

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PERNYATAAN KEASLIAN	ii
HALAMAN PENGESAHAN DOSEN PEMBIMBING	iii
HALAMAN PENGESAHAN DOSEN PENGUJI	iv
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI ILMIAH	v
HALAMAN PERSEMBAHAN DAN MOTTO	vi
KATA PENGANTAR	vii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR TABEL	xvi
ABSTRAK	xviii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Tujuan	3
1.5 Metode Penelitian	4
1.6 Sistematika Penulisan	4
BAB II DASAR TEORI	6
2.1 Sistem Distribusi Tenaga Listrik	6
2.2 <i>Gas Insulated Substation</i> (GIS)	7
2.3 Sistem Jaringan Distribusi Tenaga Listrik	7
2.4 Gangguan pada Jaringan Sistem Distribusi	12

2.4.1	Macam-macam Gangguan pada Sistem Distribusi	12
2.4.2	Penyebab Gangguan.....	13
2.4.3	Upaya Mengatasi Gangguan	14
2.5	Menentukan Nilai Gangguan Hubung Singkat.....	15
2.5.1	Sistem Satuan Per Unit (PU).....	15
2.5.2	Komponen Simetris.....	15
2.5.3	Komponen Simetris dari Fasor-Fasor Tak Simetris.....	17
2.5.4	Menghitung Impedansi pada Sistem Distribusi	18
2.5.5	Gangguan Hubung Singkat	20
2.6	Sistem Proteksi	23
2.6.1	Fungsi Sistem Proteksi	23
2.6.2	Persyaratan Sistem Proteksi	24
2.6.3	Daerah Pengamanan.....	26
2.6.4	Pembagian Tugas dalam Sistem Proteksi	26
2.7	Relay Proteksi	27
2.7.1	Fungsi <i>Relay</i> Proteksi.....	28
2.8	<i>Relay</i> Arus Lebih.....	28
2.8.1	Prinsip Kerja <i>Relay</i> Arus Lebih	29
2.8.2	Karakteristik <i>Relay</i> Arus Lebih.....	30
2.8.3	<i>Setting Relay</i> Arus Lebih	33
2.9	<i>Relay</i> Gangguan Tanah	34
2.9.1	Prinsip Kerja <i>Relay</i> Gangguan Tanah	34
2.9.2	<i>Setting Relay</i> Gangguan Tanah	35
2.10	<i>Recloser</i> (Penutup Balik Otomatis / PBO).....	36
2.10.1	Fungsi <i>Relay Recloser</i> / Penutup Balik Otomatis	36

2.10.2 Prinsip Kerja <i>Recloser</i>	36
2.10.3 Waktu Kerja <i>Recloser</i>	37
2.11 Koordinasi <i>Relay</i> Proteksi.....	38
2.12 <i>Software</i> ETAP (<i>Electric Transient Analysis Program</i>).....	40
BAB III METODE PENELITIAN	45
3.1 Arsitektur Model Penelitian	45
3.2 Kondisi dan Data Existing pada GIS Kalisari.....	46
3.3 Pemodelan Jaringan.....	49
3.4 Simulasi Aliran Daya dengan ETAP 12.6.0.....	52
3.5 Analisis Gangguan Hubung Singkat	54
3.4.1 Analisis Hubung Singkat dengan Perhitungan Manual	54
3.4.2 Analisis Simulasi Hubung Singkat Menggunakan ETAP 12.6.0....	55
3.6 Menentukan <i>Setting Relay</i> OCR, GFR, dan <i>Recloser</i>	57
3.7 Simulasi dan Analisis Koordinasi <i>Relay</i> OCR, GFR, dan <i>Recloser</i>	57
3.8 Evaluasi Hasil Simulasi Koordinasi dan <i>Setting Relay</i> OCR, GFR, dan <i>Recloser</i>	61
3.9 Prosedur Mekanisme Pengoperasian ETAP 12.6.0.....	62
3.8.1 Membuka <i>Project File</i> pada ETAP 12.6.0.....	62
3.8.2 Menyimpan <i>Project File</i> pada ETAP 12.6.0.....	66
3.10 Langkah Penelitian	67
BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN	68
4.1 Simulasi Aliran Daya	68
4.2 Perhitungan Arus Hubung Singkat.....	70
4.2.1 Menghitung Impedansi <i>Feeder</i>	70
4.2.2 Menghitung Impedansi Jaringan dalam Satuan per Unit (pu)	72

4.2.3 Menghitung Arus Hubung Singkat	74
4.3 Perhitungan <i>Setting Relay</i> Proteksi OCR, GFR, dan <i>Recloser</i>	78
4.3.1 Perhitungan <i>Setting Relay Outgoing</i>	78
4.3.2 Perhitungan <i>Setting Relay Incoming</i>	80
4.3.3 Perhitungan <i>Setting Relay Recloser</i>	81
4.4 Evaluasi Koordinasi Proteksi	84
4.4.1. Perbandingan <i>Setting</i> Proteksi <i>Existing</i> dan <i>Resetting</i>	84
4.4.2. Perbandingan Hasil Simulasi Koordinasi Proteksi	86
BAB V PENUTUP	105
5.1 Kesimpulan.....	105
5.2 Saran.....	106
DAFTAR PUSTAKA	107
LAMPIRAN	109

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Penyaluran tenaga listrik dari pembangkit ke konsumen [1]	6
Gambar 2. 2 Jaringan distribusi <i>radial</i> [1]	9
Gambar 2. 3 Jaringan distribusi <i>loop</i> [1].....	10
Gambar 2. 4 Jaringan distribusi <i>spindle</i> [1]	11
Gambar 2. 5 Konversi Xs dari 150 kV ke 20 kV [6]	18
Gambar 2. 6 Gangguan hubung singkat tiga fasa [1].....	20
Gambar 2. 7 Gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah [1].....	21
Gambar 2. 8 Gangguan hubung singkat dua fasa [7].....	22
Gambar 2. 9 Gangguan hubung singkat dua fasa ke tanah [7].....	23
Gambar 2. 10 Pembagian daerah proteksi pada sistem tenaga [7].....	26
Gambar 2. 11 Rangkaian <i>relay</i> proteksi [1], [12]	27
Gambar 2. 12 Rangkaian pengawatan <i>relay</i> arus lebih (OCR) [12]	29
Gambar 2. 13 Karakteristik <i>relay</i> waktu seketika [13]	30
Gambar 2. 14 Karakteristik <i>relay</i> waktu <i>definite</i> [13]	31
Gambar 2. 15 Karakteristik <i>relay</i> waktu <i>inverse</i> karakteristik IEC [11]	32
Gambar 2. 16 Rangkaian pengawatan <i>relay</i> gangguan tanah (GFR) [1]	35
Gambar 2. 17 Cara kerja <i>recloser</i> [14].....	37
Gambar 2. 18 Kawasan pengamanan dalam sebuah koordinasi proteksi [2].....	38
Gambar 2. 19 Kurva koordinasi kerja antara <i>Relay PMT Incoming</i>	39
Gambar 2. 20 Kurva koordinasi kerja antara <i>Relay PMT Outgoing</i> dengan <i>Recloser</i> [14].....	40
Gambar 2. 21 Icon ETAP versi 12.6.0	41
Gambar 2. 22 Tampilan jendela program ETAP 12.6.0.....	42
Gambar 2. 23 Contoh aliran daya dalam program ETAP 12.6.0.....	44
Gambar 3. 1 Arsitektur Model Penelitian Gangguan 3 fasa pada GIS Kalisari.....	45
Gambar 3. 2 Bentuk diagram satu garis di Gardu Induk Kalisari	46
Gambar 3. 3 Pemodelan diagram satu garis Gardu Induk Kalisari Trafo I 60 MVA	50
Gambar 3. 4 Data MVA hubung singkat <i>Power Grid</i> pada ETAP 12.6.0.....	51

Gambar 3. 5 Data Trafo I GI Kalisari 60 MVA pada ETAP 12.6.0	51
Gambar 3. 6 Data Impedansi jaringan 20 kV pada ETAP 12.6.0.....	52
Gambar 3. 7 Data <i>Static Load feeder</i> pada ETAP 12.6.0.....	52
Gambar 3. 8 Hasil simulasi aliran daya ETAP 12.6.0 untuk semua <i>feeder</i>	53
Gambar 3. 9 Tampilan Hasil Simulasi Aliran Daya ETAP 12.6.0 untuk <i>feeder</i> yang dianalisis.....	54
Gambar 3. 10 Hasil simulasi analisis hubung singkat dengan program ETAP 12.6.0	56
Gambar 3. 11 Contoh tampilan <i>Output Report</i> dari simulasi hubung singkat dengan ETAP 12.6.0.....	56
Gambar 3. 12 Tampilan <i>setting relay OCR Incoming</i> pada ETAP 12.6.0.....	58
Gambar 3. 13 Tampilan <i>setting recloser</i> pada ETAP 12.6.0	58
Gambar 3. 14 Hasil simulasi koordinasi <i>relay OCR, GFR, dan Recloser</i> pada ETAP 12.6.0.....	59
Gambar 3. 15 Hasil koordinasi <i>relay OCR, GFR, dan Recloser</i> pada ETAP 12.6.0	60
Gambar 3. 16 Tampilan kurva arus terhadap waktu (TCC) pada hasil simulasi koordinasi <i>relay OCR, GFR, dan Recloser</i> dengan ETAP 12.6.0	61
Gambar 3. 17 <i>Layout</i> pada ETAP 12.6.0 untuk membuka <i>project file</i> yang tersimpan dalam PC	62
Gambar 3. 18 <i>Load Flow Analysis</i> pada ETAP 12.6.0.....	63
Gambar 3. 19 <i>Short Circuit Analysis</i> pada ETAP 12.6.0.....	64
Gambar 3. 20 <i>Star Protective Device Coordination</i> pada ETAP 12.6.0.....	64
Gambar 3. 21 Fitur <i>Create Star View dan Tripping Time</i> pada ETAP 12.6.0.....	65
Gambar 3. 22 Kurva arus gangguan terhadap waktu	66
Gambar 3. 23 Penyimpanan <i>project file</i> pada ETAP 12.6.0.....	66
Gambar 3. 24 <i>Flowchart</i> langkah penelitian.....	67
Gambar 4. 1 Tampilan hasil simulasi aliran daya.....	69
Gambar 4. 2 Tampilan hasil simulasi <i>Fault Insertion</i> ETAP 12.6.0.....	87
Gambar 4. 3 Tampilan hasil simulasi <i>Sequence Viewer</i> ETAP 12.6.0	88

Gambar 4. 4 Tampilan hasil simulasi <i>Star-Protective Device Coordination</i> ETAP 12.6.0.....	88
Gambar 4. 5 Simulasi Gangguan 3 fasa di titik Rec S3-77 <i>feeder</i> Kalisari 4.....	89
Gambar 4. 6 Kurva karakteristik arus terhadap waktu hasil <i>existing</i> pada <i>feeder</i> Kalisari 4.....	90
Gambar 4. 7 Kurva karakteristik arus terhadap waktu <i>setting resetting</i> pada <i>feeder</i> Kalisari 4.....	90
Gambar 4. 8 Simulasi Gangguan 3 fasa di titik Rec S2-109 <i>feeder</i> Kalisari 5.....	94
Gambar 4. 9 Kurva karakteristik arus terhadap waktu hasil <i>existing</i> pada <i>feeder</i> Kalisari 5.....	95
Gambar 4. 10 Kurva karakteristik arus terhadap waktu <i>setting resetting</i> pada <i>feeder</i> Kalisari 5.....	95
Gambar 4. 11 Simulasi Gangguan 3 fasa di titik 50% (S6-56) <i>feeder</i> Kalisari 6 .	99
Gambar 4. 12 Kurva karakteristik arus terhadap waktu hasil <i>existing</i> pada <i>feeder</i> Kalisari 6.....	100
Gambar 4. 13 Kurva karakteristik arus terhadap waktu <i>setting resetting</i> pada <i>feeder</i> Kalisari 6.....	100

DAFTAR TABEL

Tabel 3. 1 Data Power Grid.....	46
Tabel 3. 2 Data Trafo I.....	47
Tabel 3. 3 Data <i>Relay</i> OCR dan GFR <i>Incoming</i> Trafo I.....	47
Tabel 3. 4 Data <i>Relay</i> OCR dan GFR <i>Outgoing</i>	48
Tabel 3. 5 Data <i>Setting Recloser</i> OCR dan GFR Trafo I.....	48
Tabel 3. 6 Data Teknis Penghantar	49
Tabel 3. 7 Data <i>Outgoing Feeder</i> Trafo I dengan Beban Bulan Februari 2018....	49
Tabel 4. 1 Data tegangan pangkal dan arus yang mengalir tiap <i>feeder</i> hasil simulasi.....	69
Tabel 4. 2 Hasil perhitungan impedansi saluran Kalisari 4 urutan positif, negatif, dan nol.....	71
Tabel 4. 3 Hasil perhitungan impedansi saluran Kalisari 5 urutan positif, negatif, dan nol.....	71
Tabel 4. 4 Hasil perhitungan impedansi saluran Kalisari 6 urutan positif, negatif, dan nol.....	71
Tabel 4. 5 Impedansi saluran Kalisari 4 urutan positif, negatif, dan nol dalam satuan per unit	73
Tabel 4. 6 Impedansi saluran Kalisari 5 urutan positif, negatif, dan nol dalam satuan per unit	73
Tabel 4. 7 Impedansi saluran Kalisari 6 urutan positif, negatif, dan nol dalam satuan per unit	73
Tabel 4. 8 Arus hubung singkat hasil perhitungan dan simulasi <i>Short-Circuit Analysis</i> ETAP 12.6.0 pada <i>feeder</i> Kalisari 4	75
Tabel 4. 9 Arus hubung singkat hasil perhitungan dan simulasi <i>Short-Circuit Analysis</i> ETAP 12.6.0 pada <i>feeder</i> Kalisari 5	76
Tabel 4. 10 Arus hubung singkat hasil perhitungan dan simulasi <i>Short-Circuit Analysis</i> ETAP 12.6.0 pada <i>feeder</i> Kalisari 6	77
Tabel 4. 11 <i>Setting relay outgoing</i> GIS Kalisari	80
Tabel 4. 12 Nilai <i>setting</i> pada <i>relay incoming</i> GIS Kalisari	81

Tabel 4. 13 Nilai <i>setting recloser</i> GIS Kalisari.....	83
Tabel 4. 14 Rekapitulasi hasil <i>resetting relay</i> dan <i>recloser</i> GIS Kalisari.....	83
Tabel 4. 15 Perbandingan <i>setting relay incoming existing</i> dan hasil perhitungan	85
Tabel 4. 16 Perbandingan <i>setting relay outgoing existing</i> dan <i>resetting</i>	85
Tabel 4. 17 Perbandingan <i>setting recloser existing</i> dan hasil perhitungan	86
Tabel 4. 18 Waktu kerja <i>relay incoming existing</i> dengan <i>incoming resetting</i> Kalisari 4.....	91
Tabel 4. 19 Waktu kerja <i>relay outgoing existing</i> dengan <i>outgoing resetting</i> Kalisari 4.....	92
Tabel 4. 20 Waktu kerja <i>recloser existing</i> dengan <i>recloser resetting</i> Kalisari 4..	92
Tabel 4. 21 Waktu kerja <i>relay incoming existing</i> dengan <i>incoming resetting</i> Kalisari 5.....	96
Tabel 4. 22 Waktu kerja <i>relay outgoing existing</i> dengan <i>outgoing resetting</i> Kalisari 5.....	97
Tabel 4. 23 Waktu kerja <i>recloser existing</i> dengan <i>recloser resetting</i> Kalisari 5..	97
Tabel 4. 24 Waktu kerja <i>relay incoming existing</i> dengan <i>relay incoming resetting</i> Kalisari 6.....	101
Tabel 4. 25 Waktu kerja <i>relay outgoing existing</i> dengan <i>outgoing resetting</i> Kalisari 6.....	102
Tabel 4. 26 Waktu kerja <i>recloser existing</i> dengan <i>recloser resetting</i> Kalisari 6	103