteksi Tenaga Listrik.....	11
2.8 <i>Recloser</i>	12

2.8.1 Selang Waktu Penutup Balik Otomatis (<i>Recloser</i>)	12
2.8.2 Cara Kerja <i>Recloser</i>	13
2.8.3 Klasifikasi <i>Recloser</i>	13
2.9 Relai Proteksi.....	14
2.10 <i>Over Current Relay</i> (OCR)	15
2.11 Analisa Hubung Singkat.....	18
2.11.1 Impedansi <i>Transformator</i>	19
2.11.2 Impedansi Sumber	20
2.11.3 Perhitungan Impedansi Penyulang.....	21
2.11.4 Perhitungan Impedansi <i>Ekivalen</i> Penyulang.....	22
2.11.5 Arus Gangguan Hubung Singkat Pada Penyulang.....	23
2.11.6 Perhitungan Waktu Kerja <i>Recloser</i> dan <i>Over Current Relay</i>	24
2.11.7 Perhitungan <i>Setting Recloser</i> dan <i>Over Current Relay</i>	24
2.12 Keandalan Sistem Distribusi	25
2.12.1 Faktor – Faktor Keandalan Sistem Distribusi	25
2.12.2 Standar SPLN.....	26
2.12.3 <i>System Average Interruption Duration Index (SAIDI)</i>	28
2.12.4 <i>System Average Interruption Frequency Index (SAIFI)</i>	28
2.12.3 <i>Customer Average Interruption Duration Index (CAIDI)</i>	28
2.13 <i>Failure Mode and Effect Analysis (FMEA)</i>	29
2.13.1 Skema dan Prosedur metode FMEA (<i>Failure Mode and Effect Analysis</i>)	29
BAB III METODE PENELITIAN.....	31
3.1 Lokasi dan Waktu Penelitian.....	31
3.2 Metode Pengumpulan data	31
3.2.1 Studi Pustaka.....	31
3.2.2 Pengumpulan Data.....	31
3.3 <i>Variable Data</i>	32
3.4 Pengolahan data.....	32
3.5 Analisa data	33
3.6 Menarik Kesimpulan	33
3.7 Diagram Alir Penelitian	34
BAB IV PEMBAHASAN	35
4.1 Umum	35

4.2 Data Peralatan.....	36
4.2.1 Data Teknis Jaringan.....	36
4.2.2 Data <i>Transformator</i>	37
4.2.3 Data Teknis NGR.....	38
4.2.4 Data Penyulang Bali	38
4.2.5 Data Relai OCR	39
4.2.6 Data <i>Recloser</i>	40
4.3 Perhitungan Impedansi	40
4.3.1 Perhitungan Arus Nominal <i>Transformator</i> dan Impedansi Dasar	40
4.3.2 Impedansi Sumber.....	41
4.3.2 Reaktansi <i>Transformator</i>	41
4.3.4 Impedansi Penyulang	42
4.3.4 Impedansi Ekuivalen Jaringan	45
4.4 Perhitungan Arus Gangguan Hubung Singkat.....	46
4.5 Perhitungan Nilai <i>Setting Overcurrent Relay</i> dan <i>Recloser</i>	48
4.5.1 Perhitungan Waktu Kerja <i>Overcurrent Relay</i>	48
4.5.2 Perhitungan Waktu Kerja <i>Recloser</i>	50
4.6 Simulasi ETAP koordinasi <i>recloser</i> dan <i>Overcurrent Relay</i>	51
4.6.1 Simulasi ketika terjadi gangguan pada bus yang terdekat dengan <i>recloser</i>	51
4.6.2 Simulasi ketika terjadi gangguan pada bus yang paling jauh dari <i>recloser</i>	53
4.6.3 Simulasi koordinasi relai OCR Incoming dan Outgoing	54
4.6.4 Simulasi pengaruh perubahan kondisi beban terhadap koordinasi relai OCR dan <i>recloser</i>	55
4.6.5 Kurva Koordinasi sistem proteksi.....	57
4.7 Keandalan.....	57
4.7.1 Panjang Saluran Penyulang Bali	58
4.7.2 Data Peralatan Penyulang Bali.....	59
4.7.3 Panjang Saluran Penyulang Bali	59
4.7.4 Mode Kegagalan pada Penyulang Bali	60
4.8 <i>Failure rate</i> dan <i>Annual Outage Time</i> Penyulang Bali	61
4.9 Indeks Keandalan pada Penyulang Bali	66
4.10 Perbandingan Indeks Keandalan pada Penyulang Bali dengan SPLN dan IEEE	67

4.11 Analisa	69
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	75
5.1 Kesimpulan.....	75
5.2 Saran.....	75
DAFTAR PUSTAKA.....	76

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Siklus Pada Sistem Tenaga Listrik.....	5
Gambar 2.2 Diagram <i>single line system</i> distribusi.....	7
Gambar 2.3 Struktur Jaringan radial	8
Gambar 2.4 Struktur Jaringan <i>Loop</i>	9
Gambar 2.5 Sturuktur Jaringan <i>Spindel</i>	9
Gambar 2.6 <i>Instantaneous</i>	15
Gambar 2.7 <i>Defnite Time</i>	16
Gambar 2.8 Karakteristik <i>Inverse Relay</i>	16
Gambar 2.9 Very Inverse dan Extremely Inverse	18
Gambar 2.10 Skema FMEA	29
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian.....	34
Gambar 4.1 Single Line Diagram Gardu Induk Keramasan	35
Gambar 4.2 <i>Transformator</i> Daya 2-30 MVA 70/20 kV	37
Gambar 4.3 Name Plate Neutral Grounding Resistor	38
Gambar 4.4 <i>Name Plate</i> Penyulang Bali GI Keramasan	38
Gambar 4.5 <i>Single Line Diagram</i> Penyulang Bali GI Keramasan.....	42
Gambar 4.6 Simulasi ETAP koordinasi <i>recloser</i> trip ketika terjadi gangguan..	51
Gambar 4.7 Sequence of operation events	52
Gambar 4.8 Simulasi ETAP koordinasi <i>recloser</i> trip Ketika terjadi gangguan pada Bus paling jauh.....	53
Gambar 4.9 Sequence of operation events	53
Gambar 4.10 Simulasi ETAP koordinasi <i>relay incoming dan outgoing</i>	54
Gambar 4.11 Sequence of operation events	54
Gambar 4.12 Simulasi pengaruh perubahan kondisi beban terhadap koordinasi relai OCR dan <i>recloser</i>	55
Gambar 4.13 Sequence of operation events	56
Gambar 4.14 Simulasi ETAP kurva koordinasi	57
Gambar 4.15 <i>Single Line Diagram</i> Penyulang Bali <i>Mapsource</i> Garmin.....	58
Gambar 4.16 Grafik Perbandingan Indeks Keandalan Metode FMEA dengan SPLN dan IEEE	68

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Karakteristik Operasi Waktu Kerja Jenis Relai <i>Inverse Time</i>	16
Tabel 2.2 Parameter Standar Kurva Waktu	17
Tabel 2.3 Nilai Laju Kegagalan (<i>Failure Rate</i>) dan Waktu Perbaikan Berdasarkan SPLN 59 : 1985	27
Tabel 3.1 Matriks Waktu Penelitian	31
Tabel 4.1 Data Teknis Jaringan.....	36
Tabel 4.2 Data <i>Transformator</i>	37
Tabel 4.3 Data Teknis NGR.....	38
Tabel 4.4 Data Penyulang	38
Tabel 4.5 Impedansi urutan positif, negatif dan nol kabel penghantar berdasarkan standar PLN 64: 1985	39
Tabel 4.6 Data Jenis Penghantar dan Panjang Penghantar.....	39
Tabel 4.7 Data Relai OCR	39
Tabel 4.8 Data <i>Recloser</i>	40
Tabel 4.9 Impedansi Urutan Positif Negatif dan Nol Penyulang Bali	45
Tabel 4.9 Impedansi Urutan Positif Negatif dan Nol Penyulang Bali	45
Tabel 4.10 Impedansi Ekuivalen Urutan Positif Negatif dan Nol Penyulang Bali.....	46
Tabel 4.11 Hasil Perhitungan Hubung Singkat 3 Fasa	46
Tabel 4.12 Hasil Perhitungan Hubung Singkat 2 Fasa	47
Tabel 4.13 Hasil Perhitungan Hubung Singkat 1 Fasa	48
Tabel 4.14 Data <i>Recloser</i> pada Penyulang Bali.....	50
Tabel 4.15 Hasil Perhitungan relai OCR Manual dengan Standar PLN 64:1985.....	51
Tabel 4.16 Hasil Perhitungan <i>Recloser</i> Manual dengan Standar PLN 64:1985	51
Tabel 4.17 Tabel Panjang Saluran Penyulang Bali.....	59
Tabel 4.18 Tabel Panjang Saluran Penyulang Bali.....	59
Tabel 4.19 Data <i>Transformator</i> Distribusi dan Jumlah Pelanggan.....	60
Tabel 4.20 Identifikasi Mode Kegagalan Penyulang Bali	60
Tabel 4.21 Perhitungan nilai λ dan U peralatan pada LP1.....	62
Tabel 4.22 Perhitungan nilai λ dan U peralatan pada LP2.....	63
Tabel 4.23 Perhitungan nilai λ dan U peralatan pada LP5.....	64
Tabel 4.24 Perhitungan nilai λ dan U peralatan pada LP7.....	65
Tabel 4. 25 Perhitungan Indeks Keandalan Penyulang Bali	66

Tabel 4. 26 Hasil Perhitungan Indeks Keandalan pada Penyulang Bali	67
Tabel 4. 27 Hasil Perhitungan Indeks Keandalan pada Penyulang Bali	67
Tabel 4.27 Kesimpulan Grafik <i>Time Current Characteristic</i> (TCC).....	73
Tabel 4.28 Waktu Dan Arus Kerja Berdasarkan Masing Masing Relai	73

DAFTAR RUMUS

Rumus 2.1 Karakteristik <i>time dial</i>	18
Rumus 2.2 Arus gangguan	18
Rumus 2.3 Arus Impedansi <i>transformator</i>	19
Rumus 2.4 Nilai Impedansi <i>transformator 20 kV</i>	20
Rumus 2.5 Impedansi sumber 70 kV	20
Rumus 2.6 Impedansi sumber 20 kV	20
Rumus 2.7 Impedansi sumber per unit.....	20
Rumus 2.8 Reaktansi Transformator.....	20
Rumus 2.9 Reaktansi <i>Transformator</i> urutan nol.....	21
Rumus 2.10 Impedansi penyulang <i>positive dan negative</i>	21
Rumus 2.11 Impedansi penyulang <i>positive dan negative</i> dalam persen	21
Rumus 2.12 Impedansi penyulang <i>positive dan negative</i> dalam pe unit.....	21
Rumus 2.13 Impedansi penyulang urutan nol dalam persen.....	21
Rumus 2.14 Impedansi penyulang urutan nol dalam per unit.....	21
Rumus 2.15 Impedansi ekivalen urutan <i>positif dan negative</i>	22
Rumus 2.16 Impedansi ekivalen urutan <i>positif dan negative</i> dalam per unit	22
Rumus 2.17 Impedansi ekivalen urutan nol	22
Rumus 2.18 Impedansi ekivalen urutan nol dalam per unit	22
Rumus 2.19 Gangguan hubung singkat 3 fasa	22
Rumus 2.20 Gangguan hubung singkat 3 fasa dalam per unit.....	23
Rumus 2.21 Gangguan hubung singkat 2 fasa	23
Rumus 2.22 Gangguan hubung singkat 2 fasa dalam per unit.....	23
Rumus 2.23 Gangguan hubung singkat 1 fasa ke tanah.....	23
Rumus 2.24 Gangguan hubung singkat 1 fasa ke tanah dalam per unit.....	24
Rumus 2.25 Waktu kerja <i>recloser dan Overcurrent Relay</i>	24
Rumus 2.26 Setting primer <i>recloser dan Overcurrent Relay</i>	24
Rumus 2.27 Setting sekunder <i>recloser dan Overcurrent Relay</i>	24
Rumus 2.28 <i>Failure Rate</i>	25
Rumus 2.29 <i>Unavaibility</i>	26
Rumus 2.27 <i>System Average Interruption Duration Index (SAIDI)</i>	28

Rumus 2.28	<i>System Average Interruption Frequency Index (SAIFI)</i>	28
Rumus 2.29	<i>Customer Average Interruption Duration Index (CAIDI)</i>	28

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Sistem distribusi merupakan bagian dari sistem tenaga listrik yang bertugas untuk menyalurkan tenaga listrik berkapasitas kepada konsumen. Seiring dengan meningkatnya jumlah pengguna listrik setiap tahunnya, hal ini menyebabkan sistem distribusi 20 kV rentan terhadap berbagai gangguan [1]. Salah satu gangguan yang sering terjadi pada sistem distribusi di sisi penyulang 20 KV adalah gangguan yang disebabkan oleh arus hubung singkat. Jika *setting* pengaman pada *outgoing feeder* tidak dilakukan dengan baik, gangguan arus hubung singkat dapat mengakibatkan pemutusan pengaman pada *incoming feeder*, yang berisiko menyebabkan pemadaman listrik di seluruh *feeder*. Gangguan hubung singkat ini menghasilkan arus yang sangat tinggi, sehingga diperlukan sistem proteksi untuk melindungi peralatan tersebut [2]

Untuk mengatasi masalah tersebut, diperlukan peralatan proteksi yang mampu menangani gangguan, salah satunya adalah *recloser*. *Recloser* merupakan perangkat proteksi yang berfungsi untuk mengurangi area yang terdampak oleh gangguan. Saat terjadi gangguan, *recloser* berupaya untuk tidak memutus aliran daya. Jika pemutusan harus tetap dilakukan, maka diusahakan dalam waktu yang sesingkat mungkin. *Recloser* bertugas untuk memberikan perintah pemutusan atau menghubungkan aliran daya secara otomatis[3].

Dalam operasinya, *recloser* memerlukan bantuan dari berbagai perangkat proteksi, salah satunya adalah *Over Current Relay* atau relai OCR. Fungsi utama dari relai OCR untuk mendeteksi kemungkinan gangguan yang terjadi, sehingga dapat memberikan sinyal kepada *recloser* untuk memutus sirkuit. Koordinasi antara *recloser* dan relai OCR sangat penting, untuk mengoptimalkan respons terhadap gangguan, sehingga dapat meminimalkan waktu pemadaman[4]. Oleh karena itu, apabila terjadinya kegagalan peralatan listrik akibat gangguan hubung singkat dan kurangnya koordinasi *recloser* dan relai OCR maka diperlukan evaluasi keandalan.

Evaluasi ini dapat mengidentifikasi jenis kegagalan dan dampaknya terhadap operasional jaringan distribusi tenaga listrik. Salah satu metode untuk menentukan indeks keandalan adalah FMEA (*Failure Modes and Effects Analysis*). FMEA dapat mengidentifikasi potensi kegagalan sebelum terjadi, memungkinkan mengambil tindakan pencegahan serta memprioritaskan kegagalan yang perlu ditangani[5].

Adapun beberapa penelitian terdahulu dapat dijadikan sebagai referensi yaitu, penelitian oleh Muchammad Arifin Universitas Muhammadiyah Surakarta “Koordinasi Sistem Proteksi *Recloser* dan *Over Current Relay* (OCR) Pada Penyulang Menggunakan ETAP 12.6” tahun 2022 yang membahas salah satu masalah penting dalam analisis koordinasi sistem proteksi pada *recloser* dan relai OCR, dalam penelitian ini hasil setting sistem proteksi tersebut dan perhitungan hasil *setting* relai OCR dan *recloser* tidak dibandingkan menggunakan standar yang berlaku seperti SPLN dan IEC ataupun IEEE[6]. Lalu terdapat penelitian yang dilakukan oleh Indri Safitri Universitas Islam Sultan Agung Semarang “Analisa Koordinasi Setting Proteksi *Over Current Relay* (OCR) *Outgoing* 20 kV dan *Recloser* pada *Transformer* II 60 MVA *Feeder* RBG 01 di Gardu Induk 150 kV Rembang” tahun 2020, didalam penelitiannya terdapat beberapa variabel pengujian yang digunakan agar mendapatkan hasil yang optimal serta penelitian ini melakukan perbandingan dengan standar SPLN dan IEC. Didalam penelitian ini menggunakan metode waterfall yang dimana memiliki kekurangan jika ada kesalahan dalam tahap awal, kesalahan tersebut dapat berlanjut hingga tahap akhir, yang dapat menyebabkan analisis gagal[1].

Adapun tujuan dari penelitian ini agar sistem distribusi penyulang 20KV dapat bekerja terkoordinasi dengan sistem proteksi sehingga diperoleh waktu kerja proteksi yang tepat, dan akurat. Dilihat dari laporan gangguan penyulang, gangguan hubung singkat yang terjadi pada relai arus lebih sisi jaringan penyulang 20KV, dan sistem proteksi *setting recloser* menjadi latar belakang permasalahan tersebut[7]. Untuk itu penulis mempersiapkan tugas akhir yang berjudul **“ANALISIS KOORDINASI SISTEM PROTEKSI OVER CURRENT RELAY DAN RECLOSER PADA PENYULANG DISTRIBUSI 20KV MENGGUNAKAN METODE FAILURE MODE AND EFFECT ANALYSIS (FMEA)”**.

1.2 Rumusan Masalah

1. Bagaimana aplikasi ETAP 19.0.1 membantu dalam simulasi dan evaluasi koordinasi relai OCR dan *Recloser* pada penyulang distribusi 20 kV dapat dilakukan dengan optimal ?
2. Apa saja tantangan koordinasi proteksi pada sistem distribusi yang mengalami perubahan kondisi beban?
3. Bagaimana metode FMEA dapat mengurangi waktu pemutusan dan meningkatkan keandalan sistem?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengevaluasi koordinasi proteksi antara lain yaitu untuk :

1. Menganalisis koordinasi setting relai OCR dan *recloser* dapat bekerja dengan baik pada sistem distribusi 20 KV menggunakan simulasi perangkat lunak ETAP 19.0.1.
2. Membandingkan perhitungan setting relai OCR dan *recloser* dengan standar SPLN dan IEEE
3. Mengetahui nilai keandalan sistem distribusi melalui metode *Failure Mode And Effect Analysis* (FMEA) dan membandingkan dengan standar SPLN Dan IEEE

1.4 Batasan Masalah

Penelitian ini hanya akan difokuskan pada analisis koordinasi proteksi antara relai OCR dan *Recloser* pada jaringan distribusi 20 kV dengan simulasi menggunakan ETAP 19.1.0. Penelitian ini tidak mencakup aspek fisik perangkat, tetapi lebih pada perhitungan, pengaturan waktu operasi dan karakteristik relai.

1.5 Sistematika Penulisan

Dibawah ini merupakan struktur penulisan yang disusun guna mempermudah penyusunan penelitian dalam tugas akhir ini:

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini berisi pembahasan mengenai latar belakang, tujuan, manfaat, lingkup permasalahan, serta struktur penulisan dari tugas akhir ini.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Berisi landasan teori pendukung sesuai yang dibahas yakni tentang gangguan sistem kelistrikan, sistem proteksi serta cara perhitungan untuk penyelesaian topik permasalahannya.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Berisi alur dari penelitian secara teratur yakni metode yang dipakai dalam penulisan tugas akhir ini, lokasi dan waktu penelitian, *variabel* data, langkah-langkah analisis data dan diagram alir penelitian dan disimulasi perangkat lunak seperti ETAP untuk membantu menentukan setting relai dan *setting recloser*.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini menyajikan hasil simulasi kinerja relai OCR dan *recloser* dalam berbagai skenario gangguan. Hasilnya mencakup analisis kinerja relai dalam mendeteksi gangguan dan waktu respon yang dibutuhkan untuk mengisolasi gangguan agar tidak meluas. Selain itu, hasil simulasi menunjukkan efektivitas pengaturan relai dalam mencegah pemadaman total.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Bagian ini menjelaskan hasil kesimpulan dari penelitian yang telah dilakukan, serta menyampaikan saran penulis kepada pembaca mengenai keterbatasan dan kekurangan penelitian tersebut.

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR PUSTAKA

- [1] I. Safitri, dan Agus Adhi Nugroho, P. Studi Teknik Elektro, F. Teknologi Industri, U. Islam Sultan Agung Semarang, and J. Raya Kaligawe Km, “Analisa Koordinasi Setting Proteksi Over Current Relay (OCR) Outgoing 20 kV dan Recloser pada Trafo II 60 MVA Feeder RBG 01 di Gardu Induk 150 kV Rembang.” doi: <http://dx.doi.org/10.26623/elektrika.v12i1.2136>.
- [2] T. Juniarto and M. T. Tamam, “Analisis Koordinasi Pengaman Over Current Relay, Ground Fault Relay, Dan Recloser Pada Penyulang Majenang 08 PT. PLN (Persero) Gardu Induk Majenang Cilacap,” 2019. doi: <http://jurnalnasional.ump.ac.id/index.php/JRRE>.
- [3] S. B. S. M. K. Jordan, “Analisis Penempatan Recloser Guna Memaksimalkan Kinerja Sistem Tenaga Listrik di Jaringan Distribusi 20 KV Pada PT. PLN (Persero) UNIT PELAKSANA PELAYANAN PELANGGAN (UP3) SIGLI,” 2021, doi: <https://doi.org/10.29103/jee.v10i1.4984>.
- [4] N. A. S. H. N. Mukti Ari Bayu, “Analisa Penggunaan Recloser 3 Phasa 20 KV Penyulang Pajalau Untuk Pengaman Arus Lebih PT. PLN (PERSERO) ULP KALEBAJENG,” 2023, doi: <https://doi.org/10.3785/kjst.v1i3.135>.
- [5] M. Umar *et al.*, “Analisa Keandalan Sistem Distribusi 20KV di PT. PLN RAYON BLORA Dengan Metode FMEA.” Accessed: Dec. 28, 2024. [Online]. Available: <http://repository.its.ac.id/id/eprint/44119>
- [6] MUCHAMMAD ARIFIN, “Analisis Koordinasi Sistem Proteksi Overcurrent Relay dan Recloser Pada Penyulang MJO5 DI PT PLN UP3 KLATEN Menggunakan Aplikasi ETAP 12.6.0,” 2022, Accessed: Dec. 28, 2024. [Online]. Available: <http://eprints.ums.ac.id/id/eprint/102233>
- [7] I. H. Wibisono, H. Dan, and S. Handoko, “Analisis Setting Relai OCR, GFR, dan Recloser Pasca Rekonfigurasi Penyulang RWO 05 dan RWO 07 di Gardu Induk Rawalo Menggunakan ETAP 12.6.” [Online]. Available: <https://ejournal3.undip.ac.id/index.php/transient>
- [8] M. K. Darmawan and T. Elektro, “Analisa Sistem Tenaga Listrik Menggunakan Etap Software,” 2022. doi: <http://repoteknologi.id/index.php/repoteknologi/issue/view/5>.
- [9] D. F. J. Tasiam and M. Pd, “Proteksi Sistem Tenaga Listrik,” 2017. Accessed: Dec. 28, 2024. [Online]. Available: <http://repository.unima.ac.id/bitstream/123456789/238/1/PROTEKS>

I%20SISTEM%20TENAGA%20%20%20%20LISTRIK-COMBINE.pdf

- [10] I. S. Suripto and M. Eng, “Sistem Tenaga Listrik,” 2017. Accessed: Dec. 28, 2024. [Online]. Available: <https://slametumy.wordpress.com/wp-content/uploads/2020/02/buku-sistem-tenaga-listrik-2018.pdf>
- [11] A. Prastyo, T. Wati, I. T. Adhi, and T. Surabaya, “SNESTIK Seminar Nasional Teknik Elektro, Sistem Informasi, dan Teknik Informatika Analisa Koordinasi Relay Proteksi OCR dan Recloser Pada Sistem Distribusi 20kV”, doi: 10.31284/p.snestik.2024.5545.
- [12] R. A. Hincapie I., R. A. Gallego R., and J. R. S. Mantovani, “A decomposition approach for integrated planning of primary and secondary distribution networks considering distributed generation,” *International Journal of Electrical Power and Energy Systems*, vol. 106, pp. 146–157, Mar. 2019, doi: 10.1016/j.ijepes.2018.09.040.
- [13] K. kunci, B. Listrik, G. Distribusi, and K. Beban, “e-journal Teknik Elektro dan Komputer.”
- [14] Putri Wulandari, “Analisis Penyetelan Rele Gangguan Tanah (GFR) terhadap Gangguan Hubung Singkat Satu Fasa ke Tanah pada Penyulang Bali dan Papua di Gardu Induk Keramasan,” 2023, doi: https://repository.unsri.ac.id/116331/2/RAMA_20201_03041381924_073_0007078005_01_front_ref.pdf.
- [15] C. B. Jones, M. Lave, and R. Darbali-Zamora, “Overall capacity assessment of distribution feeders with different electric vehicle adoptions,” in *IEEE Power and Energy Society General Meeting*, IEEE Computer Society, Aug. 2020. doi: 10.1109/PESGM41954.2020.9281844.
- [16] M. B. Nopi Aryanto, “Tinjauan Gangguan Jaringan Distribusi 20 KV Penyulang Muara Aman PT. PLN (PERSERO)ULP RAYON MUARA AMAN,” 2021, doi: <https://www.ejournal.polraf.ac.id/index.php/JTERAF/article/view/63>.
- [17] M. T. Ir. Hanoko S. and M. T. Ir. Sri Lestari, “Proteksi Sistem Tenaga Listrik,” 2022.
- [18] Charly Hutabarat, “Analisa Penggunaan Recloser Pada Sutm 20 kV Sistem 3 Fasa 4 Kawat Di PT PLN (Persero) ULP Siborongborong,” 2022, doi: <https://repository.uhn.ac.id/handle/123456789/7393>.
- [19] Arturo Conde Enriquez, *Overcurrent Relay Advances For Modern Electricity Networks*. 2023.

- [20] A. A. Nisa, A. R. Idris, S. Stabilisator Kamera Menggunakan Sensor, A. Nur An Nisa, and A. Rosyid Idris, “Analisis sistem proteksi di PT. PLN (Persero) sektor pembangkitan kendari unit PLTD Wua Wua,” 2019. [Online]. Available: <http://journal2.um.ac.id/index.php/tekno>
- [21] V. Frandhiyawan, I. Winarno dan Daeng Rahmatullah Jurusan Teknik Elektro, F. Teknik dan Ilmu Kelautan, and U. Hang Tuah Jl Arif Rahman Hakim No, *Rancang Bangun Rele Arus Lebih Berbasis Internet of Things (IoT) dan Arduino untuk Proteksi Elektronik 1 Fasa*. 2019.
- [22] Dwi Putri Wardani, “Analisa Over Current Relay (OCR) Pada Transformator Daya 60 MVA Dengan Simulasi Matlab Di Gardu Induk Paya Geli,” 2020.
- [23] G. Ardha Ibrahimusa, T. Joko, A. Wrahatnolo, and A. Imam, “Analisis Koordinasi Setting Relay Proteksi Pada Jaringan Distribusi 20KV Penyulang Brenggolo Di PT.PLN UP3 Kediri Gardu Induk Pare,” 2022.
- [24] D. L. Rura, L. S. Patras, and S. Silimang, “Evaluasi Keandalan Sistem Distribusi Menggunakan Indeks SAIFI dan SAIDI Pada PT. PLN (PERSERO) Area Bitung,” 2021. Accessed: Dec. 28, 2024. [Online]. Available: <http://repo.unsrat.ac.id/id/eprint/3337>
- [25] E. L. Jurnal and P.-I. Sains, “Keandalan sistem jaringan distribusi 20KV di PT. PLN Rayon Ploso Menggunakan Metode FMEA,” vol. 3, no. 2, pp. 2527–6336, 2021.
- [26] Perusahaan Listrik Negara, “SPLN 59 : 1985, Keandalan Pada Sistem distribusi 20 kV dan 6kV,” Jakarta, 1985.
- [27] IEEE, “IEEE Guide for Electric Power Distribution Reliability Indices, vol. 15,” *The Institute of Electrical and Electronics Engineers*, 2003.
- [28] 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, Jan. 2024, doi: 10.23960/jitet.v12i1.3617.