

**ANALISIS KOORDINASI RELE ARUS LEBIH PADA *INCOMING*
DAN PENYULANG 20 KV GARDU INDUK SENGKALING
MENGUNAKAN POLA NON KASKADE**

**SKRIPSI
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO**

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



Disusun oleh :

**NANDHA PAMADYA PUTRA
NIM. 105060307111022 - 63**

**KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN
UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK
MALANG
2015**

LEMBAR PERSETUJUAN

**ANALISIS KOORDINASI RELE ARUS LEBIH PADA *INCOMING*
DAN PENYULANG 20 KV GARDU INDUK SENGKALING
MENGUNAKAN POLA NON KASKADE**

**SKRIPSI
KONSENTRASI TEKNIK ENERGI ELEKTRIK**

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



Disusun oleh :

**NANDHA PAMADYA PUTRA
NIM. 105060307111022 - 63**

Telah diperiksa dan disetujui oleh :

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

**Ir. Hery Purnomo, M.T.
NIP. 19550708 198212 1 001**

**Ir. Teguh Utomo, M.T.
NIP. 19650913 199103 1 003**

LEMBAR PENGESAHAN

**ANALISIS KOORDINASI RELE ARUS LEBIH PADA *INCOMING*
DAN PENYULANG 20 KV GARDU INDUK SENKALING
MENGUNAKAN POLA NON KASKADE**

**SKRIPSI
KONSENTRASI TEKNIK ENERGI ELEKTRIK**

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik

Disusun oleh :

**NANDHA PAMADYA PUTRA
NIM. 105060307111022 - 63**

Skripsi ini telah diuji dan dinyatakan lulus pada
Tanggal 21 Januari 2015

Majelis Penguji :

Dosen Penguji I

Dosen Penguji II

**Dr. Rini Nur Hasanah, S.T., M.Sc.
NIP. 19680122 199512 2 001**

**Drs. Ir. Moch. Dhofir, M.T.
NIP. 19600701 199002 1 001**

Dosen Penguji III

**Ir. Soeprapto, M.T.
NIP. 19561020 198903 1 001**

**Mengetahui,
Ketua Jurusan Teknik Elektro**

**M. Aziz Muslim, S.T., M.T., Ph.D.
NIP. 19741203 200012 1 001**

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah robbil ‘aalamiin, skripsi dengan judul “**Analisis Koordinasi Rele Arus Lebih Pada *Incoming* dan Penyulang 20 kV Gardu Induk Sengkaling Menggunakan Pola Non Kaskade**” dapat diselesaikan. Skripsi ini disusun untuk memenuhi sebagian persyaratan memperoleh gelar Sarjana Teknik di Jurusan Teknik Elektro Konsentrasi Teknik Energi Elektrik Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Malang.

Tidak banyak yang bisa disampaikan kecuali ungkapan terima kasih kepada berbagai pihak yang telah memberikan bimbingan, arahan dan dukungan sehingga penulisan skripsi ini dapat terselesaikan. Dengan rasa hormat, disampaikan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Bapak M. Azis Muslim, S.T., M.T., Ph.D. selaku Ketua Jurusan dan Bapak Hadi Suyono, S.T., M.T., Ph.D. selaku Sekretaris Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Malang.
2. Bapak Ali Mustofa, S.T., M.T. selaku Ketua Program Studi dan Ibu Dr. Rini Nur Hasanah, S.T., M.Sc. selaku Ketua Kelompok Dosen Keahlian Teknik Energi Elektrik Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Malang.
3. Bapak Ir. Hery Purnomo, M.T. dan Bapak Ir. Teguh Utomo, M.T. selaku dosen pembimbing skripsi yang telah banyak memberikan pengarahan dan bimbingan dalam penyelesaian skripsi ini serta atas segala bentuk bantuan dan saran yang membangun.
4. Bapak Ir. Soemarwanto, M.T. selaku dosen pembimbing akademik dan Bapak/Ibu dosen serta karyawan Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Malang.
5. Seluruh staf PT. PLN (Persero) P3B Jawa Bali Area Pelaksana Pemeliharaan Malang, PT. PLN (Persero) Distribusi Jawa Timur Area Pelayanan dan Jaringan Malang Rayon Malang Kota dan pihak Gardu Induk Sengkaling Malang yang telah banyak memberi bantuan pada penyusunan skripsi ini.
6. M. Azharul Iman, Abdul Harits M. A., Muhammad Rosyid, teman-teman Angkatan 2010 (MAGNET ‘10), teman-teman Konsentrasi Teknik Energi Elektrik, teman-teman Laboratorium Sistem Daya Elektrik dan teman-teman Himpunan Mahasiswa Elektro Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Malang.

Terima kasih atas semua bantuan dan pertolongannya, do'a, canda tawa, selalu memberikan semangat dan semua bantuannya dalam penyusunan skripsi ini, tanpa kalian skripsi ini tidak dapat terselesaikan.

7. Kedua orang tua tercinta, Bapak Heru Sugiatmo dan Ibunda Rochiyati yang telah mendidik, memberi kasih sayang, perhatian, motivasi dan selalu memanjatkan do'a yang tidak pernah terputus.
8. Kakak dan adek tercinta, Wahyu Punjung Pesonagrata dan Ludita Woro Indrio, terima kasih atas kasih sayang, do'a, dan selalu memberikan semangat serta dukungan. Skripsi ini buat Bapak, Ibunda, Kakak dan Adek saya yang paling saya sayangi dan cintai.
9. Semua pihak yang telah memberikan bantuan serta dukungan baik yang tidak dapat disebutkan satu persatu secara langsung maupun tidak langsung atas penyusunan skripsi ini.

Disadari bahwa dalam penyusunan skripsi ini banyak kekurangan dan kelemahan karena keterbatasan ilmu dan kendala-kendala lain yang terjadi selama pengerjaan skripsi ini, oleh karena itu diperlukan saran dan kritik dari semua pihak untuk perbaikan dan kesempurnaan skripsi ini. Semoga skripsi ini dapat memberi manfaat dan dapat digunakan untuk pengembangan lebih lanjut.

Malang, 21 Januari 2015

Penulis

ABSTRAK

Nandha Pamadya Putra, Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Januari 2015, *Analisis Koordinasi Rele Arus Lebih Pada Incoming dan Penyulang 20 kV Gardu Induk Sengkaling Menggunakan Pola Non Kaskade*.

Dosen Pembimbing: Ir. Hery Purnomo, M.T. dan Ir. Teguh Utomo, M.T.

Sistem pola pengaman yang umum digunakan saat ini adalah sistem pola pengaman kaskade, namun pola ini ada kalanya tidak memberikan pegamanan yang optimal, terutama dalam selektifitas dan waktu pemutusan gangguan, dikarenakan rele instan di sisi masukan 20 kV tidak diterapkan. Hal ini akan menyebabkan waktu pemutusan gangguan di busbar 20 kV relatif lama. Oleh karena itu perlu dilakukan suatu sistem proteksi yang mampu meningkatkan keamanan peralatan sekaligus meningkatkan keandalan pasokan daya ke sistem 20 kV, cepat dalam memberikan reaksi jika terjadi gangguan dan tepat dalam mengambil keputusan untuk mengamankan. Pola yang dapat direkomendasikan adalah pola pengaman non kaskade. Pada pola non kaskade, rele-rele disisi penyulang dapat dikomunikasikan dengan rele sisi hulunya, dimana meskipun rele instan disisi masukan dan penyulang 20 kV diterapkan, namun masih tetap diperoleh selektifitas yang baik.

Penelitian ini bertujuan untuk menghitung dan menganalisis penyetelan dan penerapan koordinasi rele arus lebih menggunakan pola non kaskade pada sisi masukan dan penyulang 20 kV Gardu Induk Sengkaling Malang.

Adapun langkah-langkah yang digunakan dalam penyusunan penelitian ini adalah, menghitung arus gangguan hubung singkat yang terjadi pada berbagai titik lokasi gangguan yang diasumsikan, yaitu di busbar 20 kV dan 1%,2% sampai dengan 100% panjang penyulang Gardu Induk Sengkaling Malang, lalu dilakukan penyetelan rele arus lebih menggunakan pola non kaskade, kemudian menganalisis koordinasi waktu kerja rele arus lebih menggunakan pola non kaskade dan yang terakhir menganalisis perbandingan hasil perhitungan dan data yang diperoleh di lapangan.

Dari hasil perhitungan dan analisis, didapatkan besar arus gangguan hubung singkat tiga fasa dan antar fasa terbesar, yaitu terjadi di busbar 20 kV sebesar 6327.84 A dan 3163.92 A sedangkan besar gangguan hubung singkat tiga fasa dan antar fasa terkecil terjadi diujung penyulang, yaitu sebesar 1080.08 A dan 540.04 A. Dengan setelan rele arus lebih menggunakan pola non kaskade yaitu pada rele arus lebih di sisi masukan 20 kV, penyetelan arus primer: 909,3315 A dan sekunder: 2,27 A, untuk penyetelan arus instan sekunder: 3,85 A dan primer: 3500,93 A dengan waktu 80 ms dan TMS 0,1978, sedangkan untuk rele arus lebih disisi penyulang, penyetelan arus primer: 106,05 A dan sekunder: 1,33 A, penyetelan arus instan sekunder: 19,65 A dan primer: 2084 A dengan waktu 40 ms dan TMS 0,1826, dapat meningkatkan tingkat kinerja rele arus lebih yaitu mencapai 93,5%.

Kata kunci: pola pengaman kaskade dan non kaskade, gangguan hubung singkat, sistem proteksi, koordinasi proteksi, rele arus lebih.

ABSTRACT

Nandha Pamadya Putra, Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering University of Brawijaya, January 2015, *Analysis Coordination Over Current Relay at Incoming and 20 kV Sengkaling's Sub Station Feeder by Non Cascade Pattern.*

Academic Supervisor: Ir. Hery Purnomo, M.T. and Ir. Teguh Utomo, M.T.

The general pattern of security system that been used by now is cascade security pattern, but this sometimes doesn't give optimal security, especially in selectivity and trip time fault, because instant relay at 20 kV input hasn't been implemented. This thing will cause longer trip time fault in bus bar 20 kV. In order to prevent it, need a reliable protection system which capable to increase security of devices and increase reliable power to 20 kV system. If there is a fault happened it can give fast response and decide a decision to secure. The pattern that recommend was non cascade security pattern. In this pattern, relays at feeder side can communicate with relay at main side where instant relay at input side and 20 kV feeder be implemented, but still obtained a good selectivity.

The goal of this research to compute and analyze setting and implement coordination over current relay using non cascade at input and 20kV feeder Sekaling Malang's bus station.

There are some steps that been used in this research. First, compute fault current according to the node which the fault happened that assumed 1%, 2%, until 100% from feeder's distance of Sengkaling Malang's bus station, then analyze working time coordination of over current relay using non cascade and the last compute and compare the result of computation and data that been obtained.

From the computing result and analysis that been obtained, can be obtained the biggest value of three phase and phase to phase fault current that happened in 20 kV bus bar is 6327.84 A, and 3163.92 A. The smallest values of three phase and phase to phase fault current that happened in the edge of feeder, it is 1080.08 A and 540.04 A. by set over current relay using non cascade pattern in over current relay at 20 kV input, setting of main current 909,3315 A and secondary is 2.27 A. for setting of secondary instant relay 3.85 A and primary 3500.93 A by the time 80 ms and TMS 0.1978. Then for over current relay at feeder side, setting of main current is 106,05 A and secondary is 1.33 A, setting secondary instant current is 19.65 A and primary is 2084 A with time 40 ms and TMS 0.1826, can increase working level of overcurrent relay that reach 93.5%.

Key words: cascade and non cascade security pattern, fault current, protection system, over current relay, coordination of protection.

DAFTAR ISI

LEMBAR PERSETUJUAN	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
KATA PENGANTAR	iii
ABSTRAK.....	v
<i>ABSTRACT</i>	vi
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR GAMBAR.....	x
DAFTAR TABEL.....	xii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xiii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah.....	2
1.4 Tujuan.....	3
1.5 Manfaat.....	3
1.6 Sistematika Penulisan.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Sistem Proteksi Tenaga Listrik.....	5
2.2 Rele Pengaman	6
2.3 Syarat-syarat Rele Pengaman	6
2.3.1 Kecepatan Bereaksi	6
2.3.2 Kepekaan	7
2.3.3 Selektivitas	7
2.3.4 Keandalan	8
2.3.5 Ekonomis	8
2.4 Rele Arus Lebih.....	8
2.5 Karakteristik Rele Arus Lebih.....	9
2.5.1 Rele Arus lebih Waktu Seketika (Instan)	9
2.5.1.1 Penyetelan Arus Rele Arus Lebih Seketika (Instan)	10
2.5.1.2 Penyetelan Waktu Rele Arus Lebih Seketika (Instan)	12
2.5.2 Rele Arus Lebih Waktu Tertentu (Definite).....	12
2.5.3 Rele Arus Lebih Waktu Terbalik (Invers).....	14

2.5.3.1	Penyetelan Arus Rele Arus Lebih Terbalik (Invers)	15
2.5.3.2	Penyetelan Waktu Rele Arus Lebih Terbalik (Invers)	16
2.6	Dasar Penyetelan Rele Arus Lebih.....	17
2.6.1	Dasar Penyetelan Arus.....	17
2.6.1.1	Batas Minimum	17
2.6.1.2	Batas Maksimum	17
2.6.2	Dasar Penyetelan Waktu Kerja.....	18
2.6.2.1	Rele Paling Hilir	18
2.6.2.1	Rele Satu Seksi di Hulunya	18
2.7	Daerah Pengaman.....	18
2.8	Koordinasi Pengaman.....	19
2.9	Perhitungan Impedansi	20
2.9.1	Sistem Per Unit (pu)	20
2.9.2	Impedansi Sumber	21
2.9.3	Impedansi Urutan Komponen.....	22
2.9.3.1	Impedansi Urutan Transformator Daya	22
2.9.3.2	Impedansi Urutan Penyulang.....	23
2.9.4	Impedansi Total	24
2.10	Arus Gangguan.....	24
2.10.1	Komponen Simetris	24
2.10.2	Gangguan Hubung Singkat Tiga Fasa	26
2.10.3	Gangguan Hubung Singkat Antar Fasa	27
2.11	Sistem Proteksi Pola Non Kaskade	29
2.12	Rele Arus Lebih Pola Non Kaskade.....	31
BAB III METODE PENELITIAN		33
3.1	Pengambilan Data.....	34
3.2	Prosedur Perhitungan dan Analisis.....	34
3.3	Penutup.....	35
BAB IV ANALISIS KOORDINASI RELE ARUS LEBIH PADA <i>INCOMING</i> DAN PENYULANG 20 KV MENGGUNAKAN POLA NON KASKADE		36
4.1	Gardu Induk Sengkaling.....	36
4.2	Perhitungan Arus Gangguan Hubung Singkat	40
4.2.1	Menghitung Impedansi Dasar.....	40
4.2.2	Menghitung Impedansi Sumber	40

4.2.3	Menghitung Impedansi Transformator Daya	42
4.2.4	Menghitung Impedansi Penyulang	42
4.2.5	Menghitung Impedansi Total	43
4.3	Menghitung Arus Gangguan Hubung Singkat	44
4.3.1	Arus Dasar	44
4.3.2	Arus Gangguan Hubung Singkat Tiga Fasa	45
4.3.3	Arus Gangguan Hubung Singkat Antar Fasa	46
4.4	Perhitungan Penyetelan Rele Arus Lebih Menggunakan Pola Non Kaskade	47
4.4.1	Penyetelan di Sisi Penyulang	48
4.4.1.1	Penyetelan Arus	48
4.4.1.2	Penyetelan Arus Instan	49
4.4.1.3	Penyetelan Waktu	50
4.4.2	Penyetelan di Sisi Masukan 20 kV	51
4.4.2.1	Penyetelan Arus	51
4.4.2.2	Penyetelan Arus Instan	52
4.4.2.3	Penyetelan Waktu	53
4.5	Koordinasi Rele Arus Lebih Menggunakan Pola Non Kaskade	54
4.6	Perbandingan Hasil Perhitungan dan Data di Lapangan	56
4.6.1	Perbandingan Hasil Perhitungan Arus Hubung Singkat Dengan Data di Lapangan	56
4.6.2	Perbandingan Penyetelan Rele Arus Lebih Menggunakan Pola Non Kaskade Dengan Penyetelan yang Terpasang di Lapangan	58
4.6.3	Perbandingan Tingkat Kinerja Rele Arus Lebih Menggunakan Pola Non Kaskade Dengan yang Terpasang di Lapangan	61
BAB V PENUTUP		63
5.1	Kesimpulan	63
5.2	Saran	64
DAFTAR PUSTAKA		65
LAMPIRAN I		67
LAMPIRAN II		113

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Karakteristik Rele Arus Lebih Waktu Seketika	9
Gambar 2.2	Rangkaian Rele Arus Lebih Waktu Seketika	10
Gambar 2.3	Rangkaian Rele Arus Lebih Waktu Tertentu	12
Gambar 2.4	Karakteristik Rele Arus Lebih Waktu Tertentu.....	13
Gambar 2.5	Rangkaian Rele Arus Lebih Berbanding Terbalik	14
Gambar 2.6	Karakteristik Rele Arus Lebih Waktu Terbalik.....	15
Gambar 2.7	Daerah Pengaman Distribusi	19
Gambar 2.8	Tiga Himpunan Fasor Seimbang yang Merupakan Komponen Simetris dari Tiga Fasor Tidak Seimbang	25
Gambar 2.9	Penjumlahan Secara Grafis Komponen-komponen Untuk Mendapatkan Fasor-fasor Tak Seimbang.....	26
Gambar 2.10	Gangguan Hubung Singkat Tiga Fasa	26
Gambar 2.11	Gangguan Hubung Singkat Antar Fasa	27
Gambar 2.12	Skema Pola Non Kaskade	30
Gambar 2.14	Pemutusan Balik Pengisolasian Gangguan	32
Gambar 3.1	Diagram Alir Metode Penelitian	33
Gambar 4.1	Diagram Satu Garis Transformator Daya III Gardu Induk Sengkaling Malang.....	37
Gambar 4.2	Diagram Satu Garis Penyulang Junrejo.....	38
Gambar 4.3	Diagram Satu Garis Penyulang Junrejo Dengan Berbagai Titik Lokasi Gangguan.....	40
Gambar 4.4	Grafik Arus Gangguan Hubung Singkat Tiga Fasa dan Antar Fasa. .	47
Gambar 4.5	Grafik Koodinasi Waktu Kerja Rele Arus Lebih Pola Non Kaskade Saat Terjadi Arus Gangguan Hubung Singkat Tiga Fasa.....	54
Gambar 4.6	Grafik Koodinasi Waktu Kerja Rele Arus Lebih Pola Non Kaskade Saat Terjadi Arus Gangguan Hubung Singkat Antar Fasa.....	55
Gambar 4.7	Grafik Perbandingan Arus Gangguan Hubung Singkat Tiga Fasa Hasil Perhitungan Dengan Data di Lapangan	57
Gambar 4.8	Grafik Perbandingan Arus Gangguan Hubung Singkat Antar Fasa Hasil Perhitungan Dengan Data di Lapangan	57

Gambar 4.9	Grafik Perbandingan Koordinasi Waktu Kerja Rele Arus Lebih Saat Terjadi Gangguan Hubung Singkat Tiga Fasa Hasil Perhitungan Dengan Data di Lapangan.	59
Gambar 4.10	Grafik Perbandingan Koordinasi Waktu Kerja Rele Arus Lebih Saat Terjadi Gangguan Hubung Singkat Antar Fasa Hasil Perhitungan Dengan Data di Lapangan.	60

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Koefisien <i>Time Dial</i>	17
Tabel 2.2	Prosentase Kejadian Gangguan Hubung Singkat	27
Tabel 4.1	Data Transformator Daya III Gardu Induk Sengkaling Malang.	39
Tabel 4.2	Data Rele Arus Lebih Sisi Masukan 20 kV.....	39
Tabel 4.3	Data Rele Arus Lebih Penyulang.	39
Tabel 4.4	Perbandingan Penyetelan Rele Arus Lebih Menggunakan Pola Non Kaskade Dengan Penyetelan yang Terpasang di Lapangan.	58

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran I.1	68Tabel Hasil Perhitungan Impedansi Penyulang Urutan Positif, Negatif dan Nol Menurut Titik Lokasi Terjadinya Gangguan 68
Lampiran I.2	71Tabel Hasil Perhitungan Impedansi Total Urutan Positif, Negatif, dan Nol Menurut Titik Lokasi Terjadinya Gangguan..... 71
Lampiran I.3	74Tabel Hasil Perhitungan Arus Gangguan Hubung Singkat Tiga Fasa Menurut Titik Lokasi Terjadinya Gangguan..... 74
Lampiran I.4	77Tabel Hasil Perhitungan Arus Gangguan Hubung Singkat Antar Fasa Menurut Titik Lokasi Terjadinya Gangguan..... 77
Lampiran I.5	80Tabel Hasil Perhitungan Arus Gangguan Hubung Singkat Menurut Titik Lokasi Terjadinya Gangguan..... 80
Lampiran I.6	83Tabel Hasil Perhitungan Waktu Kerja Rele Arus Lebih Menggunakan Pola Non Kaskade di Sisi Penyulang. 83
Lampiran I.7	86Tabel Hasil Perhitungan Waktu Kerja Rele Arus Lebih Menggunakan Pola Non Kaskade di Sisi Masukan 20 kV..... 86
Lampiran I.8	89Tabel Hasil Perhitungan Koordinasi Rele Arus Lebih Menggunakan Pola Non Kaskade Saat Terjadi Gangguan Hubung Singkat Tiga Fasa dan Antar Fasa di Sisi Masukan dan di Sisi Penyulang 20 kV. 89
Lampiran I.9	95Tabel Perbandingan Koordinasi Rele Arus Lebih Hasil Perhitungan dan di Lapangan Saat Terjadi Gangguan Hubung Singkat95_Tiga Fasa dan Antar Fasa di Sisi Masukan dan di Sisi Penyulang 20 kV. 95
Lampiran I.10	101Tabel Hasil Perhitungan Koordinasi Rele Arus Lebih di Lapangan Untuk Mengetahui Tingkat Kinerja Rele Arus Lebih Saat Terjadi Gangguan Hubung Singkat Tiga Fasa dan Antar Fasa di Sisi Masukan dan di Sisi Penyulang 20 kV 101
Lampiran I.11	107Tabel Hasil Perhitungan Koordinasi Rele Arus Lebih Menggunakan Pola Non Kaskade Untuk Mengetahui Tingkat Kinerja Rele Arus Lebih Saat Terjadi Gangguan Hubung Singkat Tiga Fasa dan Antar Fasa di Sisi Masukan dan di Sisi Penyulang 20 kV..... 107
Lampiran II.1	114Tabel Perhitungan Arus Gangguan Penyulang Junrejo 20 kV Gardu Induk Sengkaling Trafo III 150/20 kV 30 MVA..... 114
Lampiran II.2	116Arus Hubung Singkat GI/GITET P3B Jawa Bali Semester 2 TH 2012 Untuk Perhitungan Sistem Proteksi..... 116

Lampiran II.3	117Tabel Tahanan dan Reaktansi Penghantar AAAC Teganga 20 kV	117
Lampiran II.4	118Daftar Trafo	118
Lampiran II.5	Beban Trafo dan Penyulang Gardu Induk Sengkaling	119
Lampiran II.6	120Penerepan <i>Setting</i> OCR Trafo Distribusi UPT Malang 2010.....	120
Lampiran II.7	121 <i>Setting</i> Relay Penyulang Gardu Induk Sengkaling Malang 2014	121
Lampiran II.8	122Kawat Penghantar.....	122
Lampiran II.9	123Laporan Harian Gangguan Penyulang Gardu Induk Sengkaling Malang Periode 1 Januari-31 Desember 2013.....	123
Lampiran II.10	125Rekapitulasi Gangguan Penyulang Bulanan Periode: Bulan Desember 2013	125
Lampiran II.11	Diagram Satu Garis Penyulang Junrejo.....	126
Lampiran II.12	Diagram Satu Garis Proteksi Penyulang Gardu Induk Sengkaling Malang.....	127
Lampiran II.13	Diagram Satu Garis Koordinasi Proteksi Transformator Daya III Gardu Induk Sengkaling Malang.....	128

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Tenaga listrik sangat berguna baik dalam pemenuhan kebutuhan rumah tangga ataupun kebutuhan dunia industri. Dalam penyaluran tenaga listrik dari pembangkit ke beban, diperlukan kontinuitas pelayanan yang baik kepada konsumen. Hal ini akan mempengaruhi keandalan sistem penyalurannya.

Jumlah gangguan merupakan indikator untuk mengetahui keandalan suatu sistem tenaga listrik. Semakin besar jumlah gangguan berarti keandalan sistem semakin rendah, begitu pula sebaliknya. Berdasarkan ANSI/IEEE Std. 100-1992 gangguan didefinisikan sebagai suatu kondisi fisis yang disebabkan kegagalan suatu perangkat, komponen atau suatu elemen untuk bekerja sesuai dengan fungsinya.

Untuk memperoleh keandalan sistem yang tinggi perlu dipasang peralatan proteksi yang handal untuk meminimalisir gangguan yang terjadi. Agar dapat dikatakan bahwa sistem proteksi yang terpasang itu benar-benar handal, proteksi haruslah memiliki tingkat selektifitas, ekonomis, kecepatan bereaksi dan tingkat kepekaan yang tinggi (Hewitson, L.G., 2004).

Kebutuhan tenaga listrik di Malang Raya disuplai oleh beberapa Gardu Induk (GI) yakni GI Blimbing, GI Kebon Agung, GI Sengkaling, dan sebagainya. Gardu Induk Sengkaling menyalurkan tegangan menengah 20 kV melalui 2 transformator daya yang dimiliki. Salah satunya transformator daya III melayani penyulang Junrejo, Pujon, Wastra Indah dan Karang Ploso.

Permasalahan yang ada di Gardu Induk Sengkaling Malang, yaitu pada salah satu penyulang dari transformator daya III dalam tiga tahun terakhir ini sering terjadi gangguan hubung singkat. Bahkan pernah terjadi gangguan pada penyulang yang berdampak pada beroperasinya rele masukan 20 kV akibat kegagalan atau keterlambatan sistem proteksi pada penyulang. Beroperasinya rele masukan 20 kV mengakibatkan padamnya penyulang-penyulang lain yang mendapat suplai tegangan dari masukan 20 kV tersebut. Untuk menghindari kejadian tersebut maka perlu dilakukan penelitian penyebab kurang baiknya koordinasi proteksi, baik pada sisi masukan dan penyulang 20 kV.

Sistem pola pengaman yang umum digunakan saat ini adalah sistem pola pengaman kaskade, namun pola ini ada kalanya tidak memberikan pengamanan yang optimal, terutama dalam selektifitas dan waktu pemutusan gangguan, dikarenakan rele

instan di sisi masukan 20 kV tidak diterapkan. Hal ini akan menyebabkan waktu pemutusan gangguan di busbar 20 kV relatif lama.

Oleh karena itu perlu dilakukan suatu sistem proteksi yang mampu meningkatkan keamanan peralatan sekaligus meningkatkan keandalan pasokan daya ke sistem 20 kV, cepat dalam memberikan reaksi jika terjadi gangguan dan tepat dalam mengambil keputusan untuk mengamankan. Pola yang dapat direkomendasikan adalah pola pengaman non kaskade. Pada pola non kaskade, rele-rele disisi penyulang dapat dikomunikasikan dengan rele sisi hulunya, dimana meskipun rele instan disisi masukan dan penyulang 20 kV diterapkan, namun masih tetap diperoleh selektifitas yang baik.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan masalah yang telah dijelaskan pada latar belakang, dapat dibuat rumusan masalah sebagai berikut :

1. Berapa besar arus gangguan hubung singkat tiga fasa dan antar fasa pada busbar dan penyulang 20 kV Gardu Induk Sengkaling Malang.
2. Bagaimana penyetelan arus dan waktu rele arus lebih menggunakan pola non kaskade yang diterapkan pada sisi masukan dan penyulang 20 kV di Gardu Induk Sengkaling Malang.
3. Bagaimana tingkat kinerja rele arus lebih menggunakan pola non kaskade pada sisi masukan dan penyulang 20 kV di Gardu Induk Sengkaling Malang.

1.3 Batasan Masalah

Agar permasalahan yang dibahas dalam penelitian ini mencapai sasaran yang diharapkan, maka batasan masalah yang perlu diberikan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Analisis dilakukan pada rele arus lebih pada sisi masukan dan penyulang 20 kV di Gardu Induk Sengkaling Malang.
2. Jenis gangguan yang dibahas adalah gangguan hubung singkat tiga fasa dan antar fasa yang terjadi pada busbar dan penyulang 20 kV di Gardu Induk Sengkaling Malang.
3. Tidak membahas komponen elektronika dan kontruksi rele.
4. Sistem yang dianalisis dianggap mendekati sistem seimbang.

1.4 Tujuan

Tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini adalah untuk menghitung dan menganalisis penyetelan dan penerapan koordinasi rele arus lebih menggunakan pola non kaskade pada sisi masukan dan penyulang 20 kV Gardu Induk Sengkaling Malang.

1.5 Manfaat

Adapun manfaat dari penelitian ini adalah diharapkan dapat memberikan manfaat bagi PT. PLN (Persero) dapat mengetahui pola sistem pengaman mana yang lebih handal dan semestinya harus diterapkan dalam pengamanan sisi masukan dan penyulang 20 kV.

1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan yang digunakan dalam penyusunan penelitian ini adalah sebagai berikut :

BAB I : PENDAHULUAN

Memuat latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan, manfaat dan sistematika penulisan.

BAB II : TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini berisi tentang dasar teori yang digunakan dan menjadi ilmu penunjang bagi peneliti, berkenaan dengan masalah yang ingin diteliti yang berkaitan dengan teori tentang sistem proteksi tenaga listrik, rele pengaman, rele arus lebih, daerah pengaman, koordinasi pengaman, perhitungan impedansi, arus gangguan dan penjelasan metode pengaman menggunakan pola non kaskade pada sisi masukan dan penyulang 20 kV.

BAB III : METODE PENELITIAN

Memberikan penjelasan tentang tahapan penyelesaian penelitian yang meliputi pengambilan data, prosedur perhitungan dan analisis, serta penutup berisi tentang pengambilan kesimpulan dan saran.

**BAB IV : ANALISIS KOORDINASI RELE ARUS LEBIH PADA
INCOMING DAN PENYULANG 20 KV MENGGUNAKAN
POLA NON KASKADE**

Berisi pengolahan data, perhitungan dan analisis. Menjelaskan tentang langkah-langkah perhitungan serta analisis terhadap hasil perhitungan rele arus lebih menggunakan pola non kaskade pada sisi masukan dan penyulang 20 kV di Gardu Induk Sengkaling Malang.

BAB V : PENUTUP

Berisi kesimpulan dan saran berdasarkan apa yang telah dicapai dalam penyelesaian penelitian.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Sistem Proteksi Tenaga Listrik

Sistem proteksi adalah susunan perangkat proteksi secara lengkap yang terdiri dari perangkat utama dan perangkat-perangkat lain yang dibutuhkan untuk melakukan fungsi proteksi terhadap kondisi-kondisi abnormal (Pandjaitan, B., 2012). Kondisi abnormal tersebut biasa disebabkan oleh gangguan yang dapat mengakibatkan terganggunya kontinuitas pelayanan tenaga listrik. Berdasarkan ANSI/IEEE Std. 100-1992, gangguan didefinisikan sebagai suatu kondisi fisis yang disebabkan kegagalan suatu perangkat, komponen atau suatu elemen untuk bekerja sesuai dengan fungsinya.

Bila ditinjau dari segi lamanya waktu gangguan, maka dapat dikelompokkan menjadi (Gonen, T., 1988) :

1. Gangguan yang bersifat temporer (sementara), yaitu gangguan yang dapat hilang dengan sendirinya atau dengan memutuskan sesaat bagian yang terganggu dari sumber tegangannya. Gangguan yang bersifat temporer jika tidak dapat hilang dengan segera, baik hilang dengan sendirinya maupun karena bekerjanya alat pengaman, maka akan dapat berubah menjadi gangguan permanen dan menyebabkan pemutusan tetap.
2. Gangguan yang bersifat permanen, yaitu gangguan yang untuk membebaskan diperlukan tindakan perbaikan untuk menyingkirkan penyebab gangguan tersebut.

Sedangkan sistem tenaga listrik sendiri adalah untuk menghasilkan dan menyalurkan energi listrik ke beban. Sistem tersebut harus dirancang dan dikendalikan untuk pengiriman energinya ke pengguna secara handal dan ekonomis.

Fungsi utama dari sistem proteksi adalah (Hutauruk, 1991) :

1. Menghindari atau mengurangi kerusakan peralatan listrik. Semakin cepat sistem proteksi bekerja maka pengaruh gangguan akan semakin kecil.
2. Mempercepat melokalisir daerah yang terganggu, sehingga daerah yang terganggu menjadi sekecil mungkin.
3. Memberikan pelayanan listrik dengan keandalan yang tinggi.
4. Mengamankan manusia dari bahaya listrik.

Peralatan utama yang digunakan untuk mendeteksi dan memerintahkan peralatan proteksi adalah rele.

2.2 Rele Pengaman

Rele adalah suatu peralatan yang digunakan untuk mengontrol suatu rangkaian listrik secara tidak langsung dengan memakai perubahan yang terjadi pada rangkaian tersebut atau rangkaian yang lain.

Rele pengaman adalah suatu rele yang dipakai untuk memperoleh penghubungan dan/atau pemutusan secara otomatis suatu peralatan atau bagian sistem listrik dari sumber daya pada suatu kondisi tertentu yang dapat menyebabkan kerusakan atau bahaya pada peralatan atau sistem tersebut (B.S. 142, 1966).

Fungsi dari rele pengaman pada sistem tenaga listrik sebagai berikut (Samaulah, Hazairin, 2004) :

1. Merasakan, mengukur dan menentukan bagian sistem yang terganggu serta memisahkan secara cepat sehingga sistem lainnya yang tidak terganggu dapat beroperasi secara normal.
2. Mengurangi kerusakan yang lebih parah dari peralatan yang terganggu.
3. Mengurangi pengaruh gangguan terhadap bagian sistem yang lain yang tidak terganggu di dalam sistem tersebut.
4. Memperkecil bahaya bagi manusia.

2.3 Syarat-syarat Rele Pengaman

Karena rele pengaman merupakan kunci kelangsungan kerja dari sistem tenaga listrik maka untuk menjamin keandalan dari sistem tersebut diperlukan rele pengaman yang memenuhi syarat sebagai berikut (Hewitson, L.G., 2004) :

2.3.1 Kecepatan Bereaksi

Kecepatan kerja suatu rele pengaman adalah kemampuan rele untuk bekerja sesuai dengan waktu yang dibutuhkan. Kemampuan sistem proteksi untuk memisahkan gangguan secepat mungkin dari sistem akan mengurangi akibat yang ditimbulkan oleh gangguan tersebut. Maka kecepatan kerja rele pengaman merupakan faktor yang sangat penting. Rumus waktu kerja total rele (Gonen, T., 1987) :

$$t_{op} = t_p + t_{ob} \quad (2.1)$$

dengan :

t_{op} : Waktu total yang digunakan untuk memutuskan hubungan.

t_p : Waktu bereaksi dari rele unit.

t_{ob} : Waktu yang digunakan untuk pelepasan CB.

Pada umumnya untuk t_{op} sekitar 0,1 detik kerja peralatan proteksi sudah dianggap bekerja cukup baik.

2.3.2 Kepekaan

Pada prinsipnya rele harus cukup peka sehingga dapat mendeteksi gangguan di kawasan pengamanannya meskipun dalam kondisi yang memberikan rangsangan yang minimum. Kepekaan rele diartikan sebagai kemampuan merespon bila kondisi kerja cenderung menyimpang dari kondisi normal. Bila suatu kondisi kerja normal tiba-tiba mengalami gangguan, maka sistem pengaman harus cepat tanggap (peka). Sensitifitas dapat dituliskan dengan persamaan faktor sensitif K_s , yang merupakan perbandingan antara arus hubung singkat minimum dan *pick up* (Sunil, S. Rao, 1980).

$$K_s = \frac{I_{sc \min}}{I_{pp}} \quad (2.2)$$

dengan :

$I_{sc \min}$: Arus hubung singkat minimum.

I_{pp} : Arus *pick up* (arus kerja) primer dari pengaman.

K_s : Faktor sensitif rele.

Dari beberapa referensi buku proteksi diperoleh nilai konstanta K_s adalah 0.8 (Prévé, C., 2006).

2.3.3 Selektivitas

Pengaman harus dapat memisahkan bagian sistem yang terganggu sekecil mungkin yaitu hanya seksi yang terganggu saja yang menjadi pengaman yang selektif. Jadi rele harus dapat membedakan apakah gangguan terletak di kawasan pengamanannya utamanya dimana ia harus bekerja cepat atau terletak di seksi berikutnya dimana ia harus bekerja dengan waktu tunda atau harus tidak bekerja sama sekali karena gangguannya di luar daerah pengamanannya atau sama sekali tidak ada gangguan.

2.3.4 Keandalan

Keandalan adalah kemampuan rele untuk dapat bekerja dengan baik setiap saat dan kemampuan untuk menghindari operasi yang tidak diperlukan atau salah kerja. Salah kerja bisa mengakibatkan kerusakan yang lebih luas. Keandalan rele dihitung dengan jumlah rele yang bekerja di daerahnya terhadap jumlah gangguan yang terjadi. Keandalan rele dikatakan cukup baik bila mempunyai harga sekitar 90-99% (Gonen, T., 1987).

2.3.5 Ekonomis

Sistem pengaman peralatan juga harus mempertimbangkan sisi ekonomis dari pemasangan peralatan tersebut. Karena itu tidak semua peralatan harus dilengkapi dengan pengamanan yang lengkap karena harga peralatan pengamanan juga harus diperhitungkan tanpa menghilangkan efektivitas penyaluran daya listrik. Sisi ekonomis perlu dipertimbangkan setelah aspek teknis telah terpenuhi untuk kelayakan operasi peralatan.

2.4 Rele Arus Lebih

Rele arus lebih adalah suatu rele yang bekerja berdasarkan adanya arus yang melebihi suatu nilai pengaman tertentu dalam jangka waktu tertentu. Gangguan beban lebih dan hubung singkat fasa ke tanah atau fasa-fasa menimbulkan arus lebih memicu pemutus tenaga bekerja sesuai dengan penyetelan waktu yang diterapkan, sehingga resiko kerusakan pada sistem kelistrikan dapat dihindari (Hewitson, L.G., 2004). Rele arus lebih digunakan hampir pada seluruh pola pengamanan sistem tenaga listrik.

Rele akan bekerja apabila memenuhi keadaan sebagai berikut :

$I_f > I_p$	rele bekerja	(<i>trip</i>)
$I_f < I_p$	tidak bekerja	(<i>block</i>)

Dimana I_f merupakan besarnya arus saat gangguan terjadi dan arus ini telah diukur menurut belitan sekunder dari transformator arus (CT). Sedangkan $I_{pick\ up}$ (I_p) merupakan arus kerja yang dinyatakan menurut belitan sekunder dari transformator arus (Prévé, C., 2006).

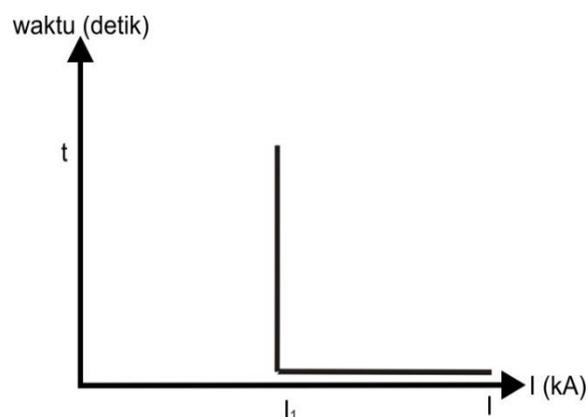
Pengaman dengan menggunakan rele arus lebih mempunyai beberapa keuntungan yaitu (Soekarto,1994) :

- Dapat mengamankan arus lebih, yang terjadi karena hubung singkat atau beban lebih.
- Dapat berfungsi sebagai pengaman utama juga merupakan pengaman cadangan.
- Penyetelan mudah.
- Harga relatif murah.

2.5 Karakteristik Rele Arus Lebih

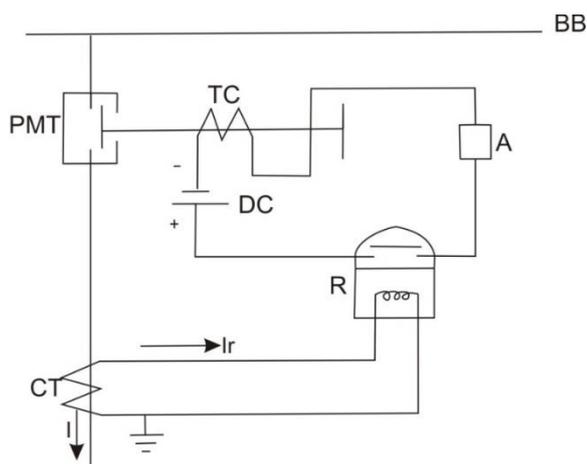
2.5.1 Rele Arus lebih Waktu Seketika (Instan)

Rele arus lebih seketika adalah jenis rele arus lebih yang paling sederhana dimana jangka waktu kerja rele yaitu mulai saat rele mengalami *pick up* sampai selesainya kerja rele sangat singkat yakni sekitar 20-100 milidetik tanpa adanya penundaan waktu (Ravindranath, 1976:51). Rele ini memiliki waktu kerja yang sangat cepat dibandingkan dengan rele lainnya. Pada setelan koordinasi proteksi di sistem distribusi tegangan menengah disebut setelan momen/instan/cepat (Sarimun W, 2012). Karakteristik rele arus lebih seketika, bekerjanya didasarkan pada besarnya arus gangguan hubung singkat yang dipilih, ditunjukkan pada gambar 2.1 dibawah ini.



Gambar 2.1 Karakteristik Rele Arus Lebih Waktu Seketika

Sumber: Setiyo Saksomo, tanpa tahun:28



Gambar 2.2 Rangkaian Rele Arus Lebih Waktu Seketika

Sumber: Setiyo Saksomo, tanpa tahun:27

Rangkaian rele arus lebih waktu seketika ditunjukkan pada gambar 2.2, bila karena suatu hal sehingga harga arus beban I naik melebihi harga yang diijinkan, maka harga I_r juga akan naik. Bila naiknya harga arus ini melebihi harga operasi dari rele, maka rele arus lebih seketika akan bekerja. Kerja dari rele ini di tandai dengan Bergeraknya kontaktor gerak rele untuk menutup kontak. Dengan demikian, rangkaian pemutus akan tertutup.

Mengingat pada rangkaian ini terdapat sumber arus searah, maka pada kumparan pemutus akan dialiri arus searah yang selanjutnya akan mengerjakan kontak pemutus, sehingga bagian sistem yang harus diamankan terbuka. Untuk mengetahui bahwa rele harus bekerja, maka perlu dipasang suatu *alarm*.

2.5.1.1 Penyetelan Arus Rele Arus Lebih Seketika (Instan)

Pada penerapannya, rele arus lebih waktu invers kurang efektif dalam mengamankan gangguan. Hal ini karena semakin dekat gangguan yang terjadi dengan sumber, maka arus gangguan yang mengalir akan semakin besar, namun waktu pemutusan gangguan tersebut terlalu lama. Sedangkan tingkat keamanan sistem proteksi dinilai dari seberapa cepat sistem proteksi dapat memutus gangguan. Oleh sebab itu, perlu ditambahkan bantuan rele arus lebih instan sehingga menghasilkan sistem proteksi yang lebih baik, karena rele arus lebih instan tanpa perlambatan waktu. Dalam aplikasinya di sistem pengamanan suatu jaringan tenaga listrik biasanya rele arus lebih waktu instan dikombinasikan dengan rele arus lebih invers (Horowitz, S. dan Phadke, Arum G, 2008). Maka koordinasi antara satu dan seksi lainnya untuk mendapatkan selektifitas didasarkan tingkat beda arus (*current grading*). Penyetelan rele ini adalah :

a. Arus Setelan Pada Bagian Sekunder

Besarnya arus setelan pada bagian sekunder sebesar :

$$I_{\text{instan sekunder}} = \frac{I_{\text{instan}}}{I_{\text{set primer}}} \quad (2.3)$$

dengan :

$I_{\text{instan sekunder}}$: Setelan arus instan pada bagian sekunder (Ampere).

$I_{\text{set primer}}$: Setelan arus pada bagian primer (Ampere).

I_{instan} : Setelan arus instan (Ampere).

Dengan setelan arus instan sebagai berikut :

1) Untuk setelan disisi penyulang, dengan arus maksimum adalah :

- Trafo kapasitas 60 MVA maksimum $2,0 \times I_{n \text{ trafo}}$
 - Trafo kapasitas 50 MVA maksimum $2,2 \times I_{n \text{ trafo}}$
 - Trafo kapasitas 30 MVA maksimum $2,4 \times I_{n \text{ trafo}}$
 - Trafo kapasitas 20 MVA maksimum $2,6 \times I_{n \text{ trafo}}$
 - Trafo kapasitas 16 MVA maksimum $3,0 \times I_{n \text{ trafo}}$
 - Trafo kapasitas 10 MVA maksimum $3,2 \times I_{n \text{ trafo}}$
- (2.4)

2) Untuk setelan disisi masukan 20 kV, disetelan sebesar :

$$I_{\text{instan}} = 4 \times I_{n \text{ trafo}} \quad (2.5)$$

dengan :

$I_{n \text{ trafo}}$: Arus nominal transformator daya (Ampere).

Untuk menghitung arus nominal transformator daya menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$I_{n \text{ trafo}} = \frac{\text{kVA}}{\sqrt{3} \times \text{kV}_{L-L}} \quad (2.6)$$

b. Arus Setelan Pada Bagian Primer

Besarnya arus setelan pada bagian primer sebesar :

$$I_{\text{instan primer}} = I_{\text{instan sekunder}} \times I_{\text{set primer}} \quad (2.7)$$

dengan :

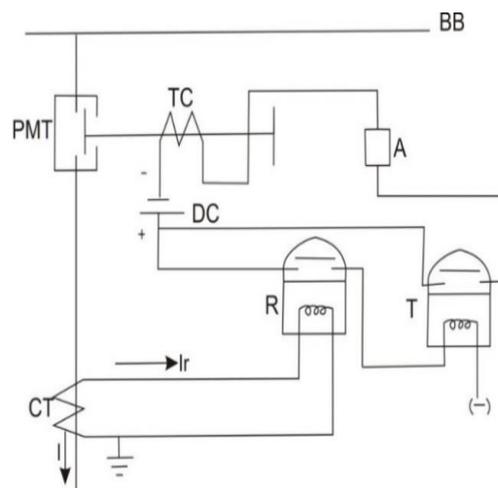
$I_{\text{instan primer}}$: Setelan arus instan pada bagian primer (Ampere).

2.5.1.2 Penyetelan Waktu Rele Arus Lebih Seketika (Instan)

Untuk penyetelan waktu rele arus lebih seketika disisi penyulang berkisar antara 40 sampai dengan 100 milidetik, sedangkan untuk sisi masukan 20 kV penyetelan waktunya lebih besar dari penyetelan waktu sisi penyulang (Sarimun,W., 2012).

2.5.2 Rele Arus Lebih Waktu Tertentu (Definite)

Rele arus lebih waktu tertentu adalah jenis rele arus lebih dimana jangka waktu rele mulai *pick up* sampai selesainya kerja rele dapat diperpanjang dengan nilai tertentu dan tidak tergantung dari besarnya arus yang mengerjakannya (tergantung dari besarnya arus penyetelan, melebihi arus penyetelan maka waktu kerja rele ditentukan oleh waktu penyetelannya). Rangkaian dari rele arus lebih waktu tertentu ditunjukkan pada gambar 2.3 dan karakteristiknya di gambar 2.4.



Gambar 2.3 Rangkaian Rele Arus Lebih Waktu Tertentu
Sumber: Setiyo Saksomo, tanpa tahun:29

keterangan gambar 2.3 :

- BB : Busbar.
- PMT : Pemutus (*circuit breaker*).
- TC : Kumaran pemutus (*tripping coil*).
- DC : Sumber arus searah.
- A : Tanda bahaya (*alarm*).
- R : Rele arus lebih waktu seketika (instan).
- T : Rele arus lebih waktu tertentu (definite).
- CT : Transformator arus (*current transformer*).
- I_r : Arus yang melewati kumaran rele.
- I : Arus beban.



Gambar 2.4 Karakteristik Rele Arus Lebih Waktu Tertentu
Sumber: Setiyo Saksomo, tanpa tahun:29

Dengan memasang rele kelambatan waktu T (*time lag relay*) ditunjukkan seperti gambar 2.3, maka beroperasinya rangkaian rele akan tergantung pada penyetelan waktu pada rele kelambatan waktunya. Sedangkan karakteristik kerjanya ditunjukkan pada gambar 2.4, dimana waktu kerjanya, lebih lama dari waktu setelan rele arus lebih waktu seketika dan setelan rele didasarkan pada setelan arus beban . Dengan pemasangan rele kelambatan waktu, maka pengaman akan bekerja bila dipenuhi kondisi sebagai berikut :

$$t_{tr} = t_{mg} + t_{pr} + t_{pp} \quad (2.8)$$

dengan :

- t_{tr} : Waktu total rele mulai terjadinya gangguan sampai dengan pemutus bekerja (detik).
- t_{mg} : Waktu mulai terjadinya gangguan sampai dengan rele *pick up* (detik).
- t_{pr} : Waktu penundaan kerja rele (detik).
- t_{pp} : Waktu yang dibutuhkan pemutus bekerja (detik).

Keuntungan dari rele arus lebih waktu tertentu adalah (Sarimun 2008) :

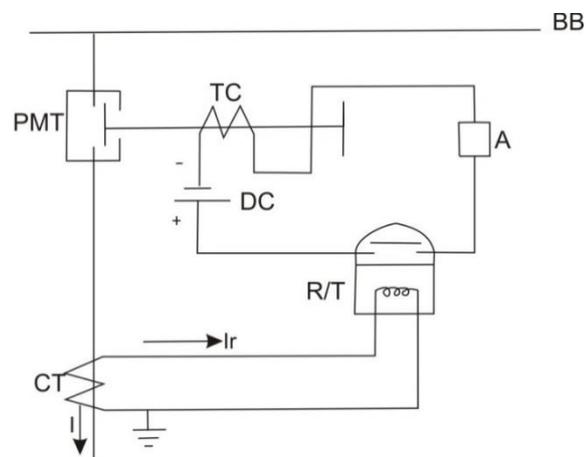
- Koordinasinya mudah.
- Waktu kerjanya tidak tergantung oleh perubahan kapasitas pembangkit.

Kelemahannya adalah :

- Terjadi komulasi waktu pada rele di hulu, untuk sistem besar, akumulasi waktu tidak diinginkan.
- Bila diterapkan pada pengamanan gangguan tanah jaringan distribusi radial, bisa menimbulkan masalah *simpatetik tripping*.

2.5.3 Rele Arus Lebih Waktu Terbalik (Invers)

Rele arus lebih dengan karakteristik waktu arus berbanding terbalik adalah jenis rele arus lebih dimana jangka waktu rele mulai *pick up* sampai dengan selesainya kerja rele tergantung dari besarnya arus yang melewati kumparan relenya, maksudnya rele tersebut mempunyai sifat terbalik untuk nilai arus dan waktu bekerjanya. Adapun rangkaian rele arus lebih terbalik ditunjukkan pada gambar 2.5.



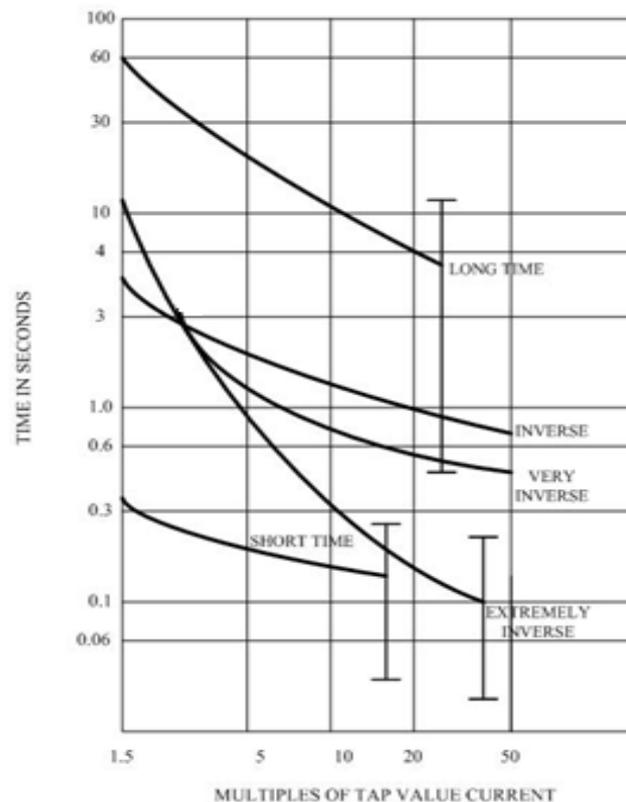
Gambar 2.5 Rangkaian Rele Arus Lebih Berbanding Terbalik

Sumber: Setiyo Saksomo, tanpa tahun:30

Karakteristik invers ini dijelaskan dalam standard IEC 60255-3 dan BS 142. Standard-standard ini mendefinisikan beberapa jenis perlindungan waktu invers yang dibedakan oleh gradien kurvanya, yaitu *standart inverse*, *very inverse* dan *extremely inverse* (Prévé, C., 2006). Standard lain, misalnya standard IEEE juga memberikan karakteristik kurva yang lain, seperti *moderalety inverse*, *long time inverse* dan *short time inverse*.

Adapun karakteristik rele arus lebih terbalik berdasarkan standard IEC 60255-3 dan BS 142 dapat dilihat pada gambar 2.6 dibawah ini, dimana dalam gambar tersebut menunjukkan besarnya arus gangguan dan waktu unjuk kerja yang biasanya disebut *time dial*. Semakin besar *time dial* maka semakin lama pula waktu operasi rele ini.

Karakteristik invers ini banyak dikenal dengan sebutan *inverse definite minimum time* (IDMT). Karena seiring dengan arus yang bertambah besar, waktu operasi turun semakin cepat seolah mendekati waktu definite minimumnya (Sleva, Anthony F., 2009).



Gambar 2.6 Karakteristik Rele Arus Lebih Waktu Terbalik
Sumber: Network Protection & Automation Guide Alsthom

2.5.3.1 Penyetelan Arus Rele Arus Lebih Terbalik (Invers)

Untuk setelan arus dari rele arus lebih terbalik dihitung berdasarkan arus beban, yang mengalir di penyulang atau masukan 20 kV, artinya (Sarimun, W. 2012) :

- Rele arus lebih yang terpasang di penyulang, dihitung berdasarkan arus beban maksimum (beban puncak) yang mengalir di penyulang tersebut.
- Rele arus lebih yang terpasang di masukan 20 kV, dihitung berdasarkan arus nominal transformator daya.

a. Arus Setelan Primer Rele Arus Lebih Jenis Invers

Sesuai *British Standart* untuk rele arus lebih jenis invers biasa diset sebesar :

$$I_{\text{set primer}} = 1,05 \text{ s/d } 1,3 \times I_{\text{beban}} \text{ (Ampere).} \quad (2.9)$$

dengan :

$I_{\text{set primer}}$: Arus setelan pada bagian primer (Ampere).

Nilai setelan primer rele arus lebih jenis invers akan digunakan untuk menghitung waktu bekerja rele arus lebih apabila terjadi gangguan pada saluran dan mengaktifkan CB.

b. Arus Setelan Sekunder Rele Arus Lebih Jenis Invers

Untuk mendapatkan nilai setelan sekunder yang disetkan pada rele arus lebih, maka harus dihitung dengan menggunakan ratio transformator arus (CT) yang terpasang pada sisi masukan maupun sisi penyulang 20 kV. Sehingga persamaannya adalah (Ravindranath, 1976:177) :

$$I_{\text{set sekunder}} = I_{\text{set primer}} \times \frac{1}{n_{CT}} \text{ (Ampere)} \quad (2.10)$$

dengan :

$I_{\text{set sekunder}}$: Arus setelan pada bagian sekunder (Ampere).

n_{CT} : Angka transformasi pada transformator arus.

2.5.3.2 Penyetelan Waktu Rele Arus Lebih Terbalik (Invers)

Setelan waktu rele arus lebih jenis invers dihitung menggunakan rumus kurva waktu dengan arus adalah seperti persamaan berikut (IEC 60255-3 dan BS 142 1966) :

$$t = \frac{\beta}{\left[\left(\frac{I_f}{I_{\text{set}}} \right)^\alpha \right] - 1} \times \text{TMS (detik)} \quad (2.11)$$

Nilai TMS pada rele arus lebih jenis invers dapat dicari dengan menggunakan persamaan :

$$\text{TMS} = \frac{\left[\left(\frac{I_f}{I_{\text{set}}} \right)^\alpha \right] - 1}{\beta} \times t \quad (2.12)$$

dengan :

t : Waktu beroperasinya rele (detik).

TMS : *Time Multiple Setting*, Nilai ini yang diset kan ke rele sebagai konstanta (tanpa satuan).

I_f : Arus gangguan hubung singkat (Ampere), pada sistem distribusi tenaga listrik. Setelan rele arus lebih, I_f diambil arus gangguan 3 fasa atau 2 fasa terbesar.

I_{set} : Arus penyetelan yang dimasukkan ke rele (Ampere).

Tabel 2.1 Koefisien *Time Dial*

Jenis Kurva	β	α
<i>Standart Inverse</i>	0,14	0,02
<i>Very Inverse</i>	13,5	1
<i>Long Time Inverse</i>	120	1
<i>Extremely Inverse</i>	80	2

Sumber: IEC 60255-3

2.6 Dasar Penyetelan Rele Arus Lebih

2.6.1 Dasar Penyetelan Arus

2.6.1.1 Batas Minimum

Batas penyetelan minimum dinyatakan bahwa rele arus lebih tidak boleh bekerja pada saat terjadi beban maksimum (PLN, Dinas Proteksi:14).

2.6.1.2 Batas Maksimum

Batas penyetelan maksimum rele arus lebih adalah bahwa rele harus bekerja bila terjadi gangguan hubung singkat pada rele seksi berikutnya. Dalam penyetelan maksimum rele perlu memperhitungkan arus hubung singkat maksimum yang melewati rele. Suatu gangguan hubung singkat tiga fasa pada pembangkit maksimum akan memberikan suatu arus gangguan maksimum dan gangguan hubung singkat antar fasa

akan memberikan arus gangguan minimum. Rele arus lebih harus memberikan reaksi terhadap kedua kondisi ini.

2.6.2 Dasar Penyetelan Waktu Kerja

2.6.2.1 Rele Paling Hilir

Penyetelan untuk rele arus lebih waktu tertentu ialah 0,2-0,3 detik, sedangkan untuk rele arus lebih waktu terbalik dipilih *time dial* yang terkecil yang didasarkan pada pembangkit maksimum.

2.6.2.1 Rele Satu Seksi di Hulunya

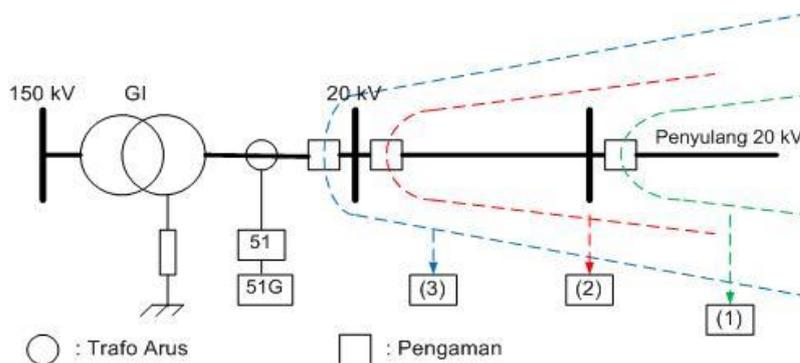
Penyetelan waktu kerja rele satu seksi di hulunya didasarkan bahwa rele yang berdekatan harus selektif.

2.7 Daerah Pengaman

Untuk memperoleh tingkat selektifitas yang tinggi, dimana hanya bagian sistem yang terganggu saja yang diisolasi (mengalami pemutusan), maka pada sistem proteksi dibentuk daerah-daerah pengaman. Daerah pengaman akan memberikan suatu pengertian mengenai batas daerah bagi sistem pengaman. Sehingga suatu sistem pengaman akan memberikan respon terhadap gangguan yang terjadi didaerahnya dan memberikan perlindungan terhadap gangguan tersebut.

Daerah pengaman distribusi dapat dilihat pada gambar 2.7 dibawah ini, dimana dalam gambar tersebut merupakan suatu sistem tegangan menengah yang terdiri dari satu transformator, satu saluran distribusi dan tiga buah busbar yang digambarkan dalam diagram segaris. Garis terputus-putus tersebut menunjukkan pembagian sistem tenaga listrik ke dalam tiga daerah pengaman.

Batas setiap daerah menentukan bagian sistem tegangan menengah sehingga untuk gangguan yang terjadi di dalam daerah tersebut, sistem pengaman yang bertanggung jawab akan bertindak untuk memisahkan semua gangguan yang berada dalam daerah itu. Karena pemisahan dalam keadaan terganggu dilakukan oleh pemutus rangkaian, maka pada setiap titik hubungan antara peralatan di dalam daerah pengaman satu dengan bagian lainnya dari sistem harus menyisipkan pemutus rangkaian. Dengan kata lain, pemutus rangkaian membantu menentukan batas daerah pengaman.



Gambar 2.7 Daerah Pengaman Distribusi

Sumber: Sarimun, W., 2012

Pada gambar 2.7 pengaman distribusi tenaga listrik sistem tegangan menengah terbagi sebagai berikut :

1. Daerah pengaman listrik mempergunakan *Recloser*, *Fuse cut out* atau SSO.
2. Daerah pengaman listrik lokasi di sumber listrik Gardu Induk atau pusat listrik mempergunakan rele arus lebih dan rele gangguan tanah (keluaran penyulang).
3. Daerah pengaman listrik di sumber listrik Gardu Induk atau pusat listrik mempergunakan rele arus lebih dan rele gangguan tanah (masukan penyulang).

2.8 Koordinasi Pengaman

Pengertian koordinasi pengaman yaitu terdapat dua jenis atau lebih peralatan proteksi diantara titik kesalahan/gangguan. Peralatan ini harus dikoordinasikan untuk memastikan bahwa peralatan yang berada di titik terdekat dengan gangguan harus dioperasikan terlebih dahulu. Kegagalan pada proteksi utama harus dapat diatasi, yaitu dengan proteksi cadangan (*back up protection*). Proteksi cadangan ini umumnya mempunyai perlambatan waktu (*time delay*), hal ini untuk memberikan kesempatan kepada proteksi utama beroperasi terlebih dahulu, dan jika proteksi utama gagal baru proteksi cadangan yang akan beroperasi. Hal ini disebut koordinasi selektif, dimana merupakan kemampuan untuk menentukan pada titik mana terjadinya gangguan, sehingga dapat ditentukan dengan tepat pemutus daya yang harus dibuka. Dengan demikian hanya bagian yang mengalami gangguan saja yang dipisahkan atau diisolasi dari sistem tersebut. Rele pengaman dengan kemampuan selektif yang baik dibutuhkan untuk mencapai keandalan sistem yang tinggi karena tindakan pengaman yang cepat dan tepat akan dapat memperkecil gangguan menjadi sekecil mungkin. Syarat yang diperlukan pada peralatan proteksi harus menilai atau menentukan pada saat beroperasi harus melihat pada nilai minimal arus lebih, nilai minimal waktu dan tetap pada kondisi

selektif dari peralatan lain dalam suatu sistem sehingga setelan arus dan setelan waktu yang digunakan rele pengamanan sangat diperlukan untuk menentukan respon bekerja dengan cepat apabila terjadi gangguan agar gangguan tersebut tidak menyebar merusak peralatan yang lain dari sistem.

Dengan mengacu pada konsep daerah pengamanan, maka setelan rele arus lebih memiliki peranan yang penting dalam koordinasi rele pengamanan. Setelan rele arus lebih dapat dilakukan berdasarkan setelan waktu, setelan arus maupun kombinasi keduanya (IEEE *Standart* 242-1986).

Koordinasi ini adalah untuk menentukan *time delay* pada pengamanan antara rele pengamanan utama dan rele pengamanan cadangan tidak boleh bekerja secara bersamaan. Untuk itu diperlukan *time delay* antara rele utama dan rele cadangan adalah 0,4-0,5 detik. Dengan spesifikasi sebagai berikut :

- Kesalahan rele waktu pada kedua rele waktu yang berurutan 0,2-0,3 detik.
- *Overshoot* 0,05 detik.
- Waktu pembukaan pemutus tenaga maksimum 0,1 detik.
- Faktor keamanan 0,05 detik.

2.9 Perhitungan Impedansi

Untuk melakukan perhitungan arus hubung singkat terlebih dahulu adalah menentukan impedansi dari setiap elemen rangkaian dan mengubahnya dengan dasar sama. Dua macam cara untuk menentukan impedansi yaitu metode ohm dan per unit (pu).

2.9.1 Sistem Per Unit (pu)

Definisi dari nilai per unit untuk suatu kuantitas ialah perbandingan dari kuantitas tersebut terhadap nilai dasarnya yang dinyatakan dalam desimal. Perbandingan (ratio) dalam persentase adalah 100 kali nilai dalam per unit. Kedua metode perhitungan tersebut, baik dengan persentase maupun dengan per unit adalah lebih sederhana daripada menggunakan langsung nilai-nilai ampere, ohm, dan volt yang sebenarnya. Metode per unit mempunyai sedikit kelebihan dari metode persentase, karena hasil perkalian dari dua kuantitas yang dinyatakan dalam per unit sudah langsung diperoleh dalam per unit juga, sedangkan hasil perkalian dari dua kuantitas yang dinyatakan dalam persentase masih harus dibagi dengan 100 untuk mendapatkan hasil dalam persentase.

Tegangan, arus, kilovoltampere dan impedansi mempunyai hubungan sedemikian rupa sehingga pemilihan nilai-nilai dasar untuk dua saja dari kuantitas-kuantitas tersebut

sudah dengan sendirinya menentukan nilai-nilai dasar untuk kedua kuantitas yang lainnya. Jika nilai-nilai dasar dari arus dan tegangan sudah dipilih, maka nilai-nilai dasar dari impedansi dan kilovoltampere dapat ditentukan. Impedansi dasar adalah impedansi yang akan menimbulkan jatuh tegangan (*voltage drop*) padanya sendiri sebesar tegangan dasar jika arus yang mengalirinya sama dengan arus dasar. Kilovoltampere dasar pada sistem-sistem berfasa tunggal adalah hasil perkalian dari tegangan dasar dalam kilovolt dan arus dasar dalam ampere.

Biasanya megavoltampere dasar dan tegangan dasar dalam kilovolt adalah kuantitas-kuantitas yang dipilih untuk menentukan dasar atau referensi. Jadi untuk sistem-sistem berfasa tunggal atau sistem-sistem tiga fasa di mana istilah arus berarti arus saluran, istilah tegangan berarti tegangan ke netral, dan istilah kilovoltampere berarti kilovoltampere per fasa, berlaku rumus-rumus berikut ini untuk hubungan bermacam-macam kuantitas (Stevenson, 1996:29) :

$$\text{Arus dasar} = \frac{\text{kVA}_{3\phi} \text{ dasar}}{\sqrt{3} \times \text{tegangan dasar, kV}_{L-L}} \quad (2.13)$$

$$\text{Impedansi dasar} = \frac{(\text{Tegangan dasar, kV}_{L-L})^2}{\text{MVA}_{3\phi} \text{ dasar}} \quad (2.14)$$

$$\text{Impedansi per unit} = \frac{\text{Impedansi sebenarnya, } \Omega}{\text{Impedansi dasar, } \Omega} \quad (2.15)$$

Untuk mengubah dari impedansi per unit (pu) menurut suatu dasar yang lama menjadi impedansi per unit (pu) menurut dasar yang baru dipakai persamaan berikut (Stevenson, 1996:29) :

$$Z_{\text{baru}} (\text{pu}) = Z_{\text{lama}} (\text{pu}) \left(\frac{\text{kV}_{\text{lama}} \text{ dasar}}{\text{kV}_{\text{baru}} \text{ dasar}} \right)^2 \times \left(\frac{\text{kVA}_{\text{baru}} \text{ dasar}}{\text{kVA}_{\text{lama}} \text{ dasar}} \right) \quad (2.16)$$

2.9.2 Impedansi Sumber

Jaringan distribusi yang dipasok dari tegangan tinggi dengan menggunakan transformator daya, untuk menentukan impedansi sumber maka harus diketahui MVA hubung singkat disisi tegangan tinggi. Impedansi sumber pada sisi tegangan tinggi dapat ditentukan melalui persamaan (Pusdiklat PLN:13-51/91) :

$$Z_s (\Omega) = \frac{(\text{Tegangan dasar, kV}_{L-L})^2}{\text{MVA}_{hs}} \quad (2.17)$$

Dimana untuk mendapatkan nilai MVA hubung singkat harus diketahui terlebih dahulu nilai arus hubung singkat pada busbar sisi tegangan tinggi (busbar primer transformator daya), yang mewakili semua unit pembangkit beroperasi. MVA hubung singkat dapat ditentukan melalui persamaan :

$$\text{MVA}_{hs} = \sqrt{3} \times \text{kV}_{L-L} \times I_{hs} \quad (2.18)$$

2.9.3 Impedansi Urutan Komponen

Impedansi urutan komponen terdiri dari (Stevenson, 1996:274) :

a. Impedansi Urutan Positif (Z_1).

Impedansi urutan positif adalah rangkaian impedansi tiga fasa simetris yang didapat dengan memberikan tegangan urutan positif dan hanya mengalir arus urutan positif saja.

b. Impedansi Urutan Negatif (Z_2).

Impedansi urutan negatif adalah rangkaian impedansi tiga fasa simetris yang didapat dengan memberikan tegangan urutan positif, tetapi arus yang mengalir adalah arus urutan negatif.

c. Impedansi Urutan Nol (Z_0).

Impedansi urutan nol adalah rangkaian impedansi tiga fasa simetris yang didapat dengan memberikan tegangan urutan positif tetapi arus yang mengalir adalah arus urutan nol.

Pada sistem jaringan distribusi impedansi urutan komponen-komponen tersebut dapat terlihat pada :

2.9.3.1 Impedansi Urutan Transformator Daya

a. Impedansi Urutan Positif dan Negatif (Z_{1T} dan Z_{2T}).

Impedansi urutan positif transformator daya sama dengan impedansi urutan negatifnya, didapatkan dari papan nama transformator daya yang dinyatakan dalam satuan persen (%) atau per unit (pu), dimana $Z_{1T} = Z_{2T}$ (2.19)

b. Impedansi Urutan Nol (Z_{0T}).

Impedansi urutan nol, diperoleh dari data transformator daya yang digunakan, yaitu melihat adanya belitan delta sebagai belitan ketiga dalam transformator daya tersebut (Sarimun W., 2012) :

1) Untuk transformator daya dengan hubungan belitan ΔY dimana kapasitas belitan delta sama besar dengan kapasitas belitan Y, maka $Z_{0T} = Z_{1T}$ (2.20)

2) Untuk transformator daya dengan hubungan belitan ΔY dimana kapasitas belitan delta (d) biasanya adalah sepertiga dari kapasitas belitan Y (belitan yang dipakai untuk menyalurkan daya, sedangkan belitan delta tetap ada di dalam tetapi tidak dikeluarkan kecuali satu terminal delta untuk ditanahkan), maka nilai $Z_{0T} = 3 \times Z_{1T}$ (2.21)

3) Untuk transformator daya dengan hubungan belitan YY dan tidak mempunyai belitan delta di dalamnya, maka untuk menghitung besarnya Z_{0T} berkisar antara 9 s/d 14 x Z_{1T} (2.22)

2.9.3.2 Impedansi Urutan Penyulang

Untuk perhitungan impedansi penyulang, perhitungannya tergantung dari besarnya impedansi per km dari penyulang yang akan dihitung, dimana nilainya ditentukan dari jenis penghantar, luas penampang dan panjang jaringan SUTM atau jaringan SKTM. Dalam perhitungan disini diambil dengan impedansi $Z = (R + jX) \Omega/\text{km}$. (Sarimun, W. 2012). Sehingga untuk impedansi penyulang dapat ditentukan dengan menggunakan rumus :

$$Z_{1\text{penyulang}} = Z_{2\text{penyulang}} = R_1 + jX_1 (\text{ohm/km}) \times L (\text{km}) \quad (2.23)$$

$$Z_{0\text{penyulang}} = R_0 + jX_0 (\text{ohm/km}) \times L (\text{km}) \quad (2.24)$$

dengan :

$Z_{1\text{penyulang}}$: Impedansi penyulang urutan positif (ohm).

$Z_{2\text{penyulang}}$: Impedansi penyulang urutan negatif (ohm).

$Z_{0\text{penyulang}}$: Impedansi penyulang urutan nol (ohm).

L : Panjang penyulang (km).

2.9.4 Impedansi Total

Sistem distribusi memperoleh daya melalui jaringan transmisi berpola radial yaitu generator pada pangkalnya, sehingga besar impedansi total diperoleh dengan menjumlahkan seluruh nilai impedansi urutan komponen yang ada dan impedansi sumbernya. Maka impedansi total untuk setiap urutan komponennya dapat dicari dengan persamaan (PLN, Dinas Proteksi:8) :

$$Z_{1total} = Z_{2total} = Z_s + Z_{1T} + Z_{1penyulang} \quad (2.25)$$

$$Z_{0total} = Z_{0T} + 3 \cdot Z_n + Z_{0penyulang} \quad (2.26)$$

dengan :

Z_{1total} : Impedansi total urutan positif (pu).

Z_{2total} : Impedansi total urutan negatif (pu).

Z_{0total} : Impedansi total urutan nol (pu).

Z_{1T} : Impedansi transformator daya urutan positif (pu).

Z_{2T} : Impedansi transformator daya urutan negatif (pu).

Z_{0T} : Impedansi transformator daya urutan nol (pu).

Z_s : Impedansi sumber (pu).

$Z_{1penyulang}$: Impedansi penyulang urutan positif (pu).

$Z_{2penyulang}$: Impedansi penyulang urutan negatif (pu).

$Z_{0penyulang}$: Impedansi penyulang urutan nol (pu).

Z_n : Impedansi pengetanahan (pu).

2.10 Arus Gangguan

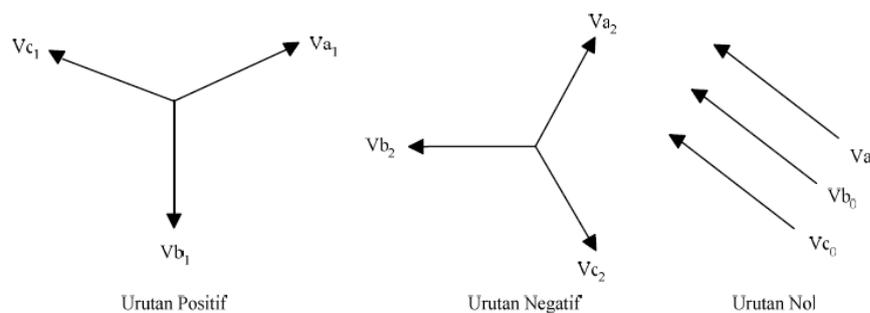
2.10.1 Komponen Simetris

Karya Fortescue membuktikan bahwa suatu sistem tak seimbang yang terdiri dari n fasor yang berhubungan dapat diuraikan menjadi n buah sistem dengan fasor seimbang yang dinamakan komponen-komponen simetris dari fasor lainnya. n buah fasor pada setiap himpunan komponennya sama panjang dan sudut diantara fasor yang bersebelahan dalam himpunan itu sama besarnya.

Menurut toerama Fortercue, tiga fasa tidak seimbang pada suatu sistem tiga fasa dapat diturunkan menjadi tiga fasor seimbang yaitu (Stevenson, 1994:269) :

1. Komponen-komponen urutan positif (*positive sequence components*) yang terdiri dari tiga fasor yang sama besarnya, terpisah satu dengan yang lain dalam sudut fasa 120° dan mempunyai urutan fasa yang sama seperti fasor aslinya.
2. Komponen-komponen urutan negatif (*negative sequence components*) yang terdiri dari tiga fasor yang sama besarnya, terpisah satu dengan yang lainnya dalam sudut sebesar 120° dan mempunyai urutan fasa yang berlawanan dengan fasor aslinya.
3. Komponen-komponen urutan nol (*zero sequence components*) yang terdiri dari tiga fasor yang sama besarnya dan dengan pergeseran fasa nol antara yang satu dengan yang lainnya.

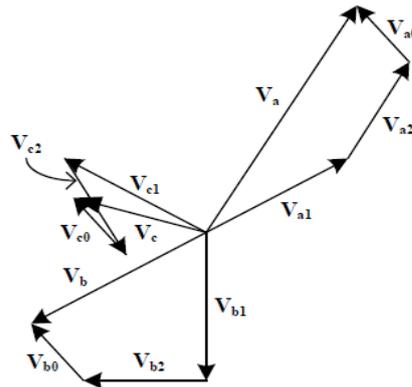
Urutan fasa komponen positif dari fasor tidak seimbang adalah a,b,c sedangkan urutan negatif adalah a,c,b. Jika fasor aslinya tersebut adalah tegangan dapat dinyatakan dengan V_a, V_b, V_c . Ketiga komponen simetris dinyatakan dengan subskrip tambahan 1 untuk urutan positif, 2 untuk urutan negatif, dan 0 untuk urutan nol. Sehingga dari fasor tegangan komponen simetris secara berurutan dapat dinyatakan dengan $V_{a1}, V_{b1}, V_{c1}, V_{a2}, V_{b2}, V_{c2}, V_{a0}, V_{b0}, V_{c0}$. Fasor tegangan tiga fasa tidak seimbang dari komponen simetrisnya terlihat pada gambar 2.8.



Gambar 2.8 Tiga Himpunan Fasor Seimbang yang Merupakan Komponen Simetris dari Tiga Fasor Tidak Seimbang

Sumber: Stevenson, 1996:26

Suatu besaran tiga fasa yang tidak seimbang dinyatakan oleh jumlah tiga fasa komponen yang seimbang yang terdiri dari atas urutan positif, negatif, dan nol. Setiap fasor tak seimbang yang asli adalah jumlah dari komponen-komponennya seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.9.



Gambar 2.9 Penjumlahan Secara Grafis Komponen-komponen Untuk Mendapatkan Fasor-fasor Tak Seimbang

Sumber: Stevenson, 1996:261

Dari gambar 2.9 fasor asli dapat dinyatakan dalam suku komponennya atau persamaan senagai berikut :

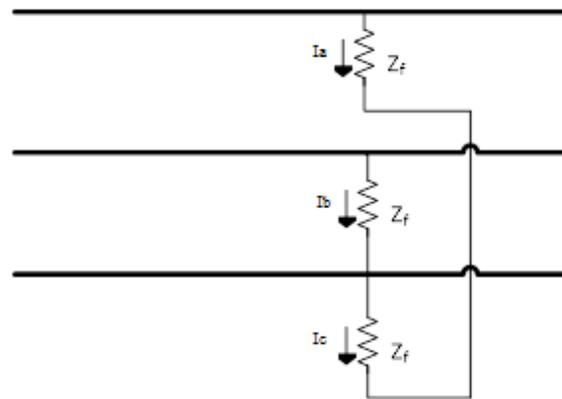
$$V_a = V_{a1} + V_{a2} + V_{a0} \quad (2.27)$$

$$V_b = V_{b1} + V_{b2} + V_{b0} \quad (2.28)$$

$$V_c = V_{c1} + V_{c2} + V_{c0} \quad (2.29)$$

2.10.2 Gangguan Hubung Singkat Tiga Fasa

Gangguan hubung singkat tiga fasa diperlihatkan pada gambar 2.10 dibawah ini.



Gambar 2.10 Gangguan Hubung Singkat Tiga Fasa

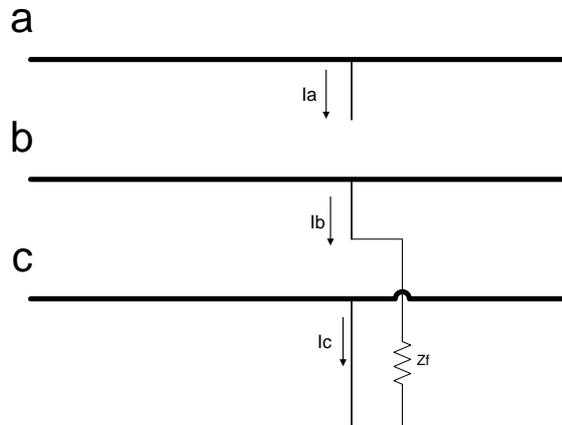
Sumber: Stevenson, 1994

Arus hubung singkat tiga fasa adalah (Gonen, T., 1988:267) :

$$I_{hs} = \frac{E_a}{Z_1 + Z_f} \quad (2.30)$$

2.10.3 Gangguan Hubung Singkat Antar Fasa

Gangguan terjadi pada fasa b dan c. Gangguan hubung singkat antar fasa diperlihatkan pada gambar 2.11 dibawah ini.



Gambar 2.11 Gangguan Hubung Singkat Antar Fasa
Sumber: Stevenson, 1994

Arus hubung singkat antar fasa adalah (Gonen, T., 1988:267) :

$$I_{hs} = \frac{E_a}{Z_1 + Z_2 + Z_f} \quad (2.31)$$

keterangan :

I_{hs} : Arus hubung singkat (Ampere).

E_a : Tegangan dasar (pu).

Z_1 : Impedansi urutan positif (pu).

Z_2 : Impedansi urutan negatif (pu).

Z_f : Impedansi gangguan hubung singkat (pu).

Besar prosentase kejadian gangguan-gangguan tersebut dapat dilihat pada tabel 2.2 di bawah ini :

Tabel 2.2 Prosentase Kejadian Gangguan Hubung Singkat

Jenis gangguan	% kejadian
Satu fasa ke tanah	85
Antar fasa	8
Dua fasa ke tanah	5
Tiga fasa	2 atau kurang

Sumber: Ravindranath, 1976

Gangguan satu fasa ke tanah atau yang biasa disebut dengan gangguan tak simetris umumnya disebabkan oleh kecerobohan dari operator. Gangguan satu fasa ke tanah memiliki kemungkinan gangguan terbesar. Oleh karena itu perancangan sistem proteksi terhadap gangguan satu fasa ke tanah harus memiliki tingkat keandalan yang tinggi.

Dari jenis gangguan hubung singkat diatas dapat digolongkan menjadi dua kelompok yaitu (Penangsang, O., 2005) :

a. Hubung Singkat Simetris.

Merupakan gangguan yang terjadi pada semua fasanya sehingga arus maupun tegangan setiap fasanya tetap seimbang setelah gangguan terjadi.

b. Hubung Singkat Tak Simetris (Asimetris).

Merupakan gangguan yang mengakibatkan tegangan dan arus yang mengalir pada setiap fasanya menjadi tidak seimbang.

Gangguan hubung singkat yang termasuk ke dalam gangguan tak simetris (asimetris) adalah hubung singkat satu fasa maupun dua fasa, sedangkan gangguan simetris adalah hubung singkat tiga fasa (NFPA 70E, 2003). Hampir semua gangguan yang terjadi pada sistem tenaga listrik merupakan gangguan tidak simetris. Gangguan-gangguan tak simetris akan menyebabkan mengalirnya arus tak seimbang dalam sistem sehingga untuk menganalisis gangguan yang terjadi digunakan metode komponen simetris untuk menentukan arus maupun tegangan di semua bagian sistem setelah terjadi gangguan. Gangguan ini akan mengakibatkan arus lebih pada fasa yang terganggu, juga akan dapat mengakibatkan kenaikan tegangan pada fasa yang tidak terganggu dan dapat mengakibatkan arus yang jauh lebih besar dari pada arus normal. Gangguan dapat diperkecil dengan cara pemeliharaannya. Bila gangguan hubung singkat dibiarkan berlangsung dengan lama pada suatu sistem daya, banyak pengaruh-pengaruh yang tidak diinginkan yang dapat terjadi (Stevenson, 1994) :

a. Berkurangnya batas-batas kestabilan untuk sistem daya.

b. Rusaknya perlengkapan yang berada dekat dengan gangguan yang disebabkan oleh arus tak seimbang, atau tegangan rendah yang ditimbulkan oleh hubung singkat.

c. Ledakan-ledakan yang mungkin terjadi pada peralatan yang mengandung minyak isolasi sewaktu terjadinya suatu hubung singkat, dan yang mungkin menimbulkan kebakaran sehingga dapat membahayakan orang yang menanganinya dan merusak peralatan-peralatan yang lain.

- d. Terpecah-pecahnya keseluruhan daerah pelayanan sistem daya itu oleh suatu rentetan tindakan pengamanan yang diambil oleh sistem-sistem pengamanan yang berbeda-beda, kejadian ini di kenal sebagai *cascading*.

2.11 Sistem Proteksi Pola Non Kaskade

Proteksi dengan sistem pola non kaskade adalah untuk melindungi bagian-bagian vital dan sekaligus menjaga kestabilan busbar. Sistem pola non kaskade adalah semacam pengaman cadangan jika harus terjadi kegagalan di pengaman utama, maka pengaman cadangan akan beroperasi seketika untuk mendapat selektifitas dan stabilitas.

Pada gambar 2.12 dibawah ini memperlihatkan skema pola non kaskade. Pola non kaskade adalah pola tanpa pertanahan. Pada pola ini rele-rele disisi penyulang 20 kV dapat dikomunikasikan dengan rele disisi hulunya (masukan 20 kV), dimana meskipun rele-rele instan disisi masukan dan penyulang 20 kV diterapkan, namun masih tetap diperoleh selektifitas yang baik.

Pada saat gangguan didaerah kerja rele instan sisi penyulang dan rele instan masukan 20 kV maka rele instan disisi masukan 20 kV akan di blok oleh keluaran dari rele instan di penyulang selama beberapa milidetik (sesuai penyetelan waktu bloknnya) sehingga memberi kesempatan rele instan di penyulang bekerja terlebih dahulu, jika selama waktu blok tersebut PMT penyulang tidak beroperasi maka barulah rele di sisi masukan 20 kV akan memerintahkan PMT sisi masukan 20 kV untuk beroperasi.

Prinsip kerja pola non kaskade dapat dibagi menjadi beberapa kondisi sebagai berikut :

1. Pada saat gangguan busbar diluar daerah instan rele arus lebih sisi masukan 20 kV, maka rele arus lebih sisi masukan 20 kV akan bekerja sesuai dengan penyetelan invers.
2. Pada saat gangguan busbar didalam daerah instan rele arus lebih sisi masukan 20 kV, maka rele arus lebih sisi masukan 20 kV akan bekerja sesuai dengan penyetelan instan.
3. Pada saat gangguan penyulang dan PMT penyulang bekerja normal maka rele arus lebih penyulang akan bekerja sesuai dengan penyetelan invers, dan apabila gangguan tersebut termasuk dalam daerah instan rele arus lebih penyulang maka rele arus lebih penyulang akan bekerja sesuai dengan penyetelan instan.

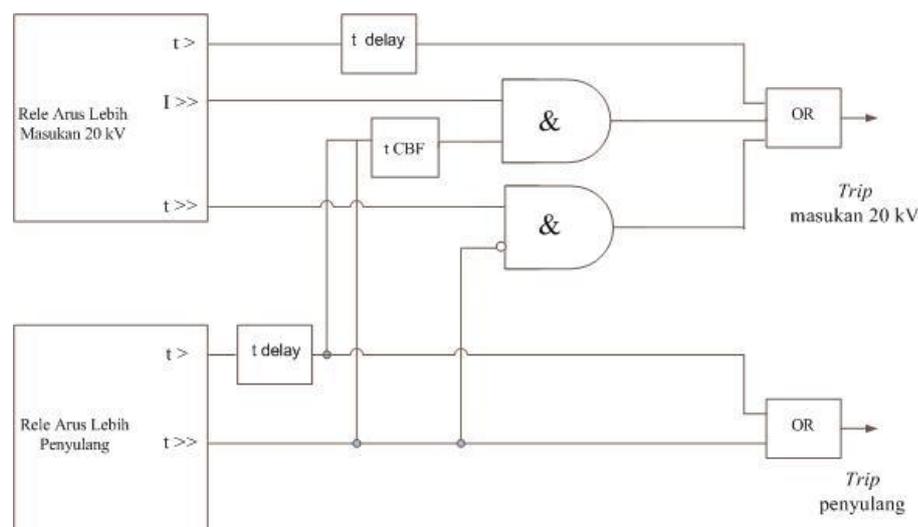
arus hubung singkat maksimum agar bekerja bila terjadi gangguan hubung singkat pada rele seksi berikutnya.

Rele disetel dengan arus hubung singkat minimum agar rele tidak bekerja pada saat beban maksimum dan rele yang berada di hilir mempunyai penyetelan arus sama atau lebih kecil dari rele yang di hulu, dengan demikian arus primer yang diperlukan untuk mengerjakan rele di hilir sama atau lebih kecil dari rele hulu.

2.12 Rele Arus Lebih Pola Non Kaskade

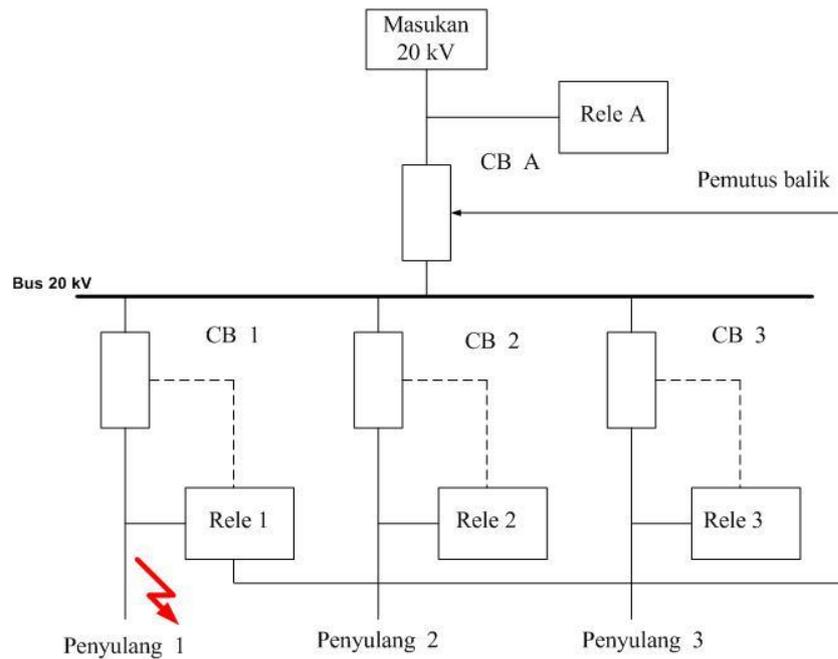
Logika pemutusan pola non kaskade ditunjukkan pada gambar 2.13 dibawah ini. Ketika rele di hilir tidak dapat merespon gangguan yang terjadi maka pada saat bersamaan pula setelan waktu rele instan pada rele arus lebih hulu sama-sama merasakan gangguan sehingga rele arus lebih hilir memberikan sinyal pemutusan menuju rele arus lebih hulu dengan komponen tCBF yang memberikan respon sinyal bersama-sama sinyal rele arus lebih hulu dengan logika gerbang AND artinya bahwa pemutusan bisa berlangsung apabila ada respon dari komponen tCBF dan adanya respon rele arus lebih hulu yang diakibatkan gangguan yang diterima oleh rele arus lebih hulu tersebut untuk memutuskan rangkaian masukan 20 kV.

Dengan waktu yang dapat diatur pada tCBF tersebut maka kerja dari pemutusan itu juga dapat di atur tergantung dari setelan waktu dari kedua rele arus lebih tersebut. Sehingga karakteristik setiap rele di penyulang harus sama dan bisa berkoordinasi dengan rele hulu.



Gambar 2.13 Logika Pemutusan Pola Non Kaskade

Sumber: PT.PLN P3B Jawa-Bali,Nov., 2012:16



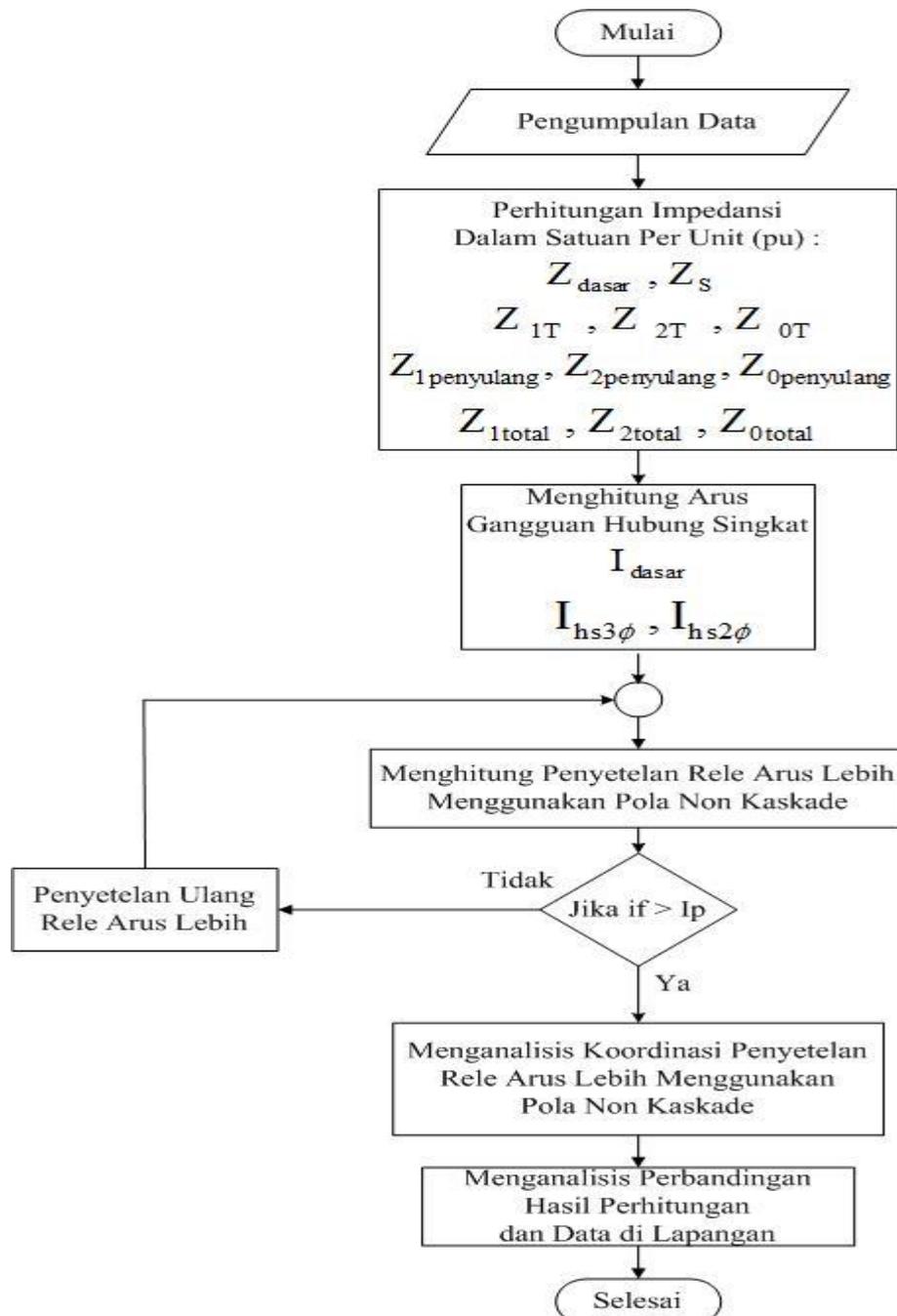
Gambar 2.14 Pemutusan Balik Pengisolasian Gangguan
Sumber: GEC ALSTHOM, 1987

Sistem proteksi ini memberikan keutamaan pada rele untuk memutuskan *circuit breaker* yang berada di seksi sebelumnya (hulu) apabila kondisi rangkaian pemutus merasakan gangguan gagal memutuskan di daerah yang bersangkutan dan dapat diaktifkan dari kedua operasi rele atau pemutusan luar. Dari gambar 2.14 dapat ditunjukkan bahwa metode khusus pemutusan balik yang khusus untuk gangguan di penyalang 1 yang harus di isolasi oleh rele 1 dan CB 1. Apabila CB 1 gagal untuk mengisolasi gangguan, hal ini akan di isolasikan dengan cara hubungan pemutusan balik dengan rele 1 dengan pemutusan CB A.

Pada gambar 2.14, rele A mempunyai karakteristik *standart inverse* untuk $I >$, tetapi reaksi yang cepat $I >>$ dasar (waktu tunda secara khusus 100 ms) yang diblok oleh rele yang berada di hilir pada gangguan penyalang. Daerah pemutusan untuk CB A juga melingkupi daerah CB 1 sehingga apabila terjadi gangguan pada daerah CB 1 namun rele 1 dan CB 1 gagal beroperasi maka CB A yang akan beroperasi melalui tCBF dengan $I >>$ pada rele 1.

BAB III METODE PENELITIAN

Untuk menyelesaikan rumusan masalah dan merealisasikan tujuan dari pembahasan dalam penelitian ini, maka diperlukan metode untuk menyelesaikan permasalahannya. Metode penelitian dalam penyusunan penelitian ini adalah metode perhitungan dimana data-data yang didapatkan akan di hitung dan kemudian di analisa, adapun langkah-langkah metode ini dapat dilihat pada gambar 3.1 dibawah ini.



Gambar 3.1 Diagram Alir Metode Penelitian

3.1 Pengambilan Data

Dalam penelitian ini dilakukan pengambilan data yang diperoleh dari PT. PLN (Persero) P3B Jawa Bali Area Pelaksana Pemeliharaan Malang dan PT. PLN (Persero) Distribusi Jawa Timur Area Pelayanan dan Jaringan Malang Rayon Malang Kota. Pengambilan data yang dilakukan untuk memperoleh data-data yang diperlukan dalam menyelesaikan penelitian. Adapun data-data yang diperlukan merupakan data sekunder, yaitu :

- Diagram satu garis Gardu Induk Sengkaling Malang dan penyulang Junrejo.
- Data spesifikasi transformator daya III dengan kapasitas 150/20 kV dengan daya 30 MVA pada Gardu Induk Sengkaling Malang.
- Data spesifikasi rele arus lebih yang digunakan disisi masukan 20 kV dan penyulang Junrejo.
- Data spesifikasi kabel penghantar penyulang Junrejo.

3.2 Prosedur Perhitungan dan Analisis

Langkah-langkah perhitungan dan analisis untuk memperoleh hasil akhir dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Menghitung arus gangguan hubung singkat yang terjadi pada berbagai titik lokasi gangguan yang diasumsikan di busbar 20 kV Gardu Induk Sengkaling Malang dan 1%, 2%, 3% sampai dengan 100% panjang penyulang. Penentuan titik lokasi gangguan ini dapat membantu dalam menentukan jarak titik lokasi gangguan arus hubung singkat pada penyulang, sehingga dapat diketahui impedansi urutan penyulang untuk setiap titik gangguan arus hubung singkat yang akan dihitung. Adapun langkah-langkah perhitungan sebagai berikut :
 - a. Menghitung impedansi dasar dengan menggunakan persamaan (2.14).
 - b. Menghitung impedansi sumber dengan menggunakan persamaan (2.17) dan (2.18).
 - c. Menghitung impedansi masing-masing komponen dalam satuan per unit (pu) yaitu impedansi transformator daya menggunakan persamaan (2.16), (2.19), (2.20), (2.21), dan (2.22) kemudian untuk menghitung impedansi penyulang dengan menggunakan persamaan (2.23) dan (2.24).
 - d. Menghitung impedansi total dengan menggunakan persamaan (2.25) dan (2.26).

- e. Menghitung arus dasar dengan menggunakan persamaan (2.13).
 - f. Menghitung arus gangguan hubung singkat tiga fasa dan antar fasa dengan menggunakan persamaan (2.30) dan (2.31).
2. Penyetelan rele arus lebih menggunakan pola non kaskade, yang dianalisis adalah penyetelan arus, arus instan dan penyetelan waktu pada sisi masukan dan penyulang 20 kV. Untuk menghitung penyetelan arus pada sisi masukan dan penyulang 20 kV dapat menggunakan persamaan (2.9) dan (2.10). Untuk menghitung arus instan sisi penyulang dengan persamaan (2.3), (2.4), (2.6) dan (2.7) sedangkan untuk arus instan sisi masukan 20 kV menggunakan persamaan (2.3), (2.5), (2.6) dan (2.7). Sedangkan untuk penyetelan waktunya berdasarkan karakteristik waktu kerja rele arus lebih *standart inverse* didapat dengan menggunakan persamaan (2.11) dan (2.12).
 3. Setelah dilakukan perhitungan arus gangguan hubung singkat dan penyetelan rele arus lebih menggunakan pola non kaskade, maka perlu dilakukan analisis koordinasi waktu kerja rele arus lebih menggunakan pola non kaskade pada sisi masukan dan penyulang 20 kV untuk berbagai titik lokasi gangguan arus hubung singkat.
 4. Menganalisis perbandingan hasil perhitungan dan data yang diperoleh di lapangan. Analisis ini dilakukan dengan cara membandingkan hasil perhitungan arus gangguan hubung singkat, penyetelan rele arus lebih, dan tingkat kinerja rele arus lebih saat terjadi gangguan hubung singkat tiga fasa dan antar fasa.

3.3 Penutup

Pada bagian penutup akan dilakukan pengambilan kesimpulan dan saran. Kesimpulan diambil berdasarkan hasil perhitungan arus gangguan hubung singkat dan penyetelan rele arus lebih menggunakan pola non kaskade yang dilakukan, sehingga dapat diketahui perbandingan pola pengaman mana yang lebih baik dari segi kecepatan dan selektifitas rele arus lebih untuk pemutusan gangguan arus hubung singkat yang terjadi. Setelah kesimpulan diambil maka saran akan digunakan untuk memperbaiki penelitian dan pengembangan selanjutnya.

BAB IV

ANALISIS KOORDINASI RELE ARUS LEBIH PADA *INCOMING* DAN PENYULANG 20 KV MENGGUNAKAN POLA NON KASKADE

4.1 Gardu Induk Sengkaling

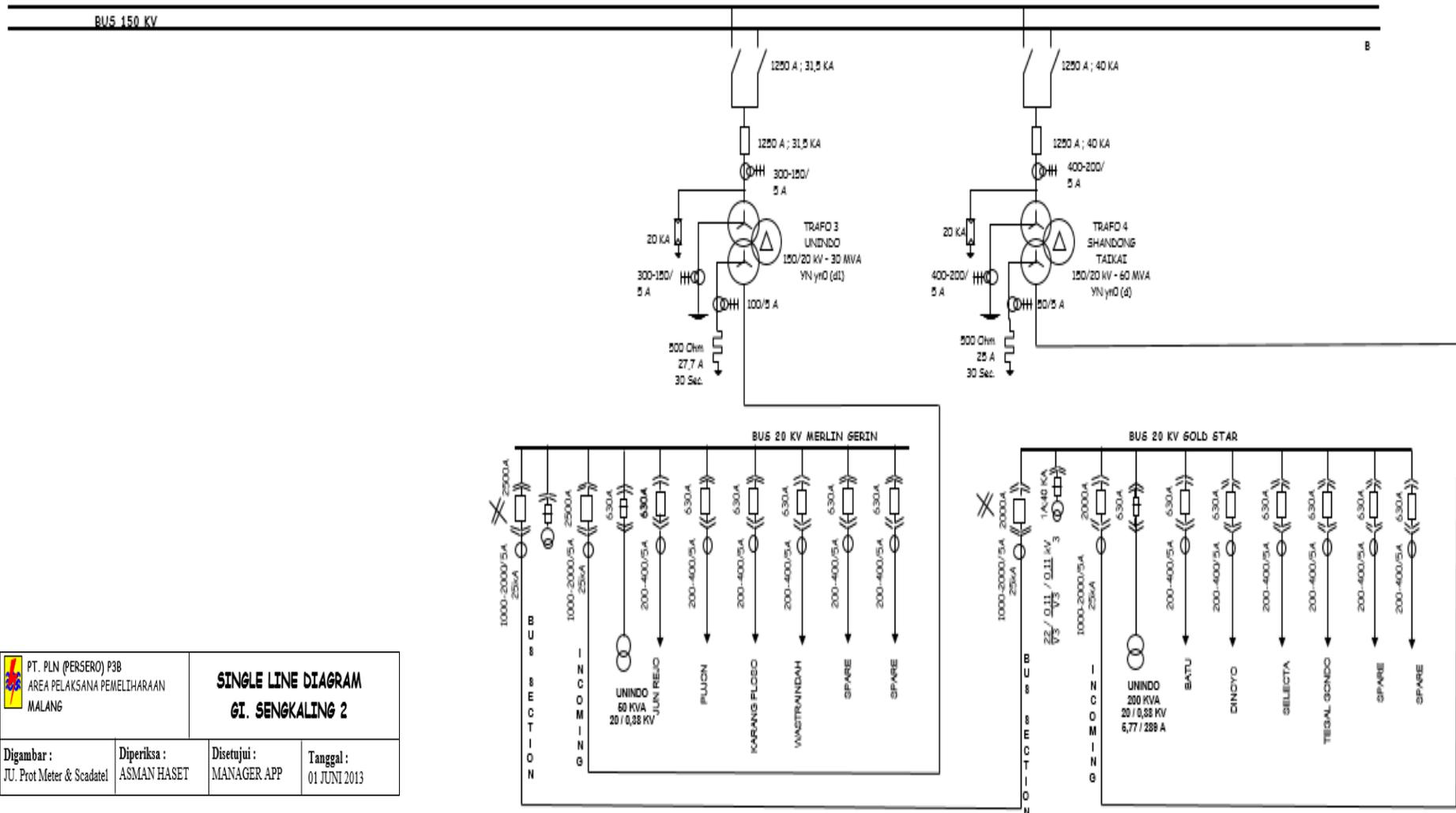
Gardu Induk (GI) Sengkaling adalah salah satu dari 16 GI yang ada di wilayah Unit Pelayanan Transmisi Malang. Gardu Induk Sengkaling memiliki 4 buah transformator yang menerima suplai tegangan 150 kV. Transformator I dan transformator II berfungsi untuk menurunkan tegangan dari 150 kV menjadi 70 kV, dan dua transformator lainnya yaitu transformator III dan transformator IV berfungsi untuk menurunkan tegangan 150 kV menjadi 20 kV. Dari transformator III dan IV disalurkan ke penyulang-penyulang, kemudian transformator distribusi yang ada di penyulang-penyulang tersebut menurunkan tegangan dari 20 kV menjadi 380/220 V sesuai dengan kebutuhan dari konsumen.

Pengaturan beban dan energi Gardu Induk Sengkaling adalah sebagai berikut :

- a. Transformator III dengan kapasitas 30 MVA menyalurkan energi ke penyulang Junrejo, Pujon, Karang Ploso dan Wastra Indah.
- b. Transformator IV dengan kapasitas 60 MVA menyalurkan energi ke penyulang Batu, Dinoyo, Selecta dan Tegal Gondo.

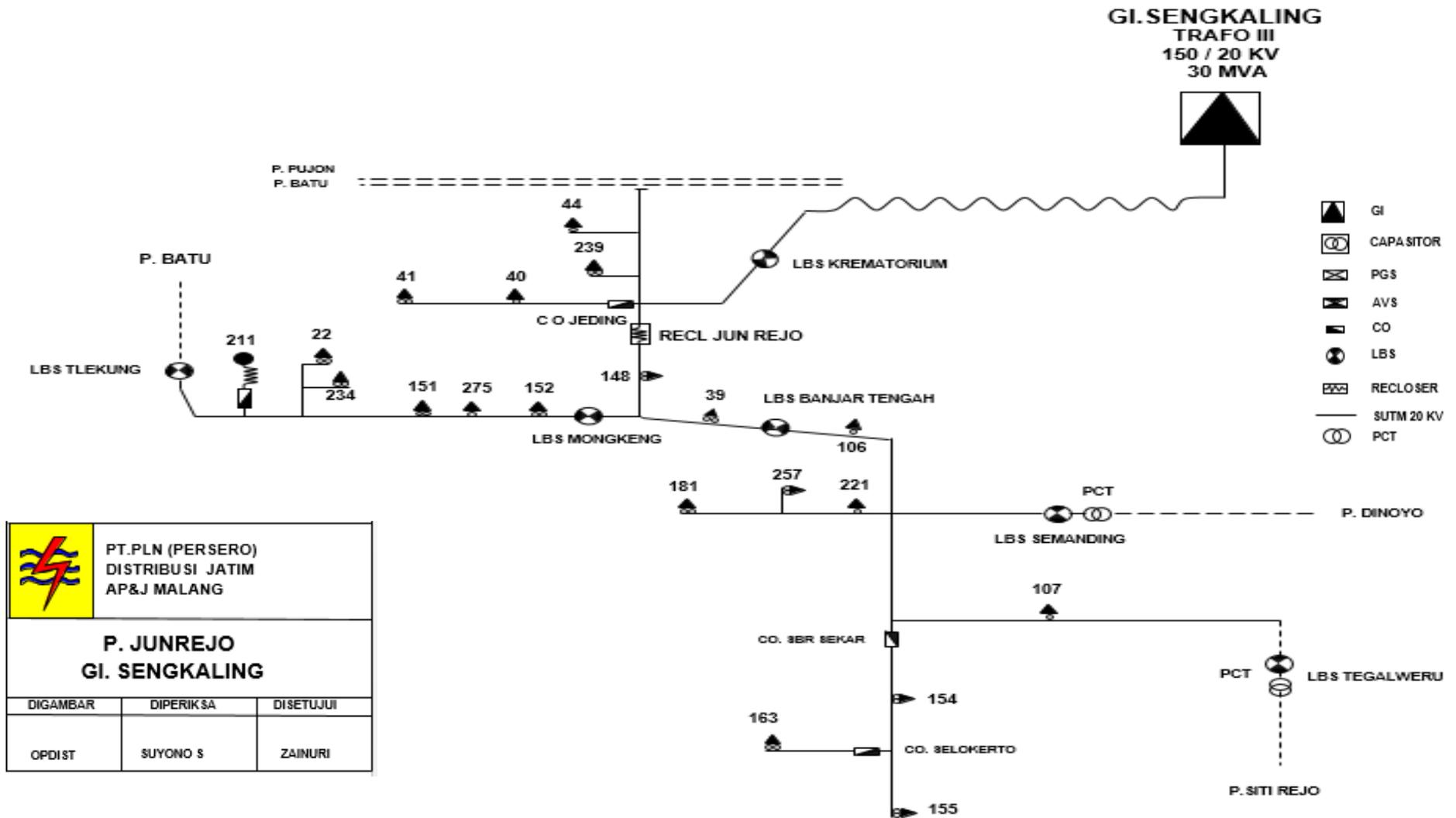
Berdasarkan data Gardu Induk Sengkaling, dapat diketahui bahwa sistem jaringan distribusi yang memiliki gangguan paling banyak pada tahun 2013 adalah penyulang Junrejo. Dengan total jumlah gangguan sebanyak 14 kali, dan pernah terjadi gangguan pada penyulang Junrejo yang berdampak pada beroperasinya rele masukan 20 kV akibat kegagalan atau keterlambatan sistem proteksi pada penyulang Junrejo. Beroperasinya rele masukan 20 kV mengakibatkan padamnya penyulang-penyulang lain yang mendapat suplai tegangan dari masukan 20 kV tersebut.

Hal ini berarti penyulang Junrejo merupakan penyulang yang cukup bermasalah dari sisi keandalan dan koordinasi sistem proteksinya. Dengan alasan-alasan yang telah diuraikan di atas maka penulis hendak melakukan koordinasi proteksi pada masukan 20 kV dan penyulang Junrejo dan mencari solusi untuk meningkatkan keandalan sistem proteksinya. Adapun diagram satu garis transformator III di Gardu Induk Sengkaling Malang ditunjukkan pada gambar 4.1 dan diagram satu garis penyulang Junrejo ditunjukkan pada gambar 4.2.



 PT. PLN (PERSERO) P3B AREA PELAKSANA PEMELIHARAAN MALANG	SINGLE LINE DIAGRAM GI. SENGKALING 2		
	Digambar : JU. Prot Meter & Scadatel	Diperiksa : ASMAN HASET	Disetujui : MANAGER APP

Gambar 4.1 Diagram Satu Garis Transformator Daya III Gardu Induk Sengkaling Malang
 Sumber: PT. PLN (Persero) APP Malang, 2006



	PT. PLN (PERSERO) DISTRIBUSI JATIM AP&J MALANG		
	P. JUNREJO GI. SENGKALING		
DIGAMBAR	DIPERIKSA	DISETUJUI	
OPDIST	SUYONO S	ZAINURI	

Gambar 4.2 Diagram Satu Garis Penyulang Junrejo
Sumber: PT. PLN (Persero) APJ Malang, 2014

Tabel 4.1 Data Transformator Daya III Gardu Induk Sengkaling Malang.

Merk	UNINDO
Tipe	TTUB 150/30000
Daya	30 MVA
Impedansi	12,5%
Tegangan	150/20 kV
Tahanan Pentanahan	500 ohm
Hub. Belitan	YNyn0 (d1)

Sumber: PT. PLN (Persero) APP Malang

Tabel 4.2 Data Rele Arus Lebih Sisi Masukan 20 kV.

Merk	GEC
Tipe	MCGG 82
Nomer Serie	793468 D
Setelan Arus (I>)	1000 A
Time Dial >	0,2 (SI)
Rasio CT	2000/5
Karakteristik	<i>Standart Inverse</i>
Arus Nominal (In)	5 A

Sumber: PT. PLN (Persero) APP Malang

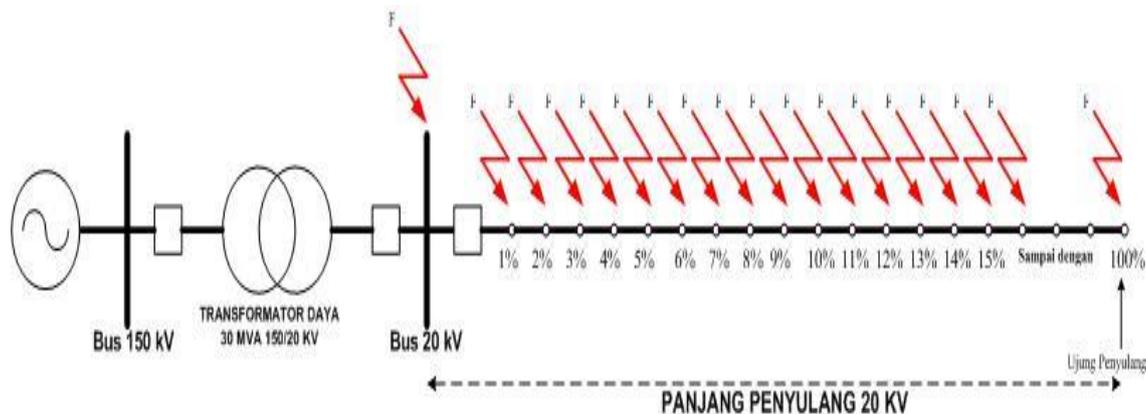
Tabel 4.3 Data Rele Arus Lebih Penyulang.

Merk	MICOM
Tipe	P127
Nomer Serie	36007937
Setelan Arus (I>)	320 A
Time Dial >	0,05 (SI)
Setelan Arus Inst (I>>)	2000 A
Time Dial >>	<i>Instan</i>
Rasio CT	400/5
Karakteristik	<i>Standart Inverse</i>
Arus Nominal (In)	5 A

Sumber: PT. PLN (Persero) APJ Malang

4.2 Perhitungan Arus Gangguan Hubung Singkat

Untuk perhitungan gangguan hubung singkat ini dihitung berdasarkan panjang penyulang, seperti ditunjukkan pada gambar (4.3), yaitu gangguan hubung singkat diasumsikan terjadi di busbar 20 kV Gardu Induk Sengkaling Malang dan 1%, 2%, 3%, sampai dengan 100% panjang penyulang.



Gambar 4.3 Diagram Satu Garis Penyulang Junrejo Dengan Berbagai Titik Lokasi Gangguan.

4.2.1 Menghitung Impedansi Dasar

Perhitungan impedansi dasar mengacu dari transformator daya pada sisi tegangan sekundernya. Impedansi dasar diperoleh dari hasil perbandingan antara tegangan dan daya transformator tersebut. Berdasarkan tabel (4.1), nilai tegangan sekunder dijadikan sebagai tegangan dasar dan besarnya adalah 20 kV, dan daya transformator yang digunakan sebagai daya dasar adalah 30 MVA. Dengan menggunakan nilai dasar tersebut dan persamaan (2.14) didapat impedansi dasar sebagai berikut :

$$\begin{aligned} Z_{\text{dasar}} (\Omega) &= \frac{(kV_{L-L})^2}{MVA_{3\phi}} \\ &= \frac{(20)^2}{30} \\ &= 13,33 \Omega \end{aligned}$$

4.2.2 Menghitung Impedansi Sumber

Impedansi sumber diperoleh dengan membandingkan antara tegangan dasar dan MVA hubung singkat. Tegangan dasar merupakan tegangan sisi sekunder transformator daya, sedangkan MVA hubung singkat diperoleh dari jaringan distribusi yang dipasang dari tegangan tinggi dengan menggunakan transformator daya. Pada tabel (4.1), diketahui

besar tegangan dasar yaitu 20 kV, dan sedangkan untuk MVA hubung singkat terlebih dahulu harus diketahui nilai arus hubung singkat pada busbar sisi tegangan tinggi, yang mewakili semua unit pembangkit beroperasi, menurut data sekunder yang didapat dari APJ Malang yang ditunjukkan pada tabel di lampiran II.2, nilai arus hubung singkat pada busbar sisi tegangan tinggi 150 kV yang menjadi suplai Gardu Induk Sengkaling Malang sebesar 9,73581 kA. Dengan menggunakan persamaan (2.18) didapat nilai MVA hubung singkat sebagai berikut :

$$\begin{aligned} MVA_{hs} &= \sqrt{3} \times 150 \text{ kV} \times 9,73581 \text{ kA} \\ &= 2529,44 \text{ MVA} \end{aligned}$$

Dengan memanfaatkan hasil perhitungan MVA hubung singkat diatas, dapat dihitung impedansi sumber dengan menggunakan persamaan (2.17) sebagai berikut :

$$\begin{aligned} Z_s (\Omega) &= \frac{(kV_{L-L})^2}{MVA_{hs}} \\ &= \frac{(20)^2}{2529,44} \\ &= 0,1581 \Omega \end{aligned}$$

Impedansi sumber mempengaruhi nilai impedansi total suatu jaringan yang dilakukan dalam perhitungan arus gangguan hubung singkat. Untuk mempermudah perhitungan arus gangguan hubung singkat maka impedansi sumber dibuat dalam satuan per unit (pu) dengan menggunakan persamaan (2.15) sebagai berikut :

$$\begin{aligned} Z_s (\text{pu}) &= \frac{Z_s (\Omega)}{Z_{\text{dasar}}} \\ &= \frac{0,1581\Omega}{13,33\Omega} \\ &= j 0,0119 \text{ pu} \end{aligned}$$

4.2.3 Menghitung Impedansi Transformator Daya

Data sekunder impedansi transformator yang terlihat pada tabel (4.1) diketahui masih dalam bentuk persentase yaitu sebesar 12,5%. Maka impedansi transformator dengan menggunakan dasar baru dapat diperoleh dengan menggunakan persamaan (2.16) sebagai berikut :

$$\begin{aligned} Z_{1T} \text{ (pu)} = Z_{2T} \text{ (pu)} &= j 0,125 \left(\frac{20}{20} \right)^2 \times \left(\frac{30}{30} \right) \\ &= j 0,125 \text{ pu} \end{aligned}$$

Karena transformator daya III Gardu Induk Sengkaling Malang yang terpasang mempunyai hubungan belitan YNyn0 (d1) yang mempunyai belitan delta di dalamnya dan ditanahkan dengan tahanan tinggi sebesar 500 Ω , maka nilai impedansi urutan nol transformator dapat diketahui dengan menggunakan persamaan (2.21) sebagai berikut :

$$\begin{aligned} Z_{0T} \text{ (pu)} &= 3 \times Z_{1T} \\ &= 3 \times j 0,125 \text{ pu} \\ &= j 0,375 \text{ pu} \end{aligned}$$

4.2.4 Menghitung Impedansi Penyulang

Untuk mengetahui besar impedansi penyulang pada suatu titik gangguan tertentu dapat diasumsikan pada lokasi gangguan di busbar 20 kV Gardu Induk Sengkaling Malang dan 1%, 2%, 3% sampai dengan 100% panjang penyulang, dengan memasukan data sekunder dari APJ Malang yaitu, jenis penghantar yang digunakan pada penyulang Junrejo adalah tipe AAAC dengan luas penampang 150 mm² dan panjang penyulang Junrejo 23,085 km dan nilai impedansi dari kabel penghantar AAAC dengan luas 150 mm² dapat dilihat pada tabel di lampiran II.3. Sehingga dapat dihitung impedansi penyulang urutan positif dan negatif dengan menggunakan persamaan (2.23) sebagai berikut :

$$\begin{aligned} Z_{1\text{penyulang}} = Z_{2\text{penyulang}} &= (0,2162 + j 0,3305 \Omega/\text{km}) \times 23,085 \text{ km} \\ &= 9,1170 \angle 56,81^\circ \Omega \end{aligned}$$

Untuk mendapatkan satuan per unit (pu) dilakukan perhitungan sesuai dengan persamaan (2.15) sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 Z_{1\text{penyulang}} \text{ (pu)} &= \frac{Z_{1\text{penyulang}}}{Z_{\text{dasar}}} \\
 &= \frac{9,1170 \angle 56,81^\circ \Omega}{13,33 \Omega} \\
 &= 0,3743 + j 0,5722 \text{ pu}
 \end{aligned}$$

Sedangkan perhitungan impedansi nol, dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (2.24) sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 Z_{0\text{penyulang}} &= (0,3631 + j1,618 \Omega/\text{km}) \times 23,085 \text{ km} \\
 &= 38,2805 \angle 77,35^\circ \Omega
 \end{aligned}$$

Untuk mendapatkan satuan per unit (pu) dilakukan perhitungan sesuai dengan persamaan (2.15) sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 Z_{0\text{penyulang}} \text{ (pu)} &= \frac{Z_{0\text{penyulang}}}{Z_{\text{dasar}}} \\
 &= \frac{38,2805 \angle 77,35^\circ \Omega}{13,33 \Omega} \\
 &= 0,6287 + j 2,8014 \text{ pu}
 \end{aligned}$$

Besar nilai impedansi penyulang urutan positif, urutan negatif dan urutan nol untuk berbagai titik lokasi terjadinya gangguan dapat dilihat pada tabel di lampiran I.1.

4.2.5 Menghitung Impedansi Total

Dalam perhitungan ini dicari impedansi total urutan positif, urutan negatif dan urutan nol menurut titik lokasi terjadinya gangguan. Dengan memanfaatkan hasil perhitungan diatas yang terdiri dari impedansi sumber, impedansi transformator daya dan impedansi penyulang. Dapat dihitung impedansi total urutan positif dan negatif menggunakan persamaan (2.25) sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 Z_{1\text{total}} = Z_{2\text{total}} &= Z_S + Z_{1T} + Z_{1\text{penyulang}} \\
 Z_{1\text{total}} 100\% &= (j 0,0119) + (j 0,125) + (0,3743 + j 0,5722) \\
 &= 0,8018 \angle 62,17^\circ \text{ pu}
 \end{aligned}$$

Sedangkan untuk perhitungan impedansi total urutan nol, karena transformator daya III titik netralnya ditanahkan dengan tahanan tinggi sebesar 500Ω . Tahanan pentanahan diikut sertakan dalam perhitungan impedansi total urutan nol. Perhitungan impedansi pentanahan dalam satuan per unit (pu) menggunakan persamaan (2.15) yaitu sebagai berikut :

$$\begin{aligned} Z_n(\text{pu}) &= \frac{R_n}{Z_{\text{dasar}}} \\ &= \frac{500 \Omega}{13,33 \Omega} \\ &= 37,5 \text{ pu} \end{aligned}$$

Dengan memanfaatkan hasil perhitungan impedansi pentanahan dalam per unit (pu) diatas, dapat dihitung impedansi total urutan nol dengan menggunakan persamaan (2.26) sebagai berikut :

$$\begin{aligned} Z_{0\text{total}} &= Z_{0T} + 3.Z_N + Z_{0\text{penyulang}} \\ Z_{0\text{total}} 100\% &= j 0,375 + 3 (37,5) + (0,6287 + j 2,8014) \\ &= 113,1732 \angle 1,61^\circ \text{ pu} \end{aligned}$$

Maka dengan cara yang sama untuk perhitungan impedansi total urutan positif, urutan negatif dan urutan nol menurut titik lokasi terjadinya gangguan dapat dilihat pada lampiran I.2.

4.3 Menghitung Arus Gangguan Hubung Singkat

Setelah mendapatkan nilai dari impedansi total sesuai titik lokasi terjadinya gangguan, selanjutnya perhitungan arus gangguan hubung singkat dapat dihitung. Hanya saja impedansi total yang dimaksud adalah yang tergantung dari jenis gangguan hubung singkatnya. Pada perhitungan arus gangguan hubung singkat nilai gangguan impedansi Z_f dianggap nol dan E_a adalah tegangan sebesar $1 \angle 0^\circ$ karena dalam bentuk per unit (pu).

4.3.1 Arus Dasar

Perhitungan arus dasar diperoleh dari hasil perbandingan antara daya dan tegangan transformator daya sisi sekunder. Berdasarkan tabel (4.1), nilai daya dasar dalam satuan kilovoltampere sebesar 30.000 kVA, sedangkan untuk tegangan dasar

sebesar 20 kV. Dengan menggunakan persamaan (2.13) didapat nilai arus dasar sebagai berikut :

$$\begin{aligned} I_{\text{dasar}} &= \frac{\text{kVA}_{3\phi}}{\sqrt{3} \times \text{kV}_{\text{L-L}}} \\ &= \frac{30.000 \text{ kVA}}{\sqrt{3} \times 20 \text{ kV}} \\ &= 866,03 \text{ A} \end{aligned}$$

4.3.2 Arus Gangguan Hubung Singkat Tiga Fasa

Perhitungan arus gangguan hubung singkat tiga fasa dengan menggunakan tabel pada lampiran I.2 kedalam persamaan (2.30) sehingga didapat hasil perhitungan arus hubung singkat tiga fasa sebagai berikut :

Untuk gangguan hubung singkat pada titik gangguan 100% panjang penyulang.

$$\begin{aligned} I_{\text{hs}3\phi} &= \frac{E_a}{Z_1 + Z_f} \\ &= \frac{1 \angle 0^\circ}{0,8018 \angle 62,17^\circ + 0} \\ &= 1,2472 \angle - 62,17^\circ \text{ pu} \end{aligned}$$

Oleh karena perhitungan diatas masih dalam satuan per unit (pu) maka untuk mendapatkan nilai sebenarnya dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (2.15) sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \text{Harga sebenarnya} &= \text{Harga per unit (pu)} \times I_{\text{dasar}} \text{ (A)} \\ I_{\text{hs}3\phi} \text{ (A)} &= I_{\text{hs}3\phi} \text{ (pu)} \times I_{\text{dasar}} \text{ (A)} \\ I_{\text{hs}3\phi} \text{ (A)} &= (1,2472 \angle - 62,17^\circ \text{ pu}) \times 866,03 \text{ A} \\ &= 1080,08 \text{ A.} \end{aligned}$$

Sehingga arus gangguan tiga fasa saat gangguan terjadi di lokasi 100% panjang penyulang sebesar 1080,08 A.

Dengan cara yang sama maka untuk perhitungan arus gangguan hubung singkat tiga fasa pada titik lokasi gangguan penyulang yang lain seperti ditunjukkan pada tabel di lampiran I.3.

4.3.3 Arus Gangguan Hubung Singkat Antar Fasa

Perhitungan arus gangguan hubung singkat antar fasa dengan menggunakan tabel pada lampiran I.2 kedalam persamaan (2.31) sehingga didapat hasil perhitungan arus gangguan hubung singkat antar fasa sebagai berikut :

Untuk gangguan hubung singkat pada titik gangguan 100% panjang penyulang.

$$\begin{aligned}
 I_{hs\ 2\phi} &= \frac{E_a}{Z_1 + Z_2 + Z_f} \\
 &= \frac{1 \angle 0^\circ}{(0,8018 \angle 62,17^\circ) + (0,8018 \angle 62,17^\circ) + 0} \\
 &= \frac{1 \angle 0^\circ}{1,6036 \angle 62,17^\circ} \\
 &= 0,6236 \angle -62,17^\circ \text{ pu}
 \end{aligned}$$

Oleh karena perhitungan diatas masih dalam satuan per unit (pu) maka untuk mendapatkan nilai sebenarnya dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (2.15) sebagai berikut :

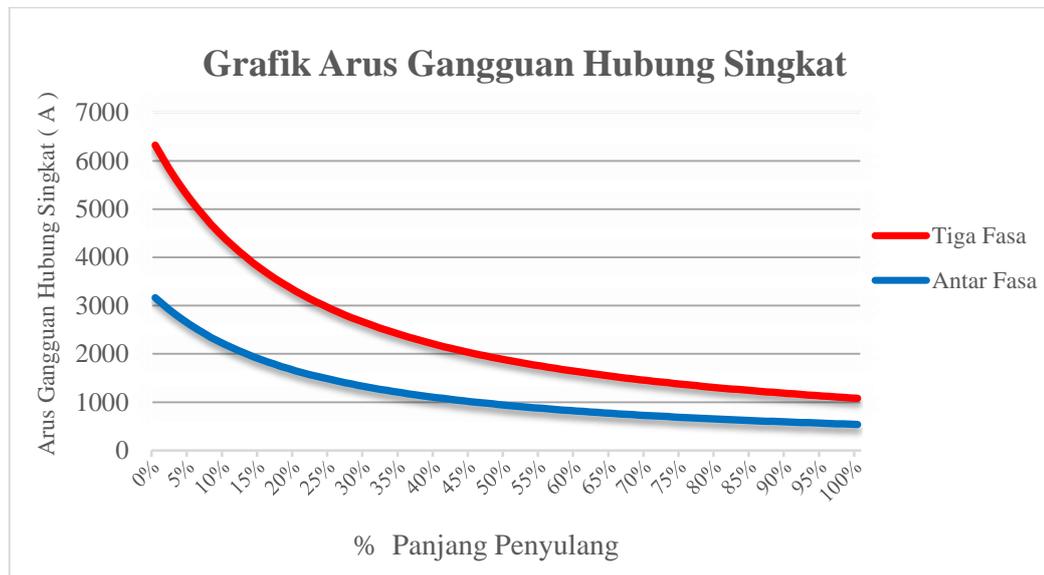
$$\begin{aligned}
 \text{Harga sebenarnya} &= \text{Harga per unit (pu)} \times I_{\text{dasar}} \text{ (A)} \\
 I_{hs\ 2\phi} \text{ (A)} &= I_{hs\ 2\phi} \text{ (pu)} \times I_{\text{dasar}} \text{ (A)} \\
 I_{hs\ 2\phi} \text{ (A)} &= (0,6236 \angle -62,17^\circ \text{ pu}) \times 866,03 \text{ A} \\
 &= 540,04 \text{ A.}
 \end{aligned}$$

Sehingga arus gangguan antar fasa saat gangguan terjadi di lokasi 100% panjang penyulang sebesar 540,04 A.

Dengan cara yang sama maka untuk perhitungan arus gangguan hubung singkat antar fasa pada titik lokasi gangguan penyulang yang lain seperti ditunjukkan pada lampiran I.4.

Dengan hasil perhitungan arus gangguan hubung singkat tiga fasa dan antar fasa ini dapat digunakan untuk penyetelan rele arus lebih menggunakan pola non kaskade. Maka dapat dibuat perbandingan besarnya arus gangguan terhadap titik lokasi terjadinya gangguan dengan menggunakan tabel pada lampiran I.5.

Dari tabel pada lampiran I.5 dapat digambarkan grafik arus gangguan hubung singkat tiga fasa dan antar fasa menurut titik lokasi terjadinya gangguan yang ditunjukkan pada gambar 4.4 dibawah ini.



Gambar 4.4 Grafik Arus Gangguan Hubung Singkat Tiga Fasa dan Antar Fasa.

Dari hasil perhitungan yang ditunjukkan pada tabel di lampiran I.5 dan gambar 4.4 dapat dianalisis bahwa arus gangguan hubung singkat terbesar pada penyulang Junrejo adalah gangguan hubung singkat tiga fasa di busbar 20 kV Gardu Induk Sengkaling Malang, yaitu sebesar 6327.84 A apabila ditinjau dari gangguan terhadap fasa. Dapat dilihat bahwa besarnya arus gangguan hubung singkat dipengaruhi oleh jarak titik gangguan, semakin jauh jarak titik gangguan maka semakin kecil arus gangguan hubung singkatnya dan sebaliknya. Arus gangguan yang besar ini memerlukan sistem proteksi yang dapat bekerja dengan waktu cepat. Kemampuan sistem proteksi untuk memisahkan gangguan secepat mungkin akan mengurangi akibat yang ditimbulkan oleh gangguan tersebut, yaitu berupa kerusakan peralatan instalasi. Arus gangguan hubung singkat yang terjadi pada titik lokasi yang diasumsikan mempunyai nilai yang tidak jauh berbeda. Perubahan arus gangguan yang relatif kecil ini membutuhkan sistem proteksi dengan selektivitas dan sensitivitas yang tinggi.

4.4 Perhitungan Penyetelan Rele Arus Lebih Menggunakan Pola Non Kaskade

Hasil perhitungan arus gangguan hubung singkat, pada tahap selanjutnya digunakan untuk menentukan nilai setelan rele arus lebih menggunakan pola non kaskade. Setelan rele arus lebih menggunakan pola non kaskade tergantung pada titik lokasi

terjadinya gangguan hubung singkat, yaitu saat gangguan busbar diluar daerah instan rele arus lebih sisi masukan 20 kV, maka rele arus lebih sisi masukan 20 kV akan bekerja sesuai dengan setelan invers, akan tetapi jika gangguan terjadi didalam daerah instan maka akan menggunakan setelan instan dan saat gangguan dipenyulang diluar daerah instan maka akan menggunakan setelan invers dan jika terjadi didalam daerah instan akan bekerja dengan setelan instan.

4.4.1 Penyetelan di Sisi Penyulang

Untuk setelan rele arus lebih yang terpasang di penyulang menurut data sekunder pada tabel (4.3), diketahui mempunyai karakteristik *standart inverse*. Maka untuk penyetelan arus dan waktunya dapat dihitung sebagai berikut :

4.4.1.1 Penyetelan Arus

Untuk menentukan nilai setelan arus rele arus lebih yang terpasang pada sisi penyulang, dihitung berdasarkan arus beban maksimum yang mengalir di penyulang Junrejo. Menurut data sekunder dari APJ Malang, dapat dilihat pada tabel di lampiran II.5, arus beban maksimum yang mengalir di penyulang Junrejo sebesar 101 A, sehingga dapat dihitung penyetelan arus pada bagian primer dan sekunder menggunakan persamaan (2.9) dan (2.10) sebagai berikut :

- Penyetelan Arus Pada Bagian Primer

$$\begin{aligned} I_{\text{set primer}} &= 1,05 \times 101 \text{ A} \\ &= 106,05 \text{ A} \end{aligned}$$

Penyetelan arus pada bagian primer menunjukkan bahwa, jika terdapat arus gangguan hubung singkat dengan nilai sama dengan atau lebih besar dari 106,05 A, maka rele arus lebih disisi penyulang akan mendeteksinya dan kemudian memerintahkan PMT untuk bekerja. Akan tetapi jika terdapat arus gangguan hubung singkat kurang dari 106,05 A, maka rele arus lebih disisi penyulang tidak dapat mendeteksi gangguan tersebut.

- Penyetelan Arus Pada Bagian Sekunder

$$\begin{aligned} I_{\text{set sekunder}} &= 106,05 \times \frac{5}{400} \\ &= 1,33 \text{ A} \end{aligned}$$

4.4.1.2 Penyetelan Arus Instan

Penyetelan arus instan sisi penyulang tergantung pada kapasitas dan arus nominal transformator daya yang terpasang, dapat dilihat pada tabel (4.1) bahwa kapasitas trafo 30 MVA dan untuk mengetahui arus nominal transformator daya yang terpasang, dengan menggunakan persamaan (2.6) sehingga dapat dihitung sebagai berikut :

$$\begin{aligned} I_{n \text{ trafo}} &= \frac{\text{kVA}}{\sqrt{3} \times kV_{L-L}} \\ &= \frac{30000 \text{ kVA}}{\sqrt{3} \times 20} \\ &= 866,03 \text{ A} \end{aligned}$$

Dengan memanfaatkan hasil perhitungan arus nominal transformator daya diatas, dapat dihitung arus instan pada sisi penyulang dengan menggunakan persamaan (2.4) sebagai berikut :

$$\begin{aligned} I_{\text{instan}} &= 2,4 \times I_{n \text{ trafo}} \\ &= 2,4 \times 866,03 \text{ A} \\ &= 2078,472 \text{ A} \end{aligned}$$

- Penyetelan Arus Instan Pada Bagian Sekunder

Dengan menggunakan persamaan (2.3) dapat dihitung sebagai berikut :

$$\begin{aligned} I_{\text{instan sekunder}} &= \frac{I_{\text{instan}}}{I_{\text{set primer}}} \\ &= \frac{2078,472 \text{ A}}{106,05 \text{ A}} \\ &= 19,65 \text{ A.} \end{aligned}$$

- Penyetelan Arus Instan Pada Bagian Primer

Dengan menggunakan persamaan (2.7) dapat dihitung sebagai berikut :

$$\begin{aligned} I_{\text{instan primer}} &= I_{\text{instan sekunder}} \times I_{\text{set primer}} \\ &= 19,65 \text{ A} \times 106,05 \text{ A} \\ &= 2084 \text{ A} \end{aligned}$$

Penyetelan waktu: 40 milidetik.

4.4.1.3 Penyetelan Waktu

Arus gangguan yang dipilih untuk menentukan besarnya penyetelan TMS rele arus lebih sisi penyulang yaitu arus gangguan hubung singkat tiga fasa di 0% panjang penyulang. Arus gangguan ini diambil sebagai titik koordinasi antara rele arus lebih disisi penyulang dengan rele arus lebih disisi masukan 20 kV. Waktu kerja paling hilir yang ditetapkan $t : 0,3$ detik. Keputusan ini diambil agar rele tidak sampai beroperasi lagi akibat adanya arus naik (*inrush current*) dari trafo-trafo distribusi yang sudah tersambung di jaringan distribusi, pada saat PMT penyulang tersebut dimasukan, dengan memanfaatkan persamaan (2.12), didapat perhitungan sebagai berikut :

$$\text{TMS} = \frac{\left[\left(\frac{6327,84}{106,05} \right)^{0,02} \right]^{-1}}{0,14} \times 0,3$$

$$\text{TMS} = 0,1826$$

Sedangkan arus gangguan yang dipilih untuk menentukan waktu kerja pada gangguan tiga fasa yang terjadi dipenyulang adalah dimulai dari lokasi 44% panjang penyulang, karena lokasi tersebut diluar daerah instan rele arus lebih sisi penyulang, sehingga mempunyai setelan invers. Dapat dihitung menggunakan persamaan (2.11) sebagai berikut :

$$t = \frac{0,14}{\left[\left(\frac{2051,73}{106,05} \right)^{0,02} \right]^{-1}} \times 0,1826$$

$$= 0,4188 \text{ detik}$$

Untuk waktu kerja yang dipilih pada gangguan antar fasa pada penyulang dimulai dari lokasi 12% panjang penyulang, karena lokasi tersebut berada diluar daerah instan rele arus lebih sisi penyulang. Dengan menggunakan persamaan (2.11) dapat dihitung sebagai berikut :

$$t = \frac{0,14}{\left[\left(\frac{2058,27}{106,05} \right)^{0,02} \right]^{-1}} \times 0,1826$$

$$= 0,4183 \text{ detik}$$

Dengan cara yang sama maka untuk setelan waktu kerja rele arus lebih untuk lokasi diluar daerah instan rele arus lebih sisi penyulang pada arus gangguan hubung singkat tiga dan antar fasa yang terjadi, dapat dilihat pada tabel dilampiran I.6.

4.4.2 Penyetelan di Sisi Masukan 20 kV

Untuk setelan rele arus lebih yang terpasang di masukan 20 kV menurut data sekunder pada tabel (4.2) diketahui mempunyai karakteristik *standart inverse*. Maka untuk penyetelan arus dan waktu rele arus lebih sisi masukan 20 kV dapat dihitung sebagai berikut :

4.4.2.1 Penyetelan Arus

Untuk menentukan nilai setelan arus rele arus lebih yang terpasang pada sisi masukan 20 kV harus terlebih dahulu dihitung nilai arus nominal transformator daya yang digunakan, dengan menggunakan data pada tabel (4.1) kedalam persamaan (2.6) didapat sebagai berikut :

$$\begin{aligned} I_{n \text{ trafo}} &= \frac{\text{kVA}}{\sqrt{3} \times kV_{L-L}} \\ &= \frac{30000 \text{ kVA}}{\sqrt{3} \times 20} \\ &= 866,03 \text{ A} \end{aligned}$$

Dengan memanfaatkan hasil perhitungan arus nominal transformator daya diatas, sehingga dapat dihitung penyetelan arus pada bagian primer dan sekundernya sisi masukan 20 kV dengan menggunakan persamaan (2.9) dan (2.10) sebagai berikut :

- Penyetelan Arus Pada Bagian Primer

$$\begin{aligned} I_{\text{set primer}} &= 1,05 \times 866,03 \text{ A} \\ &= 909,3315 \text{ A} \end{aligned}$$

Penyetelan arus pada bagian primer menunjukkan bahwa, jika terdapat arus gangguan hubung singkat dengan nilai sama dengan atau lebih besar dari 909,3315 A, maka rele arus lebih disisi masukan 20 kV akan mendeteksinya dan kemudian memerintahkan PMT untuk bekerja. Akan tetapi jika terdapat arus gangguan hubung

singkat kurang dari 909,3315 A, maka rele arus lebih disisi masukan 20 kV tidak dapat mendeteksi gangguan tersebut.

- Penyetelan Arus Pada Bagian Sekunder

$$\begin{aligned} I_{\text{set sekunder}} &= 909,3315 \times \frac{5}{2000} \\ &= 2,27 \text{ A} \end{aligned}$$

4.4.2.2 Penyetelan Arus Instan

Penyetelan arus instan pada sisi masukan 20 kV dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (2.5) sebagai berikut :

$$\begin{aligned} I_{\text{instan}} &= 4 \times I_{\text{n trafo}} \\ &= 4 \times 866,03 \text{ A} \\ &= 3464,12 \text{ A} \end{aligned}$$

Dari perhitungan arus instan pada sisi masukan 20 kV, sehingga dapat dihitung penyetelan arus instan pada bagian sekunder dan primer dengan menggunakan persamaan (2.3) dan (2.7) sebagai berikut :

- Penyetelan Arus Instan Pada Bagian Sekunder

$$\begin{aligned} I_{\text{instansekunder}} &= \frac{I_{\text{instan}}}{I_{\text{set primer}}} \\ &= \frac{3464,12 \text{ A}}{909,3315 \text{ A}} \\ &= 3,85 \text{ A} \end{aligned}$$

- Penyetelan Arus Instan Pada Bagian Primer

$$\begin{aligned} I_{\text{instan primer}} &= I_{\text{instan sekunder}} \times I_{\text{set primer}} \\ &= 3,85 \text{ A} \times 909,3315 \text{ A} \\ &= 3500,93 \text{ A} \end{aligned}$$

Penyetelan waktu: 80 milidetik.

4.4.2.3 Penyetelan Waktu

Arus gangguan yang dipilih untuk menentukan besarnya penyetelan TMS rele arus lebih sisi masukan 20 kV yaitu arus gangguan hubung singkat tiga fasa di 0% panjang penyulang. Waktu kerja sisi masukan 20 kV didapat dengan waktu kerja rele disisi hilir +0,4 detik. Dengan menggunakan persamaan (2.12) dapat dihitung sebagai berikut :

$$\text{TMS} = \frac{\left[\left(\frac{6327,84}{909,3315} \right)^{0,02} \right] - 1}{0,14} \times 0,7$$

$$\text{TMS} = 0,1978$$

Sedangkan arus gangguan yang dipilih untuk menentukan waktu kerja pada gangguan tiga fasa yang terjadi dipenyulang adalah dimulai dari lokasi 18% panjang penyulang, karena lokasi tersebut diluar daerah instan rele arus lebih sisi masukan 20 kV, sehingga mempunyai setelan invers. Dapat dihitung menggunakan persamaan (2.11) sebagai berikut :

$$t = \frac{0,14}{\left[\left(\frac{3476,03}{909,3315} \right)^{0,02} \right] - 1} \times 0,1978$$

$$= 1,0188 \text{ detik}$$

Untuk waktu kerja yang dipilih pada gangguan antar fasa pada penyulang dimulai dari lokasi 0% panjang penyulang, karena besar gangguan antar fasa yang terjadi dipenyulang tidak terdapat arus yang melebihi arus instan sisi masukan 20 kV, sehingga bisa dikatakan pada arus gangguan antar fasa dipenyulang tidak terdapat daerah instan untuk setelan rele arus lebih sisi masukan 20 kV. Dengan menggunakan persamaan (2.11) dapat dihitung sebagai berikut :

$$t = \frac{0,14}{\left[\left(\frac{3163,92}{909,3315} \right)^{0,02} \right] - 1} \times 0,1978$$

$$= 1,0968 \text{ detik}$$

Dengan cara yang sama maka untuk setelan waktu kerja rele arus lebih untuk lokasi diluar daerah instan rele arus lebih sisi masukan 20 kV untuk arus gangguan hubung singkat tiga dan antar fasa yang terjadi, dapat dilihat pada tabel dilampiran I.7.

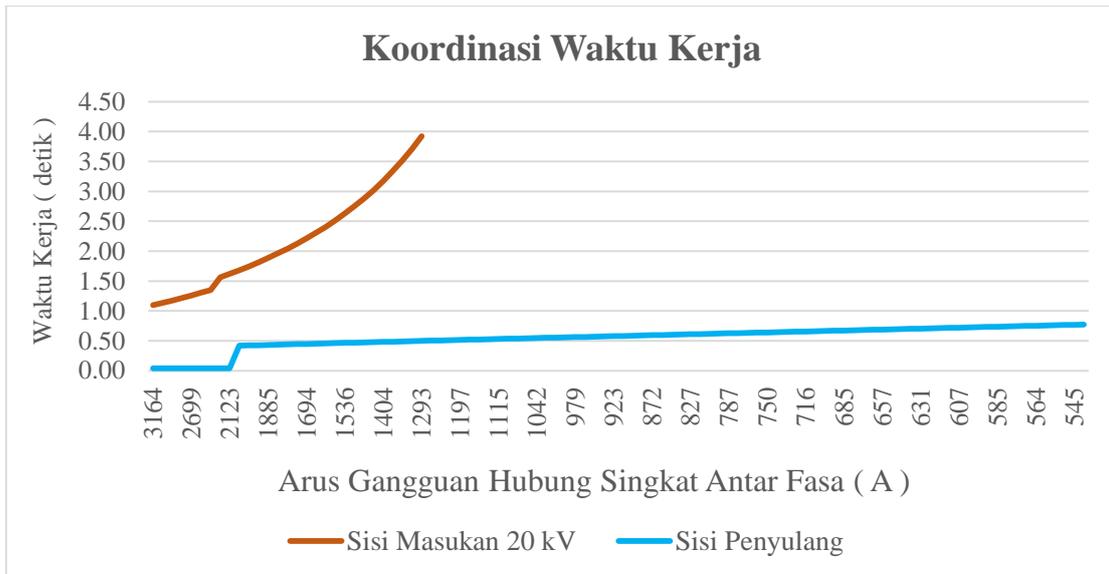
4.5 Koordinasi Rele Arus Lebih Menggunakan Pola Non Kaskade

Berdasarkan penyetelan waktu yang telah didapat, maka dapat diketahui koordinasi rele arus lebih menggunakan pola non kaskade yaitu semakin jauh dari sumber tenaga maka penyetelan waktunya semakin lama. Selisih waktu kerja untuk pemutusan arus gangguan hubung singkat tiga fasa dan antar fasa antara rele arus lebih sisi masukan dan sisi penyulang 20 kV dapat dilihat pada tabel di lampiran I.8.

Dari tabel pada lampiran I.8 dapat digambarkan grafik karakteristik penyetelan rele arus lebih menggunakan pola non kaskade pada saat terjadi arus gangguan hubung singkat tiga fasa dan antar fasa disisi masukan dan penyulang 20 kV yang ditunjukkan pada gambar 4.5 dan 4.6 dibawah ini.



Gambar 4.5 Grafik Koordinasi Waktu Kerja Rele Arus Lebih Pola Non Kaskade Saat Terjadi Arus Gangguan Hubung Singkat Tiga Fasa.



Gambar 4.6 Grafik Koordinasi Waktu Kerja Rele Arus Lebih Pola Non Kaskade Saat Terjadi Arus Gangguan Hubung Singkat Antar Fasa

Dari gambar 4.5 dan 4.6 di atas dapat dilihat bahwa terdapat selang waktu antara rele arus lebih sisi masukan dan sisi penyulang 20 kV, ini menunjukkan bahwa sudah memenuhi kriteria koordinasi, maksudnya dengan adanya selang waktu tersebut maka rele arus lebih sisi masukan dan sisi penyulang 20 kV tidak akan bekerja secara bersamaan. Rele arus lebih pada sisi penyulang mempunyai waktu kerja yang lebih cepat dari rele arus lebih disisi masukan 20 kV. Penyetelan ini dimaksudkan agar rele arus lebih disisi masukan 20 kV (hulu) sebagai pengaman cadangan memberi kesempatan rele arus lebih disisi penyulang (hilir) sebagai pengaman utama bekerja terlebih dahulu pada saat terjadi gangguan hubung singkat tiga ataupun antar fasa dipenyulang.

Dari tabel pada lampiran I.8 dapat juga dijelaskan sebagai berikut :

1. Rele Arus Lebih Sisi Penyulang

- Untuk Arus Gangguan Tiga Fasa

Pada arus gangguan antara 1080-2052 A rele arus lebih akan bekerja sesuai dengan setelan invers ($I>$), sedangkan jika terjadi gangguan sebesar 2052 A lebih maka rele arus lebih akan bekerja dengan setelan instan ($I>>$).

- Untuk Arus Gangguan Antar Fasa

Pada arus gangguan antara 540-2058 A rele arus lebih akan bekerja sesuai dengan setelan invers ($I>$), sedangkan jika terjadi gangguan sebesar 2058 A lebih maka rele arus lebih akan bekerja sesuai dengan setelan instan ($I>>$).

2. Rele Arus Lebih Sisi Masukan 20 kV

- Untuk Arus Gangguan Tiga Fasa

Pada arus gangguan antara 1080-3476 A rele arus lebih akan bekerja sesuai dengan setelan invers ($I>$), sedangkan jika terjadi gangguan sebesar 3476 A lebih maka rele arus lebih akan bekerja dengan setelan instan ($I>>$).

- Untuk Arus Gangguan Antar Fasa

Karena arus gangguan antar fasa tidak terdapat arus yang melebihi arus instan sebesar 3501 A, maka rele arus lebih akan bekerja sesuai dengan setelan invers ($I>$).

Apabila terjadi gangguan hubung singkat tiga fasa pada busbar 20 kV, yang termasuk dalam daerah instan maka rele arus lebih masukan 20 kV bekerja sesuai dengan setelan instan dengan waktu 80 milidetik, dan untuk gangguan antar fasa yang terjadi pada busbar 20 kV, tidak terjadi arus gangguan hubung singkat yang melebihi arus instan, sehingga rele arus lebih sisi masukan 20 kV mempunyai setelan invers.

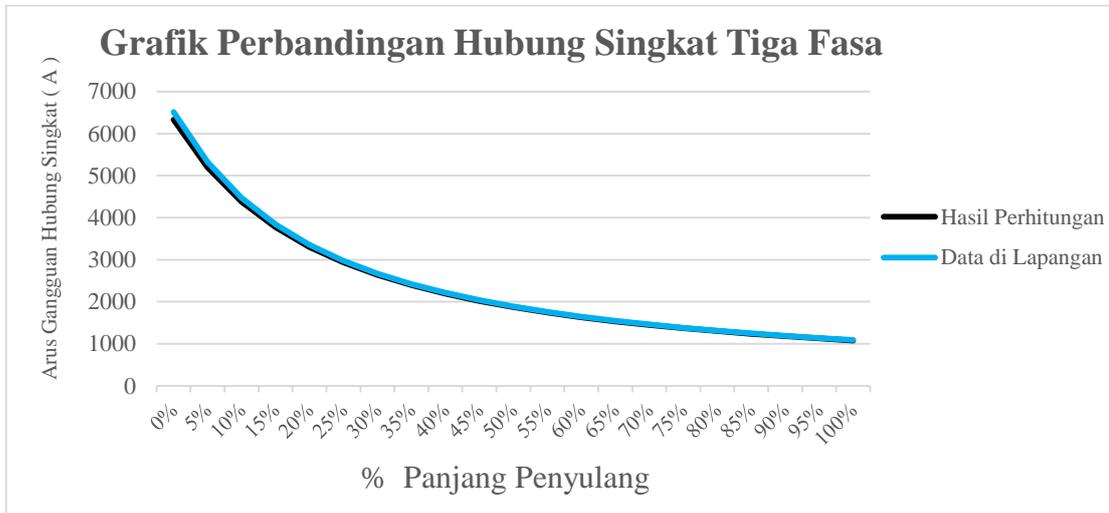
Apabila terjadi gangguan hubung singkat tiga maupun antar fasa di sisi penyulang yang termasuk dalam daerah instan, maka rele arus lebih sisi penyulang akan bekerja dengan setelan instan dengan waktu 40 milidetik, namun jika PMT penyulang gagal bekerja maka tCBF akan mengirim sinyal pemutusan ke rele arus lebih sisi masukan 20 kV untuk segera bekerja dengan waktu tunda 0,1 detik.

4.6 Perbandingan Hasil Perhitungan dan Data di Lapangan

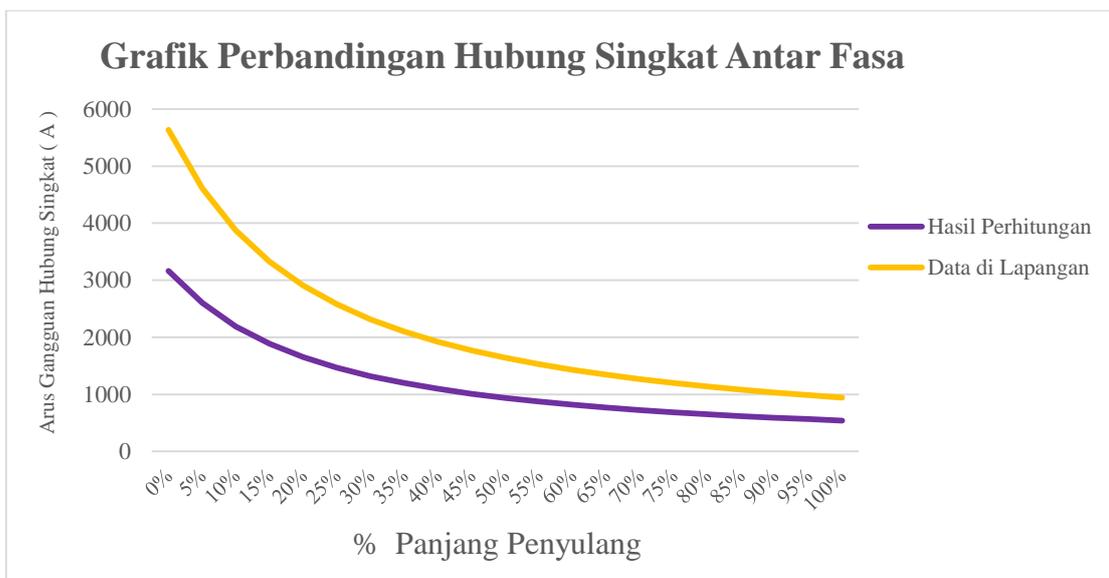
4.6.1 Perbandingan Hasil Perhitungan Arus Hubung Singkat Dengan Data di Lapangan

Dari hasil perhitungan arus gangguan hubung singkat yang ditunjukkan pada tabel di lampiran I.5 dan data arus gangguan hubung singkat di lapangan yang ditunjukkan pada tabel di lampiran II.1 terlihat adanya perbedaan, hal ini dikarenakan adanya sistem perhitungan yang berbeda maka arus hubung singkat data di lapangan lebih besar jika dibandingkan dengan arus hubung singkat hasil perhitungan. Adapun perbedaan ini disebabkan karena sistem perhitungan arus hubung singkat data di lapangan tidak memperhatikan perubahan nilai arus hubung singkat pada busbar sisi tegangan tinggi 150 kV yang mewakili semua unit pembangkit beroperasi yang menjadi suplai Gardu Induk Sengkaling Malang, impedansi transformator daya yang dipakai dalam perhitungan

tidak sesuai dengan papan nama yang terdapat di transformator daya III Gardu Induk Sengkaling Malang, dan juga tidak memperhatikan penambahan panjang penyulang yang mengakibatkan perubahan arus dan impedansi sistem.



Gambar 4.7 Grafik Perbandingan Arus Gangguan Hubung Singkat Tiga Fasa Hasil Perhitungan Dengan Data di Lapangan



Gambar 4.8 Grafik Perbandingan Arus Gangguan Hubung Singkat Antar Fasa Hasil Perhitungan Dengan Data di Lapangan

4.6.2 Perbandingan Penyetelan Rele Arus Lebih Menggunakan Pola Non Kaskade Dengan Penyetelan yang Terpasang di Lapangan

Tabel 4.4 Perbandingan Penyetelan Rele Arus Lebih Menggunakan Pola Non Kaskade Dengan Penyetelan yang Terpasang di Lapangan.

Lokasi Rele Arus Lebih	Penyetelan yang Terpasang di Lapangan	Penyetelan Rele Arus Lebih Pola Non Kaskade
Rele Arus Lebih Sisi Masukan 20 kV CT : 2000/5	$I > : 1000 \text{ A}$ TMS : 0,2 (SI)	$I > : 909,3315 \text{ A}$ TMS : 0,1978 (SI)
	$I >> : \text{tidak diterapkan}$	$I >> : 3500,93 \text{ A}$ $t : 80 \text{ milidetik}$
Rele Arus Lebih Sisi Penyulang CT : 400/5	$I > : 320 \text{ A}$ TMS : 0,05 (SI)	$I > : 106,05 \text{ A}$ TMS : 0,1826 (SI)
	$I >> : 2000 \text{ A}$ $t : \text{instan}$	$I >> : 2084 \text{ A}$ $t : 40 \text{ milidetik}$

Berdasarkan dari tabel (4.4) diatas tampak perbedaan cara penyetelan untuk masing-masing penyetelan rele arus lebih. Untuk penyetelan rele arus lebih yang terpasang di Gardu Induk Sengkaling saat ini, arus instan disisi masukan 20 kV tidak diterapkan, namun untuk pola non kaskade setelan arus instan disisi masukan 20 kV diterapkan sehingga dapat mencapai selektifitas sistem proteksi yang baik.

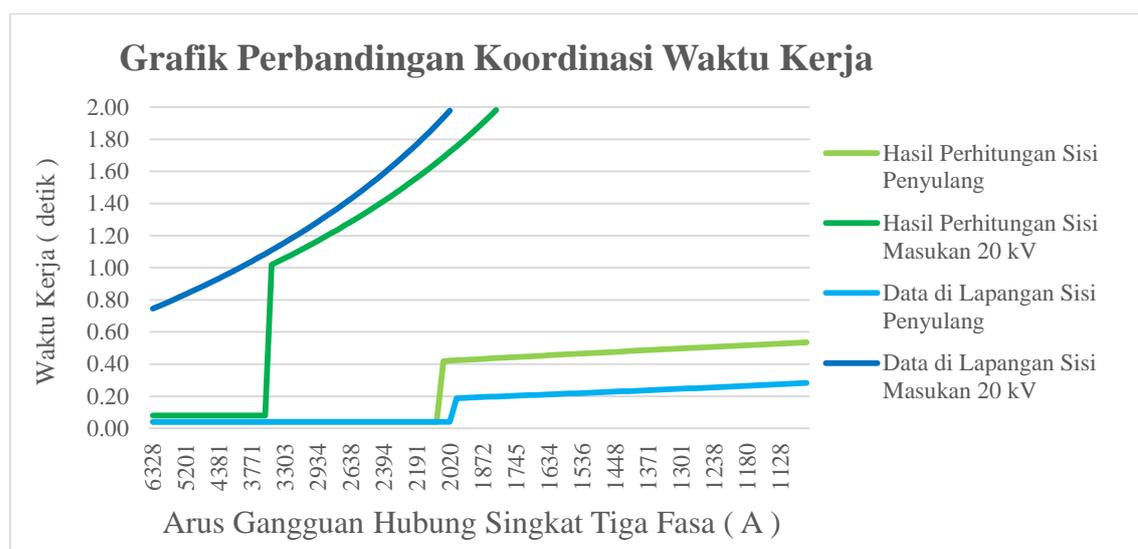
Adapula perbedaan setelan arus antara setelan di lapangan dan hasil perhitungan. Pada sisi masukan 20 kV, setelan dilapangan lebih besar dari hasil perhitungan, hal tersebut karena setelan di lapangan telah dibulatkan sesuai dengan range setelan arus sesuai dengan jenis rele arus lebih yang digunakan, begitupun sebaliknya penyetelan arus hasil perhitungan pada sisi penyulang lebih kecil dari yang terpasang di lapangan, hal ini dikarenakan penyetelan arus yang terpasang di lapangan menggunakan arus nominal transformator arus atau kemampuan hantar arus (KHA) penghantar yang digunakan, sedangkan untuk hasil perhitungan menggunakan arus beban maksimum yang mengalir pada penyulang sehingga tampak dari segi penyetelan arus jauh berbeda.

Perbedaan perhitungan arus gangguan hubung singkat dan penyetelan arus antara hasil perhitungan dan setelan di lapangan mengakibatkan penyetelan TMS yang di set kan ke rele arus lebih sebagai konstanta pun berbeda. Selain itu adapun perbedaan

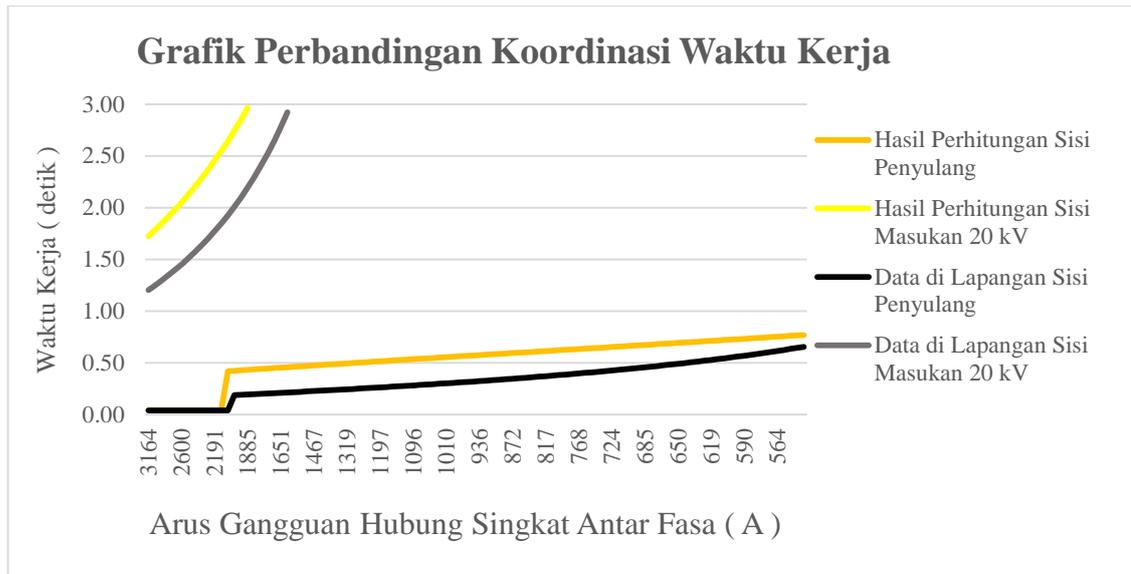
penyetelan TMS di lapangan dan hasil perhitungan yaitu dari penentuan lokasi terjadinya gangguan sebagai titik koordinasi antara rele arus lebih sisi masukan dan penyulang 20 kV dan dari awal penentuan waktu kerja rele arus lebih sisi masukan dan penyulang 20 kV yang diinginkan untuk beroperasi. Untuk arus gangguan hubung singkat yang dipilih sebagai titik koordinasi rele arus lebih sisi masukan dan penyulang 20 kV di lapangan yaitu arus gangguan hubung singkat antar fasa di busbar 20 kV sedangkan hasil perhitungan menggunakan arus gangguan hubung singkat tiga fasa di busbar 20 kV. Untuk awal penentuan waktu kerja rele arus lebih yang diinginkan untuk beroperasi, pada penyetelan sisi penyulang hasil perhitungan ditetapkan 0,3 detik, keputusan ini diambil agar rele tidak sampai beroperasi lagi akibat adanya arus naik (*inrush current*) dari trafo-trafo distribusi yang sudah tersambung di jaringan distribusi, pada saat PMT penyulang tersebut dimasukan, sedangkan penyetelan rele arus lebih yang terpasang di lapangan 0,15 detik. Sedangkan penyetelan sisi masukan 20 kV hasil perhitungan sebesar 0,7 detik dan yang diterpasang di lapangan sebesar 0,8 detik.

Dari tabel 4.4 dapat diketahui perbandingan koordinasi rele arus lebih yang terpasang di lapangan dan hasil perhitungan saat terjadi gangguan tiga fasa dan antar fasa, yang ditunjukkan pada tabel di lampiran I.9.

Dari tabel pada lampiran I.9 dapat digambarkan grafik koordinasi rele arus lebih sisi masukan dan penyulang 20 kV yang terpasang dilapangan dan hasil perhitungan pada saat terjadi arus gangguan hubung singkat tiga fasa dan antar fasa yang ditunjukkan pada gambar 4.9 dan 4.10 dibawah ini.



Gambar 4.9 Grafik Perbandingan Koordinasi Waktu Kerja Rele Arus Lebih Saat Terjadi Gangguan Hubung Singkat Tiga Fasa Hasil Perhitungan Dengan Data di Lapangan.



Gambar 4.10 Grafik Perbandingan Koordinasi Waktu Kerja Rele Arus Lebih Saat Terjadi Gangguan Hubung Singkat Antar Fasa Hasil Perhitungan Dengan Data di Lapangan.

Dari grafik perbandingan koordinasi waktu kerja rele arus lebih sisi masukan dan penyulang 20 kV hasil perhitungan dengan yang terpasang di lapangan yang ditunjukkan pada gambar 4.9 dan 4.10 diatas terlihat adanya perbedaan, hal ini dikarenakan adanya perbedaan-perbedaan yang telah dijelaskan diatas. Untuk koordinasi waktu kerja rele arus lebih sisi masukan dan penyulang 20 kV yang diterpasang di lapangan tidak sesuai dengan ketentuan PLN sedangkan hasil perhitungan telah memenuhi ketentuan PLN yaitu selisih waktu kerja antara rele arus lebih sisi penyulang sebagai pengaman utama dan rele arus lebih sisi masukan 20 kV sebagai pengaman cadangan adalah 0,4-0,5 detik,

Untuk mengetahui perbandingan koordinasi waktu kerja rele arus lebih sisi masukan dan penyulang 20 kV dilapangan, diasumsikan apabila terjadi gangguan hubung singkat tiga fasa dipenyulang sebesar 3569 A maka rele arus lebih sisi penyulang akan bekerja dengan setelan instan, namun jika rele arus lebih sisi penyulang gagal bekerja maka pemutusan gangguan dilakukan oleh rele arus lebih sisi masukan 20 kV dengan waktu 1,0864 detik. Sedangkan koordinasi rele arus lebih menggunakan pola non kaskade, jika terjadi gangguan hubung singkat tiga fasa dipenyulang sebesar 3569 A maka rele arus lebih sisi penyulang akan bekerja dengan setelan instan, namun jika rele arus lebih sisi penyulang gagal bekerja maka tCBF akan mengirim sinyal pemutusan ke rele arus lebih sisi masukan 20 kV untuk segera bekerja dengan waktu tunda 0,1 detik.

4.6.3 Perbandingan Tingkat Kinerja Rele Arus Lebih Menggunakan Pola Non Kaskade Dengan yang Terpasang di Lapangan

Untuk mengetahui tingkat kinerja rele dihitung dengan jumlah rele yang bekerja di daerahnya terhadap jumlah gangguan yang terjadi. Tingkat kinerja rele dikatakan cukup baik bila mempunyai harga sekitar 90-99%. Diasumsikan banyaknya gangguan yang terjadi pada penyulang sebanyak titik lokasi gangguan dan setiap titik lokasi gangguan terjadi arus gangguan hubung singkat tiga fasa dan antar fasa jadi jumlah gangguan yang terjadi disepanjang penyulang sebanyak 200 kali.

Berdasarkan tabel di lampiran I.10 waktu kerja rele arus lebih yang terpasang di lapangan saat terjadi gangguan hubung singkat tiga maupun antar fasa dapat dijelaskan sebagai berikut, pada saat terjadi arus gangguan tiga fasa dipenyulang yang merupakan gangguan di luar daerah instan dan bekerja sesuai dengan penyetelan invers, waktu untuk pemutusan gangguannya dibawah setelah minimumnya yaitu kurang dari 0,3 detik, bila terjadi gangguan dengan arus di bawah setelan dengan waktu singkat (< 0,3 detik) kemungkinan rele arus lebih tidak beroperasi. Jadi dapat disimpulkan bahwa ketika terjadi gangguan arus hubung singkat tiga fasa diluar daerah instan sepanjang saluran terdapat kemungkinan untuk tidak beroperasi. Untuk waktu kerja rele arus lebih sisi penyulang saat terjadi gangguan hubung singkat antar fasa terdapat juga waktu kerja rele arus lebih dibawah setelan minimum yaitu jika terjadi arus gangguan hubung singkat sebesar 2052-4000 A.

Terdapat pula faktor kegagalan rele arus lebih sisi penyulang untuk menghilangkan gangguan yang terjadi adalah karena *accuracy limit* CT sebesar 4000 A, jadi jika terjadi arus ganggung hubung singkat melewati *accuracy limit* CT (< 4000 A) maka rele arus lebih sisi penyulang tidak beroperasi karena CT tidak dapat mengukur besaran arus yang mengalir secara akurat, sedangkan rele arus lebih sisi masukan 20 kV akan bekerja karena batas *accuracy limit* CT 10 kA s/d 20 kA dan akan memberikan perintah PMT masukan 20 kV beroperasi. Dari penjelasan diatas jadi dapat diketahui rele arus lebih yang dapat bekerja dengan sempurna ketika terjadi gangguan arus hubung singkat tiga dan antar fasa disepanjang penyulang sebanyak 102 kali, sehingga dapat diketahui nilai tingkat kinerja rele arus lebih yang terpasang di lapangan saat ini sebesar:

$$\begin{aligned} \text{Keandalan rele arus lebih di lapangan} &= \frac{102}{200} \times 100\% \\ &= 51\% \end{aligned}$$

Sedangkan untuk tingkat kinerja rele arus lebih menggunakan pola non kaskade jika diterapkan di Gardu Induk Sengkaling Malang dapat dilihat pada lampiran I.11. Ketika terjadi arus gangguan hubung singkat tiga fasa di penyulang diluar daerah instan maka rele arus lebih sisi penyulang mempunyai setelan invers yang melebihi waktu minimum kerja rele arus lebih, jadi ketika terjadi gangguan hubung singkat dipenyulang akan dapat dihilangkan oleh rele arus lebih sisi penyulang. Untuk waktu kerja rele arus lebih sisi penyulang saat terjadi arus gangguan hubung singkat antar fasa juga didapat waktu melebihi waktu minimum rele arus lebih, jadi jika terjadi arus hubung singkat antar fasa disepanjang penyulang maka rele arus lebih sisi penyulang akan dapat menghilangkan gangguan tersebut. Kejadian yang dapat menyebabkan kegagalan rele arus lebih sisi penyulang yang terpasang dilapangan, yaitu jika terjadi arus gangguan hubung singkat di penyulang melewati *accuracy limit* CT (< 4000 A) maka rele arus lebih sisi penyulang tidak beroperasi, juga dapat dirasakan oleh rele arus lebih menggunakan pola non kaskade. Jadi dapat diketahui rele arus lebih menggunakan pola non kaskade yang dapat bekerja dengan sempurna saat terjadi gangguan hubung singkat tiga fasa dan antar fasa disepanjang penyulang sebanyak 187 kali, sehingga dapat diketahui nilai tingkat kinerja rele arus lebih menggunakan pola non kaskade, yaitu sebesar :

$$\begin{aligned} \text{Keandalan rele arus lebih menggunakan pola non kaskade} &= \frac{187}{200} \times 100 \% \\ &= 93,5\% \end{aligned}$$

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Dari hasil analisis koordinasi rele arus lebih pada masukan dan penyulang 20 kV menggunakan pola non kaskade di Gardu Induk Sengkaling Malang yang telah dilakukan maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Besarnya arus gangguan hubung singkat bergantung pada jarak titik gangguan dari sumber. Semakin jauh letak gangguan hubung singkat dari sumber, maka semakin kecil pula arus yang ditimbulkan. Gangguan hubung singkat tiga fasa dan antar fasa terbesar terjadi di busbar 20 kV, sedangkan gangguan terkecil berada pada ujung penyulang. Untuk gangguan tiga fasa, arus hubung singkat terbesar adalah 6327.84 A dan yang terkecil adalah 1080.08 A, sedangkan untuk gangguan antar fasa, arus hubung singkat terbesar adalah 3163.92 A dan yang terkecil adalah 540.04 A. Arus hubung singkat antar fasa nilainya lebih kecil dari arus gangguan hubung singkat tiga fasa ($I_{hs\ 2\phi} < I_{hs\ 3\phi}$).
2. Penyetelan rele arus lebih menggunakan pola non kaskade yang didapat dari hasil perhitungan adalah sebagai berikut, untuk penyetelan rele arus lebih di sisi masukan 20 kV, penyetelan arus primer: 909,3315 A dan sekunder: 2,27 A, untuk penyetelan arus instan primer: 3500,93 A dan sekunder: 3,85 A dan waktu kerja instan sebesar 80 milidetik, TMS sebesar 0,1978. Sedangkan untuk rele arus lebih disisi penyulang, penyetelan arus primer: 106,05 A dan sekunder: 1,33 A, penyetelan arus instan primer: 2084 A sekunder: 19,65 A dan waktu kerja instan sebesar 40 milidetik untuk, TMS sebesar 0,1826.
3. Tingkat kinerja rele arus lebih menggunakan pola non kaskade lebih baik daripada rele arus lebih yang terpasang di Gardu Induk Sengkaling Malang. Nilai tingkat kinerja rele arus lebih menggunakan pola non kaskade jika diterapkan di Gardu Induk Sengkaling Malang mencapai 93,5%.

5.2 **Saran**

1. Karena sistem proteksi dengan menggunakan pola non kaskade memiliki selektifitas dan waktu pemutusan gangguan yang lebih baik, maka perlu dilakukan realisasi penerapan pola non kaskade ini pada sistem proteksi penyulang-penyulang di Gardu Induk yang lain.
2. Penelitian ini masih menggunakan alat manual yaitu kalkulator dan software manual yaitu Microsoft Excel 2010, sebaiknya penelitian selanjutnya menggunakan Matlab.

DAFTAR PUSTAKA

- Brata, Roby Danu. 2007. *Perbandingan Sistem Proteksi Kaskade dan Non Kaskade pada Transformator Tenaga 150/20 kV di Gardu Induk Rungkut*. Skripsi. Surabaya: Institut Sepuluh November.
- British BS 142-1966 Standart*
- GEC Alsthom. 1987. *Protective Relays Application Guide*. England: Stafford.
- Gonen, Turan. 1987. *Electrical Power Distribution System Engineering*. New York: Mc. Graw Hill Book Company.
- Gonen, Turan. 1988. *Modern Power System Analysis*. California: John Wiley & Sons Inc.
- Hewitson, L.G., dkk. 2004. *Practical Power System Protection*. USA: Elsevier Ltd.
- Hutauruk, Tumpak S. 1991. *Pentanahan Titik Netral Sistem Tenaga dan Pentanahan Peralatan*. Jakarta: Penerbit Erlangga.
- Horowitz, Stanley H. dan Phadke, Arum G. 2008. *Power System Relaying 3rd Edition*. England: John Wiley and Sons.
- IEC 60255-3
- IEEE Std. C37.100. 1992. *IEEE Guide for Liquid-immersed Transformer Through-Fault-Current Duration*. USA: IEEE Inc.
- IEEE Standart 242-1986. *IEEE Recommended Practice for Protection and Coordination of Industrial and Commercial Power System*”,
- Khalik, Abdul. 2000. *Analisis Penerapan Rele Arus Lebih Pola Non Kaskade pada Transformator Daya 150/20 kV Sistem Penyulang 20 kv di GI Gondangwetan Pasuruan*. Skripsi. Malang: Teknik Elektro Universitas Brawijaya.
- Network Protection & Automation guide Alsthom*.
- NFPA 70E. 2003. *Electrical Safety Requirements for Employee Workplace 2003 Edition*.
- Pandjaitan, Bonar. 2012. *Proteksi Sistem Tenaga Listrik*. Yogyakarta: Andi Offset.
- Prévé, Christophe. 2006. *Protection of Elektrical Network*. Great Britain. United States: ISTE Ltd.
- PT. PLN (Persero). 1998. *Kesepakatan Bersama Koordinasi Sistem Proteksi Trafo Penyulang 20 kV*.
- PT. PLN (Persero). 2012. *Kesepakatan Bersama Koordinasi Sistem Proteksi Trafo Penyulang 20 kV*.
- Ravindranath, B. 1976. *Power System Protection and Switchgear*. Singapore: John Wiley & Sons.

- Saksomo, Setiyo. Tanpa Tahun. *Diktat Proteksi Sistem Tenaga Listrik*. Malang: Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
- Samaulah, Hazairin. 2004. *Dasar-dasar Sistem Proteksi Tenaga Listrik*. Unsri.
- Sarimun N., Wahyudi. 2008. *Proteksi dan Power Quality*, workshop operasi dan Pemeliharaan Distribusi. PT. PLN Pusdiklat.
- Sarimun N., Wahyudi. September 2011. *Buku Saku Pelayanan Teknik Edisi Kedua*. Depok: Garamond.
- Sarimun, Wahyudi. 2012. *Proteksi Sistem Distribusi Tenaga Listrik*. Depok: Garamond.
- Stevenson, Jr., William D. 1994. *Analisis Sistem Tenaga Listrik*. Jakarta: Penerbit Erlangga.
- Stevenson, Jr. William D. 1996. *Analisis Sistem Tenaga Listrik*. Cetakan kelima. Jakarta: Penerbit Erlangga.
- Schneider Electric. 2008. *Sepam Series 20 User's Manual*.
- Sleva, Anthony F. 2009. *Protective Relay Principles*. USA: CRC Press.
- Sunil, S. Rao. 1980. *Switch Gear and Protection*. India: Khanna Publishers.
- Ximenes Guterres, Nelson. Tanpa tahun. *Analisa Keandalan Jaringan Distribusi 20 kV di Dili Timor-Leste Menggunakan Metode Non Kaskade*. Jurnal Skripsi. Yogyakarta: Sekolah Tinggi Teknologi Nasional Yogyakarta.

LAMPIRAN I

TABEL HASIL PERHITUNGAN

Lampiran I.1

Tabel Hasil Perhitungan Impedansi Penyulang Urutan Positif, Negatif dan Nol Menurut Titik Lokasi Terjadinya Gangguan

Lokasi Gangguan (% Panjang Penyulang)	Impedansi Penyulang (pu)		
	$Z_{1\text{penyulang}}$	$Z_{2\text{penyulang}}$	$Z_{0\text{penyulang}}$
0%	0	0	0
1%	0.0037 + j 0.0057	0.0037 + j 0.0057	0.0063 + j 0.0280
2%	0.0075 + j 0,0114	0.0075 + j 0,0114	0.0126 + j 0.0560
3%	0.0112 + j 0.0172	0.0112 + j 0.0172	0.0189 + j 0.0840
4%	0.0150 + j 0.0229	0.0150 + j 0.0229	0.0251 + j 0.1121
5%	0.0187 + j 0.0286	0.0187 + j 0.0286	0.0314 + j 0.1401
6%	0.0225 + j 0.0343	0.0225 + j 0.0343	0.0377 + j 0.1681
7%	0.0262 + j 0.0401	0.0262 + j 0.0401	0.0440 + j 0.1961
8%	0.0299 + j 0.0458	0.0299 + j 0.0458	0.0503 + j 0.2241
9%	0.0337 + j 0.0515	0.0337 + j 0.0515	0.0566 + j 0.2521
10%	0.0374 + j 0.0572	0.0374 + j 0.0572	0.0629 + j 0.2801
11%	0.0412 + j 0.0629	0.0412 + j 0.0629	0.0692 + j 0.3082
12%	0.0449 + j 0.0687	0.0449 + j 0.0687	0.0754 + j 0.3362
13%	0.0487 + j 0.0744	0.0487 + j 0.0744	0.0817 + j 0.3642
14%	0.0524 + j 0.0801	0.0524 + j 0.0801	0.0880 + j 0.3922
15%	0.0561 + j 0.0858	0.0561 + j 0.0858	0.0943 + j 0.4202
16%	0.0599 + j 0.0916	0.0599 + j 0.0916	0.1006 + j 0.4482
17%	0.0636 + j 0.0973	0.0636 + j 0.0973	0.1069 + j 0.4762
18%	0.0674 + j 0.1030	0.0674 + j 0.1030	0.1132+ j 0.5042
19%	0.0711 + j 0.1087	0.0711 + j 0.1087	0.1194 + j 0.5323
20%	0.0749 + j 0.1144	0.0749 + j 0.1144	0.1257 + j 0.5603
21%	0.0786 + j 0.1202	0.0786 + j 0.1202	0.1320 + j 0.5883
22%	0.0824 + j 0.1259	0.0824 + j 0.1259	0.1383 + j 0.6163
23%	0.0861 + j 0.1316	0.0861 + j 0.1316	0.1446 + j 0.6443
24%	0.0898 + j 0.1373	0.0898 + j 0.1373	0.1509 + j 0.6723
25%	0.0936 + j 0.1431	0.0936 + j 0.1431	0.1572 + j 0.7003
26%	0.0973 + j 0.1488	0.0973 + j 0.1488	0.1635 + j 0.7284
27%	0.1011 + j 0.1545	0.1011 + j 0.1545	0.1697 + j 0.7564
28%	0.1048 + j 0.1602	0.1048 + j 0.1602	0.1760 + j 0.7844
29%	0.1086 + j 0.1659	0.1086 + j 0.1659	0.1823 + j 0.8124
30%	0.1123 + j 0.1717	0.1123 + j 0.1717	0.1886 + j 0.8404
31%	0.1160 + j 0.1774	0.1160 + j 0.1774	0.1949 + j 0.8684
32%	0.1198 + j 0.1831	0.1198 + j 0.1831	0.2012 + j 0.8964
33%	0.1235 + j 0.1888	0.1235 + j 0.1888	0.2075 + j 0.9245
34%	0.1273 + j 0.1946	0.1273 + j 0.1946	0.2137 + j 0.9525

Lanjutan Lampiran I.1

Lokasi Gangguan (% Panjang Penyulang)	Impedansi Penyulang (pu)		
	$Z_{1\text{penyulang}}$	$Z_{2\text{penyulang}}$	$Z_{0\text{penyulang}}$
35%	0.1310 + j 0.2003	0.1310 + j 0.2003	0.2200 + j 0.9805
36%	0.1348 + j 0.2060	0.1348 + j 0.2060	0.2263 + j 1.0085
37%	0.1385 + j 0.2117	0.1385 + j 0.2117	0.2326 + j 1.0365
38%	0.1422 + j 0.2174	0.1422 + j 0.2174	0.2389 + j 1.0645
39%	0.1460 + j 0.2232	0.1460 + j 0.2232	0.2452 + j 1.0925
40%	0.1497 + j 0.2289	0.1497 + j 0.2289	0.2515 + j 1.1205
41%	0.1535 + j 0.2346	0.1535 + j 0.2346	0.2578 + j 1.1486
42%	0.1572 + j 0.2403	0.1572 + j 0.2403	0.2640 + j 1.1766
43%	0.1610 + j 0.2461	0.1610 + j 0.2461	0.2703 + j 1.2046
44%	0.1647 + j 0.2518	0.1647 + j 0.2518	0.2766 + j 1.2326
45%	0.1684 + j 0.2575	0.1684 + j 0.2575	0.2829 + j 1.2606
46%	0.1722 + j 0.2632	0.1722 + j 0.2632	0.2892 + j 1.2886
47%	0.1759 + j 0.2689	0.1759 + j 0.2689	0.2955 + j 1.3166
48%	0.1797 + j 0.2747	0.1797 + j 0.2747	0.3018 + j 1.3447
49%	0.1834 + j 0.2804	0.1834 + j 0.2804	0.3080 + j 1.3727
50%	0.1872 + j 0.2861	0.1872 + j 0.2861	0.3143 + j 1.4007
51%	0.1909 + j 0.2918	0.1909 + j 0.2918	0.3206 + j 1.4287
52%	0.1946 + j 0.2976	0.1946 + j 0.2976	0.3269 + j 1.4567
53%	0.1984 + j 0.3033	0.1984 + j 0.3033	0.3332 + j 1.4847
54%	0.2021 + j 0.3090	0.2021 + j 0.3090	0.3395 + j 1.5127
55%	0.2059 + j 0.3147	0.2059 + j 0.3147	0.3458 + j 1.5408
56%	0.2096 + j 0.3204	0.2096 + j 0.3204	0.3521 + j 1.5688
57%	0.2134 + j 0.3262	0.2134 + j 0.3262	0.3583 + j 1.5968
58%	0.2171 + j 0.3319	0.2171 + j 0.3319	0.3646 + j 1.6248
59%	0.2209 + j 0.3376	0.2209 + j 0.3376	0.3709 + j 1.6528
60%	0.2246 + j 0.3433	0.2246 + j 0.3433	0.3772 + j 1.6808
61%	0.2283 + j 0.3491	0.2283 + j 0.3491	0.3835 + j 1.7088
62%	0.2321 + j 0.3548	0.2321 + j 0.3548	0.3898 + j 1.7368
63%	0.2358 + j 0.3605	0.2358 + j 0.3605	0.3961 + j 1.7649
64%	0.2396 + j 0.3662	0.2396 + j 0.3662	0.4023 + j 1.7929
65%	0.2433 + j 0.3719	0.2433 + j 0.3719	0.4086 + j 1.8209
66%	0.2471 + j 0.3777	0.2471 + j 0.3777	0.4149 + j 1.8489
67%	0.2508 + j 0.3834	0.2508 + j 0.3834	0.4212 + j 1.8769
68%	0.2545 + j 0.3891	0.2545 + j 0.3891	0.4275 + j 1.9049
69%	0.2583 + j 0.3948	0.2583 + j 0.3948	0.4338 + j 1.9329
70%	0.2620 + j 0.4006	0.2620 + j 0.4006	0.4401 + j 1.9610
71%	0.2658 + j 0.4063	0.2658 + j 0.4063	0.4464 + j 1.9890
72%	0.2695 + j 0.4120	0.2695 + j 0.4120	0.4526 + j 2.0170

Lanjutan Lampiran I.1

Lokasi Gangguan (% Panjang Penyulang)	Impedansi Penyulang (pu)		
	$Z_{1\text{penyulang}}$	$Z_{2\text{penyulang}}$	$Z_{0\text{penyulang}}$
73%	0.2733 + j 0.4177	0.2733 + j 0.4177	0.4589 + j 2.0450
74%	0.2770 + j 0.4234	0.2770 + j 0.4234	0.4652 + j 2.0730
75%	0.2807 + j 0.4292	0.2807 + j 0.4292	0.4715 + j 2.1010
76%	0.2845 + j 0.4349	0.2845 + j 0.4349	0.4778 + j 2.1290
77%	0.2882 + j 0.4406	0.2882 + j 0.4406	0.4841 + j 2.1571
78%	0.2920 + j 0.4463	0.2920 + j 0.4463	0.4904 + j 2.1851
79%	0.2957 + j 0.4521	0.2957 + j 0.4521	0.4966 + j 2.2131
80%	0.2995 + j 0.4578	0.2995 + j 0.4578	0.5029 + j 2.2411
81%	0.3032 + j 0.4635	0.3032 + j 0.4635	0.5092 + j 2.2691
82%	0.3069 + j 0.4692	0.3069 + j 0.4692	0.5155 + j 2.2971
83%	0.3107 + j 0.4749	0.3107 + j 0.4749	0.5218 + j 2.3251
84%	0.3144 + j 0.4807	0.3144 + j 0.4807	0.5281 + j 2.3531
85%	0.3182 + j 0.4864	0.3182 + j 0.4864	0.5344 + j 2.3812
86%	0.3219 + j 0.4921	0.3219 + j 0.4921	0.5406 + j 2.4092
87%	0.3257 + j 0.4978	0.3257 + j 0.4978	0.5469 + j 2.4372
88%	0.3294 + j 0.5036	0.3294 + j 0.5036	0.5532 + j 2.4652
89%	0.3331 + j 0.5093	0.3331 + j 0.5093	0.5595 + j 2.4932
90%	0.3369 + j 0.5150	0.3369 + j 0.5150	0.5658 + j 2.5212
91%	0.3406 + j 0.5207	0.3406 + j 0.5207	0.5721 + j 2.5492
92%	0.3444 + j 0.5264	0.3444 + j 0.5264	0.5784 + j 2.5773
93%	0.3481 + j 0.5322	0.3481 + j 0.5322	0.5847 + j 2.6053
94%	0.3519 + j 0.5379	0.3519 + j 0.5379	0.5909 + j 2.6333
95%	0.3556 + j 0.5436	0.3556 + j 0.5436	0.5972 + j 2.6613
96%	0.3594 + j 0.5493	0.3594 + j 0.5493	0.6035 + j 2.6893
97%	0.3631 + j 0.5551	0.3631 + j 0.5551	0.6098 + j 2.7173
98%	0.3668 + j 0.5608	0.3668 + j 0.5608	0.6161 + j 2.7453
99%	0.3706 + j 0.5665	0.3706 + j 0.5665	0.6224 + j 2.7734
100%	0.3743 + j 0.5722	0.3743 + j 0.5722	0.6287 + j 2.8014

Lampiran I.2

Tabel Hasil Perhitungan Impedansi Total Urutan Positif, Negatif, dan Nol Menurut Titik Lokasi Terjadinya Gangguan

Lokasi Gangguan (% Panjang Penyulang)	Impedansi Total (pu)		
	Z_{1total}	Z_{2total}	Z_{0total}
0%	0.1369 \angle 90°	0.1369 \angle 90°	112.5006 \angle 0.19°
1%	0.1426 \angle 88.50°	0.1426 \angle 88.50°	112.5070 \angle 0.21°
2%	0.1485 \angle 87.11°	0.1485 \angle 87.11°	112.5134 \angle 0.22°
3%	0.1544 \angle 85.83°	0.1544 \angle 85.83°	112.5198 \angle 0.23°
4%	0.1604 \angle 84.65°	0.1604 \angle 84.65°	112.5262 \angle 0.25°
5%	0.1665 \angle 83.55°	0.1665 \angle 83.55°	112.5326 \angle 0.26°
6%	0.1727 \angle 82.53°	0.1727 \angle 82.53°	112.5390 \angle 0.28°
7%	0.1788 \angle 81.58°	0.1788 \angle 81.58°	112.5455 \angle 0.29°
8%	0.1851 \angle 80.69°	0.1851 \angle 80.69°	112.5519 \angle 0.30°
9%	0.1913 \angle 79.86°	0.1913 \angle 79.86°	112.5583 \angle 0.32°
10%	0.1977 \angle 79.08°	0.1977 \angle 79.08°	112.5648 \angle 0.33°
11%	0.2040 \angle 78.36°	0.2040 \angle 78.36°	112.5712 \angle 0.35°
12%	0.2104 \angle 77.67°	0.2104 \angle 77.67°	112.5777 \angle 0.36°
13%	0.2168 \angle 77.03°	0.2168 \angle 77.03°	112.5842 \angle 0.38°
14%	0.2232 \angle 76.42°	0.2232 \angle 76.42°	112.5906 \angle 0.39°
15%	0.2297 \angle 75.85°	0.2297 \angle 75.85°	112.5971 \angle 0.40°
16%	0.2361 \angle 75.31°	0.2361 \angle 75.31°	112.6036 \angle 0.42°
17%	0.2426 \angle 74.80°	0.2426 \angle 74.80°	112.6101 \angle 0.43°
18%	0.2491 \angle 74.31°	0.2491 \angle 74.31°	112.6166 \angle 0.45°
19%	0.2557 \angle 73.85°	0.2557 \angle 73.85°	112.6231 \angle 0.46°
20%	0.2622 \angle 73.41°	0.2622 \angle 73.41°	112.6296 \angle 0.48°
21%	0.2688 \angle 72.99°	0.2688 \angle 72.99°	112.6361 \angle 0.49°
22%	0.2754 \angle 72.60°	0.2754 \angle 72.60°	112.6427 \angle 0.50°
23%	0.2819 \angle 72.22°	0.2819 \angle 72.22°	112.6492 \angle 0.52°
24%	0.2885 \angle 71.86°	0.2885 \angle 71.86°	112.6557 \angle 0.53°
25%	0.2951 \angle 71.51°	0.2951 \angle 71.51°	112.6623 \angle 0.55°
26%	0.3018 \angle 71.18°	0.3018 \angle 71.18°	112.6689 \angle 0.56°
27%	0.3084 \angle 70.87°	0.3084 \angle 70.87°	112.6754 \angle 0.58°
28%	0.3150 \angle 70.57°	0.3150 \angle 70.57°	112.6820 \angle 0.59°
29%	0.3217 \angle 70.28°	0.3217 \angle 70.28°	112.6886 \angle 0.60°
30%	0.3283 \angle 70.00°	0.3283 \angle 70.00°	112.6952 \angle 0.62°
31%	0.3350 \angle 69.73°	0.3350 \angle 69.73°	112.7017 \angle 0.63°
32%	0.3417 \angle 69.48°	0.3417 \angle 69.48°	112.7083 \angle 0.65°
33%	0.3483 \angle 69.23°	0.3483 \angle 69.23°	112.7149 \angle 0.66°
34%	0.3550 \angle 68.99°	0.3550 \angle 68.99°	112.7216 \angle 0.67°

Lanjutan Lampiran I.2

Lokasi Gangguan (% Panjang Penyulang)	Impedansi Total (pu)		
	Z_{1total}	Z_{2total}	Z_{0total}
35%	0.3617 \angle 68.76°	0.3617 \angle 68.76°	112.7282 \angle 0.69°
36%	0.3684 \angle 68.54°	0.3684 \angle 68.54°	112.7348 \angle 0.70°
37%	0.3751 \angle 68.33°	0.3751 \angle 68.33°	112.7414 \angle 0.72°
38%	0.3818 \angle 68.13°	0.3818 \angle 68.13°	112.7481 \angle 0.73°
39%	0.3885 \angle 67.93°	0.3885 \angle 67.93°	112.7547 \angle 0.75°
40%	0.3952 \angle 67.74°	0.3952 \angle 67.74°	112.7614 \angle 0.76°
41%	0.4019 \angle 67.55°	0.4019 \angle 67.55°	112.7680 \angle 0.77°
42%	0.4086 \angle 67.37°	0.4086 \angle 67.37°	112.7747 \angle 0.79°
43%	0.4154 \angle 67.20°	0.4154 \angle 67.20°	112.7814 \angle 0.80°
44%	0.4221 \angle 67.03°	0.4221 \angle 67.03°	112.7881 \angle 0.82°
45%	0.4288 \angle 66.87°	0.4288 \angle 66.87°	112.7948 \angle 0.83°
46%	0.4356 \angle 66.71°	0.4356 \angle 66.71°	112.8015 \angle 0.85°
47%	0.4423 \angle 66.56°	0.4423 \angle 66.56°	112.8082 \angle 0.86°
48%	0.4490 \angle 66.41°	0.4490 \angle 66.41°	112.8149 \angle 0.87°
49%	0.4558 \angle 66.27°	0.4558 \angle 66.27°	112.8216 \angle 0.89°
50%	0.4625 \angle 66.13°	0.4625 \angle 66.13°	112.8283 \angle 0.90°
51%	0.4693 \angle 66.00°	0.4693 \angle 66.00°	112.8350 \angle 0.92°
52%	0.4760 \angle 65.86°	0.4760 \angle 65.86°	112.8418 \angle 0.93°
53%	0.4828 \angle 65.74°	0.4828 \angle 65.74°	112.8485 \angle 0.94°
54%	0.4895 \angle 65.61°	0.4895 \angle 65.61°	112.8553 \angle 0.96°
55%	0.4963 \angle 65.49°	0.4963 \angle 65.49°	112.8620 \angle 0.97°
56%	0.5031 \angle 65.37°	0.5031 \angle 65.37°	112.8688 \angle 0.99°
57%	0.5098 \angle 65.26°	0.5098 \angle 65.26°	112.8756 \angle 1.00°
58%	0.5166 \angle 65.15°	0.5166 \angle 65.15°	112.8823 \angle 1.02°
59%	0.5234 \angle 65.04°	0.5234 \angle 65.04°	112.8891 \angle 1.03°
60%	0.5301 \angle 64.93°	0.5301 \angle 64.93°	112.8959 \angle 1.04°
61%	0.5369 \angle 64.83°	0.5369 \angle 64.83°	112.9027 \angle 1.06°
62%	0.5437 \angle 64.73°	0.5437 \angle 64.73°	112.9095 \angle 1.07°
63%	0.5504 \angle 64.63°	0.5504 \angle 64.63°	112.9163 \angle 1.09°
64%	0.5572 \angle 64.54°	0.5572 \angle 64.54°	112.9232 \angle 1.10°
65%	0.5640 \angle 64.44°	0.5640 \angle 64.44°	112.9300 \angle 1.11°
66%	0.5708 \angle 64.35°	0.5708 \angle 64.35°	112.9368 \angle 1.13°
67%	0.5775 \angle 64.26°	0.5775 \angle 64.26°	112.9437 \angle 1.14°
68%	0.5843 \angle 64.18°	0.5843 \angle 64.18°	112.9505 \angle 1.16°
69%	0.5911 \angle 64.09°	0.5911 \angle 64.09°	112.9574 \angle 1.17°
70%	0.5979 \angle 64.01°	0.5979 \angle 64.01°	112.9642 \angle 1.18°
71%	0.6047 \angle 63.93°	0.6047 \angle 63.93°	112.9711 \angle 1.20°
72%	0.6115 \angle 63.85°	0.6115 \angle 63.85°	112.9780 \angle 1.21°

Lanjutan Lampiran I.2

Lokasi Gangguan (% Panjang Penyulang)	Impedansi Total (pu)		
	Z_{1total}	Z_{2total}	Z_{0total}
73%	0.6182 \angle 63.77°	0.6182 \angle 63.77°	112.9848 \angle 1.23°
74%	0.6250 \angle 63.69°	0.6250 \angle 63.69°	112.9917 \angle 1.24°
75%	0.6318 \angle 63.62°	0.6318 \angle 63.62°	112.9986 \angle 1.26°
76%	0.6386 \angle 63.55°	0.6386 \angle 63.55°	113.0055 \angle 1.27°
77%	0.6454 \angle 63.48°	0.6454 \angle 63.48°	113.0124 \angle 1.28°
78%	0.6522 \angle 63.41°	0.6522 \angle 63.41°	113.0194 \angle 1.30°
79%	0.6590 \angle 63.34°	0.6590 \angle 63.34°	113.0263 \angle 1.31°
80%	0.6658 \angle 63.27°	0.6658 \angle 63.27°	113.0332 \angle 1.33°
81%	0.6726 \angle 63.20°	0.6726 \angle 63.20°	113.0401 \angle 1.34°
82%	0.6794 \angle 63.14°	0.6794 \angle 63.14°	113.0471 \angle 1.35°
83%	0.6862 \angle 63.08°	0.6862 \angle 63.08°	113.0540 \angle 1.37°
84%	0.6930 \angle 63.02°	0.6930 \angle 63.02°	113.0610 \angle 1.38°
85%	0.6998 \angle 62.06°	0.6998 \angle 62.06°	113.0680 \angle 1.40°
86%	0.7066 \angle 62.90°	0.7066 \angle 62.90°	113.0749 \angle 1.41°
87%	0.7134 \angle 62.84°	0.7134 \angle 62.84°	113.0819 \angle 1.43°
88%	0.7202 \angle 62.78°	0.7202 \angle 62.78°	113.0889 \angle 1.44°
89%	0.7270 \angle 62.72°	0.7270 \angle 62.72°	113.0959 \angle 1.45°
90%	0.7338 \angle 62.67°	0.7338 \angle 62.67°	113.1029 \angle 1.47°
91%	0.7406 \angle 62.62°	0.7406 \angle 62.62°	113.1099 \angle 1.48°
92%	0.7474 \angle 62.56°	0.7474 \angle 62.56°	113.1169 \angle 1.50°
93%	0.7542 \angle 62.51°	0.7542 \angle 62.51°	113.1239 \angle 1.51°
94%	0.7610 \angle 62.46°	0.7610 \angle 62.46°	113.1309 \angle 1.52°
95%	0.7678 \angle 62.41°	0.7678 \angle 62.41°	113.1380 \angle 1.54°
96%	0.7746 \angle 62.36°	0.7746 \angle 62.36°	113.1450 \angle 1.55°
97%	0.7814 \angle 62.31°	0.7814 \angle 62.31°	113.1521 \angle 1.57°
98%	0.7882 \angle 62.26°	0.7882 \angle 62.26°	113.1591 \angle 1.58°
99%	0.7950 \angle 62.22°	0.7950 \angle 62.22°	113.1662 \angle 1.59°
100%	0.8018 \angle 62.17°	0.8018 \angle 62.17°	113.1732 \angle 1.61°

Lampiran I.3

Tabel Hasil Perhitungan Arus Gangguan Hubung Singkat Tiga Fasa Menurut Titik Lokasi Terjadinya Gangguan.

Lokasi Gangguan (% Panjang Penyulang)	Arus Gangguan Hubung Singkat Tiga Fasa (Ampere)
0%	6327.84
1%	6071.79
2%	5832.10
3%	5607.70
4%	5397.53
5%	5200.56
6%	5015.80
7%	4842.33
8%	4679.31
9%	4525.92
10%	4381.43
11%	4245.18
12%	4116.54
13%	3994.95
14%	3879.89
15%	3770.88
16%	3667.49
17%	3569.33
18%	3476.03
19%	3387.25
20%	3302.70
21%	3222.10
22%	3145.18
23%	3071.71
24%	3001.47
25%	2934.26
26%	2869.90
27%	2808.22
28%	2749.05
29%	2692.26
30%	2637.70
31%	2585.25
32%	2534.80
33%	2486.23
34%	2439.44

Lanjutan Lampiran I.3

Lokasi Gangguan (% Panjang Penyulang)	Arus Gangguan Hubung Singkat Tiga Fasa (Ampere)
35%	2394.34
36%	2350.85
37%	2308.87
38%	2268.34
39%	2229.18
40%	2191.32
41%	2154.70
42%	2119.27
43%	2084.97
44%	2051.73
45%	2019.53
46%	1988.31
47%	1958.02
48%	1928.63
49%	1900.09
50%	1872.38
51%	1845.45
52%	1819.28
53%	1793.83
54%	1769.07
55%	1744.98
56%	1721.53
57%	1698.70
58%	1676.45
59%	1654.78
60%	1633.65
61%	1613.05
62%	1592.96
63%	1573.36
64%	1554.23
65%	1535.55
66%	1517.32
67%	1499.51
68%	1482.11
69%	1465.10
70%	1448.48
71%	1432.23
72%	1416.33

Lanjutan Lampiran I.3

Lokasi Gangguan (% Panjang Penyulang)	Arus Gangguan Hubung Singkat Tiga Fasa (Ampere)
73%	1400.78
74%	1385.57
75%	1370.68
76%	1356.11
77%	1341.84
78%	1327.87
79%	1314.18
80%	1300.77
81%	1287.63
82%	1274.75
83%	1262.12
84%	1249.74
85%	1237.60
86%	1225.69
87%	1214.01
88%	1202.54
89%	1191.29
90%	1180.25
91%	1169.41
92%	1158.77
93%	1148.31
94%	1138.05
95%	1127.96
96%	1118.05
97%	1108.31
98%	1098.74
99%	1089.33
100%	1080.08

Lampiran I.4

Tabel Hasil Perhitungan Arus Gangguan Hubung Singkat Antar Fasa Menurut Titik Lokasi Terjadinya Gangguan.

Lokasi Gangguan (% Panjang Penyulang)	Arus Gangguan Hubung Singkat Antar Fasa (Ampere)
0%	3163.92
1%	3035.90
2%	2916.05
3%	2803.85
4%	2698.77
5%	2600.28
6%	2507.90
7%	2421.17
8%	2339.65
9%	2262.96
10%	2190.72
11%	2122.59
12%	2058.27
13%	1997.48
14%	1939.94
15%	1885.44
16%	1833.75
17%	1784.66
18%	1738.01
19%	1693.63
20%	1651.35
21%	1611.05
22%	1572.59
23%	1535.85
24%	1500.74
25%	1467.13
26%	1434.95
27%	1404.11
28%	1374.53
29%	1346.13
30%	1318.85
31%	1292.63
32%	1267.40
33%	1243.11
34%	1219.72

Lanjutan Lampiran I.4

Lokasi Gangguan (% Panjang Penyulang)	Arus Gangguan Hubung Singkat Antar Fasa (Ampere)
35%	1197.17
36%	1175.42
37%	1154.43
38%	1134.17
39%	1114.59
40%	1095.66
41%	1077.35
42%	1059.64
43%	1042.48
44%	1025.87
45%	1009.77
46%	994.15
47%	979.01
48%	964.31
49%	950.05
50%	936.19
51%	922.73
52%	909.64
53%	896.91
54%	884.54
55%	872.49
56%	860.77
57%	849.35
58%	838.23
59%	827.39
60%	816.83
61%	806.53
62%	796.48
63%	786.68
64%	777.11
65%	767.78
66%	758.66
67%	749.75
68%	741.05
69%	732.55
70%	724.24
71%	716.11
72%	708.17
73%	700.39

Lanjutan Lampiran I.4

Lokasi Gangguan (% Panjang Penyulang)	Arus Gangguan Hubung Singkat Antar Fasa (Ampere)
74%	692.79
75%	685.34
76%	678.06
77%	670.92
78%	663.93
79%	657.09
80%	650.38
81%	643.81
82%	637.37
83%	631.06
84%	624.87
85%	618.80
86%	612.85
87%	607.00
88%	601.27
89%	595.65
90%	590.13
91%	584.71
92%	579.38
93%	574.16
94%	569.02
95%	563.98
96%	559.02
97%	554.16
98%	549.37
99%	544.67
100%	540.04

Lampiran I.5

Tabel Hasil Perhitungan Arus Gangguan Hubung Singkat Menurut Titik Lokasi Terjadinya Gangguan.

Lokasi Gangguan (% Panjang Penyulang)	Jarak (km)	Arus Hubung Singkat (Ampere)	
		Tiga Fasa	Antar Fasa
0%	0	6327.84	3163.92
1%	0.231	6071.79	3035.90
2%	0.462	5832.10	2916.05
3%	0.693	5607.70	2803.85
4%	0.923	5397.53	2698.77
5%	1.154	5200.56	2600.28
6%	1.385	5015.80	2507.90
7%	1.616	4842.33	2421.17
8%	1.847	4679.31	2339.65
9%	2.078	4525.92	2262.96
10%	2.309	4381.43	2190.72
11%	2.539	4245.18	2122.59
12%	2.770	4116.54	2058.27
13%	3.001	3994.95	1997.48
14%	3.232	3879.89	1939.94
15%	3.463	3770.88	1885.44
16%	3.694	3667.49	1833.75
17%	3.924	3569.33	1784.66
18%	4.155	3476.03	1738.01
19%	4.386	3387.25	1693.63
20%	4.617	3302.70	1651.35
21%	4.848	3222.10	1611.05
22%	5.079	3145.18	1572.59
23%	5.310	3071.71	1535.85
24%	5.540	3001.47	1500.74
25%	5.771	2934.26	1467.13
26%	6.002	2869.90	1434.95
27%	6.233	2808.22	1404.11
28%	6.464	2749.05	1374.53
29%	6.695	2692.26	1346.13
30%	6.926	2637.70	1318.85
31%	7.156	2585.25	1292.63
32%	7.387	2534.80	1267.40
33%	7.618	2486.23	1243.11
34%	7.849	2439.44	1219.72

Lanjutan Lampiran I.5

Lokasi Gangguan (% Panjang Penyulang)	Jarak (km)	Arus Hubung Singkat (Ampere)	
		Tiga Fasa	Antar Fasa
35%	8.080	2394.34	1197.17
36%	8.311	2350.85	1175.42
37%	8.541	2308.87	1154.43
38%	8.772	2268.34	1134.17
39%	9.003	2229.18	1114.59
40%	9.234	2191.32	1095.66
41%	9.465	2154.70	1077.35
42%	9.696	2119.27	1059.64
43%	9.927	2084.97	1042.48
44%	10.157	2051.73	1025.87
45%	10.388	2019.53	1009.77
46%	10.619	1988.31	994.15
47%	10.850	1958.02	979.01
48%	11.081	1928.63	964.31
49%	11.312	1900.09	950.05
50%	11.543	1872.38	936.19
51%	11.773	1845.45	922.73
52%	12.004	1819.28	909.64
53%	12.235	1793.83	896.91
54%	12.466	1769.07	884.54
55%	12.697	1744.98	872.49
56%	12.928	1721.53	860.77
57%	13.158	1698.70	849.35
58%	13.389	1676.45	838.23
59%	13.620	1654.78	827.39
60%	13.851	1633.65	816.83
61%	14.082	1613.05	806.53
62%	14.313	1592.96	796.48
63%	14.544	1573.36	786.68
64%	14.774	1554.23	777.11
65%	15.005	1535.55	767.78
66%	15.236	1517.32	758.66
67%	15.467	1499.51	749.75
68%	15.698	1482.11	741.05
69%	15.929	1465.10	732.55
70%	16.160	1448.48	724.24
71%	16.390	1432.23	716.11
72%	16.621	1416.33	708.17

Lanjutan Lampiran I.5

Lokasi Gangguan (% Panjang Penyulang)	Jarak (km)	Arus Hubung Singkat (Ampere)	
		Tiga Fasa	Antar Fasa
73%	16.852	1400.78	700.39
74%	17.083	1385.57	692.79
75%	17.314	1370.68	685.34
76%	17.545	1356.11	678.06
77%	17.775	1341.84	670.92
78%	18.006	1327.87	663.93
79%	18.237	1314.18	657.09
80%	18.468	1300.77	650.38
81%	18.699	1287.63	643.81
82%	18.930	1274.75	637.37
83%	19.161	1262.12	631.06
84%	19.391	1249.74	624.87
85%	19.622	1237.60	618.80
86%	19.853	1225.69	612.85
87%	20.084	1214.01	607.00
88%	20.315	1202.54	601.27
89%	20.546	1191.29	595.65
90%	20.777	1180.25	590.13
91%	21.007	1169.41	584.71
92%	21.238	1158.77	579.38
93%	21.469	1148.31	574.16
94%	21.700	1138.05	569.02
95%	21.931	1127.96	563.98
96%	22.162	1118.05	559.02
97%	22.392	1108.31	554.16
98%	22.623	1098.74	549.37
99%	22.854	1089.33	544.67
100%	23.085	1080.08	540.04

Lampiran I.6

Tabel Hasil Perhitungan Waktu Kerja Rele Arus Lebih Menggunakan Pola Non Kaskade di Sisi Penyulang.

Lokasi Gangguan (% Panjang Penyulang)	Waktu Kerja di Sisi Penyulang (detik)	
	Tiga Fasa	Antar Fasa
0%	instan	instan
1%	instan	instan
2%	instan	instan
3%	instan	instan
4%	instan	instan
5%	instan	instan
6%	instan	instan
7%	instan	instan
8%	instan	instan
9%	instan	instan
10%	instan	instan
11%	instan	instan
12%	instan	0.4183
13%	instan	0.4227
14%	instan	0.4271
15%	instan	0.4315
16%	instan	0.4358
17%	instan	0.4401
18%	instan	0.4444
19%	instan	0.4487
20%	instan	0.4529
21%	instan	0.4571
22%	instan	0.4613
23%	instan	0.4655
24%	instan	0.4697
25%	instan	0.4739
26%	instan	0.4780
27%	instan	0.4821
28%	instan	0.4862
29%	instan	0.4903
30%	instan	0.4944
31%	instan	0.4985
32%	instan	0.5026
33%	instan	0.5066
34%	instan	0.5106
35%	instan	0.5147

Lanjutan Lampiran I.6

Lokasi Gangguan (% Panjang Penyulang)	Waktu Kerja di Sisi Penyulang (detik)	
	Tiga Fasa	Antar Fasa
36%	instan	0.5187
37%	instan	0.5227
38%	instan	0.5267
39%	instan	0.5307
40%	instan	0.5347
41%	instan	0.5387
42%	instan	0.5426
43%	instan	0.5466
44%	0.4188	0.5505
45%	0.4211	0.5545
46%	0.4234	0.5584
47%	0.4257	0.5624
48%	0.4280	0.5663
49%	0.4303	0.5703
50%	0.4325	0.5742
51%	0.4348	0.5781
52%	0.4370	0.5821
53%	0.4393	0.5860
54%	0.4415	0.5899
55%	0.4437	0.5938
56%	0.4460	0.5977
57%	0.4482	0.6017
58%	0.4504	0.6056
59%	0.4526	0.6095
60%	0.4547	0.6134
61%	0.4569	0.6173
62%	0.4591	0.6212
63%	0.4613	0.6252
64%	0.4634	0.6291
65%	0.4656	0.6330
66%	0.4677	0.6369
67%	0.4699	0.6408
68%	0.4720	0.6448
69%	0.4741	0.6487
70%	0.4762	0.6526
71%	0.4784	0.6565
72%	0.4805	0.6605
73%	0.4826	0.6644
74%	0.4847	0.6683

Lanjutan Lampiran I.6

Lokasi Gangguan (% Panjang Penyulang)	Waktu Kerja di Sisi Penyulang (detik)	
	Tiga Fasa	Antar Fasa
75%	0.4868	0.6723
76%	0.4889	0.6762
77%	0.4910	0.6802
78%	0.4931	0.6841
79%	0.4951	0.6881
80%	0.4972	0.6921
81%	0.4993	0.6960
82%	0.5014	0.7000
83%	0.5034	0.7040
84%	0.5055	0.7080
85%	0.5075	0.7119
86%	0.5096	0.7159
87%	0.5116	0.7199
88%	0.5137	0.7239
89%	0.5157	0.7280
90%	0.5178	0.7320
91%	0.5198	0.7360
92%	0.5219	0.7400
93%	0.5239	0.7441
94%	0.5259	0.7481
95%	0.5280	0.7522
96%	0.5300	0.7562
97%	0.5320	0.7603
98%	0.5340	0.7644
99%	0.5360	0.7685
100%	0.5381	0.7725

Lampiran I.7

Tabel Hasil Perhitungan Waktu Kerja Rele Arus Lebih Menggunakan Pola Non Kaskade di Sisi Masukan 20 kV.

Lokasi Gangguan (% Panjang Penyulang)	Waktu Kerja di Sisi Masukan 20 kV (detik)	
	Tiga Fasa	Antar Fasa
0%	instan	1.0968
1%	instan	1.1348
2%	instan	1.1745
3%	instan	1.2159
4%	instan	1.2591
5%	instan	1.3041
6%	instan	1.3511
7%	instan	1.4002
8%	instan	1.4514
9%	instan	1.5050
10%	instan	1.5610
11%	instan	1.6197
12%	instan	1.6812
13%	instan	1.7458
14%	instan	1.8137
15%	instan	1.8851
16%	instan	1.9604
17%	instan	2.0398
18%	1.0188	2.1238
19%	1.0392	2.2127
20%	1.0598	2.3070
21%	1.0808	2.4073
22%	1.1021	2.5141
23%	1.1237	2.6281
24%	1.1458	2.7500
25%	1.1682	2.8809
26%	1.1910	3.0216
27%	1.2142	3.1734
28%	1.2378	3.3377
29%	1.2619	3.5160
30%	1.2864	3.7104
31%	1.3114	3.9231
32%	1.3369	4.1568
33%	1.3629	4.4149
34%	1.3894	4.7014
35%	1.4164	5.0213

Lanjutan Lampiran I.7

Lokasi Gangguan (% Panjang Penyulang)	Waktu Kerja di Sisi Masukan 20 kV (detik)	
	Tiga Fasa	Antar Fasa
36%	1.4440	5.3809
37%	1.4722	5.7882
38%	1.5010	6.2533
39%	1.5304	6.7895
40%	1.5605	7.4147
41%	1.5913	8.1530
42%	1.6227	9.0382
43%	1.6549	10.1193
44%	1.6878	11.4694
45%	1.7216	13.2035
46%	1.7562	15.5128
47%	1.7916	18.7409
48%	1.8279	23.5727
49%	1.8651	31.5992
50%	1.9034	47.5562
51%	1.9426	94.6798
52%	1.9829	4087.7977
53%	2.0243	-100.7241
54%	2.0669	-50.0998
55%	2.1106	-33.4950
56%	2.1557	-25.2418
57%	2.2020	-20.3052
58%	2.2498	-17.0203
59%	2.2990	-14.6767
60%	2.3497	-12.9206
61%	2.4020	-11.5554
62%	2.4560	-10.4637
63%	2.5118	-9.5707
64%	2.5694	-8.8266
65%	2.6290	-8.1971
66%	2.6907	-7.6574
67%	2.7546	-7.1897
68%	2.8207	-6.7804
69%	2.8893	-6.4192
70%	2.9604	-6.0981
71%	3.0343	-5.8107
72%	3.1111	-5.5519
73%	3.1909	-5.3178
74%	3.2740	-5.1049

Lanjutan Lampiran I.7

Lokasi Gangguan (% Panjang Penyulang)	Waktu Kerja di Sisi Masukan 20 kV (detik)	
	Tiga Fasa	Antar Fasa
75%	3.3605	-4.9104
76%	3.4508	-4.7320
77%	3.5450	-4.5679
78%	3.6434	-4.4163
79%	3.7463	-4.2759
80%	3.8540	-4.1455
81%	3.9669	-4.0240
82%	4.0854	-3.9105
83%	4.2099	-3.8043
84%	4.3408	-3.7048
85%	4.4787	-3.6111
86%	4.6242	-3.5230
87%	4.7779	-3.4398
88%	4.9406	-3.3613
89%	5.1130	-3.2869
90%	5.2961	-3.2164
91%	5.4909	-3.1495
92%	5.6986	-3.0859
93%	5.9204	-3.0253
94%	6.1580	-2.9676
95%	6.4130	-2.9126
96%	6.6875	-2.8600
97%	6.9837	-2.8097
98%	7.3045	-2.7616
99%	7.6529	-2.7155
100%	8.0328	-2.6713

Lampiran I.8

Tabel Hasil Perhitungan Koordinasi Rele Arus Lebih Menggunakan Pola Non Kaskade Saat Terjadi Gangguan Hubung Singkat Tiga Fasa dan Antar Fasa di Sisi Masukan dan di Sisi Penyulang 20 kV.

Lokasi Gangguan (% Panjang Penyulang)	Jarak (km)	Arus Gangguan Tiga Fasa (Ampere)	Waktu Kerja (detik)		Arus Gangguan Antar Fasa (Ampere)	Waktu Kerja (detik)	
			Sisi Masukan 20 kV	Sisi Penyulang		Sisi Masukan 20 kV	Sisi Penyulang
0%	0	6327.84	instan	instan	3163.92	1.0968	instan
1%	0.231	6071.79	instan	instan	3035.90	1.1348	instan
2%	0.462	5832.10	instan	instan	2916.05	1.1745	instan
3%	0.693	5607.70	instan	instan	2803.85	1.2159	instan
4%	0.923	5397.53	instan	instan	2698.77	1.2591	instan
5%	1.154	5200.56	instan	instan	2600.28	1.3041	instan
6%	1.385	5015.80	instan	instan	2507.90	1.3511	instan
7%	1.616	4842.33	instan	instan	2421.17	1.4002	instan
8%	1.847	4679.31	instan	instan	2339.65	1.4514	instan
9%	2.078	4525.92	instan	instan	2262.96	1.5050	instan
10%	2.309	4381.43	instan	instan	2190.72	1.5610	instan
11%	2.539	4245.18	instan	instan	2122.59	1.6197	instan
12%	2.770	4116.54	instan	instan	2058.27	1.6812	0.4183
13%	3.001	3994.95	instan	instan	1997.48	1.7458	0.4227
14%	3.232	3879.89	instan	instan	1939.94	1.8137	0.4271
15%	3.463	3770.88	instan	instan	1885.44	1.8851	0.4315

Lanjutan Lampiran I.8

Lokasi Gangguan (% Panjang Penyulang)	Jarak (km)	Arus Gangguan Tiga Fasa (Ampere)	Waktu Kerja (detik)		Arus Gangguan Antar Fasa (Ampere)	Waktu Kerja (detik)	
			Sisi Masukan 20 kV	Sisi Penyulang		Sisi Masukan 20 kV	Sisi Penyulang
16%	3.694	3667.49	instan	instan	1833.75	1.9604	0.4358
17%	3.924	3569.33	instan	instan	1784.66	2.0398	0.4401
18%	4.155	3476.03	1.0188	instan	1738.01	2.1238	0.4444
19%	4.386	3387.25	1.0392	instan	1693.63	2.2127	0.4487
20%	4.617	3302.70	1.0598	instan	1651.35	2.3070	0.4529
21%	4.848	3222.10	1.0808	instan	1611.05	2.4073	0.4571
22%	5.079	3145.18	1.1021	instan	1572.59	2.5141	0.4613
23%	5.310	3071.71	1.1237	instan	1535.85	2.6281	0.4655
24%	5.540	3001.47	1.1458	instan	1500.74	2.7500	0.4697
25%	5.771	2934.26	1.1682	instan	1467.13	2.8809	0.4739
26%	6.002	2869.90	1.1910	instan	1434.95	3.0216	0.4780
27%	6.233	2808.22	1.2142	instan	1404.11	3.1734	0.4821
28%	6.464	2749.05	1.2378	instan	1374.53	3.3377	0.4862
29%	6.695	2692.26	1.2619	instan	1346.13	3.5160	0.4903
30%	6.926	2637.70	1.2864	instan	1318.85	3.7104	0.4944
31%	7.156	2585.25	1.3114	instan	1292.63	3.9231	0.4985
32%	7.387	2534.80	1.3369	instan	1267.40	4.1568	0.5026
33%	7.618	2486.23	1.3629	instan	1243.11	4.4149	0.5066
34%	7.849	2439.44	1.3894	instan	1219.72	4.7014	0.5106
35%	8.080	2394.34	1.4164	instan	1197.17	5.0213	0.5147

Lanjutan Lampiran I.8

Lokasi Gangguan (% Panjang Penyulang)	Jarak (km)	Arus Gangguan Tiga Fasa (Ampere)	Waktu Kerja (detik)		Arus Gangguan Antar Fasa (Ampere)	Waktu Kerja (detik)	
			Sisi Masukan 20 kV	Sisi Penyulang		Sisi Masukan 20 kV	Sisi Penyulang
36%	8.311	2350.85	1.4440	instan	1175.42	5.3809	0.5187
37%	8.541	2308.87	1.4722	instan	1154.43	5.7882	0.5227
38%	8.772	2268.34	1.5010	instan	1134.17	6.2533	0.5267
39%	9.003	2229.18	1.5304	instan	1114.59	6.7895	0.5307
40%	9.234	2191.32	1.5605	instan	1095.66	7.4147	0.5347
41%	9.465	2154.70	1.5913	instan	1077.35	8.1530	0.5387
42%	9.696	2119.27	1.6227	instan	1059.64	9.0382	0.5426
43%	9.927	2084.97	1.6549	instan	1042.48	10.1193	0.5466
44%	10.157	2051.73	1.6878	0.4188	1025.87	11.4694	0.5505
45%	10.388	2019.53	1.7216	0.4211	1009.77	13.2035	0.5545
46%	10.619	1988.31	1.7562	0.4234	994.15	15.5128	0.5584
47%	10.850	1958.02	1.7916	0.4257	979.01	18.7409	0.5624
48%	11.081	1928.63	1.8279	0.4280	964.31	23.5727	0.5663
49%	11.312	1900.09	1.8651	0.4303	950.05	31.5992	0.5703
50%	11.543	1872.38	1.9034	0.4325	936.19	47.5562	0.5742
51%	11.773	1845.45	1.9426	0.4348	922.73	94.6798	0.5781
52%	12.004	1819.28	1.9829	0.4370	909.64	4087.7977	0.5821
53%	12.235	1793.83	2.0243	0.4393	896.91	-100.7241	0.5860
54%	12.466	1769.07	2.0669	0.4415	884.54	-50.0998	0.5899
55%	12.697	1744.98	2.1106	0.4437	872.49	-33.4950	0.5938

Lanjutan Lampiran I.8

Lokasi Gangguan (% Panjang Penyulang)	Jarak (km)	Arus Gangguan Tiga Fasa (Ampere)	Waktu Kerja (detik)		Arus Gangguan Antar Fasa (Ampere)	Waktu Kerja (detik)	
			Sisi Masukan 20 kV	Sisi Penyulang		Sisi Masukan 20 kV	Sisi Penyulang
56%	12.928	1721.53	2.1557	0.4460	860.77	-25.2418	0.5977
57%	13.158	1698.70	2.2020	0.4482	849.35	-20.3052	0.6017
58%	13.389	1676.45	2.2498	0.4504	838.23	-17.0203	0.6056
59%	13.620	1654.78	2.2990	0.4526	827.39	-14.6767	0.6095
60%	13.851	1633.65	2.3497	0.4547	816.83	-12.9206	0.6134
61%	14.082	1613.05	2.4020	0.4569	806.53	-11.5554	0.6173
62%	14.313	1592.96	2.4560	0.4591	796.48	-10.4637	0.6212
63%	14.544	1573.36	2.5118	0.4613	786.68	-9.5707	0.6252
64%	14.774	1554.23	2.5694	0.4634	777.11	-8.8266	0.6291
65%	15.005	1535.55	2.6290	0.4656	767.78	-8.1971	0.6330
66%	15.236	1517.32	2.6907	0.4677	758.66	-7.6574	0.6369
67%	15.467	1499.51	2.7546	0.4699	749.75	-7.1897	0.6408
68%	15.698	1482.11	2.8207	0.4720	741.05	-6.7804	0.6448
69%	15.929	1465.10	2.8893	0.4741	732.55	-6.4192	0.6487
70%	16.160	1448.48	2.9604	0.4762	724.24	-6.0981	0.6526
71%	16.390	1432.23	3.0343	0.4784	716.11	-5.8107	0.6565
72%	16.621	1416.33	3.1111	0.4805	708.17	-5.5519	0.6605
73%	16.852	1400.78	3.1909	0.4826	700.39	-5.3178	0.6644
74%	17.083	1385.57	3.2740	0.4847	692.79	-5.1049	0.6683
75%	17.314	1370.68	3.3605	0.4868	685.34	-4.9104	0.6723

Lanjutan Lampiran I.8

Lokasi Gangguan (% Panjang Penyulang)	Jarak (km)	Arus Gangguan Tiga Fasa (Ampere)	Waktu Kerja (detik)		Arus Gangguan Antar Fasa (Ampere)	Waktu Kerja (detik)	
			Sisi Masukan 20 kV	Sisi Penyulang		Sisi Masukan 20 kV	Sisi Penyulang
76%	17.545	1356.11	3.4508	0.4889	678.06	-4.7320	0.6762
77%	17.775	1341.84	3.5450	0.4910	670.92	-4.5679	0.6802
78%	18.006	1327.87	3.6434	0.4931	663.93	-4.4163	0.6841
79%	18.237	1314.18	3.7463	0.4951	657.09	-4.2759	0.6881
80%	18.468	1300.77	3.8540	0.4972	650.38	-4.1455	0.6921
81%	18.699	1287.63	3.9669	0.4993	643.81	-4.0240	0.6960
82%	18.930	1274.75	4.0854	0.5014	637.37	-3.9105	0.7000
83%	19.161	1262.12	4.2099	0.5034	631.06	-3.8043	0.7040
84%	19.391	1249.74	4.3408	0.5055	624.87	-3.7048	0.7080
85%	19.622	1237.60	4.4787	0.5075	618.80	-3.6111	0.7119
86%	19.853	1225.69	4.6242	0.5096	612.85	-3.5230	0.7159
87%	20.084	1214.01	4.7779	0.5116	607.00	-3.4398	0.7199
88%	20.315	1202.54	4.9406	0.5137	601.27	-3.3613	0.7239
89%	20.546	1191.29	5.1130	0.5157	595.65	-3.2869	0.7280
90%	20.777	1180.25	5.2961	0.5178	590.13	-3.2164	0.7320
91%	21.007	1169.41	5.4909	0.5198	584.71	-3.1495	0.7360
92%	21.238	1158.77	5.6986	0.5219	579.38	-3.0859	0.7400
93%	21.469	1148.31	5.9204	0.5239	574.16	-3.0253	0.7441
94%	21.700	1138.05	6.1580	0.5259	569.02	-2.9676	0.7481
95%	21.931	1127.96	6.4130	0.5280	563.98	-2.9126	0.7522

Lanjutan Lampiran I.8

Lokasi Gangguan (% Panjang Penyulang)	Jarak (km)	Arus Gangguan Tiga Fasa (Ampere)	Waktu Kerja (detik)		Arus Gangguan Antar Fasa (Ampere)	Waktu Kerja (detik)	
			Sisi Masukan 20 kV	Sisi Penyulang		Sisi Masukan 20 kV	Sisi Penyulang
96%	22.162	1118.05	6.6875	0.5300	559.02	-2.8600	0.7562
97%	22.392	1108.31	6.9837	0.5320	554.16	-2.8097	0.7603
98%	22.623	1098.74	7.3045	0.5340	549.37	-2.7616	0.7644
99%	22.854	1089.33	7.6529	0.5360	544.67	-2.7155	0.7685
100%	23.085	1080.08	8.0328	0.5381	540.04	-2.6713	0.7725

Lampiran I.9

Tabel Perbandingan Koordinasi Rele Arus Lebih Hasil Perhitungan dan di Lapangan Saat Terjadi Gangguan Hubung Singkat Tiga Fasa dan Antar Fasa di Sisi Masukan dan di Sisi Penyulang 20 kV.

Lokasi Gangguan (% Panjang Penyulang)	Jarak (km)	Arus Gangguan Tiga Fasa (Ampere)	Waktu Kerja (detik) Hasil Perhitungan		Waktu Kerja (detik) Di Lapangan		Arus Gangguan Antar Fasa (Ampere)	Waktu Kerja (detik) Hasil Perhitungan		Waktu Kerja (detik) Di Lapangan	
			Sisi Masukan 20 kV	Sisi Penyulang	Sisi Masukan 20 kV	Sisi Penyulang		Sisi Masukan 20 kV	Sisi Penyulang	Sisi Masukan 20 kV	Sisi Penyulang
0%	0	6327.84	instan	instan	0.7449	instan	3163.92	1.0968	instan	1.2015	instan
1%	0.231	6071.79	instan	instan	0.7623	instan	3035.90	1.1348	instan	1.2467	instan
2%	0.462	5832.10	instan	instan	0.7800	instan	2916.05	1.1745	instan	1.2942	instan
3%	0.693	5607.70	instan	instan	0.7981	instan	2803.85	1.2159	instan	1.3440	instan
4%	0.923	5397.53	instan	instan	0.8165	instan	2698.77	1.2591	instan	1.3962	instan
5%	1.154	5200.56	instan	instan	0.8352	instan	2600.28	1.3041	instan	1.4511	instan
6%	1.385	5015.80	instan	instan	0.8542	instan	2507.90	1.3511	instan	1.5087	instan
7%	1.616	4842.33	instan	instan	0.8736	instan	2421.17	1.4002	instan	1.5693	instan
8%	1.847	4679.31	instan	instan	0.8933	instan	2339.65	1.4514	instan	1.6331	instan
9%	2.078	4525.92	instan	instan	0.9133	instan	2262.96	1.5050	instan	1.7003	instan
10%	2.309	4381.43	instan	instan	0.9337	instan	2190.72	1.5610	instan	1.7712	instan
11%	2.539	4245.18	instan	instan	0.9544	instan	2122.59	1.6197	instan	1.8462	instan
12%	2.770	4116.54	instan	instan	0.9755	instan	2058.27	1.6812	0.4183	1.9255	instan
13%	3.001	3994.95	instan	instan	0.9969	instan	1997.48	1.7458	0.4227	2.0095	0.1876
14%	3.232	3879.89	instan	instan	1.0187	instan	1939.94	1.8137	0.4271	2.0987	0.1907

Lanjutan Lampiran I.9

Lokasi Gangguan (% Panjang Penyulang)	Jarak (km)	Arus Gangguan Tiga Fasa (Ampere)	Waktu Kerja (detik) Hasil Perhitungan		Waktu Kerja (detik) Di Lapangan		Arus Gangguan Antar Fasa (Ampere)	Waktu Kerja (detik) Hasil Perhitungan		Waktu Kerja (detik) Di Lapangan	
			Sisi Masukan 20 kV	Sisi Penyulang	Sisi Masukan 20 kV	Sisi Penyulang		Sisi Masukan 20 kV	Sisi Penyulang	Sisi Masukan 20 kV	Sisi Penyulang
15%	3.463	3770.88	instan	instan	1.0408	instan	1885.44	1.8851	0.4315	2.1937	0.1939
16%	3.694	3667.49	instan	instan	1.0634	instan	1833.75	1.9604	0.4358	2.2949	0.1970
17%	3.924	3569.33	instan	instan	1.0864	instan	1784.66	2.0398	0.4401	2.4030	0.2002
18%	4.155	3476.03	1.0188	instan	1.1098	instan	1738.01	2.1238	0.4444	2.5188	0.2034
19%	4.386	3387.25	1.0392	instan	1.1336	instan	1693.63	2.2127	0.4487	2.6432	0.2066
20%	4.617	3302.70	1.0598	instan	1.1579	instan	1651.35	2.3070	0.4529	2.7771	0.2098
21%	4.848	3222.10	1.0808	instan	1.1826	instan	1611.05	2.4073	0.4571	2.9217	0.2131
22%	5.079	3145.18	1.1021	instan	1.2078	instan	1572.59	2.5141	0.4613	3.0784	0.2163
23%	5.310	3071.71	1.1237	instan	1.2336	instan	1535.85	2.6281	0.4655	3.2488	0.2197
24%	5.540	3001.47	1.1458	instan	1.2598	instan	1500.74	2.7500	0.4697	3.4347	0.2230
25%	5.771	2934.26	1.1682	instan	1.2866	instan	1467.13	2.8809	0.4739	3.6384	0.2264
26%	6.002	2869.90	1.1910	instan	1.3140	instan	1434.95	3.0216	0.4780	3.8627	0.2298
27%	6.233	2808.22	1.2142	instan	1.3419	instan	1404.11	3.1734	0.4821	4.1109	0.2332
28%	6.464	2749.05	1.2378	instan	1.3705	instan	1374.53	3.3377	0.4862	4.3870	0.2366
29%	6.695	2692.26	1.2619	instan	1.3996	instan	1346.13	3.5160	0.4903	4.6961	0.2401
30%	6.926	2637.70	1.2864	instan	1.4295	instan	1318.85	3.7104	0.4944	5.0445	0.2437
31%	7.156	2585.25	1.3114	instan	1.4600	instan	1292.63	3.9231	0.4985	5.4404	0.2472
32%	7.387	2534.80	1.3369	instan	1.4912	instan	1267.40	4.1568	0.5026	5.8940	0.2508

Lanjutan Lampiran I.9

Lokasi Gangguan (% Panjang Penyulang)	Jarak (km)	Arus Gangguan Tiga Fasa (Ampere)	Waktu Kerja (detik)		Waktu Kerja (detik)		Arus Gangguan Antar Fasa (Ampere)	Waktu Kerja (detik)		Waktu Kerja (detik)	
			Hasil Perhitungan		Di Lapangan			Hasil Perhitungan		Di Lapangan	
			Sisi Masukan 20 kV	Sisi Penyulang	Sisi Masukan 20 kV	Sisi Penyulang		Sisi Masukan 20 kV	Sisi Penyulang	Sisi Masukan 20 kV	Sisi Penyulang
33%	7.618	2486.23	1.3629	instan	1.5232	instan	1243.11	4.4149	0.5066	6.4193	0.2544
34%	7.849	2439.44	1.3894	instan	1.5560	instan	1219.72	4.7014	0.5106	7.0346	0.2581
35%	8.080	2394.34	1.4164	instan	1.5895	instan	1197.17	5.0213	0.5147	7.7655	0.2618
36%	8.311	2350.85	1.4440	instan	1.6239	instan	1175.42	5.3809	0.5187	8.6479	0.2655
37%	8.541	2308.87	1.4722	instan	1.6592	instan	1154.43	5.7882	0.5227	9.7346	0.2693
38%	8.772	2268.34	1.5010	instan	1.6953	instan	1134.17	6.2533	0.5267	11.1060	0.2731
39%	9.003	2229.18	1.5304	instan	1.7325	instan	1114.59	6.7895	0.5307	12.8911	0.2770
40%	9.234	2191.32	1.5605	instan	1.7706	instan	1095.66	7.4147	0.5347	15.3106	0.2809
41%	9.465	2154.70	1.5913	instan	1.8098	instan	1077.35	8.1530	0.5387	18.7765	0.2848
42%	9.696	2119.27	1.6227	instan	1.8500	instan	1059.64	9.0382	0.5426	24.1553	0.2888
43%	9.927	2084.97	1.6549	instan	1.8914	instan	1042.48	10.1193	0.5466	33.6359	0.2929
44%	10.157	2051.73	1.6878	0.4188	1.9340	instan	1025.87	11.4694	0.5505	54.8055	0.2969
45%	10.388	2019.53	1.7216	0.4211	1.9779	instan	1009.77	13.2035	0.5545	144.0519	0.3011
46%	10.619	1988.31	1.7562	0.4234	2.0230	0.1881	994.15	15.5128	0.5584	-238.7561	0.3053
47%	10.850	1958.02	1.7916	0.4257	2.0696	0.1897	979.01	18.7409	0.5624	-66.0081	0.3095
48%	11.081	1928.63	1.8279	0.4280	2.1175	0.1914	964.31	23.5727	0.5663	-38.5404	0.3138
49%	11.312	1900.09	1.8651	0.4303	2.1670	0.1930	950.05	31.5992	0.5703	-27.3341	0.3181
50%	11.543	1872.38	1.9034	0.4325	2.2181	0.1946	936.19	47.5562	0.5742	-21.2464	0.3225
51%	11.773	1845.45	1.9426	0.4348	2.2709	0.1963	922.73	94.6798	0.5781	-17.4220	0.3270

Lanjutan Lampiran I.9

Lokasi Gangguan (% Panjang Penyulang)	Jarak (km)	Arus Gangguan Tiga Fasa (Ampere)	Waktu Kerja (detik) Hasil Perhitungan		Waktu Kerja (detik) Di Lapangan		Arus Gangguan Antar Fasa (Ampere)	Waktu Kerja (detik) Hasil Perhitungan		Waktu Kerja (detik) Di Lapangan	
			Sisi Masukan 20 kV	Sisi Penyulang	Sisi Masukan 20 kV	Sisi Penyulang		Sisi Masukan 20 kV	Sisi Penyulang	Sisi Masukan 20 kV	Sisi Penyulang
			52%	12.004	1819.28	1.9829		0.4370	2.3254	0.1979	909.64
53%	12.235	1793.83	2.0243	0.4393	2.3818	0.1996	896.91	-100.7241	0.5860	-12.8823	0.3361
54%	12.466	1769.07	2.0669	0.4415	2.4402	0.2012	884.54	-50.0998	0.5899	-11.4247	0.3407
55%	12.697	1744.98	2.1106	0.4437	2.5006	0.2029	872.49	-33.4950	0.5938	-10.2777	0.3455
56%	12.928	1721.53	2.1557	0.4460	2.5633	0.2045	860.77	-25.2418	0.5977	-9.3515	0.3502
57%	13.158	1698.70	2.2020	0.4482	2.6282	0.2062	849.35	-20.3052	0.6017	-8.5879	0.3551
58%	13.389	1676.45	2.2498	0.4504	2.6956	0.2079	838.23	-17.0203	0.6056	-7.9475	0.3600
59%	13.620	1654.78	2.2990	0.4526	2.7656	0.2095	827.39	-14.6767	0.6095	-7.4026	0.3650
60%	13.851	1633.65	2.3497	0.4547	2.8384	0.2112	816.83	-12.9206	0.6134	-6.9334	0.3700
61%	14.082	1613.05	2.4020	0.4569	2.9141	0.2129	806.53	-11.5554	0.6173	-6.5250	0.3751
62%	14.313	1592.96	2.4560	0.4591	2.9929	0.2146	796.48	-10.4637	0.6212	-6.1664	0.3803
63%	14.544	1573.36	2.5118	0.4613	3.0751	0.2163	786.68	-9.5707	0.6252	-5.8489	0.3856
64%	14.774	1554.23	2.5694	0.4634	3.1608	0.2180	777.11	-8.8266	0.6291	-5.5658	0.3910
65%	15.005	1535.55	2.6290	0.4656	3.2503	0.2197	767.78	-8.1971	0.6330	-5.3119	0.3964
66%	15.236	1517.32	2.6907	0.4677	3.3438	0.2214	758.66	-7.6574	0.6369	-5.0827	0.4020
67%	15.467	1499.51	2.7546	0.4699	3.4416	0.2231	749.75	-7.1897	0.6408	-4.8749	0.4076
68%	15.698	1482.11	2.8207	0.4720	3.5442	0.2248	741.05	-6.7804	0.6448	-4.6856	0.4133
69%	15.929	1465.10	2.8893	0.4741	3.6517	0.2266	732.55	-6.4192	0.6487	-4.5124	0.4191
70%	16.160	1448.48	2.9604	0.4762	3.7646	0.2283	724.24	-6.0981	0.6526	-4.3533	0.4250

Lanjutan Lampiran I.9

Lokasi Gangguan (% Panjang Penyulang)	Jarak (km)	Arus Gangguan Tiga Fasa (Ampere)	Waktu Kerja (detik) Hasil Perhitungan		Waktu Kerja (detik) Di Lapangan		Arus Gangguan Antar Fasa (Ampere)	Waktu Kerja (detik) Hasil Perhitungan		Waktu Kerja (detik) Di Lapangan	
			Sisi Masukan 20 kV	Sisi Penyulang	Sisi Masukan 20 kV	Sisi Penyulang		Sisi Masukan 20 kV	Sisi Penyulang	Sisi Masukan 20 kV	Sisi Penyulang
			71%	16.390	1432.23	3.0343		0.4784	3.8832	0.2301	716.11
72%	16.621	1416.33	3.1111	0.4805	4.0082	0.2318	708.17	-5.5519	0.6605	-4.0711	0.4371
73%	16.852	1400.78	3.1909	0.4826	4.1399	0.2336	700.39	-5.3178	0.6644	-3.9453	0.4433
74%	17.083	1385.57	3.2740	0.4847	4.2790	0.2353	692.79	-5.1049	0.6683	-3.8284	0.4496
75%	17.314	1370.68	3.3605	0.4868	4.4261	0.2371	685.34	-4.9104	0.6723	-3.7193	0.4561
76%	17.545	1356.11	3.4508	0.4889	4.5819	0.2389	678.06	-4.7320	0.6762	-3.6174	0.4626
77%	17.775	1341.84	3.5450	0.4910	4.7472	0.2407	670.92	-4.5679	0.6802	-3.5219	0.4693
78%	18.006	1327.87	3.6434	0.4931	4.9230	0.2425	663.93	-4.4163	0.6841	-3.4322	0.4761
79%	18.237	1314.18	3.7463	0.4951	5.1102	0.2443	657.09	-4.2759	0.6881	-3.3479	0.4830
80%	18.468	1300.77	3.8540	0.4972	5.3101	0.2461	650.38	-4.1455	0.6921	-3.2684	0.4900
81%	18.699	1287.63	3.9669	0.4993	5.5240	0.2479	643.81	-4.0240	0.6960	-3.1933	0.4972
82%	18.930	1274.75	4.0854	0.5014	5.7533	0.2497	637.37	-3.9105	0.7000	-3.1224	0.5045
83%	19.161	1262.12	4.2099	0.5034	5.9999	0.2516	631.06	-3.8043	0.7040	-3.0552	0.5119
84%	19.391	1249.74	4.3408	0.5055	6.2658	0.2534	624.87	-3.7048	0.7080	-2.9914	0.5195
85%	19.622	1237.60	4.4787	0.5075	6.5534	0.2553	618.80	-3.6111	0.7119	-2.9309	0.5272
86%	19.853	1225.69	4.6242	0.5096	6.8654	0.2571	612.85	-3.5230	0.7159	-2.8733	0.5351
87%	20.084	1214.01	4.7779	0.5116	7.2052	0.2590	607.00	-3.4398	0.7199	-2.8184	0.5432
88%	20.315	1202.54	4.9406	0.5137	7.5765	0.2609	601.27	-3.3613	0.7239	-2.7661	0.5514
89%	20.546	1191.29	5.1130	0.5157	7.9841	0.2628	595.65	-3.2869	0.7280	-2.7162	0.5598

Lanjutan Lampiran I.9

Lokasi Gangguan (% Panjang Penyulang)	Jarak (km)	Arus Gangguan Tiga Fasa (Ampere)	Waktu Kerja (detik)		Waktu Kerja (detik)		Arus Gangguan Antar Fasa (Ampere)	Waktu Kerja (detik)		Waktu Kerja (detik)	
			Hasil Perhitungan		Di Lapangan			Hasil Perhitungan		Di Lapangan	
			Sisi Masukan 20 kV	Sisi Penyulang	Sisi Masukan 20 kV	Sisi Penyulang		Sisi Masukan 20 kV	Sisi Penyulang	Sisi Masukan 20 kV	Sisi Penyulang
90%	20.777	1180.25	5.2961	0.5178	8.4336	0.2647	590.13	-3.2164	0.7320	-2.6685	0.5684
91%	21.007	1169.41	5.4909	0.5198	8.9317	0.2666	584.71	-3.1495	0.7360	-2.6228	0.5771
92%	21.238	1158.77	5.6986	0.5219	9.4868	0.2685	579.38	-3.0859	0.7400	-2.5791	0.5861
93%	21.469	1148.31	5.9204	0.5239	10.1094	0.2704	574.16	-3.0253	0.7441	-2.5372	0.5952
94%	21.700	1138.05	6.1580	0.5259	10.8125	0.2724	569.02	-2.9676	0.7481	-2.4970	0.6046
95%	21.931	1127.96	6.4130	0.5280	11.6130	0.2743	563.98	-2.9126	0.7522	-2.4584	0.6141
96%	22.162	1118.05	6.6875	0.5300	12.5325	0.2763	559.02	-2.8600	0.7562	-2.4213	0.6239
97%	22.392	1108.31	6.9837	0.5320	13.5998	0.2783	554.16	-2.8097	0.7603	-2.3857	0.6339
98%	22.623	1098.74	7.3045	0.5340	14.8538	0.2802	549.37	-2.7616	0.7644	-2.3513	0.6441
99%	22.854	1089.33	7.6529	0.5360	16.3479	0.2822	544.67	-2.7155	0.7685	-2.3182	0.6546
100%	23.085	1080.08	8.0328	0.5381	18.1589	0.2842	540.04	-2.6713	0.7725	-2.2864	0.6653

Lampiran I.10

Tabel Hasil Perhitungan Koordinasi Rele Arus Lebih di Lapangan Untuk Mengetahui Tingkat Kinerja Rele Arus Lebih Saat Terjadi Gangguan Hubung Singkat Tiga Fasa dan Antar Fasa di Sisi Masukan dan di Sisi Penyulang 20 kV

Lokasi Gangguan (% Panjang Penyulang)	Jarak (km)	Arus Gangguan Tiga Fasa (Ampere)	Waktu Kerja (detik)		Keterangan	Arus Gangguan Antar Fasa (Ampere)	Waktu Kerja (detik)		Keterangan
			Sisi Masukan 20 kV	Sisi Penyulang			Sisi Masukan 20 kV	Sisi Penyulang	
0%	0	6327.84	0.7449	instan	tidak bekerja	3163.92	1.2015	instan	bekerja
1%	0.231	6071.79	0.7623	instan	tidak bekerja	3035.90	1.2467	instan	bekerja
2%	0.462	5832.10	0.7800	instan	tidak bekerja	2916.05	1.2942	instan	bekerja
3%	0.693	5607.70	0.7981	instan	tidak bekerja	2803.85	1.3440	instan	bekerja
4%	0.923	5397.53	0.8165	instan	tidak bekerja	2698.77	1.3962	instan	bekerja
5%	1.154	5200.56	0.8352	instan	tidak bekerja	2600.28	1.4511	instan	bekerja
6%	1.385	5015.80	0.8542	instan	tidak bekerja	2507.90	1.5087	instan	bekerja
7%	1.616	4842.33	0.8736	instan	tidak bekerja	2421.17	1.5693	instan	bekerja
8%	1.847	4679.31	0.8933	instan	tidak bekerja	2339.65	1.6331	instan	bekerja
9%	2.078	4525.92	0.9133	instan	tidak bekerja	2262.96	1.7003	instan	bekerja
10%	2.309	4381.43	0.9337	instan	tidak bekerja	2190.72	1.7712	instan	bekerja
11%	2.539	4245.18	0.9544	instan	tidak bekerja	2122.59	1.8462	instan	bekerja
12%	2.770	4116.54	0.9755	instan	tidak bekerja	2058.27	1.9255	instan	bekerja
13%	3.001	3994.95	0.9969	instan	bekerja	1997.48	2.0095	0.1876	tidak bekerja
14%	3.232	3879.89	1.0187	instan	bekerja	1939.94	2.0987	0.1907	tidak bekerja
15%	3.463	3770.88	1.0408	instan	bekerja	1885.44	2.1937	0.1939	tidak bekerja

Lanjutan Lampiran I.10

Lokasi Gangguan (% Panjang Penyulang)	Jarak (km)	Arus Gangguan Tiga Fasa (Ampere)	Waktu Kerja (detik)		Keterangan	Arus Gangguan Antar Fasa (Ampere)	Waktu Kerja (detik)		Keterangan
			Sisi Masukan 20 kV	Sisi Penyulang			Sisi Masukan 20 kV	Sisi Penyulang	
16%	3.694	3667.49	1.0634	instan	bekerja	1833.75	2.2949	0.1970	tidak bekerja
17%	3.924	3569.33	1.0864	instan	bekerja	1784.66	2.4030	0.2002	tidak bekerja
18%	4.155	3476.03	1.1098	instan	bekerja	1738.01	2.5188	0.2034	tidak bekerja
19%	4.386	3387.25	1.1336	instan	bekerja	1693.63	2.6432	0.2066	tidak bekerja
20%	4.617	3302.70	1.1579	instan	bekerja	1651.35	2.7771	0.2098	tidak bekerja
21%	4.848	3222.10	1.1826	instan	bekerja	1611.05	2.9217	0.2131	tidak bekerja
22%	5.079	3145.18	1.2078	instan	bekerja	1572.59	3.0784	0.2163	tidak bekerja
23%	5.310	3071.71	1.2336	instan	bekerja	1535.85	3.2488	0.2197	tidak bekerja
24%	5.540	3001.47	1.2598	instan	bekerja	1500.74	3.4347	0.2230	tidak bekerja
25%	5.771	2934.26	1.2866	instan	bekerja	1467.13	3.6384	0.2264	tidak bekerja
26%	6.002	2869.90	1.3140	instan	bekerja	1434.95	3.8627	0.2298	tidak bekerja
27%	6.233	2808.22	1.3419	instan	bekerja	1404.11	4.1109	0.2332	tidak bekerja
28%	6.464	2749.05	1.3705	instan	bekerja	1374.53	4.3870	0.2366	tidak bekerja
29%	6.695	2692.26	1.3996	instan	bekerja	1346.13	4.6961	0.2401	tidak bekerja
30%	6.926	2637.70	1.4295	instan	bekerja	1318.85	5.0445	0.2437	tidak bekerja
31%	7.156	2585.25	1.4600	instan	bekerja	1292.63	5.4404	0.2472	tidak bekerja
32%	7.387	2534.80	1.4912	instan	bekerja	1267.40	5.8940	0.2508	tidak bekerja
33%	7.618	2486.23	1.5232	instan	bekerja	1243.11	6.4193	0.2544	tidak bekerja
34%	7.849	2439.44	1.5560	instan	bekerja	1219.72	7.0346	0.2581	tidak bekerja
35%	8.080	2394.34	1.5895	instan	bekerja	1197.17	7.7655	0.2618	tidak bekerja

Lanjutan Lampiran I.10

Lokasi Gangguan (% Panjang Penyulang)	Jarak (km)	Arus Gangguan Tiga Fasa (Ampere)	Waktu Kerja (detik)		Keterangan	Arus Gangguan Antar Fasa (Ampere)	Waktu Kerja (detik)		Keterangan
			Sisi Masukan 20 kV	Sisi Penyulang			Sisi Masukan 20 kV	Sisi Penyulang	
36%	8.311	2350.85	1.6239	instan	bekerja	1175.42	8.6479	0.2655	tidak bekerja
37%	8.541	2308.87	1.6592	instan	bekerja	1154.43	9.7346	0.2693	tidak bekerja
38%	8.772	2268.34	1.6953	instan	bekerja	1134.17	11.1060	0.2731	tidak bekerja
39%	9.003	2229.18	1.7325	instan	bekerja	1114.59	12.8911	0.2770	tidak bekerja
40%	9.234	2191.32	1.7706	instan	bekerja	1095.66	15.3106	0.2809	tidak bekerja
41%	9.465	2154.70	1.8098	instan	bekerja	1077.35	18.7765	0.2848	tidak bekerja
42%	9.696	2119.27	1.8500	instan	bekerja	1059.64	24.1553	0.2888	tidak bekerja
43%	9.927	2084.97	1.8914	instan	bekerja	1042.48	33.6359	0.2929	tidak bekerja
44%	10.157	2051.73	1.9340	instan	bekerja	1025.87	54.8055	0.2969	tidak bekerja
45%	10.388	2019.53	1.9779	instan	bekerja	1009.77	144.0519	0.3011	bekerja
46%	10.619	1988.31	2.0230	0.1881	tidak bekerja	994.15	-238.7561	0.3053	bekerja
47%	10.850	1958.02	2.0696	0.1897	tidak bekerja	979.01	-66.0081	0.3095	bekerja
48%	11.081	1928.63	2.1175	0.1914	tidak bekerja	964.31	-38.5404	0.3138	bekerja
49%	11.312	1900.09	2.1670	0.1930	tidak bekerja	950.05	-27.3341	0.3181	bekerja
50%	11.543	1872.38	2.2181	0.1946	tidak bekerja	936.19	-21.2464	0.3225	bekerja
51%	11.773	1845.45	2.2709	0.1963	tidak bekerja	922.73	-17.4220	0.3270	bekerja
52%	12.004	1819.28	2.3254	0.1979	tidak bekerja	909.64	-14.7965	0.3315	bekerja
53%	12.235	1793.83	2.3818	0.1996	tidak bekerja	896.91	-12.8823	0.3361	bekerja
54%	12.466	1769.07	2.4402	0.2012	tidak bekerja	884.54	-11.4247	0.3407	bekerja
55%	12.697	1744.98	2.5006	0.2029	tidak bekerja	872.49	-10.2777	0.3455	bekerja

Lanjutan Lampiran I.10

Lokasi Gangguan (% Panjang Penyulang)	Jarak (km)	Arus Gangguan Tiga Fasa (Ampere)	Waktu Kerja (detik)		Keterangan	Arus Gangguan Antar Fasa (Ampere)	Waktu Kerja (detik)		Keterangan
			Sisi Masukan 20 kV	Sisi Penyulang			Sisi Masukan 20 kV	Sisi Penyulang	
56%	12.928	1721.53	2.5633	0.2045	tidak bekerja	860.77	-9.3515	0.3502	bekerja
57%	13.158	1698.70	2.6282	0.2062	tidak bekerja	849.35	-8.5879	0.3551	bekerja
58%	13.389	1676.45	2.6956	0.2079	tidak bekerja	838.23	-7.9475	0.3600	bekerja
59%	13.620	1654.78	2.7656	0.2095	tidak bekerja	827.39	-7.4026	0.3650	bekerja
60%	13.851	1633.65	2.8384	0.2112	tidak bekerja	816.83	-6.9334	0.3700	bekerja
61%	14.082	1613.05	2.9141	0.2129	tidak bekerja	806.53	-6.5250	0.3751	bekerja
62%	14.313	1592.96	2.9929	0.2146	tidak bekerja	796.48	-6.1664	0.3803	bekerja
63%	14.544	1573.36	3.0751	0.2163	tidak bekerja	786.68	-5.8489	0.3856	bekerja
64%	14.774	1554.23	3.1608	0.2180	tidak bekerja	777.11	-5.5658	0.3910	bekerja
65%	15.005	1535.55	3.2503	0.2197	tidak bekerja	767.78	-5.3119	0.3964	bekerja
66%	15.236	1517.32	3.3438	0.2214	tidak bekerja	758.66	-5.0827	0.4020	bekerja
67%	15.467	1499.51	3.4416	0.2231	tidak bekerja	749.75	-4.8749	0.4076	bekerja
68%	15.698	1482.11	3.5442	0.2248	tidak bekerja	741.05	-4.6856	0.4133	bekerja
69%	15.929	1465.10	3.6517	0.2266	tidak bekerja	732.55	-4.5124	0.4191	bekerja
70%	16.160	1448.48	3.7646	0.2283	tidak bekerja	724.24	-4.3533	0.4250	bekerja
71%	16.390	1432.23	3.8832	0.2301	tidak bekerja	716.11	-4.2067	0.4310	bekerja
72%	16.621	1416.33	4.0082	0.2318	tidak bekerja	708.17	-4.0711	0.4371	bekerja
73%	16.852	1400.78	4.1399	0.2336	tidak bekerja	700.39	-3.9453	0.4433	bekerja
74%	17.083	1385.57	4.2790	0.2353	tidak bekerja	692.79	-3.8284	0.4496	bekerja
75%	17.314	1370.68	4.4261	0.2371	tidak bekerja	685.34	-3.7193	0.4561	bekerja

Lanjutan Lampiran I.10

Lokasi Gangguan (% Panjang Penyulang)	Jarak (km)	Arus Gangguan Tiga Fasa (Ampere)	Waktu Kerja (detik)		Keterangan	Arus Gangguan Antar Fasa (Ampere)	Waktu Kerja (detik)		Keterangan
			Sisi Masukan 20 kV	Sisi Penyulang			Sisi Masukan 20 kV	Sisi Penyulang	
76%	17.545	1356.11	4.5819	0.2389	tidak bekerja	678.06	-3.6174	0.4626	bekerja
77%	17.775	1341.84	4.7472	0.2407	tidak bekerja	670.92	-3.5219	0.4693	bekerja
78%	18.006	1327.87	4.9230	0.2425	tidak bekerja	663.93	-3.4322	0.4761	bekerja
79%	18.237	1314.18	5.1102	0.2443	tidak bekerja	657.09	-3.3479	0.4830	bekerja
80%	18.468	1300.77	5.3101	0.2461	tidak bekerja	650.38	-3.2684	0.4900	bekerja
81%	18.699	1287.63	5.5240	0.2479	tidak bekerja	643.81	-3.1933	0.4972	bekerja
82%	18.930	1274.75	5.7533	0.2497	tidak bekerja	637.37	-3.1224	0.5045	bekerja
83%	19.161	1262.12	5.9999	0.2516	tidak bekerja	631.06	-3.0552	0.5119	bekerja
84%	19.391	1249.74	6.2658	0.2534	tidak bekerja	624.87	-2.9914	0.5195	bekerja
85%	19.622	1237.60	6.5534	0.2553	tidak bekerja	618.80	-2.9309	0.5272	bekerja
86%	19.853	1225.69	6.8654	0.2571	tidak bekerja	612.85	-2.8733	0.5351	bekerja
87%	20.084	1214.01	7.2052	0.2590	tidak bekerja	607.00	-2.8184	0.5432	bekerja
88%	20.315	1202.54	7.5765	0.2609	tidak bekerja	601.27	-2.7661	0.5514	bekerja
89%	20.546	1191.29	7.9841	0.2628	tidak bekerja	595.65	-2.7162	0.5598	bekerja
90%	20.777	1180.25	8.4336	0.2647	tidak bekerja	590.13	-2.6685	0.5684	bekerja
91%	21.007	1169.41	8.9317	0.2666	tidak bekerja	584.71	-2.6228	0.5771	bekerja
92%	21.238	1158.77	9.4868	0.2685	tidak bekerja	579.38	-2.5791	0.5861	bekerja
93%	21.469	1148.31	10.1094	0.2704	tidak bekerja	574.16	-2.5372	0.5952	bekerja
94%	21.700	1138.05	10.8125	0.2724	tidak bekerja	569.02	-2.4970	0.6046	bekerja
95%	21.931	1127.96	11.6130	0.2743	tidak bekerja	563.98	-2.4584	0.6141	bekerja

Lanjutan Lampiran I.10

Lokasi Gangguan (% Panjang Penyulang)	Jarak (km)	Arus Gangguan Tiga Fasa (Ampere)	Waktu Kerja (detik)		Keterangan	Arus Gangguan Antar Fasa (Ampere)	Waktu Kerja (detik)		Keterangan
			Sisi Masukan 20 kV	Sisi Penyulang			Sisi Masukan 20 kV	Sisi Penyulang	
96%	22.162	1118.05	12.5325	0.2763	tidak bekerja	559.02	-2.4213	0.6239	bekerja
97%	22.392	1108.31	13.5998	0.2783	tidak bekerja	554.16	-2.3857	0.6339	bekerja
98%	22.623	1098.74	14.8538	0.2802	tidak bekerja	549.37	-2.3513	0.6441	bekerja
99%	22.854	1089.33	16.3479	0.2822	tidak bekerja	544.67	-2.3182	0.6546	bekerja
100%	23.085	1080.08	18.1589	0.2842	tidak bekerja	540.04	-2.2864	0.6653	bekerja

Lampiran I.11

Tabel Hasil Perhitungan Koordinasi Rele Arus Lebih Menggunakan Pola Non Kaskade Untuk Mengetahui Tingkat Kinerja Rele Arus Lebih Saat Terjadi Gangguan Hubung Singkat Tiga Fasa dan Antar Fasa di Sisi Masukan dan di Sisi Penyulang 20 kV.

Lokasi Gangguan (% Panjang Penyulang)	Jarak (km)	Arus Gangguan Tiga Fasa (Ampere)	Waktu Kerja (detik)		Keterangan	Arus Gangguan Antar Fasa (Ampere)	Waktu Kerja (detik)		Keterangan
			Sisi Masukan 20 kV	Sisi Penyulang			Sisi Masukan 20 kV	Sisi Penyulang	
0%	0	6327.84	instan	instan	tidak bekerja	3163.92	1.0968	instan	bekerja
1%	0.231	6071.79	instan	instan	tidak bekerja	3035.90	1.1348	instan	bekerja
2%	0.462	5832.10	instan	instan	tidak bekerja	2916.05	1.1745	instan	bekerja
3%	0.693	5607.70	instan	instan	tidak bekerja	2803.85	1.2159	instan	bekerja
4%	0.923	5397.53	instan	instan	tidak bekerja	2698.77	1.2591	instan	bekerja
5%	1.154	5200.56	instan	instan	tidak bekerja	2600.28	1.3041	instan	bekerja
6%	1.385	5015.80	instan	instan	tidak bekerja	2507.90	1.3511	instan	bekerja
7%	1.616	4842.33	instan	instan	tidak bekerja	2421.17	1.4002	instan	bekerja
8%	1.847	4679.31	instan	instan	tidak bekerja	2339.65	1.4514	instan	bekerja
9%	2.078	4525.92	instan	instan	tidak bekerja	2262.96	1.5050	instan	bekerja
10%	2.309	4381.43	instan	instan	tidak bekerja	2190.72	1.5610	instan	bekerja
11%	2.539	4245.18	instan	instan	tidak bekerja	2122.59	1.6197	instan	bekerja
12%	2.770	4116.54	instan	instan	tidak bekerja	2058.27	1.6812	0.4183	bekerja
13%	3.001	3994.95	instan	instan	bekerja	1997.48	1.7458	0.4227	bekerja
14%	3.232	3879.89	instan	instan	bekerja	1939.94	1.8137	0.4271	bekerja
15%	3.463	3770.88	instan	instan	bekerja	1885.44	1.8851	0.4315	bekerja

Lanjutan Lampiran I.11

Lokasi Gangguan (% Panjang Penyulang)	Jarak (km)	Arus Gangguan Tiga Fasa (Ampere)	Waktu Kerja (detik)		Keterangan	Arus Gangguan Antar Fasa (Ampere)	Waktu Kerja (detik)		Keterangan
			Sisi Masukan 20 kV	Sisi Penyulang			Sisi Masukan 20 kV	Sisi Penyulang	
16%	3.694	3667.49	instan	instan	bekerja	1833.75	1.9604	0.4358	bekerja
17%	3.924	3569.33	instan	instan	bekerja	1784.66	2.0398	0.4401	bekerja
18%	4.155	3476.03	1.0188	instan	bekerja	1738.01	2.1238	0.4444	bekerja
19%	4.386	3387.25	1.0392	instan	bekerja	1693.63	2.2127	0.4487	bekerja
20%	4.617	3302.70	1.0598	instan	bekerja	1651.35	2.3070	0.4529	bekerja
21%	4.848	3222.10	1.0808	instan	bekerja	1611.05	2.4073	0.4571	bekerja
22%	5.079	3145.18	1.1021	instan	bekerja	1572.59	2.5141	0.4613	bekerja
23%	5.310	3071.71	1.1237	instan	bekerja	1535.85	2.6281	0.4655	bekerja
24%	5.540	3001.47	1.1458	instan	bekerja	1500.74	2.7500	0.4697	bekerja
25%	5.771	2934.26	1.1682	instan	bekerja	1467.13	2.8809	0.4739	bekerja
26%	6.002	2869.90	1.1910	instan	bekerja	1434.95	3.0216	0.4780	bekerja
27%	6.233	2808.22	1.2142	instan	bekerja	1404.11	3.1734	0.4821	bekerja
28%	6.464	2749.05	1.2378	instan	bekerja	1374.53	3.3377	0.4862	bekerja
29%	6.695	2692.26	1.2619	instan	bekerja	1346.13	3.5160	0.4903	bekerja
30%	6.926	2637.70	1.2864	instan	bekerja	1318.85	3.7104	0.4944	bekerja
31%	7.156	2585.25	1.3114	instan	bekerja	1292.63	3.9231	0.4985	bekerja
32%	7.387	2534.80	1.3369	instan	bekerja	1267.40	4.1568	0.5026	bekerja
33%	7.618	2486.23	1.3629	instan	bekerja	1243.11	4.4149	0.5066	bekerja
34%	7.849	2439.44	1.3894	instan	bekerja	1219.72	4.7014	0.5106	bekerja
35%	8.080	2394.34	1.4164	instan	bekerja	1197.17	5.0213	0.5147	bekerja

Lanjutan Lampiran I.11

Lokasi Gangguan (% Panjang Penyulang)	Jarak (km)	Arus Gangguan Tiga Fasa (Ampere)	Waktu Kerja (detik)		Keterangan	Arus Gangguan Antar Fasa (Ampere)	Waktu Kerja (detik)		Keterangan
			Sisi Masukan 20 kV	Sisi Penyulang			Sisi Masukan 20 kV	Sisi Penyulang	
36%	8.311	2350.85	1.4440	instan	bekerja	1175.42	5.3809	0.5187	bekerja
37%	8.541	2308.87	1.4722	instan	bekerja	1154.43	5.7882	0.5227	bekerja
38%	8.772	2268.34	1.5010	instan	bekerja	1134.17	6.2533	0.5267	bekerja
39%	9.003	2229.18	1.5304	instan	bekerja	1114.59	6.7895	0.5307	bekerja
40%	9.234	2191.32	1.5605	instan	bekerja	1095.66	7.4147	0.5347	bekerja
41%	9.465	2154.70	1.5913	instan	bekerja	1077.35	8.1530	0.5387	bekerja
42%	9.696	2119.27	1.6227	instan	bekerja	1059.64	9.0382	0.5426	bekerja
43%	9.927	2084.97	1.6549	instan	bekerja	1042.48	10.1193	0.5466	bekerja
44%	10.157	2051.73	1.6878	0.4188	bekerja	1025.87	11.4694	0.5505	bekerja
45%	10.388	2019.53	1.7216	0.4211	bekerja	1009.77	13.2035	0.5545	bekerja
46%	10.619	1988.31	1.7562	0.4234	bekerja	994.15	15.5128	0.5584	bekerja
47%	10.850	1958.02	1.7916	0.4257	bekerja	979.01	18.7409	0.5624	bekerja
48%	11.081	1928.63	1.8279	0.4280	bekerja	964.31	23.5727	0.5663	bekerja
49%	11.312	1900.09	1.8651	0.4303	bekerja	950.05	31.5992	0.5703	bekerja
50%	11.543	1872.38	1.9034	0.4325	bekerja	936.19	47.5562	0.5742	bekerja
51%	11.773	1845.45	1.9426	0.4348	bekerja	922.73	94.6798	0.5781	bekerja
52%	12.004	1819.28	1.9829	0.4370	bekerja	909.64	4087.7977	0.5821	bekerja
53%	12.235	1793.83	2.0243	0.4393	bekerja	896.91	-100.7241	0.5860	bekerja
54%	12.466	1769.07	2.0669	0.4415	bekerja	884.54	-50.0998	0.5899	bekerja
55%	12.697	1744.98	2.1106	0.4437	bekerja	872.49	-33.4950	0.5938	bekerja

Lanjutan Lampiran I.11

Lokasi Gangguan (% Panjang Penyulang)	Jarak (km)	Arus Gangguan Tiga Fasa (Ampere)	Waktu Kerja (detik)		Keterangan	Arus Gangguan Antar Fasa (Ampere)	Waktu Kerja (detik)		Keterangan
			Sisi Masukan 20 kV	Sisi Penyulang			Sisi Masukan 20 kV	Sisi Penyulang	
56%	12.928	1721.53	2.1557	0.4460	bekerja	860.77	-25.2418	0.5977	bekerja
57%	13.158	1698.70	2.2020	0.4482	bekerja	849.35	-20.3052	0.6017	bekerja
58%	13.389	1676.45	2.2498	0.4504	bekerja	838.23	-17.0203	0.6056	bekerja
59%	13.620	1654.78	2.2990	0.4526	bekerja	827.39	-14.6767	0.6095	bekerja
60%	13.851	1633.65	2.3497	0.4547	bekerja	816.83	-12.9206	0.6134	bekerja
61%	14.082	1613.05	2.4020	0.4569	bekerja	806.53	-11.5554	0.6173	bekerja
62%	14.313	1592.96	2.4560	0.4591	bekerja	796.48	-10.4637	0.6212	bekerja
63%	14.544	1573.36	2.5118	0.4613	bekerja	786.68	-9.5707	0.6252	bekerja
64%	14.774	1554.23	2.5694	0.4634	bekerja	777.11	-8.8266	0.6291	bekerja
65%	15.005	1535.55	2.6290	0.4656	bekerja	767.78	-8.1971	0.6330	bekerja
66%	15.236	1517.32	2.6907	0.4677	bekerja	758.66	-7.6574	0.6369	bekerja
67%	15.467	1499.51	2.7546	0.4699	bekerja	749.75	-7.1897	0.6408	bekerja
68%	15.698	1482.11	2.8207	0.4720	bekerja	741.05	-6.7804	0.6448	bekerja
69%	15.929	1465.10	2.8893	0.4741	bekerja	732.55	-6.4192	0.6487	bekerja
70%	16.160	1448.48	2.9604	0.4762	bekerja	724.24	-6.0981	0.6526	bekerja
71%	16.390	1432.23	3.0343	0.4784	bekerja	716.11	-5.8107	0.6565	bekerja
72%	16.621	1416.33	3.1111	0.4805	bekerja	708.17	-5.5519	0.6605	bekerja
73%	16.852	1400.78	3.1909	0.4826	bekerja	700.39	-5.3178	0.6644	bekerja
74%	17.083	1385.57	3.2740	0.4847	bekerja	692.79	-5.1049	0.6683	bekerja
75%	17.314	1370.68	3.3605	0.4868	bekerja	685.34	-4.9104	0.6723	bekerja

Lanjutan Lampiran I.11

Lokasi Gangguan (% Panjang Penyulang)	Jarak (km)	Arus Gangguan Tiga Fasa (Ampere)	Waktu Kerja (detik)		Keterangan	Arus Gangguan Antar Fasa (Ampere)	Waktu Kerja (detik)		Keterangan
			Sisi Masukan 20 kV	Sisi Penyulang			Sisi Masukan 20 kV	Sisi Penyulang	
76%	17.545	1356.11	3.4508	0.4889	bekerja	678.06	-4.7320	0.6762	bekerja
77%	17.775	1341.84	3.5450	0.4910	bekerja	670.92	-4.5679	0.6802	bekerja
78%	18.006	1327.87	3.6434	0.4931	bekerja	663.93	-4.4163	0.6841	bekerja
79%	18.237	1314.18	3.7463	0.4951	bekerja	657.09	-4.2759	0.6881	bekerja
80%	18.468	1300.77	3.8540	0.4972	bekerja	650.38	-4.1455	0.6921	bekerja
81%	18.699	1287.63	3.9669	0.4993	bekerja	643.81	-4.0240	0.6960	bekerja
82%	18.930	1274.75	4.0854	0.5014	bekerja	637.37	-3.9105	0.7000	bekerja
83%	19.161	1262.12	4.2099	0.5034	bekerja	631.06	-3.8043	0.7040	bekerja
84%	19.391	1249.74	4.3408	0.5055	bekerja	624.87	-3.7048	0.7080	bekerja
85%	19.622	1237.60	4.4787	0.5075	bekerja	618.80	-3.6111	0.7119	bekerja
86%	19.853	1225.69	4.6242	0.5096	bekerja	612.85	-3.5230	0.7159	bekerja
87%	20.084	1214.01	4.7779	0.5116	bekerja	607.00	-3.4398	0.7199	bekerja
88%	20.315	1202.54	4.9406	0.5137	bekerja	601.27	-3.3613	0.7239	bekerja
89%	20.546	1191.29	5.1130	0.5157	bekerja	595.65	-3.2869	0.7280	bekerja
90%	20.777	1180.25	5.2961	0.5178	bekerja	590.13	-3.2164	0.7320	bekerja
91%	21.007	1169.41	5.4909	0.5198	bekerja	584.71	-3.1495	0.7360	bekerja
92%	21.238	1158.77	5.6986	0.5219	bekerja	579.38	-3.0859	0.7400	bekerja
93%	21.469	1148.31	5.9204	0.5239	bekerja	574.16	-3.0253	0.7441	bekerja
94%	21.700	1138.05	6.1580	0.5259	bekerja	569.02	-2.9676	0.7481	bekerja
95%	21.931	1127.96	6.4130	0.5280	bekerja	563.98	-2.9126	0.7522	bekerja

Lanjutan Lampiran I.11

Lokasi Gangguan (% Panjang Penyulang)	Jarak (km)	Arus Gangguan Tiga Fasa (Ampere)	Waktu Kerja (detik)		Keterangan	Arus Gangguan Antar Fasa (Ampere)	Waktu Kerja (detik)		Keterangan
			Sisi Masukan 20 kV	Sisi Penyulang			Sisi Masukan 20 kV	Sisi Penyulang	
76%	17.545	1356.11	3.4508	0.4889	bekerja	678.06	-4.7320	0.6762	bekerja
96%	22.162	1118.05	6.6875	0.5300	bekerja	559.02	-2.8600	0.7562	bekerja
97%	22.392	1108.31	6.9837	0.5320	bekerja	554.16	-2.8097	0.7603	bekerja
98%	22.623	1098.74	7.3045	0.5340	bekerja	549.37	-2.7616	0.7644	bekerja
99%	22.854	1089.33	7.6529	0.5360	bekerja	544.67	-2.7155	0.7685	bekerja
100%	23.085	1080.08	8.0328	0.5381	bekerja	540.04	-2.6713	0.7725	bekerja

LAMPIRAN II

DATA SEKUNDER

Lampiran II.1

Tabel Perhitungan Arus Gangguan Penyulang Junrejo 20 kV Gardu Induk Sengkaling
Trafo III 150/20 kV 30 MVA

OC dengan referensi gg 3 FASA

Isc	8.854986 kA	Teg. 150 kV X Sumber 0 + j 0.174 Ohm
MVA SC	2300.53 MVA	

DATA TRAFU TENAGA

KAPASITAS	30 MVA	
IMPEDANSI	12 %	X1 TRAFU 1.60 Ohm (sisi 20 kV)
TEG. PRIMER	150 kV	
TEG. SEKUNDER	20 kV	
BELITAN DELTA	1	X0 TRAFU 4.80 Ohm
KAPASITAS DELTA	10 MVA	
I NOM. 20 kV	866.03 A	
RATIO CT	2000 A	
GROUND RESISTAN	500 Ohm	

PENYULANG 20 kV bk4

	A3C240		A3C150	
	R	JX	R	JX
IMPEDANSI POSITIF	0.1344	0.3158	0.2162	0.3305
IMPEDANSI NOL	0.2824	1.6033	0.3631	1.618
PANJANG SALURAN	0 KM		23 KM	

	A3C70		A3C35	
	R	JX	R	JX
IMPEDANSI POSITIF	0.4608	0.3572	0.9217	0.379
IMPEDANSI NOL	0.6088	1.6447	1.0697	1.6665
PANJANG SALURAN	0 KM		0 KM	

IMPEDANSI TOTAL			tot pny	1/2 tot pny
IMPEDANSI POSITIF	4.9726	7.6015	23 KM	11.5 KM
IMPEDANSI NOL	8.3513	37.214		

PERHITUNGAN ARUS HUBUNG SINGKAT

LOKASI GANGGUAN	3 FASA	2 FASA	JARAK GG (km)
0% PANJANG SALURAN	6509.49	5637.38	0
5% PANJANG SALURAN	5325.49	4612.01	1.15
10% PANJANG SALURAN	4471.51	3872.44	2.3
15% PANJANG SALURAN	3838.71	3324.42	3.45
20% PANJANG SALURAN	3355.69	2906.11	4.6
25% PANJANG SALURAN	2976.91	2578.08	5.75
30% PANJANG SALURAN	2672.88	2314.78	6.9
35% PANJANG SALURAN	2423.95	2099.20	8.05
40% PANJANG SALURAN	2216.67	1919.69	9.2
45% PANJANG SALURAN	2041.54	1768.03	10.35
50% PANJANG SALURAN	1891.73	1638.29	11.5
55% PANJANG SALURAN	1762.17	1526.08	12.65
60% PANJANG SALURAN	1649.05	1428.12	13.8
65% PANJANG SALURAN	1549.46	1341.87	14.95
70% PANJANG SALURAN	1461.13	1265.38	16.1
75% PANJANG SALURAN	1382.26	1197.07	17.25
80% PANJANG SALURAN	1311.42	1135.72	18.4
85% PANJANG SALURAN	1247.45	1080.32	19.55
90% PANJANG SALURAN	1189.40	1030.05	20.7
95% PANJANG SALURAN	1136.48	984.22	21.85
100% PANJANG SALURAN	1088.06	942.29	23

Sumber: APJ Malang

Type CT yang terpasang di penyulang 20 kV adalah :
15VA 5 P 10

Dimana :

- 15 VA = rating beban CT sebesar 15 VA
- 5 P = klas proteksi , kesalahan 5% pada rating batas akurasi.
- 10 = *accuracy limit* faktor, batas akurasi CT sampai dengan 10 kali arus rating

CT penyulang : 400 / 5 Amp

Accuracy limit : 4000 Amp

Jika arus hubung singkat melewati *accuracy limit* CT (> 4000 Amp) maka :
rele penyulang akan *mall function* karena CT tidak dapat mengukur besaran arus yang mengalir secara akurat , sedangkan rele *incoming* bekerja karena batas *accuracy limit* CT 10 kA s/d 20 kA dan memberi perintah PMT *incoming* trafo 20 kV *trip*.

Sehingga : seksi 1 dari GI (sepanjang 4.5 km) harus betul-betul diperhatikan.
seperti terlihat pada hasil perhitungan diatas.

Lampiran II.2

Arus Hubung Singkat GI/GITET P3B Jawa Bali Semester 2 TH 2012 Untuk

Perhitungan Sistem Proteksi

No.	Bus	GI/GITET	Grid	Tegangan	Arus Hubung Singkat Max	
				kV	1 ph (kA)	3 ph (kA)
701	A	PAITON5	Jatim	150	39.24359	29.56359
702	B	PAITON5	Jatim	150	24.4308	19.03639
703	I-5	PAKIS5	Jatim	150	11.32801	14.83328
704	II-5	PAKIS5	Jatim	150	11.32801	14.83328
705	I-5	PAMEKASAN5	Jatim	150	1.970674	3.04275
706	I-5	PERAK5	Jatim	150	23.46556	25.31542
707	II-5	PERAK5	Jatim	150	23.46556	25.31542
708	I-5	PETRO KIMIA5	Jatim	150	15.63848	21.94463
709	II-5	PETRO KIMIA5	Jatim	150	15.63848	21.94463
710	I-5	PIER5	Jatim	150	16.90451	20.94199
711	II-5	PIER5	Jatim	150	16.90451	20.94199
712	I-5	PROBOLINGGO5	Jatim	150	11.90961	16.28236
713	II-5	PROBOLINGGO5	Jatim	150	11.90961	16.28236
714	I-5	PURWOSARI5	Jatim	150	10.82924	000,015
715	II-5	PURWOSARI5	Jatim	150	10.82924	000,015
716	I-5	REJOSO5	Jatim	150	12.12211	16.43191
717	I-5	RUNGKUT5	Jatim	150	28.19098	32.49989
718	II-5	RUNGKUT5	Jatim	150	28.19098	32.49989
719	I-5	SAMPANG5	Jatim	150	2.959229	4.44152
720	II-5	SAMPANG5	Jatim	150	2.959229	4.44152
721	I-5	SAWAHAN5	Jatim	150	41.41194	40.69395
722	II-5	SAWAHAN5	Jatim	150	41.41194	40.69395
723	I-5	SEGOROMADU5	Jatim	150	3.687996	4.42674
724	II-5	SEGOROMADU5	Jatim	150	27.97355	34.43613
725	I-5	SEKARPUTIH5	Jatim	150	9.959043	10.59141
726	II-5	SEKARPUTIH5	Jatim	150	3.54171	000,005
727	I-5	SENGKALING5	Jatim	150	6.779397	9.73581
729	I-5	SIMPANG5	Jatim	150	18.31526	23.89826
730	II-5	SIMPANG5	Jatim	150	18.31526	23.89826
731	I-5	SITUBONDO5	Jatim	150	11.51845	15.19958
732	II-5	SITUBONDO5	Jatim	150	11.51845	15.19958
733	I-5	SUKOLILO5	Jatim	150	20.97952	26.49302
734	II-5	SUKOLILO5	Jatim	150	20.97952	26.49302
735	I-5	SUMENEP5	Jatim	150	1.433077	2.24769

Sumber: APJ Malang

Lampiran II.3

Tabel Tahanan (R) dan Reaktansi (X_L) Penghantar AAAC Tegangan 20 kV

Luas Penampang (mm ²)	Jari ² mm	Urat	GMR (mm)	Impedansi urutan positif (Ohm / km)	Impedansi urutan Nol (Ohm / km)
16	2,2563	7	1,6380	2,0161 + j 0,4036	2,1641 + j 1,6911
25	2,8203	7	2,0475	1,2903 + j 0,3895	1,4384 + j 1,6770
35	3,3371	7	2,4227	0,9217 + j 0,3790	1,0697 + j 1,6665
50	3,9886	7	2,8957	0,6452 + j 0,3678	0,7932 + j 1,6553
70	4,7193	7	3,4262	0,4608 + j 0,3572	0,6088 + j 1,6447
95	5,4979	19	4,1674	0,3096 + j 0,3449	0,4876 + j 1,6324
120	6,1791	19	4,6837	0,2688 + j 0,3376	0,4168 + j 1,6324
150	6,9084	19	5,2365	0,2162 + j 0,3305	0,3631 + j 1,6180
185	7,6722	19	5,8155	0,1744 + j 0,3239	0,3224 + j 1,6114
240	8,7386	19	6,6238	0,1344 + j 0,3158	0,2824 + j 1,6034

Sumber: SPLN 64:1985

Lampiran II.4

Daftar Trafo

GI. SENGKALING

Nomor Trafo	Merk	Type	Daya	Teg (kV)		Arus (A)		Vektor Group	Sistem Pendingin	Impedansi (%)		
			MVA	Prim	Sek	Prim	Sek			Pada Tap Terendah	Pada Tap Teg Ref	Pada Tap Tertinggi
1	POUWELS	ORF 60 / 275	60	150	70	231	495	YNyn0 (d)	ONAN / ONAF	13.522	12.634	11.74
2	XIAN	FZ-30000/140	30	150	70	123.7	247.44	YNyn0 (d)	ONAN / ONAF	10.18	10.6	10.12
3	UNINDO	TTUB 150/30000	30	150	20	115	866	YNyn0 (d1)	ONAN / ONAF		12.5	
4	TELK	SALOCR	30	150	20	115	866		ONAN / ONAF	11.62	12.2	13.04

Lanjutan Tabel Diatas

Nomor Trafo	Tap Changer					Nomor Serie	Tahun Buatan	Tahun Operasi
	Merk	Type	Teg. Tap Terendah (kV)	Teg. Tap Tertinggi (kV)	Selisih Teg. /Tap (kV)			
1	MR	MS III 300Y / 72,5/B/10192G	165750 / 70	127500 / 70	2250	3011070061	2008	2009
2	MR	VIII Y 200	161000	133000	1750	A95013-2	1995	1997
3	MR	VIII Y 200	165750	127500	2250	A-9415164	1994	1995
4	TELK	D2	165750	127500	2250	120349-2	1994	1998

Sumber: APP Malang

Lampiran II.5

Beban Trafo dan Penyulang Gardu Induk Sengkaling

AREA TIMUR															
No GI	GARDU INDUK	Trafo				No Urt	Cubicle / MV. Cell Penyulang	APJ	Beban Trafo dan Penyulang						
		No Trf	Prim	Sec	Daya				Tertinggi				Rata-2		
			150 (kV)	20 (kV)					(MVA)	Sng (Amp)	tgl	Mlm (Amp)	tgl	Sng (Amp)	Mlm (Amp)
5	SENGKALING	3	150	20	30		MERLIN GERIN		487	31	629	28	387	590	
						1	Jun Rejo	MLG	97	24	101	30	54	84	
						2	Pujon	MLG	126	24	175	31	92	169	
						3	Karang Ploso	MLG	168	31	207	31	140	188	
						4	Wastra Indah	MLG	149	31	148	31	91	137	
		4	150	20	60		GOLD STAR		927	31	947	31	619	829	
						1	Selecta	MLG	249	31	219	31	123	210	
						2	Batu 20 kV	MLG	273	31	213	31	133	154	
						3	Dinoyo	MLG	208	31	274	31	179	249	
						4	Tegal Gondo	MLG	273	31	300	31	190	255	

Sumber: APJ Malang

Lampiran II.6

Penerepan *Setting* OCR Trafo Distribusi UPT Malang 2010



**PT. PLN (PERSERO) P3B
REGION JAWA TIMUR DAN BALI
UNIT PELAYANAN TRANSMISI MALANG**

GARDU INDUK	N O	MERK	DAYA	TEGANGAN (kV)		ARUS NOMINAL		IMP	OCR Sekunder (S51)				
						(Ampere)			CT S	SETELAN HASIL SCANING		SETELAN PENERAPAN	
				P	S	P	S	(%)		I> (A)	t> (dt)	I> (A)	t> (dt)
SENGKALING	3	UNINDO	30	150	20	115	866	12.5%	2000/5	2,5 A = 1000 A	TD. 0,2 (SI)	0,5.In = 2,5 A = 1000A	TD. 0,2 (SI)
	4	TELK	60	150	20	115	1732	12.2%	2000/5	5,2 A = 2080 A	TD. 0,18 (SI)	1,04.In = 5,2 A = 1000A	TD. 0,18 (SI)

Sumber: APP Malang

Lampiran II.7

Setting Relay Penyulang Gardu Induk Sengkaling Malang 2014

Trafo				Cubicle / MV. Cell Penyulang	AMP / I.set (Amp)	CT	O C R				D G R													
No Trf	Prim 150	Sec 20	Daya				Merk	Type	No. Serie	Is>	td>	Is>>	td>>	Merk	Type	No. Serie	Io>	to>	Vo	Degr sudut	Ia>>	ta>>		
										(A)	(det)	(A)	(det)				(A)	(det)	(volt)					
3	150	20	30	MERLIN GERIN	1000																			
				1	Jun Rejo	320	400/5	Micom	P127	36007937	320	0.05 SI	2000	Instant	Micom	P127	36007937	2	0.3 SI	2	0	4	0.4 SI	
				2	Pujon	320	400/5	Micom	P127	36008074	320	0.05 SI	2000	Instant	Micom	P127	36008074	2	0.3 SI	2	0	4	0.4 SI	
				3	Karang Ploso	320	400/5	Micom	P127	36007983	320	0.05 SI	2000	Instant	Micom	P127	36007983	2	0.3 SI	2	0	4	0.4 SI	
				4	Wastra Indah	320	400/5	Micom	P127	36007991	320	0.05 SI	2000	Instant	Micom	P127	36007991	2	0.3 SI	2	0	4	0.4 SI	
					kopel MG ke GS		1000/5	GEC	MCGG82	793470D	850	0.175												
					Spare			GEC	MCGG															
					Spare 2			GEC	MCGG															
4	150	20	60	GOLD STAR	1732																			
				1	Dinoyo	400	400/5	Micom	P127	36008062	400	0.05 SI	3500	Instant	Micom	P127	36008062	2	0.3 SI	2	0	4	0.4 SI	
				2	Batu 20 kV	400	400/5	Micom	P127	36008042	400	0.05 SI	3500	Instant	Micom	P127	36008042	2	0.3 SI	2	0	4	0.4 SI	
				3	Selecta	400	400/5	Micom	P127	36007931	400	0.05 SI	3500	Instant	Micom	P127	36007931	2	0.3 SI	2	0	4	0.4 SI	
				4	Tegal Gondo	400	400/5	Micom	P127	36009376	400	0.05 SI	3500	Instant	Micom	P127	36009376	2	0.3 SI	2	0	4	0.4 SI	
					Spare			GEC	MCGG						GEC	KCEU								
					Spare 2			GEC	MCGG						GEC	KCEU								

Sumber: APJ Malang

Lampiran II.8

Kawat Penghantar

Kode dan Nama Penyulang		Panjang Total Saluran TM		A3C								
		(ms)	(kms)	3x240	3x150	3x110	3x95	3x70	3x55	3x50	3x35	3x25
Junrejo	JREJO	23085	23.085	0	23.085	0	0	0	0	0	0	0
Karang Ploso	KRPLS	40079	40.079	0	0	0	0.02	34.781	0	5.278	0	0
Pujon	PUJON	60260	60.26	0	13.836	3.071	0	32.323	9.712	1.318	0	0
Wastra Indah	WSTIN	20074	20.074	0	5.557	0	3.438	5.814	4.244	1.021	0	0

Sumber: APJ Malang

Lampiran II.9

Laporan Harian Gangguan Penyulang Gardu Induk Sengkaling Malang Periode 1 Januari-31 Desember 2013

PENYULANG	GANGGUAN							CUACA	PENYEBAB
	TANGGAL	JAM				TEMPORER/ PERMANEN	RELE KERJA		
		LEPAS	PMT MASUK	MASUK TOTAL	LAMA PADAM				
DINOYO	1/1/2013	21:08	21:49	22:24	0:41	PERMANEN	DGR	HUJAN	ARRESTER RUSAK DI M.401 PHASA R
JUNREJO	9/01/13	14:14	14:19		0:05	TEMPORER	OCR	HUJAN ANGIN	SUTM TERTIMPA POHON TUMBANG
DINOYO	12/1/2013	22:27	22:48	23:45	0:21	PERMANEN	OCR	HUJAN ANGIN	jamperan ketiga CO dan oli trafo bocor di GTT 179
KARANG PLOSO	28/01/13	13:50	15:13	22:25	1:23	PERMANEN	OCR	HUJAN ANGIN	ANGIN PUTTING BELIUNG POHON ROBOH DI GREENHILL, BARONGAN POHON BAMBU ROBOH DI RRI
DINOYO	28/01/13	13:54	15:01	15:54	1:07	PERMANEN	DGR	HUJAN ANGIN	ANGIN PUTTING BELIUNG BANYAK POHON TUMBANG, POHON ROBOH JL. HOGOMAS
TEGAL GONDO	28/01/13	13:56	15:21	16:14	1:25	PERMANEN	OCR	HUJAN ANGIN	ANGIN PUTTING BELIUNG POHON ROBOH DI JL.TUNGGULWULUNG
JUNREJO	29/01/13	16:12	16:15	16:55	0:03	TEMPORER	OCR	HUJAN ANGIN	CUACA HUJAN DERAS DAN ANGIN KENCANG BERTAHAP MASUK BAIK
DINOYO	1/02/2013	14:26	14:42		0:16	PERMANEN	OCR	HUJAN & PETIR	LBS MOTORIZED SEMANDING RUSAK KARENA TERSAMBAR PETIR
TEGAL GONDO	4/2/2013	22:47	23:35	3:44	0:48	PERMANEN	DGR	HUJAN	GANGGUAN TIDAK DIKETAHUI (GANGGUAN TETAP , TETAPI SETELAH DITELUSURI DAN DIMASUKKAN BERTAHAP , PENYEBAB TIDAK DITEMUKAN
KARANG PLOSO	12/2/2013	2:17	2:20	4:40	0:03	TEMPORER	OCR	CERAH	GW PUTUS DI DESA TASIKMADU
JUNREJO	23/02/13	9:45	10:10	14:10	0:25	PERMANEN	OCR INST	HUJAN ANGIN	CUACA HUJAN DERAS DAN ANGIN KENCANG BERTAHAP MASUK BAIK
DINOYO	23/02/13	16:18	17:03	17:05	0:45	PERMANEN	OCR INST	HUJAN ANGIN	RANTING BAMBU TERBAWA ANGIN MENIMPA SUTM DI PERUM MUARA INDAH ROW >10 MTR
JUNREJO	23/02/13	12:45	14:10		0:25	PERMANEN	OCR INST	HUJAN ANGIN	CUACA HUJAN DERAS DAN ANGIN KENCANG BERTAHAP MASUK BAIK
SELECTA	25/03/13	9:13	10:00		0:47	PERMANEN	DGR	CERAH	KONDUKTOR LEPAS DARI HANG ISOLATOR T 92 D2 DES PENDEM
TEGAL GONDO	30/03/13	13:23	13:24	14:57	0:01	TEMPORER	DGR	HUJAN PETIR	BERSAMAAN DENGAN PETIR DI WILAYAH TIDAR
WASTRA INDAH	20/04/13	10:13	10:18	12:00	0:05	TEMPORER	OCR INST	MENDUNG	CO JURUSAN WAKIR PUTUS PHASA RT DESA KLEREK
JUNREJO	20/04/13	16: 40	16: 45	19: 57	0:05	TEMPORER	DGR	HUJAN	GANGGUAN TIDAK DIKETAHUI (GANGGUAN TETAP , TETAPI SETELAH DITELUSURI DAN DIMASUKKAN BERTAHAP , PENYEBAB TIDAK DITEMUKAN
TEGAL GONDO	30/04/13	12:02	12:02	12:02	0:00	TEMPORER	DGR	CERAH	PEMASUKAN LBS RECL PEMANDIAN TIDAK SEREMPAK
WASTRA INDAH	15/05/13	15:50	16:21		0:31	PERMANEN	OCR INST	CERAH	BENANG LAYANG-LAYANG DARI KAWAT MENGENAI SUTM DI JL PATIMURA BATU

Lanjutan Lampiran II.9

PENYULANG	GANGGUAN							CUACA	PENYEBAB
	TANGGAL	JAM				TEMPORER/ PERMANEN	RELE KERJA		
		LEPAS	PMT MASUK	MASUK TOTAL	LAMA PADAM				
JUNREJO	26/05/13	13:24	14:26	19:13	1:02	PERMANEN	OCR INST	HUJAN DERAS PETIR	GANGGUAN TIDAK DIKETAHUI (GANGGUAN TETAP , TETAPI SETELAH DITELUSURI DAN DIMASUKKAN BERTAHAP, PENYEBAB TIDAK DITEMUKAN
JUNREJO	26/05/13	20:45	21:10	1:22	0:25	PERMANEN	DGR	HUJAN DERAS PETIR	PIN ISOLATOR PECAH TERSAMBAR PETIR DI HT POOL T.107 DS.TEGALWARU
DINOYO	6/6/2013	12:39	13:43		1:04	PERMANEN	OCR INST	HUJAN PETIR	GANGGUAN TIDAK DIKETAHUI DAN BERSAMAAN DENGAN SAMBARAN PETIR
JUNREJO	26/6/2013	9:29	9:35		0:06	PERMANEN	OCR INST	CERAH	GANGGUAN TIDAK DIKETAHUI (GANGGUAN TETAP , TETAPI SETELAH DITELUSURI DAN DIMASUKKAN BERTAHAP, PENYEBAB TIDAK DITEMUKAN
WASTRA INDAH	23/08/13	12:43	13:04		0:21	PERMANEN	OCR INST	CERAH	RANTING POHON MENGENAI SUTM DI JL BEJI
SELECTA	2/9/2013	17:45	18:25		0:40	PERMANEN	DGR	CERAH	GANGGUAN TIDAK DIKETAHUI (GANGGUAN TETAP , TETAPI SETELAH DITELUSURI DAN DIMASUKKAN BERTAHAP, PENYEBAB TIDAK DITEMUKAN
JUNREJO	3/9/2013	11:57	12:11		0:14	PERMANEN	OCR	CERAH	GANGGUAN TIDAK DIKETAHUI (GANGGUAN TETAP , TETAPI SETELAH DITELUSURI DAN DIMASUKKAN BERTAHAP, PENYEBAB TIDAK DITEMUKAN
JUNREJO	23/09/13	13:44	14:12		0:28	PERMANEN	OCR	CERAH	SUTM TERKENA LAYANG - LAYANG
WASTRA INDAH	24/09/13	11:48	12:16		0:28	PERMANEN	OCR	CERAH	SUTM BLENGKET DESA TUTUP
WASTRA INDAH	28/09/13	12:11	12:13		0:02	TEMPORER	DGR	CERAH	GANGGUAN TIDAK DIKETAHUI (GANGGUAN TETAP , TETAPI SETELAH DITELUSURI DAN DIMASUKKAN BERTAHAP , PENYEBAB TIDAK DITEMUKAN
DINOYO	3/10/2013	7:53	8:33		0:40	PERMANEN	OCR	CERAH	BINATANG BAJING MENGENAI SUTM DI GTT T.1310 DI JI. JETIS
PUJON	8/10/2013	19:23	19:23		0:00	TEMPORER	DGR	CERAH	GANGGUAN TIDAK DIKETAHUI (GANGGUAN TETAP , TETAPI SETELAH DITELUSURI DAN DIMASUKKAN BERTAHAP , PENYEBAB TIDAK DITEMUKAN
KARANG PLOSO	16/10/13	9:10	9:34	10:44	0:24	PERMANEN	OCR	CERAH	GELINGGANG TERBANG TERBAWA ANGIN MENGENAI SUTM DI T.120 B3 DI DS. TLOGOSARI AMPELDENTO
PUJON	17/10/13	11:05	11:05		0:00	TEMPORER	DGR	CERAH ANGIN	SUTM TERKENA RANTING POHON TREMBESI YANG TERBAWA ANGIN DI DESA JUNREJO
JUNREJO	17/10/13	15:21	16:16		0:55	PERMANEN	DGR	CERAH ANGIN	GANGGUAN TIDAK DIKETAHUI (GANGGUAN TETAP , TETAPI SETELAH DITELUSURI DAN DIMASUKKAN BERTAHAP, PENYEBAB TIDAK DITEMUKAN
JUNREJO	26/10/13	16:28	17:05		0:37	PERMANEN	OCR	HUJAN	GW PUTUS DI T.221 B1 DS.SUMBER SEKAR KARENA TERKENA PETIR
JUNREJO	28/10/13	12:30	12:42		0:12	PERMANEN	OCR INST	HUJAN PETIR	BERSAMAAN HUJAN DERAS ANGIN DAN PETIR
WASTRA INDAH	8/12/13	17:00	17:00		0:00	TEMPORER	DGR	HUJAN	GANGGUAN TIDAK DIKETAHUI (GANGGUAN TETAP , TETAPI SETELAH DITELUSURI DAN DIMASUKKAN BERTAHAP, PENYEBAB TIDAK DITEMUKAN
JUNREJO	18/12/13	15:30	16:03		0:33	PERMANEN	OCR	HUJAN PETIR	HUJAN LEBAT BERSAMAAN DENGAN PETIR
SELECTA	30/12/13	22:56	23:33		0:37	PERMANEN	OCR	ANGIN	PELEPAH DAUN KELAPA TERTIUP ANGIN MENGENAI SUTM DI DESA DONOWAREH

Sumber: APJ Malang

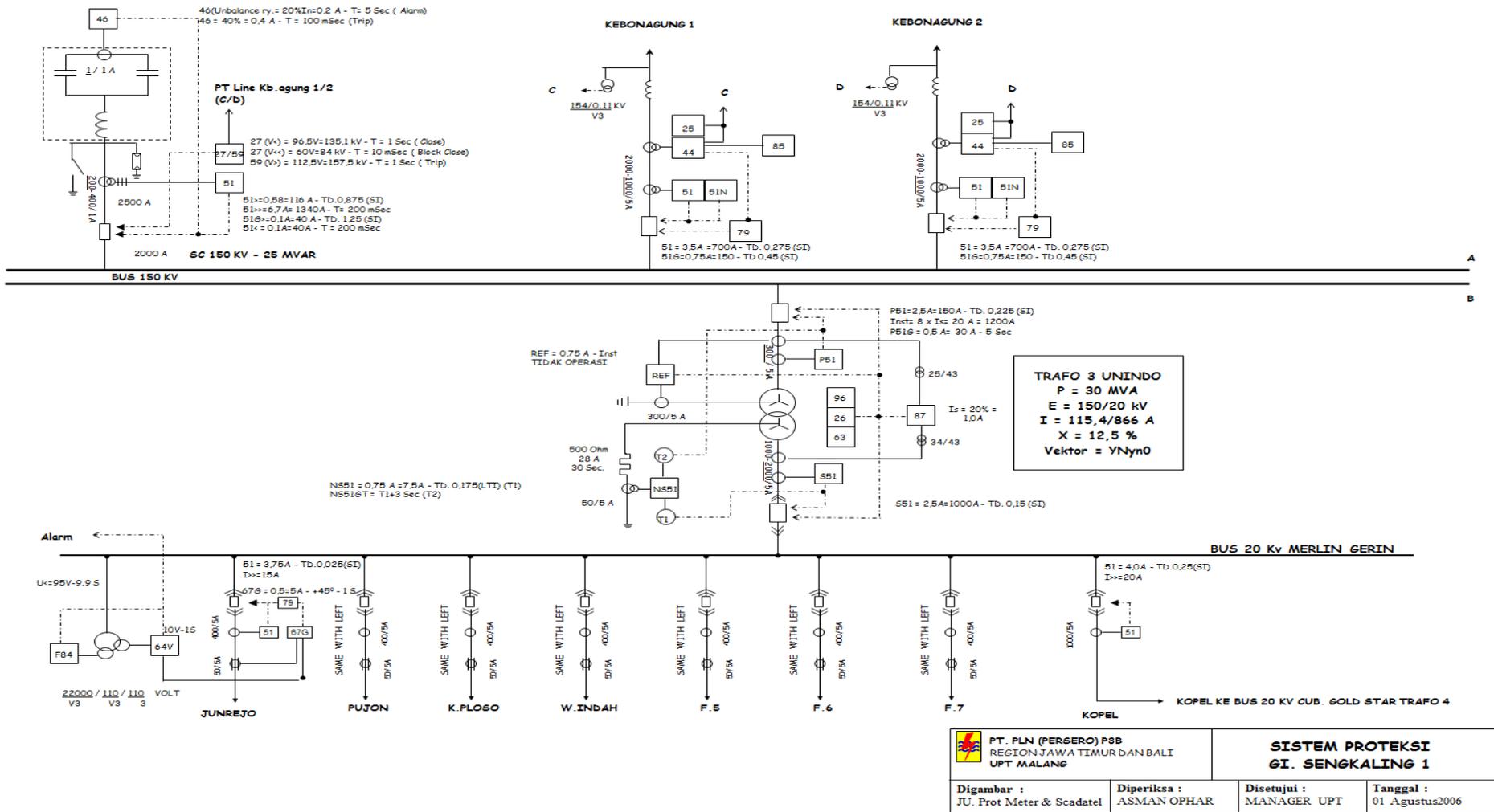
Lampiran II.10

Rekapitulasi Gangguan Penyulang Bulanan Periode: Bulan Desember 2013

PENYULANG	RAYON	GANGGUAN (KALI)			BULAN (KALI)											
		TEMPORER	PERMANEN	TOTAL	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC
Abd. Rahman Saleh	BLIMBING		2	2					1					1		
Banjarejo	BLIMBING		2	1												1
Batu	BATU			0												
Bunul	MALANG KOTA		2	1	1											
Dinoyo	DINOYO		8	7	3	2				1				1		
Jodipan	MALANG KOTA	1	1	2		1										1
Junrejo	BATU	3	11	14	2	2		1	2	1			2	3		1
Kedung Kandang	BLIMBING		1	1					1							
Lowok Waru	MALANG KOTA		8	7		2				1			2	1		1
Matos	DINOYO		1	1	1											
Mawar	DINOYO	3	3	6	2	1			2						1	
MOG	MALANG KOTA			0												
Pandanwangi	BLIMBING			0												
Patimura	MALANG KOTA		5	5		1	1		1					1		1
Pujon	BATU	2	1	2										2		
Selecta	BATU		1	2									1			1
Tegal Gondo	DINOYO	2	3	4	1	1	1	1								
Telkom	DINOYO		1	0												
Wastra Indah	BATU	2	4	6				1	1			1	2			1

Sumber: APJ Malang

Lampiran II.13



Gambar II.13 Diagram Satu Garis Koordinasi Proteksi Transformator Daya III Gardu Induk Sengkaling Malang
 Sumber: APP Malang